บทที่ 5
การทดลองและวิเคราะห์ผล

ในการทดลองจะเป็นการทดสอบการควบคุมของระบบ โดยควบคุมให้ตุ้มน้ำหนักอยู่ที่ตำแหน่ง $[\theta \quad \dot{\theta} \quad X \quad \dot{X}]^t = [0 \quad 0 \quad 0 \quad 0]^t$ และบันทึกผลการทดลองที่เวลาต่างๆเพื่อศึกษาการทำงานของระบบ โดยแบ่งเป็นการควบคุมแบบไฮบริดและการควบคุมแบบฟัซซี ซึ่งจะแสดงผลให้เห็นดังนี้

จากกราฟรูปที่ 1 และรูปที่ 2 จะเป็นการควบคุมตำแหน่งของมุมองศาของตุ้มน้ำหนัก โดยเป็นการควบคุมแบบไฮบริดในรูปที่ 1 และการควบคุมแบบฟัซซีในรูปที่ 2 จากรูปกราฟจะเห็นว่าในช่วงแรกจะเป็นการเคลื่อนที่ในลักษณะที่แกว่งไปมา คือ มุมเริ่มที่ประมาณ 160° และเพิ่มขึ้นเรื่อยๆถึง 180° (หรือ มุม -180° ด้วย)และเพิ่มขึ้นจาก -180° จนถึง -140° จึงจะแกว่งกลับไปจนถึงมุม 115° จึงเริ่มย้อนกลับอีกครั้งจนถึงมุม -100° ขั้นตอนของการเคลื่อนที่จะค่อยๆแกว่งตุ้มน้ำหนักขึ้นมาจนถึงมุม 30° ตามกราฟ ระบบควบคุมจะตัดการทำงานของระบบควบคุมแบบฟัซซีส่วนที่ 1 เข้าสู่ระบบควบคุมแบบวางตำแหน่งโพลในการควบคุมแบบไฮบริด และตัดเข้าสู่การควบคุมแบบฟัซซีส่วนที่ 2 ในระบบควบคุมแบบฟัซซี ซึ่งจากกราฟจะเห็นการเคลื่อนที่จะวิ่งเข้าสู่ตำแหน่งมุมองศาที่ 0° และตำแหน่งมุมองศาที่ได้ในกราฟรูปที่ 1 จะอยู่ใกล้ 0° ในทิศทางที่มากกว่า 0° เป็นส่วนใหญ่ ซึ่งแตกต่างจากกราฟในรูปที่ 2 ที่ตำแหน่งมุมองศาจะเคลื่อนที่สลับระหว่างมากกว่าและน้อยกว่า 0° สาเหตุที่ทำให้การเคลื่อนที่ของมุมองศาเป็นเช่นนั้น เกิดจากระบบไม่สมมาตรและส่งผลให้การควบคุมระยะ X ไม่ได้ผลเท่าที่ควร ทำให้ระยะ X เคลื่อนตัวไปทางค่าลบ มุมองศาจึงต้องเคลื่อนตัวไปทางด้านบวก (θ เป็นบวก) หรือ มุมองศามีค่าต่ำกว่า 180°

ซึ่งผลการทดลองของทั้ง 2 ระบบ จะมีการเคลื่อนที่ที่ใกล้เคียงกันมาก และเมื่อระบบเข้าใกล้สภาวะคงตัว (Steady-State)จะมีค่าผิดพลาดจากจุดอ้างอิงอยู่บ้างคือเคลื่อนที่อยู่ในช่วงที่ไม่เกิน 2 % จากจุดเริ่มต้น และสามารถควบคุมให้ระบบอยู่ใกล้กับจุดอ้างอิง (ที่ตำแหน่ง 0 จากจุดสูงสุด) ได้ตลอด

จากกราฟรูปที่ 3 และรูปที่ 4 จะเห็นว่าค่าของ $\dot{\theta}$ ในช่วงแรกจะไม่มี เนื่องจากในช่วงแรกของการควบคุมจะเป็นการควบคุมแบบฟัซซีที่วัดเฉพาะค่า θ และค่า X ยังไม่มีการวัดค่าของ $\dot{\theta}$

และค่า $\dot{X}$ จึงให้ค่าเป็นศูนย์ในช่วงแรกและเมื่อระบบเริ่มเข้าสู่การควบคุมในช่วงหลัง (เป็นระบบวางตำแหน่งโพลในระบบควบคุมแบบไฮบริด และเป็นระบบฟัซซี ในระบบควบคุมแบบฟัซซี) ซึ่งจะตรงกับเวลาที่มุมองศาผ่านเข้าสู่ -30°-30° จะมีค่า $\dot{\theta}$ ที่สูงมากในช่วงแรก และลดน้อยลงเป็นลำดับจนถึงค่า 0.785 rad/s แล้วจึงสลับที่ 0.785 rad/s และ -0.785 rad/s เพื่อควบคุมให้มุมองศายังคงอยู่ใกล้กับ 0° แต่ที่รูปกราฟมีลักษณะเป็นพัลส์ เนื่องจากค่า $\dot{\theta}$ ที่วัดได้มาจากค่า θ ที่นำมาดิฟเฟอร์เรนชิเอช ทำให้ค่าที่ไม่ละเอียดพอและมีลักษณะเป็นขั้นๆ โดยที่มีค่าต่ำที่สุดคือ 0.7854 rad/sec ซึ่งได้มาจากค่า [$(2\pi/2000)$ rad]/[0.004 sec] (เอนโค๊ดเดอร์ มีความละเอียด 2000 พัลส์ /รอบ) ทำให้กราฟที่ได้เป็นรูปพัลส์บวกและพัลส์ลบที่ต่ำที่สุดที่ใกล้ศูนย์ ซึ่งทำให้ผลของ $\dot{\theta}$ ที่ขนาดต่ำกว่า 0.785 rad/s นั้นไม่สามารถวัดได้ส่งผลให้สัญญาณแรงดันที่ส่งออกมาขับมอเตอร์นั้นไม่พอดีกับขนาดที่ต้องการ ทำให้การเคลื่อนที่ของมุมองศาเป็นลักษณะที่มากกว่าหรือต่ำกว่า 0° สลับกันไป

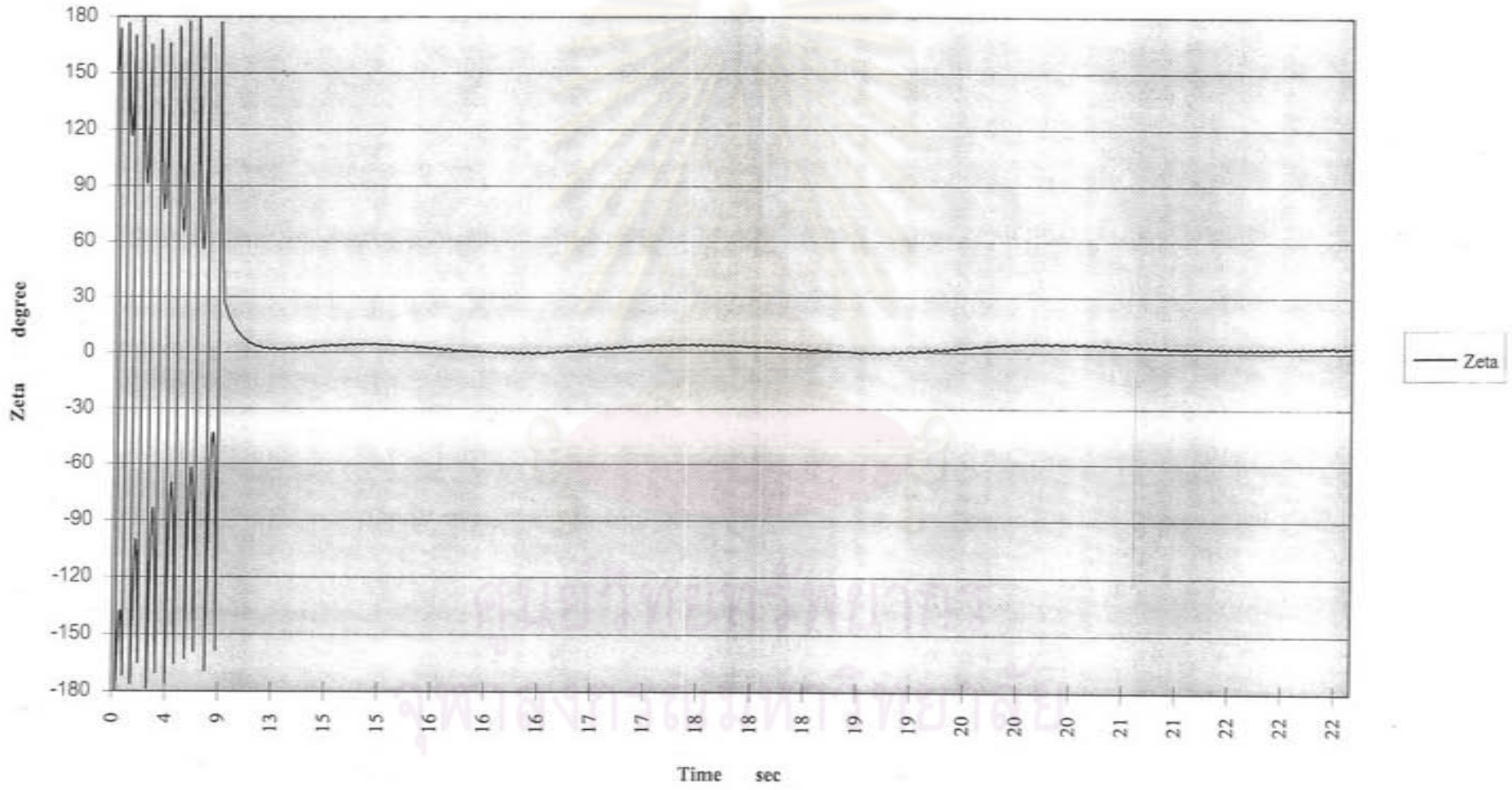
จากกราฟรูปที่ 5 และรูปที่ 6 จะเป็นรูปกราฟการเคลื่อนที่ของ X ของการควบคุมทั้ง 2 แบบ ในรูปกราฟช่วงแรกจะเป็นการควบคุมแบบฟัซซีในช่วงที่แกว่งตัวให้ตุ้มน้ำหนักขึ้นมา ซึ่งในการควบคุมจะจำกัดการเคลื่อนที่ของระบบไว้ไม่ให้เกิน-0.08 ถึง 0.08 เมตร จากจุดศูนย์กลางของระบบเพราะระบบควบคุมจะกำหนดขนาดระยะที่เกิน 0.08 เมตร เป็นค่าขนาดใหญ่ (คือ Positive Big หรือ NegativeBig) ทำให้ระบบเคลื่อนที่กลับไปกลับมาเพื่อพยายามแกว่งตุ้มน้ำหนักขึ้นไปเรื่อยๆ ซึ่งลักษณะการแกว่งตัวในรูปกราฟที่ 6 จะมีลักษณะการแกว่งตัวในช่วงแรกที่ดีกว่ารูปกราฟที่ 5 ซึ่งเมื่อแกว่งตัวขึ้นมาจนถึงมุมองศา -30° หรือ 30° แล้วตัดเข้าระบบควบคุมแบบที่ 2 ซึ่งระบบจะพยายามดึงให้มุมองศาเข้า 0° ทำให้การเคลื่อนที่ของ X ในช่วงหลังจะราบเรียบมากขึ้นและควรจะมีแนวโน้มเข้าสู่ศูนย์ แต่ในรูปกราฟที่ 5 และ 6 จะเห็นว่าการเคลื่อนที่ของ X ไม่เข้าสู่ศูนย์ มีลักษณะแกว่งตัวไปมาระหว่างค่าบวกและลบ ในกราฟที่ 6 และมีแนวโน้มที่อยู่ในค่าลบในรูปกราฟที่ 5 เนื่องจากมีสาเหตุหลักที่เกิดขึ้นเนื่องจากระบบไม่สมมาตรจริงในทางปฏิบัติ เช่น การเซตค่าศูนย์ของระบบที่ตัวขยายสัญญาณนั้น เมื่อระบบเริ่มทดสอบใหม่อีกครั้ง แต่ในขณะที่ทดสอบนั้นค่าศูนย์ของระบบอาจจะเปลี่ยนแปลงไปได้ หรือ ในระบบส่งกำลังของระบบนั้น ใช้เป็นระบบลวดสลิง ซึ่งในระหว่างการทดสอบนั้นลวดสลิงอาจจะยืดตัวออกได้เนื่องจากในการทดสอบนั้นเป็นการทดสอบที่ต้องเคลื่อนที่กลับไปกลับมา และผลจากค่ามุมองศาที่ไม่ละเอียดพอ ซึ่งสาเหตุทั้ง

หมดส่งผลให้ค่า X ไม่สามารถควบคุมให้อยู่ตำแหน่งศูนย์ได้ จึงส่งผลย้อนกลับไปสู่ค่ามุมองศา ทำให้มุมองศาเคลื่อนที่อยู่ในแนวที่เป็นค่าลบเสียส่วนใหญ่ ดังเช่นในกราฟรูปที่ 1.

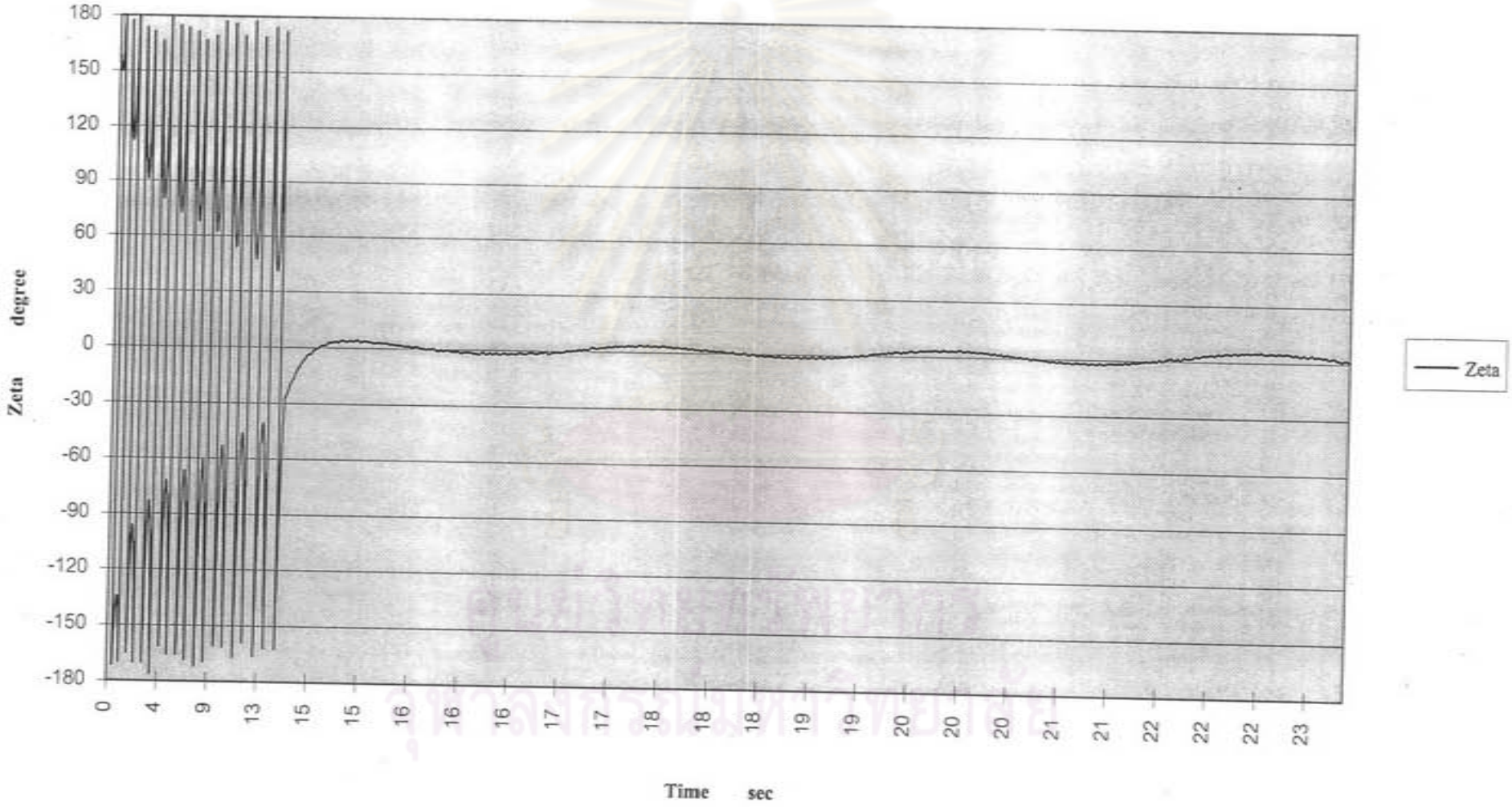
จากกราฟรูปที่ 7 และรูปที่ 8 นั้นจะเป็นรูปกราฟการเคลื่อนที่ของ $\dot{X}$ ซึ่งในช่วงแรกของกราฟจะเป็นศูนย์ เนื่องจากระบบควบคุมแบบฟัซซีตอนแรกจะไม่ได้วัดค่าของ $\dot{X}$ จึงทำให้ค่าที่ได้เป็นศูนย์ และเมื่อระบบเข้าสู่การควบคุมในช่วงหลังจึงเริ่มวัดค่า $\dot{X}$ เพื่อนำมาใช้ในการควบคุม โดยจะมีค่าสูงในช่วงแรกและจะค่อยๆลดค่าลงอย่างช้าๆ เพื่อเข้าสู่ศูนย์ โดยไม่ให้กระทบกระเทือนการควบคุมค่า θ มากนัก แต่ผลเนื่องจากค่า $\dot{\theta}$ เป็นหลัก ทำให้การเคลื่อนที่ของมุมองศาแกว่งแล้วส่งผลกระทบต่อ X และ $\dot{X}$ ทำให้การเคลื่อนที่ของ X และ $\dot{X}$ ไม่เข้าสู่ศูนย์และมีลักษณะแกว่งตัวตามไปด้วย เช่นในรูปกราฟที่ 7 และ 8 และเช่นเดียวกับค่า $\dot{\theta}$ ค่า $\dot{X}$ จะได้มาจากค่า X ที่นำมาดิฟเฟอร์เรนชิเอช ซึ่งค่าต่ำที่สุดของ $\dot{X}$ ที่วัดได้คือ = (0.1/800 m)/(0.004 sec) = 0.03125 m/sec ซึ่งค่าถัดไปก็จะเป็นจำนวนเท่าของ 0.03125 แต่ค่าที่ได้ถือว่ามีความละเอียดใช้ได้ ซึ่งไม่ส่งผลกระทบมากนัก

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Zeta in Hybrid Control Chart 1.



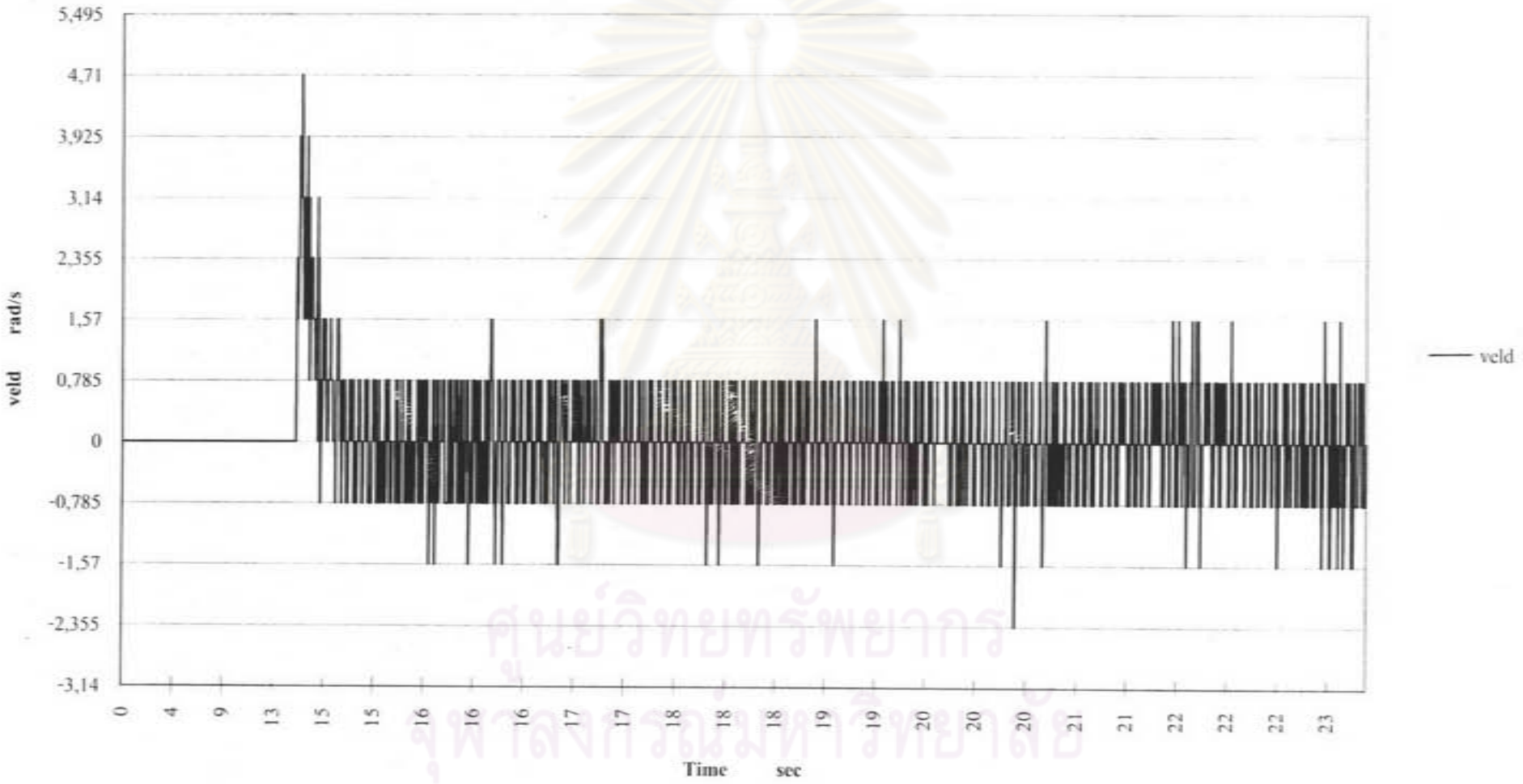
Zeta in Fuzzy Control Chart 2.



Velocity of Zeta in Hybrid Control Chart 3.

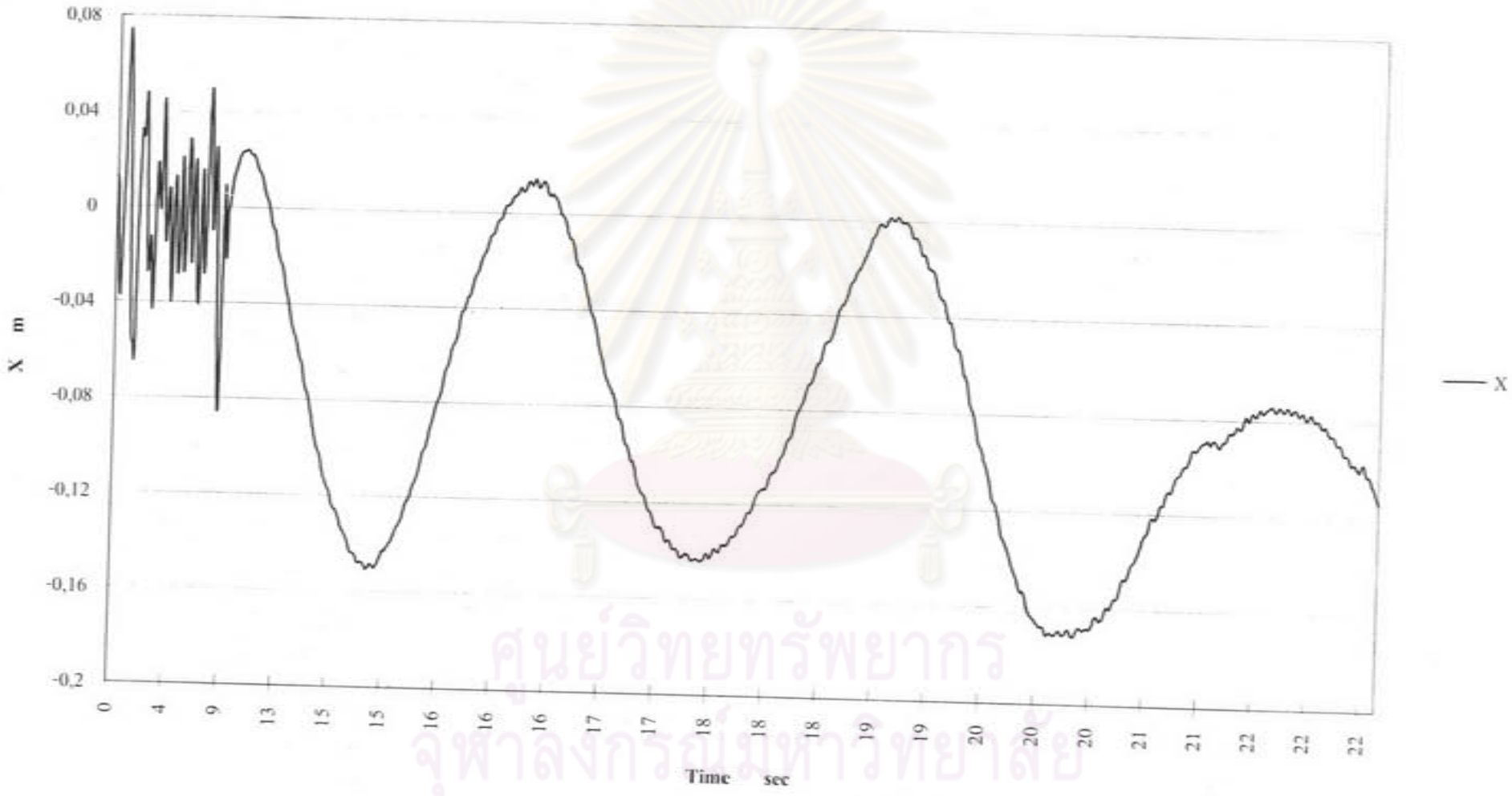
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Velocity of Zeta in Fuzzy Control Chart 4.



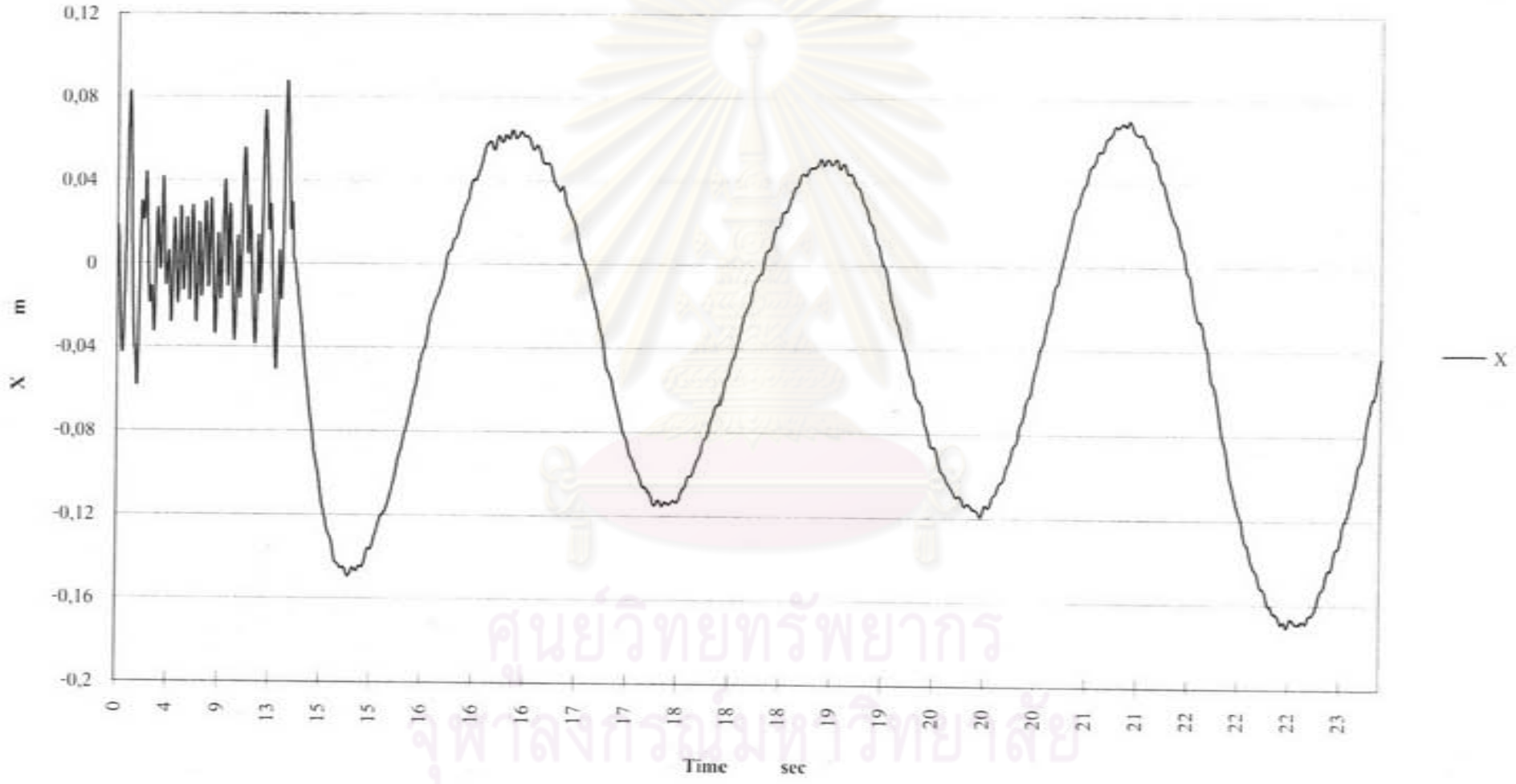
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

X in Hybrid Control Chart 5.



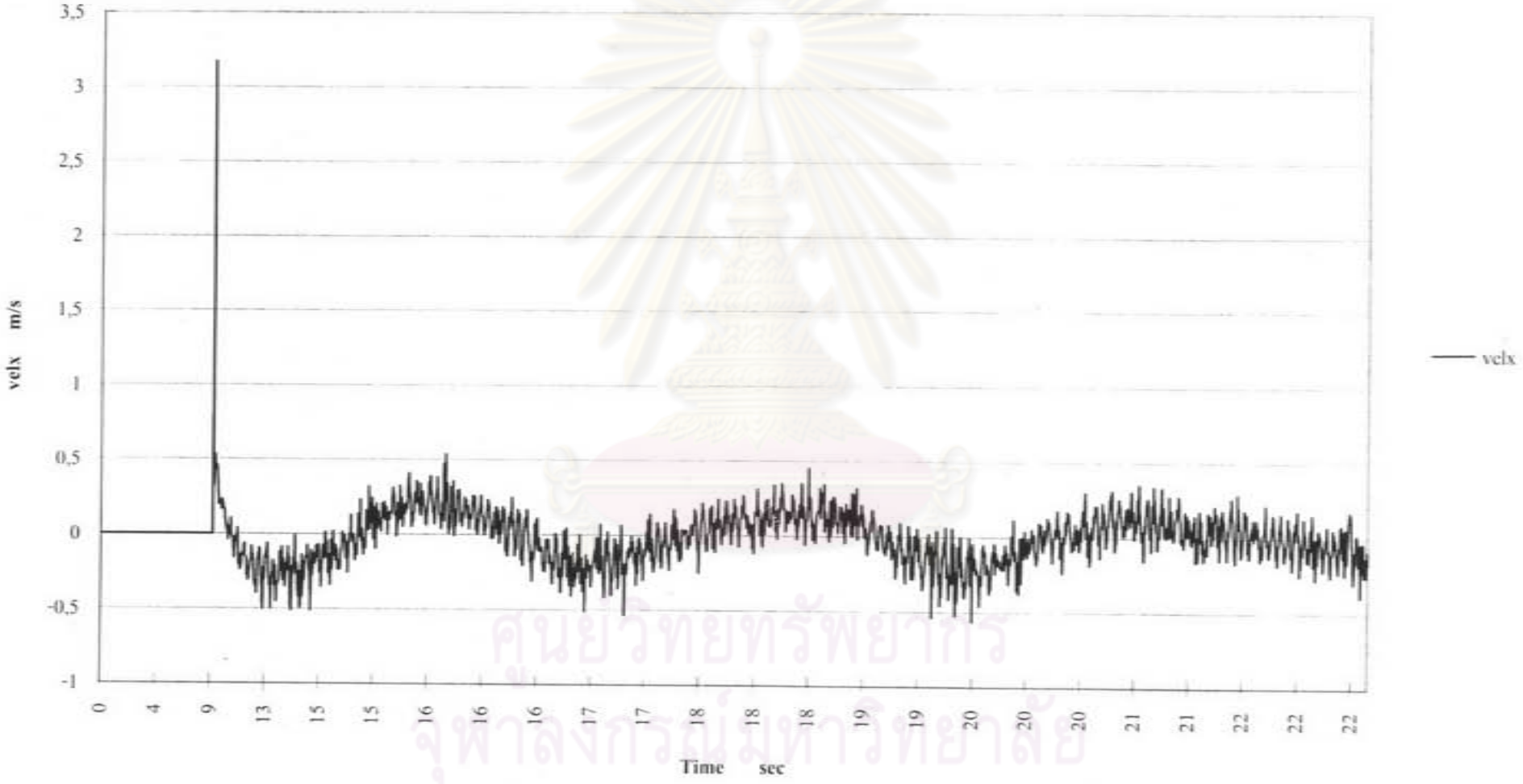
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

X in Fuzzy Control Chart 6.



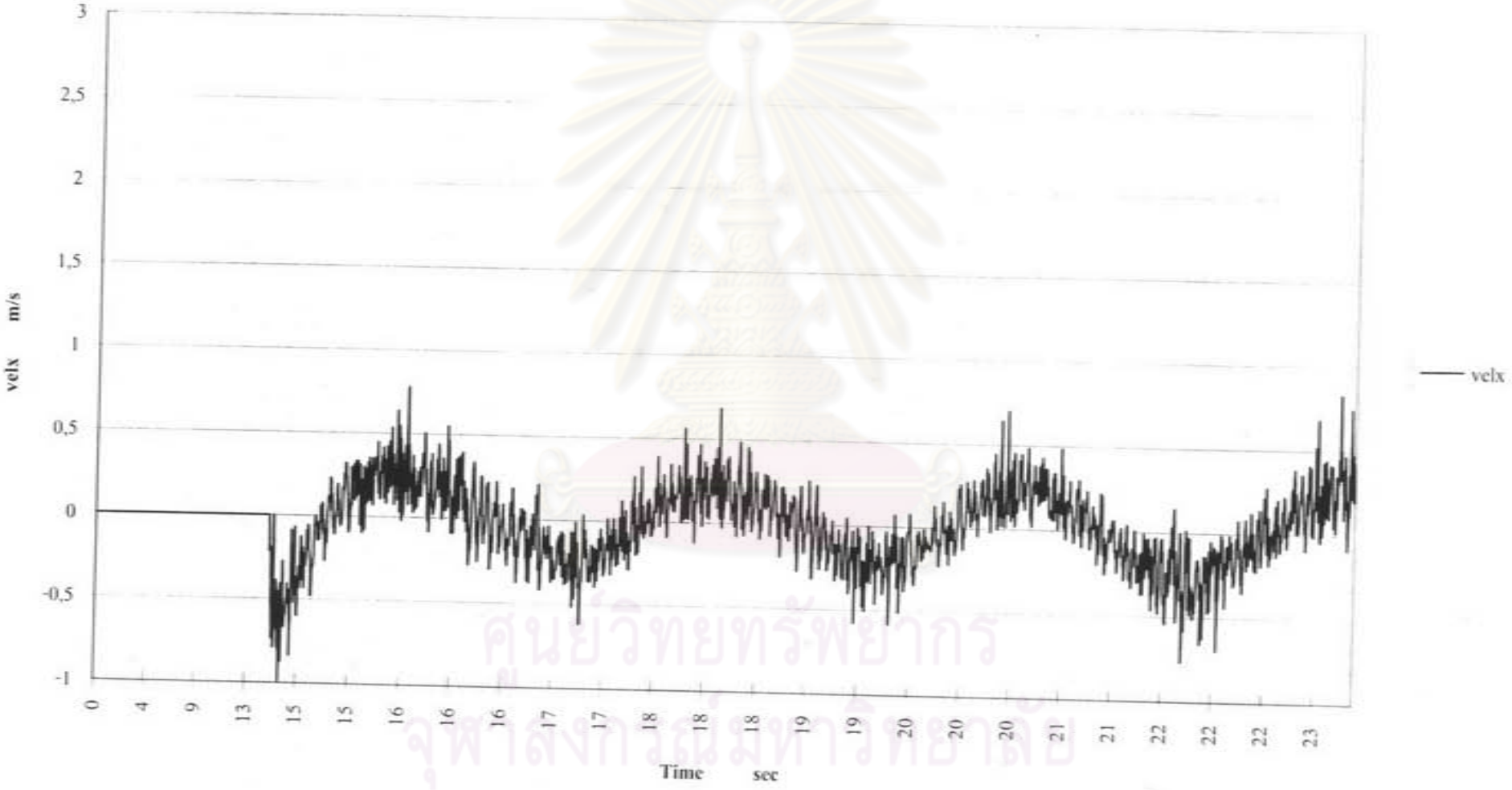
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Velocity of X in Hybrid Control Chart 7.



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Velocity of X in Fuzzy Control Chart 8.



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย