

## รายการอ้างอิง

### ภาษาไทย

ภาณุวัฒน์ วรวงศ์ทัต , สมบูรณ์ แสงวงศ์วานิชย์ , การหาลักษณะสมบัติในระบบวงรอบปิดสำหรับระบบกลที่มีความยืดหยุ่น , การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 19 , 2539

### ภาษาอังกฤษ

- F.R. Hansen, G.F. Franklin, R. Kosut, A Fractional Representations Approach to Closed-Loop System Identification and Experiment Design , PhD. Thesis, Stanford University, Stanford, CA. March 1989.
- Ion Dore' Landau , System Identification and Control Design , Prentice-Hall, Englewood Cliffs, 1990.
- J. C. Doyle , B. A. Francis, A. R. Tannenbaum, Feedback Control Theory , Macmillian, Newyork, 1992.
- K. Godfrey, Perturbation Signals for System Identification , Prentice-Hall, 1993.
- K. Matsumoto, T. Suzuki, S. Sangwongwanich, S. Okuma, “ Internal Structure of Two-degree-of-Freedom Controller and a Design Method for Free Parameter of Compensator ” , Trans. of IEE Japan, VOL.113-D, NO.6 ,1993, pp. 768 - 777.
- L. Ljung, System Identification : Theory for the User , Prentice-Hall, 1987.
- R.J.P Schrama, Approximate Closed-Loop System Identification for Control Design with Application to a Mechanical systems , PhD. Thesis, Delft University of Technology, The Netherlands, 1991.
- S. Hara, T. Sugie, “ Independent Parameterization of Two-Degree-of-Freedom Compensators in General Robust Tracking Systems ” , IEEE Trans. on Automatic Control, VOL.33, NO.1, 1988, pp. 59 -67.
- T. Ogawa, K. Matsumoto, T. Suzuki, S. Okuma, K. Kamiyama, K. Ohno , “ Vibration

Suppression Control Taking Account of Robust Stability ” , Conf. Rec. of JIAS, 1994, pp. 1162-1165.

T. Soderstrom, P. Stroica, System Identification , Prentice-Hall, Englewood Cliffs, 1989.

W. A. Wolovich, Automatic Control Systems , Basic Analysis and Design, Saunders College Publishing, Philadelphia, 1994.

W. D. T. Davies, System Identification for Self-Adaptive Control , Wiley-Interscience, 1970.

Y. Hori, H. Iseki, K. Sugiura, “ Basic Consideration of Vibration Suppression and Disturbance Rejection Control of n-Inertia System using SFLAC ( State Feedback and Load Acceleration Control) ” , Proc. of PCC-Yokohama, 1993, pp. 309 - 315.



ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาคผนวก

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## ภาคผนวก ก

## การหาลักษณะสมบัติของมอเตอร์แบบเซอร์โว

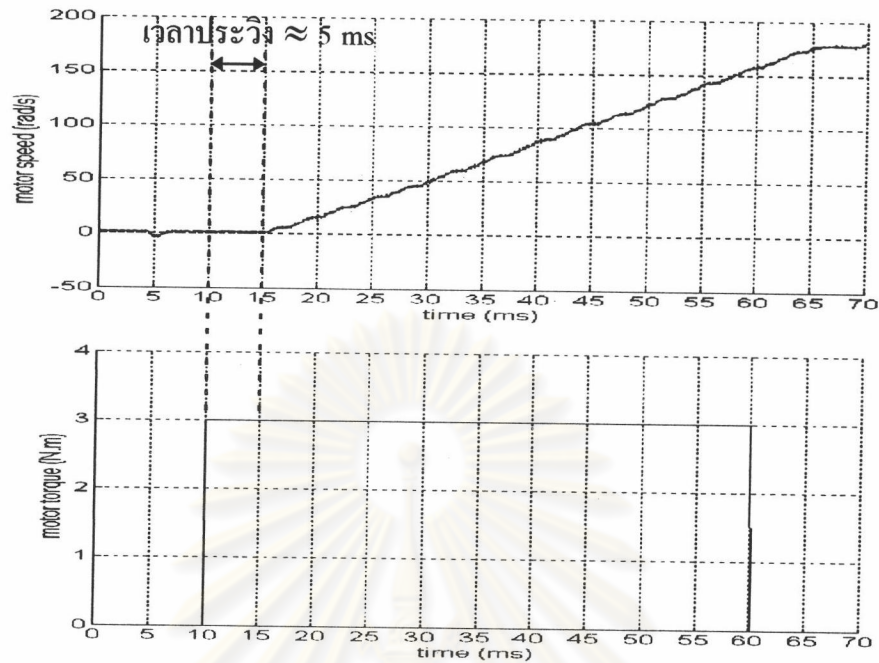
มอเตอร์แบบเซอร์โวที่ใช้ทำการทดสอบเป็นมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟสมีค่าพิกัดต่างๆ ดังต่อไปนี้

ขนาด	1.5 kW
แรงดันพิกัด	330 V
กระแสพิกัด	4.5 A
ความเร็วพิกัด	3000 rpm
ความเร็วสูงสุด	6000 rpm
แรงบิดสูงสุด	15 N.m

การหาค่าเวลาประวิงในระบบควบคุมของมอเตอร์แบบเซอร์โว

เนื่องจากระบบควบคุมสำหรับมอเตอร์แบบเซอร์โวที่ใช้ในงานวิจัยนี้มีวงรอบการควบคุม กระแสและวงจรถองประกอบอยู่ภายในตัวซึ่งเราไม่สามารถที่จะเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ในส่วนนี้ได้ เวลาประวิงสำหรับระบบควบคุมนี้มีค่าประมาณ 5 ms ดังแสดงในรูปที่ ก.1 ซึ่งเราจะสังเกตได้จากเมื่อเราป้อนแรงบิดคำสั่งของมอเตอร์เป็นสัญญาณแบบขั้นบันไดจะพบว่าความเร็วของมอเตอร์จะเริ่มตอบสนองเมื่อเวลาผ่านไปประมาณ 5 ms

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ ก.1 เวลาประวิงภายในระบบควบคุมของมอเตอร์แบบเซอร์โว

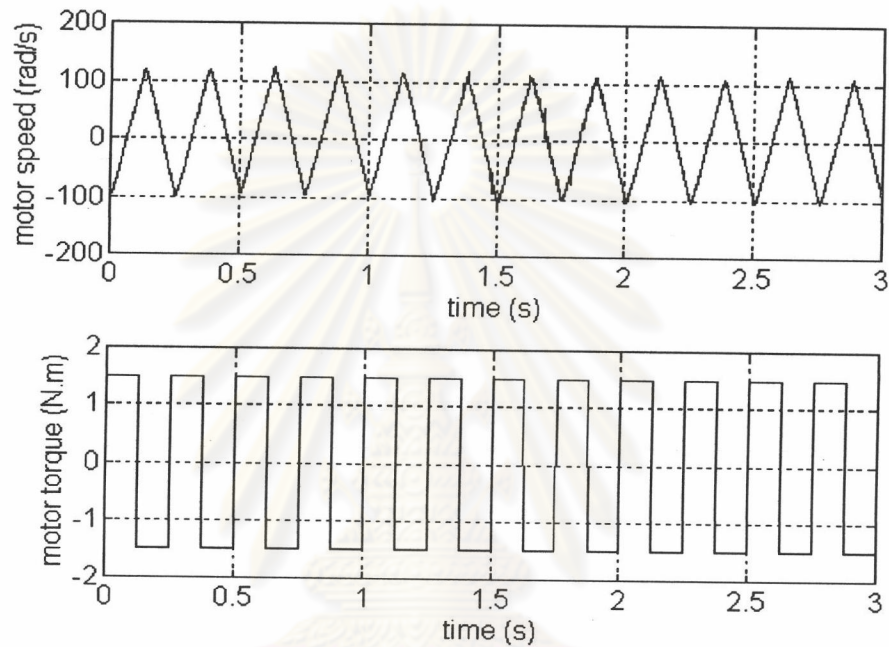
#### การหาค่าพารามิเตอร์เชิงกลของมอเตอร์แบบเซอร์โว

เราจะหาค่าพารามิเตอร์เชิงกลของมอเตอร์แบบเซอร์โว โดยการนำเอาข้อมูลของสัญญาณเข้าและสัญญาณออกของมอเตอร์แบบเซอร์โวซึ่งคือแรงบิดคำสั่งของมอเตอร์และความเร็วของมอเตอร์มาประมวลผลโดยใช้แบบจำลองแบบ 'ARX' ซึ่งผลจากการประมวลจะทำให้เราทราบถึงค่าโมเมนต์ความเฉื่อยและความต้านทานทางลมของมอเตอร์แบบเซอร์โว โดยเราจะแบ่งการทดสอบออกเป็นทั้งหมด 4 แบบ ดังนี้คือ

ศูนย์วิจัยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

### การทดสอบแบบที่ ก.1

เมื่อป้อนแรงบิดของมอเตอร์เป็นสัญญาณสี่เหลี่ยมความถี่ 4 Hz เพื่อกระตุ้นมอเตอร์แบบเซอร์โว โดยใช้เวลาในการสุ่มตัวอย่างเป็น 0.001 s โดยกำหนดค่าเวลาประวิงเป็น 5 ms ในการประมวลผลด้วยแบบจำลอง 'ARX' จะได้ผลดังแสดงในรูปที่ ก.2 และตารางที่ ก.1



รูปที่ ก.2 แรงบิดของมอเตอร์และความเร็วของมอเตอร์ในการทดสอบแบบที่ ก.1

ตารางที่ ก.1 ผลการหาลักษณะสมบัติของมอเตอร์แบบเซอร์โวในการทดสอบแบบที่ ก.1

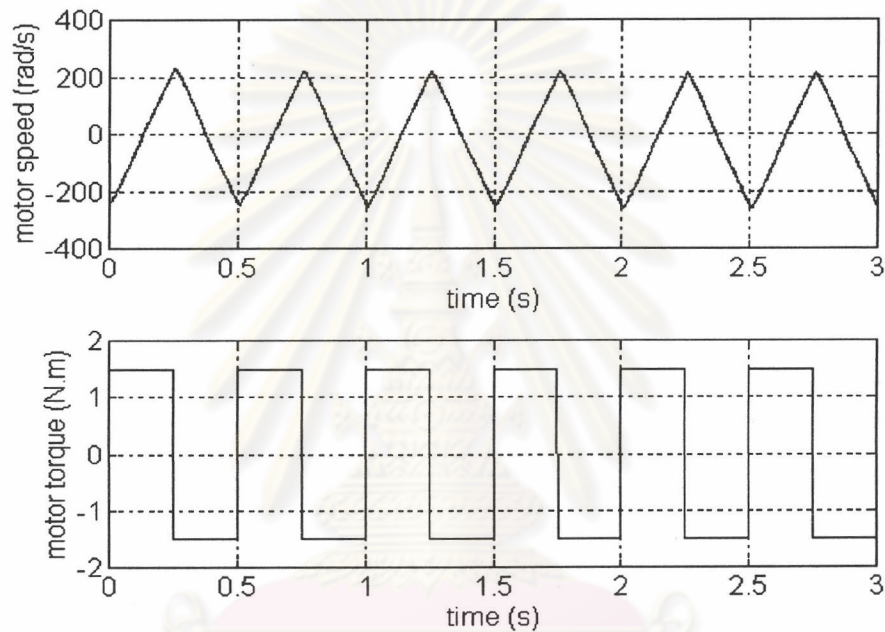
ผลครั้งที่	$\hat{S}(z)$	$\hat{S}(s)$	โมเมนต์ความเฉื่อย ( $\text{kg.m}^2$ )	ความต้านทาน ทางลม ( $\text{kg.m}^2/\text{s}$ )
1	$\frac{1.136}{z-1.0003}$	$\frac{1135}{s+0.2865}$	$8.8078 \times 10^{-4}$	$-2.5233 \times 10^{-4}$
2	$\frac{1.137}{z-1}$	$\frac{1137}{s+0.01014}$	$8.7963 \times 10^{-4}$	$-8.9235 \times 10^{-6}$

โดยที่  $\hat{S}(z)$  คือ ฟังก์ชันโอนย้ายในระบบเวลาไม่ต่อเนื่องที่ได้จากการหาลักษณะสมบัติของมอเตอร์แบบเซอร์โว

$\hat{S}(s)$  คือ ฟังก์ชันโอนย้ายในระบบเวลาต่อเนื่องที่ได้จากการหาลักษณะสมบัติของมอเตอร์แบบเซอร์โว

### การทดสอบแบบที่ ก.2

เมื่อป้อนแรงบิดของมอเตอร์เป็นสัญญาณสี่เหลี่ยมความถี่ 2 Hz เพื่อกระตุ้นมอเตอร์แบบเซอร์โว โดยใช้เวลาในการสุ่มตัวอย่างเป็น 0.001 s โดยกำหนดค่าเวลาประวิงเป็น 5 ms ในการประมวลผลด้วยแบบจำลอง 'ARX' จะได้ผลดังแสดงในรูปที่ ก.3 และตารางที่ ก.2



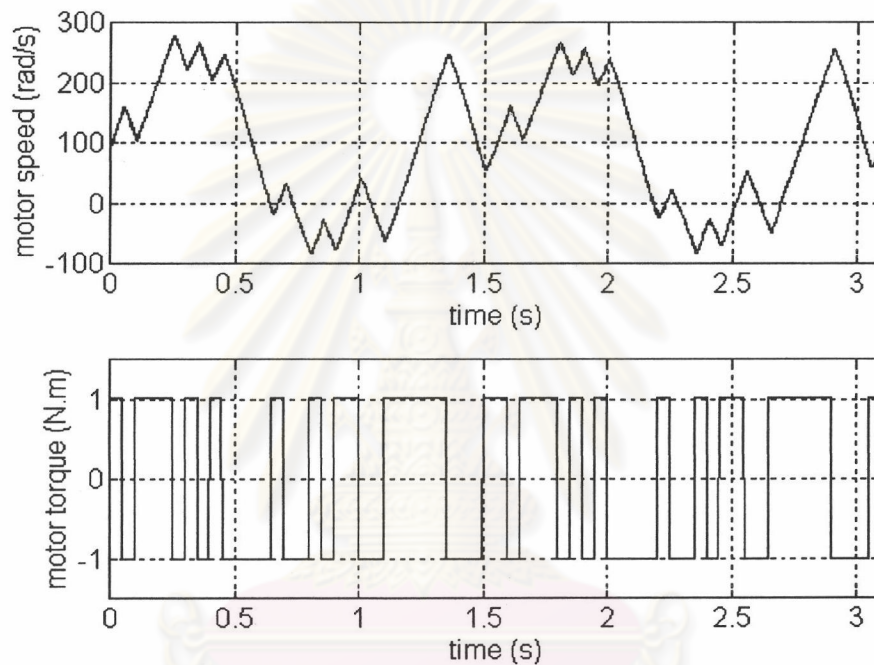
รูปที่ ก.3 แรงบิดของมอเตอร์และความเร็วของมอเตอร์ในการทดสอบแบบที่ ก.2

ตารางที่ ก.2 ผลการหาลักษณะสมบัติของมอเตอร์แบบเซอร์โวในการทดสอบแบบที่ ก.2

ผลครั้งที่	$\hat{S}(z)$	$\hat{S}(s)$	โมเมนต์ความเฉื่อย ( $\text{kg.m}^2$ )	ความต้านทาน ทางลม ( $\text{kg.m}^2/\text{s}$ )
1	$\frac{1.257}{z - 1.0002}$	$\frac{1257}{s + 0.1759}$	$7.9534 \times 10^{-4}$	$-1.3889 \times 10^{-4}$
2	$\frac{1.246}{z - 0.9999}$	$\frac{1246}{s + 0.1091}$	$8.0275 \times 10^{-4}$	$8.7571 \times 10^{-5}$

### การทดสอบแบบที่ ก.3

เมื่อป้อนแรงบิดของมอเตอร์เป็นสัญญาณ PRBS ที่มี  $n=5$  และ  $t_{prbs}=0.05$  s เพื่อกระตุ้นมอเตอร์แบบเซอร์โว โดยใช้เวลาในการสุ่มตัวอย่างเป็น 0.001 s โดยกำหนดค่าเวลาประวิงเป็น 5 ms ในการประมวลผลด้วยแบบจำลอง 'ARX' จะได้ผลดังแสดงในรูปที่ ก.4 และตารางที่ ก.3



รูปที่ ก.4 แรงบิดของมอเตอร์และความเร็วของมอเตอร์ในการทดสอบแบบที่ ก.3

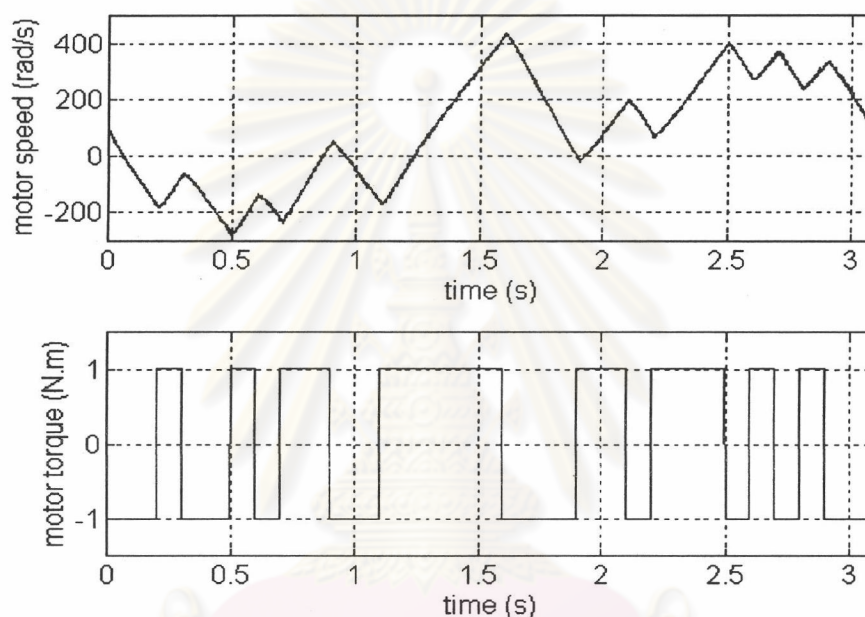
ตารางที่ ก.3 ผลการหาลักษณะสมบัติของมอเตอร์แบบเซอร์โวในการทดสอบแบบที่ ก.3

ผลครั้งที่	$\hat{S}(z)$	$\hat{S}(s)$	โมเมนต์ความเฉื่อย ( $\text{kg.m}^2$ )	ความต้านทาน ทางลม ( $\text{kg.m}^2/\text{s}$ )
1	$\frac{1.123}{z-0.9996}$	$\frac{1123}{s+0.3625}$	$8.9031 \times 10^{-4}$	$3.227 \times 10^{-4}$
2	$\frac{1.145}{z-0.9998}$	$\frac{1145}{s+0.1888}$	$8.7321 \times 10^{-4}$	$.6487 \times 10^{-4}$



### การทดสอบแบบที่ ก.4

เมื่อป้อนแรงบิดของมอเตอร์เป็นสัญญาณ PRBS ที่มี  $n=5$  และ  $t_{prbs}=0.1$  s เพื่อกระตุ้นมอเตอร์แบบเซอร์โว โดยใช้เวลาในการสุ่มตัวอย่างเป็น 0.001 s โดยกำหนดค่าเวลาประวิงเป็น 5 ms ในการประมวลผลด้วยแบบจำลอง 'ARX' จะได้ผลดังแสดงในรูปที่ ก.5 และตารางที่ ก.4



รูปที่ ก.5 แรงบิดของมอเตอร์และความเร็วของมอเตอร์ในการทดสอบแบบที่ ก.4

ตารางที่ ก.4 ผลการหาลักษณะสมบัติของมอเตอร์แบบเซอร์โวในการทดสอบแบบที่ ก.4

ผลครั้งที่	$\hat{S}(z)$	$\hat{S}(s)$	โมเมนต์ความเฉื่อย ( $\text{kg.m}^2$ )	ความต้านทาน ทางลม ( $\text{kg.m}^2/\text{s}$ )
1	$\frac{1.243}{z - 0.9989}$	$\frac{1244}{s + 1.14}$	$8.0382 \times 10^{-4}$	$9.1629 \times 10^{-4}$
2	$\frac{1.233}{z - 0.9992}$	$\frac{1234}{s + 0.7651}$	$8.1050 \times 10^{-4}$	$6.2018 \times 10^{-4}$

จากผลการทดสอบทั้งหมดจะเห็นได้ว่าในกรณีที่สำคัญ โดยส่วนใหญ่มีขนาดความกว้างของพัลส์มากกว่าค่าเวลาประวิงไม่มากนักดังเช่นในการทดสอบแบบที่ ก.1 และ ก.3 จะส่งผลให้เวลาประวิงมีผลกระทบต่อความผิดพลาดในการหาลักษณะสมบัติของระบบได้โดยจะทำให้เราได้ค่าโมเมนต์ความถี่ที่มีค่ามากเพราะการประวิงเวลาจะทำให้ดูเหมือนระบบมีความเร็วในการตอบสนองต่อแรงบิดช้าลง แต่ถ้าเราเพิ่มขนาดของความกว้างพัลส์ให้มีค่ามากกว่าค่าเวลาประวิงมากๆ ดังในการทดสอบแบบที่ ก.2 และ ก.4 แล้ว จะได้ผลการหาลักษณะสมบัติที่ใกล้เคียงค่าจริงมากขึ้น

นอกจากนั้นเราจะสังเกตได้ว่าค่าของความต้านทานทางลมที่หาได้นั้นจะมีค่าที่ต่างกันค่อนข้างมาก ทั้งนี้เนื่องมาจากผลของการคำนวณทางเชิงเลข โดยสามารถอธิบายได้ดังนี้คือ

ถ้ากำหนดให้ฟังก์ชัน โอนย้ายในระบบเวลาต่อเนื่องของมอเตอร์แบบเซอร์โวเป็น

$$S(s) = \frac{1}{J_m s + D_m} \quad (ก.1)$$

และทำการแปลงมาให้อยู่ในระบบเวลาไม่ต่อเนื่องโดยวิธีการคงค่าอันดับศูนย์หรือ step invariance จะได้ค่าฟังก์ชัน โอนย้ายในระบบเวลาไม่ต่อเนื่องของมอเตอร์แบบเซอร์โวเป็น

$$S(z) = \left(\frac{1}{D_m}\right) \frac{(1 - e^{-\frac{D_m T}{J_m}}) z^{-1}}{(1 - e^{-\frac{D_m T}{J_m}} z^{-1})} \quad (ก.2)$$

เมื่อ  $T$  คือเวลาในการสุ่มตัวอย่างข้อมูล

เมื่อเรากำหนดให้ฟังก์ชัน โอนย้ายในระบบเวลาไม่ต่อเนื่องของมอเตอร์แบบเซอร์โวที่ได้จากการหาลักษณะสมบัติเป็นดังนี้คือ

$$\hat{S}(z) = \frac{a}{z - b} \quad (ก.3)$$

จากสมการที่ (ก.2) และ (ก.3) เราจะได้ว่า

$$a = \frac{1}{D_m} (1 - e^{-\frac{D_m T}{J_m}}) \quad \text{และ} \quad b = e^{-\frac{D_m T}{J_m}} \quad (ก.4)$$

ในทำนองกลับกันจากสมการที่ (ก.4) เราสามารถหาค่าของโมเมนต์ความถี่และความต้านทานทางลมได้ดังนี้

$$D_m = \frac{1 - b}{a} \quad (ก.5)$$

$$J_m = \left(\frac{-T}{a}\right) \left(\frac{1 - b}{\ln b}\right) \approx \frac{T}{a} \quad (ก.6)$$

เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ในสมการที่ (ก.6) จะสังเกตเห็นได้ว่า เนื่องจากค่า  $b$  มีค่าค่อนข้างใกล้เคียง 1 ซึ่งทำให้ค่า  $\frac{1 - b}{\ln b} \approx -1$  ดังนั้นถึงแม้ว่า  $b$  จะมีค่าเปลี่ยนแปลงค่าของโมเมนต์ความถี่ก็

ค่อนข้างจะไม่มีผลกระทบเท่าใดนัก แต่สำหรับค่าของความต้านทานทางลมนั้น ถ้าค่า  $b$  เปลี่ยนไปเพียงเล็กน้อยก็จะมีผลกระทบให้ค่าของความต้านทานทางลมเปลี่ยนแปลงไปค่อนข้างมาก

โดยอาศัยผลการทดสอบแบบที่ ก.2 และ ก.4 และเราได้ทำการทดลองใช้สัญญาณที่มีความกว้างของพัลส์มากขึ้นเป็นจำนวนหลายครั้งพบว่าผลที่ได้ยังคงมีค่าใกล้เคียงกัน ดังนั้นเราจะประมาณค่าพารามิเตอร์ของมอเตอร์แบบเซอร์โวเพื่อใช้ในการจำลองเปรียบเทียบกับ การทดสอบในการหาลักษณะสมบัติของระบบเป็น  $J_m = 8 \times 10^{-4} \text{ kg.m}^2$  และ  $D_m = 8 \times 10^{-4} \text{ kg.m}^2/\text{s}$



ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## ภาคผนวก ข

## ค่าพารามิเตอร์ในการทดสอบระบบ

ตารางที่ ข.1 ค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดสอบและการจำลองการทำงานของระบบ 2 มวลที่มีความถี่เรโซแนนซ์ 1.03 Hz

ค่าพารามิเตอร์ของระบบ		อัตราขยายของตัวควบคุม	
$J_m$	$8 \times 10^{-4} \text{ kg.m}^2$	$K_p$	0.05
$D_m$	$8 \times 10^{-4} \text{ kg.m}^2 / \text{s}$	$T_I$	1/8
$J_L$	$1.2 \times 10^{-3} \text{ kg.m}^2$		
$D_L$	$2 \times 10^{-3} \text{ kg.m}^2 / \text{s}$		
$K_{sh}$	0.02 Nm / rad		

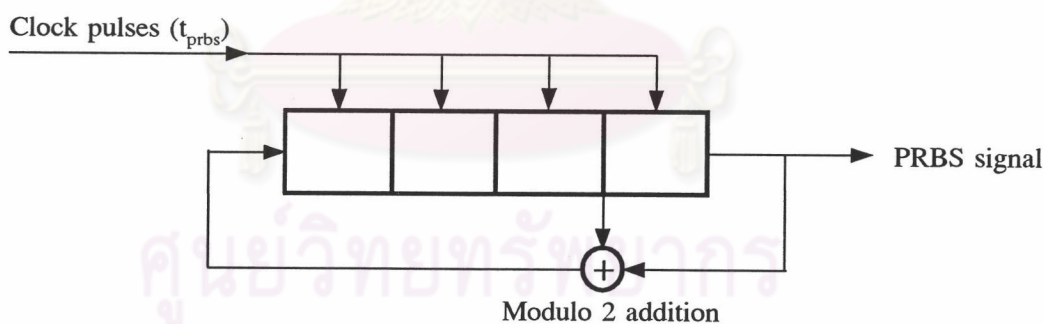
ตารางที่ ข.2 ค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดสอบและการจำลองการทำงานของระบบ 2 มวลที่มีความถี่เรโซแนนซ์ 5.34 Hz

ค่าพารามิเตอร์ของระบบ		อัตราขยายของตัวควบคุม	
$J_m$	$8 \times 10^{-4} \text{ kg.m}^2$	$K_p$	0.05
$D_m$	$8 \times 10^{-4} \text{ kg.m}^2 / \text{s}$	$T_I$	1/8
$J_L$	$4 \times 10^{-4} \text{ kg.m}^2$		
$D_L$	$2 \times 10^{-3} \text{ kg.m}^2 / \text{s}$		
$K_{sh}$	0.3 Nm / rad		

## ภาคผนวก ค

## สัญญาณ Pseudo-Random Binary Sequences (PRBS)

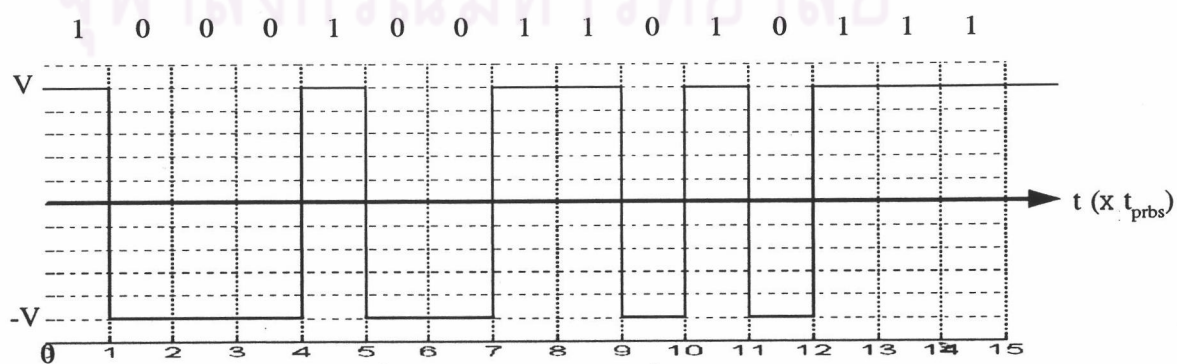
สัญญาณ PRBS เป็นสัญญาณแบบคาบเวลาที่มีลักษณะเป็นรูปคลื่นแบบพัลส์สี่เหลี่ยมที่มีการมอดูเลตความกว้างของพัลส์ เราสามารถสร้างสัญญาณ PRBS (K. Grodfrey, 1993) ได้โดยใช้วงจรรีจิสเตอร์เลื่อนข้อมูลแบบป้อนกลับ (feedback shift register circuit) จะมีการเลื่อนข้อมูลทุก ๆ คาบเวลา  $t_{prbs}$  โดยจะมีการป้อนกลับค่าที่ได้จากการบวกแบบมอดูโล 2 ระหว่างค่าตรรกของเซลล์สุดท้ายของรีจิสเตอร์กับค่าตรรกของเซลล์อื่นซึ่งอาจมีจำนวนมากกว่า 1 เซลล์ เข้าสู่เซลล์แรกของรีจิสเตอร์ โดยอย่างน้อยจะต้องมี 1 เซลล์ในจำนวน  $n$  เซลล์มีค่าตรรกเริ่มต้นเป็น 1 ซึ่งจะได้ว่าความยาวสูงสุดของลำดับของสัญญาณ PRBS (maximum-length sequence,  $N$ ) มีค่าเท่ากับ  $2^n - 1$  เมื่อ  $n$  คือจำนวนเซลล์ของรีจิสเตอร์เลื่อนข้อมูล สำหรับตัวอย่างของวงจรรีจิสเตอร์เลื่อนข้อมูลในการสร้างสัญญาณ PRBS ที่มี  $n = 4$  และ  $N = 2^4 - 1 = 15$  แสดงได้ดังรูปที่ ค.1 และตารางที่ ค.1

รูปที่ ค.1 วงจรรีจิสเตอร์เลื่อนข้อมูลในการสร้างสัญญาณ PRBS ที่มี  $n = 4$ 

ตารางที่ ค.1 แสดงให้เห็นถึงลำดับในการสร้างสัญญาณ PRBS ที่มี  $N = 2^4 - 1 = 15$  โดยรีจิสเตอร์จะมีค่าเป็น 0 0 0 1 และเมื่อเวลาผ่านไป  $(2^4 - 1) \cdot t_{prbs}$  กล่าวคือครบลำดับนั่นเอง ค่าของรีจิสเตอร์จะมีค่า 0 0 0 1 เหมือนเดิมและเริ่มลำดับใหม่อีกครั้ง และสังเกตได้ว่าในหนึ่งลำดับนั้นจะพบว่ามีค่าของรีจิสเตอร์ครบทุกจำนวนที่อยู่ใน 0 0 0 1 ถึง 1 1 1 1 โดยจะได้รูปคลื่นของสัญญาณ PRBS ดังแสดงในรูปที่ ค.2 ตารางที่ ค.2 แสดงถึงตัวอย่างของโครงสร้างในการป้อนกลับของวงจรรีจิสเตอร์เลื่อนข้อมูลในการสร้างสัญญาณ PRBS ที่มี  $n=2$  ถึง  $n=10$

ตารางที่ ค.1 ลำดับการสร้างสัญญาณ PRBS ของรีจิสเตอร์เลื่อนข้อมูลแบบ 4 เซลล์  
เมื่อมีการป้อนกลับจากเซลล์ที่ 3 และ 4

เวลา ( $x t_{prbs}$ )	รีจิสเตอร์เลื่อนข้อมูลเซลล์ที่			
	1	2	3	4
1	0	0	0	1
2	1	0	0	0
3	0	1	0	0
4	0	0	1	0
5	1	0	0	1
6	1	1	0	0
7	0	1	1	0
8	1	0	1	1
9	0	1	0	1
10	1	0	1	0
11	1	1	0	1
12	1	1	1	0
13	1	1	1	1
14	0	1	1	1
15	0	0	1	1
(เริ่มลำดับใหม่)				
16	0	0	0	1



รูปที่ ค.2 สัญญาณ PRBS ที่มี  $n = 4$

ตารางที่ ค.2 โครงสร้างการป้อนกลับสำหรับการสร้างสัญญาณ PRBS ที่มี  $n = 2$  ถึง  $n = 10$

จำนวนเซลล์ (n)	ความยาวของลำดับ (N)	ป้อนกลับจากเซลล์ที่
2	3	1, 2
3	7	2, 3
4	15	3, 4
5	31	3, 5
6	63	5, 6
7	127	4, 7
8	255	4, 5, 6, 8
9	511	5, 9
10	1023	7, 10

เราสามารถสรุปคุณลักษณะสมบัติของสัญญาณ PRBS ได้ดังนี้คือ

1. มีค่าสัญญาณ 2 ระดับ และจะมีการเปลี่ยนระดับสัญญาณตามเวลาที่เป็นจำนวนเท่าของเวลาการเลื่อนข้อมูลของสัญญาณ PRBS ( $t_{prbs}$ ) เท่านั้น
2. คาบเวลาของสัญญาณ ( $T_{prbs}$ ) มีค่าเท่ากับ  $N * t_{prbs}$
3. ในหนึ่งคาบเวลาจะมีสัญญาณของตรรก 1 เป็นจำนวน  $(N+1)/2$  และสัญญาณของตรรก 0 เป็นจำนวน  $(N-1)/2$
4. ความกว้างของพัลส์ของสัญญาณ PRBS ที่สูงสุดจะมีค่าเท่ากับ  $n * t_{prbs}$
5. เนื่องจากหลักการพื้นฐานของสัญญาณ PRBS จะมีการเปลี่ยนระดับสัญญาณเป็นแบบเวลาไม่ต่อเนื่อง ดังนั้นความหนาแน่นเชิงสเปกตรัมของพลังงาน (power density spectrum) จะมีลักษณะทางความถี่เป็นแบบไม่ต่อเนื่องด้วย และเมื่อให้ระดับของสัญญาณ PRBS มีค่าเท่ากับ  $\pm V$  แล้ว ความหนาแน่นเชิงสเปกตรัมของพลังงานของสัญญาณ PRBS จะมีค่าเป็นดังสมการที่ (ค.1) และ (ค.2) (W. D. T. Davies, 1970)

$$\phi_{xx}(\omega) = \frac{V^2 (N+1)t_{prbs}}{N} \sum_{r=1}^N \left[ \frac{\sin(r\omega t_{prbs} / 2)}{(r\omega t_{prbs} / 2)} \right]^2 \quad (\text{ค.1})$$

$$= \frac{V^2 (N+1)t_{prbs}}{N} \sum_{r=1}^N \left[ \frac{\sin(r\pi / N)}{(r\pi / N)} \right]^2 \quad (\text{ค.2})$$

โดยที่  $\phi_{xx}(\omega)$  คือความหนาแน่นเชิงสเปกตรัมของพลังงานที่ความถี่  $\omega$

และ  $\omega$  จะมีค่าเท่ากับ  $r \frac{2\pi}{Nt_{prbs}}$  rad/s หรือ  $\frac{r}{Nt_{prbs}}$  Hz ,  $r = 1, 2, \dots, N$  กล่าวคือเป็น

จำนวนเท่าของความถี่หลักมูลของสัญญาณ PRBS

จากสมการที่ (ค.2) จะสังเกตเห็นได้ว่าถ้า  $r \ll N$  จะได้ว่า  $\frac{\sin(r\pi / N)}{r\pi / N} = 1$  ดังนั้นความ

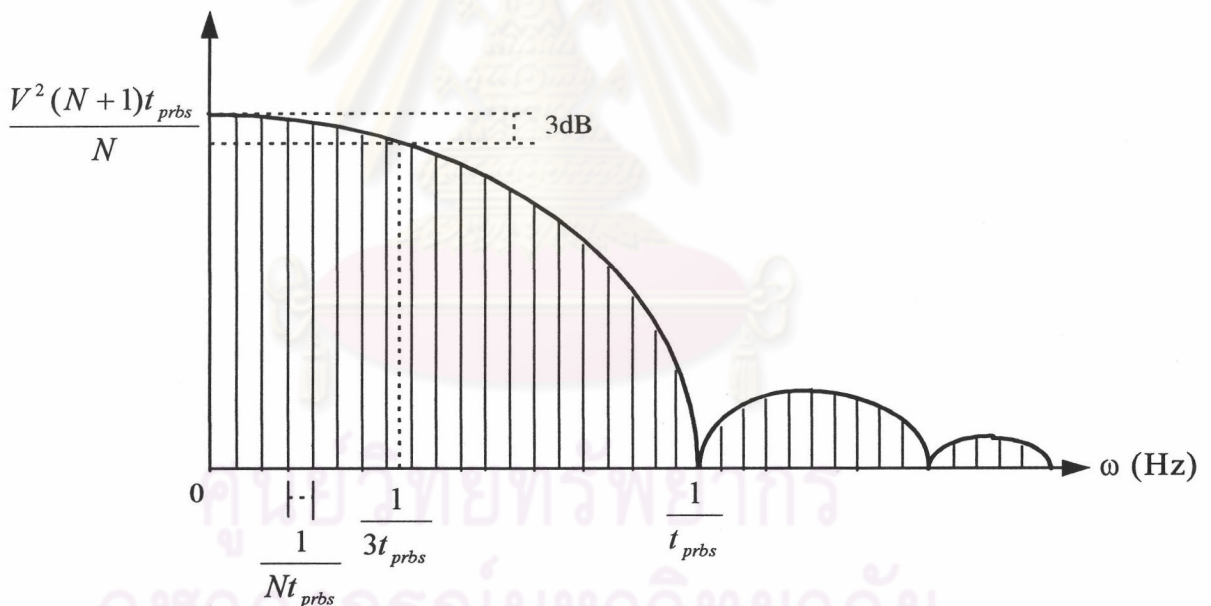
หนาแน่นเชิงสเปกตรัมของพลังงานจะมีค่าประมาณ  $\frac{V^2(N+1)t_{prbs}}{N}$  ที่ความถี่ต่ำ และจะมีค่าลด

ลง 3 db ที่ความถี่  $\frac{1}{3t_{prbs}}$  Hz ตามความสัมพันธ์ในสมการที่ (ค.3)

$$\left[ \frac{\sin(r\pi / N)}{r\pi / N} \right]^2 = 0.7071 \Leftrightarrow r = \frac{N}{3} \quad (\text{ค.3})$$

ดังนั้นเราจะได้ว่าแถบความถี่ประสิทธิผลของสัญญาณ PRBS จะอยู่ในช่วง 0 ถึง  $f = \frac{1}{3t_{prbs}}$  Hz

โดยความหนาแน่นเชิงสเปกตรัมของพลังงานของสัญญาณ PRBS สามารถแสดงได้ดังรูปที่ ค.3



รูปที่ ค.3 ความหนาแน่นเชิงสเปกตรัมของพลังงานของสัญญาณ PRBS

จากความหนาแน่นเชิงสเปกตรัมของพลังงานของสัญญาณ PRBS ที่กล่าวมา เราสามารถนำมาพิจารณากับการเลือกสัญญาณ PRBS ในการหาลักษณะสมบัติของระบบได้ว่า สัญญาณ PRBS ควรจะมีค่าของแถบความถี่  $0 - \frac{1}{3t_{prbs}}$  Hz ครอบคลุมแถบความถี่หลักของระบบที่เราสนใจจะหา ลักษณะสมบัติ เพื่อให้มีพลังงานของสเปกตรัมที่กระตุ้นในบริเวณแถบความถี่ของระบบสูง ซึ่งจะ



ทำให้เราสามารถประมวลผลหาลักษณะสมบัติของระบบได้ใกล้เคียงกับค่าจริงดังในสมการที่  
(4.13) ที่ได้กล่าวไว้ในบทที่ 4



ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

### ประวัติผู้เขียน

นาย ภาณุวัฒน์ วรวงศ์ทัต เกิดเมื่อวันที่ 8 สิงหาคม พ.ศ. 2516 ที่เขตป้อมปราบศัตรูพ่าย กรุงเทพมหานคร สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า (กำลัง) จากจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ปีการศึกษา 2537 และได้เข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า (อิเล็กทรอนิกส์กำลัง) ณ ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2538



ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย