

บทที่ 5

การเปรียบเทียบสมรรถนะของการควบคุมแบบ PI และ FLC

5.1 กล่าวนำ

เพื่อเป็นการวัดคุณภาพและสมรรถนะของระบบขับเคลื่อนที่ควบคุมด้วยตัวควบคุมแบบพีไอ และควบคุมด้วยตัวควบคุมแบบฟัซซี่ลอจิก (FLC) ในบทนี้ได้ทำการเปรียบเทียบสมรรถนะการตอบสนองของระบบทั้งสองในโดเมนเวลา และเปรียบเทียบคุณภาพของกระแสอาร์เมเจอร์ที่เปลี่ยนแปลงต่อคำสั่งความเร็วอ้างอิงแบบขั้น ค่าที่นำมาวาดรูปกราฟต่างๆเป็นค่าเฉลี่ยที่คำนวณหลังจากวงจรสับไฟฟ้าทำงานครบ 1 คาบเวลา ผลการจำลองการทำงานของระบบขับเคลื่อนที่ควบคุมด้วยตัวควบคุมแบบพีไอ จะประกอบด้วย 2 ส่วนคือส่วนแรกเป็นผลการทำงานของโปรแกรมที่ใช้ค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมแบบพีไอ ที่ได้จากการออกแบบตามวิธีเหมาะสมที่สุดแบบสมมาตร ซึ่งใช้สัญลักษณ์ (PI1) หลังคำอธิบายรูป ในส่วนที่สองเป็นผลการทำงานของโปรแกรมที่ใช้ค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมแบบพีไอ ที่ได้จากการเลือกค่าที่ให้ผลตอบสนองที่ดีที่สุด วิธีการหาค่านี้นี้เริ่มจากการหาค่าพารามิเตอร์ตามวิธีเหมาะสมที่สุดแบบสมมาตร แล้วทดลองเปลี่ยนค่าให้มากกว่าหรือน้อยกว่าค่าที่ได้จากวิธีการนี้ แล้วดูผลการตอบสนองด้านความเร็วของมอเตอร์ว่าค่าใดให้ผลการตอบสนองที่ดีที่สุดซึ่งผลที่ได้จากวิธีนี้จะให้สมรรถนะการควบคุมที่ดีกว่าวิธีเหมาะสมที่สุดแบบสมมาตร โดยใช้สัญลักษณ์ (PI2) หลังคำอธิบายรูป รูปกราฟต่างๆที่แสดงในบทนี้แสดงแบบสองคอลัมน์ซึ่งถ้าต้องการดูรูปที่ใหญ่ขึ้นสามารถย้อนกลับไปได้ในบทที่ 3 หัวข้อที่ 3.4 สำหรับการควบคุมแบบ PI และในบทที่ 4 หัวข้อที่ 4.6 สำหรับการควบคุมแบบ FLC

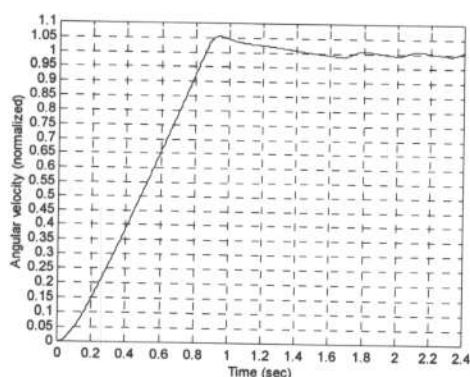
5.2 การเปรียบเทียบสมรรถนะการตอบสนองในโดเมนเวลา

ในการเปรียบเทียบสมรรถนะของระบบควบคุมในโดเมนเวลา ข้อกำหนดโดยทั่วไปได้แก่ ช่วงเวลาขึ้น (t_r) ช่วงเวลาเข้าที่ (t_s) และค่าเปอร์เซ็นต์สูงสุดการพุ่งเกิน (การหาค่าต่างๆเหล่านี้แสดงในไว้ในบทที่ 3 รูปที่ 3.25) โดยปกติมาตรฐานการวัดสมรรถนะของระบบจะกำหนดในเทอมของการตอบสนองต่อคำสั่งสเตปหนึ่งหน่วย ความรวดเร็วในการตอบสนองของระบบดูได้จากช่วงเวลาขึ้น คือเวลาที่ระบบใช้ในการตอบสนองขึ้นจาก 0 ถึง 100 % เป็นครั้งแรกเมื่อระบบให้การตอบสนองแบบหนึ่งต่ำกว่าวิกฤต การหาช่วงเวลาเข้าที่ (t_s) ในที่นี้เริ่มจากเวลาเท่ากับศูนย์จน

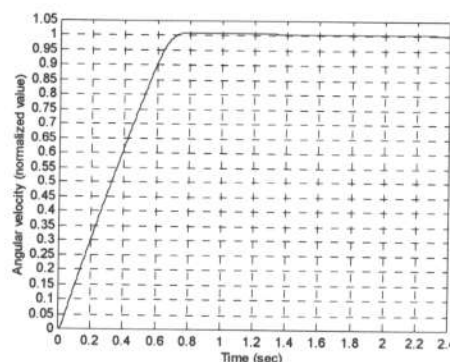
กระทั่งเวลาที่ระบบเริ่มตอบสนองอยู่ภายในย่านที่ยอมรับได้คือ การตอบสนองอยู่ภายใน $\pm 2\%$ ของค่าสเตปหนึ่งหน่วย การหาค่าเปอร์เซ็นต์สูงสุดการพุ่งเกินหาได้จากสูตร

$$\text{ค่าเปอร์เซ็นต์สูงสุดการพุ่งเกิน} = \frac{c(t_p) - c(\infty)}{c(\infty)} \times 100\%$$

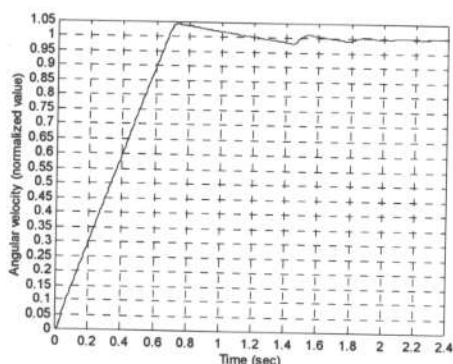
ในรูปที่ 5.1, รูปที่ 5.2 และรูปที่ 5.3 เป็นผลการตอบสนองต่อคำสั่งความเร็วอ้างอิงแบบขั้น ที่ถูกนอร์มัลไลซ์ ด้วยค่าความเร็ว 100 เรเดียน/วินาที ของระบบควบคุมแบบ PI1 PI2 และ FLC ตามลำดับ การทำงานของระบบควบคุมทั้งสองมอเตอร์เริ่มทำงานในสภาวะไร้โหลดจากรูปทั้งสาม สามารถหาค่าคุณภาพของการตอบสนองช่วงเวลาขึ้น ช่วงเวลาเข้าที่ เปอร์เซนต์สูงสุดการพุ่งเกินได้ ดังแสดงในตารางที่ 5.1 การหาค่าต่างๆเหล่านี้ใช้คำสั่ง MATLAB ในการขยายรูปภาพให้มีความละเอียดสูงและดูจากไฟล์ข้อมูล จากค่าที่หาได้พบว่าระบบที่ถูกควบคุมโดย FLC สามารถตอบสนองต่อคำสั่งความเร็วอ้างอิงได้ดีมากคือมีเปอร์เซ็นต์การพุ่งเกินของความเร็วเพียงเล็กน้อย และการเพิ่มขึ้นของความเร็วเข้าสู่ค่าความเร็วคงตัว (t_r) ใช้เวลาน้อยกว่าการควบคุมด้วย PI



รูปที่ 5.1 ผลการตอบสนองด้านความเร็วของมอเตอร์ต่อคำสั่งความเร็วอ้างอิงแบบขั้น (PI1)



รูปที่ 5.3 ผลการตอบสนองด้านความเร็วของมอเตอร์ต่อคำสั่งความเร็วอ้างอิงแบบขั้น (FLC)

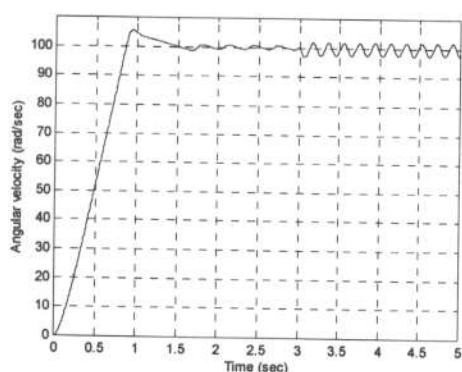


รูปที่ 5.2 ผลการตอบสนองด้านความเร็วของมอเตอร์ต่อคำสั่งความเร็วอ้างอิงแบบขั้น (PI2)

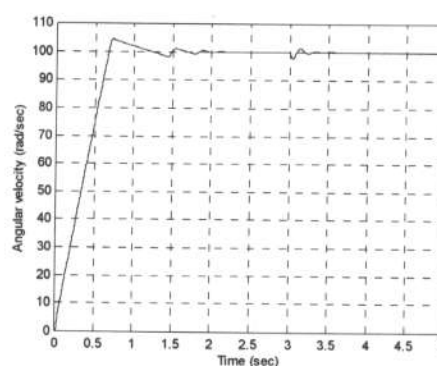
ตารางที่ 5.1 การเปรียบเทียบสมรรถนะของระบบที่ควบคุมด้วยตัวควบคุมแบบพีไอ และระบบที่ควบคุมด้วยตัวควบคุมแบบฟัซซี่ลอจิก

	Performance Comparison of Fuzzy and PI Controlled Drive System		
	Rise time: t_r (sec)	Settling time: t_s (sec)	Maximum percent overshoot
PI1	0.861	1.25	5.52 %
PI2	0.676	0.99	4.45 %
FLC	0.721	0.68	1.52 %

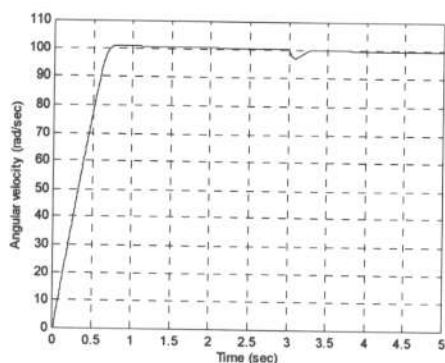
รูปที่ 5.4, รูปที่ 5.5 และรูปที่ 5.6 แสดงผลการตอบสนองด้านความเร็วมอเตอร์ต่อคำสั่งความเร็วอ้างอิง แบบขั้นและการป้อนโหลด T_L ที่เวลา 3 วินาที ของระบบที่ควบคุมโดย PI1 PI2 และ FLC ตามลำดับ รูปทั้งสามรูปมอเตอร์เริ่มทำงานในสภาวะไร้โหลด และที่เวลา 3 วินาที ป้อนโหลด $T_L = 9$ นิวตัน-เมตร ถ้าเปรียบเทียบผลการตอบสนองของระบบที่เกิดจากการรบกวนจากโหลด (load disturbance) จากรูปกราฟทั้งสามรูป ที่เวลา 3 วินาที ป้อนโหลดให้กับระบบที่ควบคุมโดย PI1, PI2 และ FLC ความเร็วของมอเตอร์กลับเข้าสู่ค่าเดิมได้เร็วใกล้เคียงกันคือใช้เวลาประมาณ 0.25 วินาที แต่รูปที่ 5.4 ความเร็วของมอเตอร์จะมีการออสซิลเลตแบบดำรงตัว (sustained oscillation) คงที่ไปเรื่อยๆ



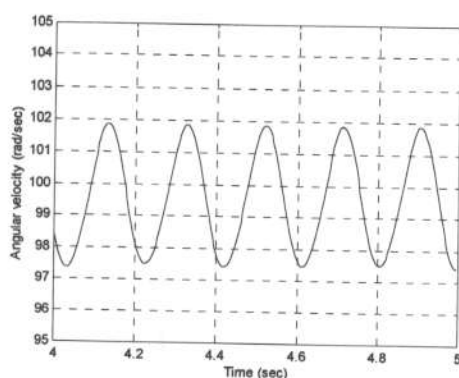
รูปที่ 5.4 ผลการตอบสนองด้านความเร็วของมอเตอร์ต่อคำสั่งความเร็วอ้างอิงแบบขั้น และการป้อนโหลด ที่เวลา 3 วินาที (PI1)



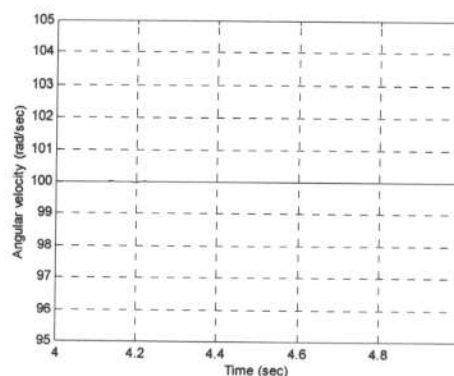
รูปที่ 5.5 ผลการตอบสนองด้านความเร็วของมอเตอร์ต่อคำสั่งความเร็วอ้างอิงแบบขั้น และการป้อนโหลด ที่เวลา 3 วินาที (PI2)



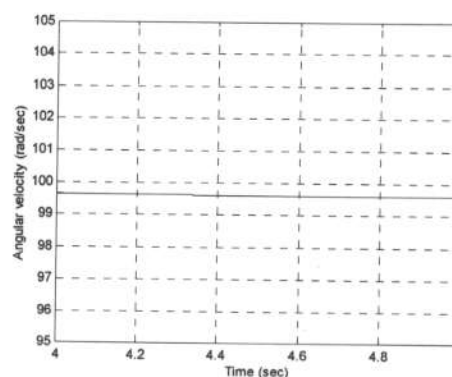
รูปที่ 5.6 ผลการตอบสนองด้านความเร็วของมอเตอร์ต่อคำสั่งความเร็วอ้างอิงแบบขั้น และการป้อนโหลด ที่เวลา 3 วินาที (FLC)



รูปที่ 5.7 ผลการตอบสนองด้านความเร็วในสถานะคงตัว (PI1)



รูปที่ 5.8 ผลการตอบสนองด้านความเร็วในสถานะคงตัว (PI2)

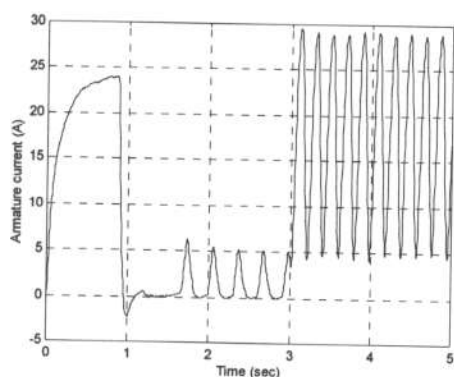


รูปที่ 5.9 ผลการตอบสนองด้านความเร็วในสถานะคงตัว (FLC)

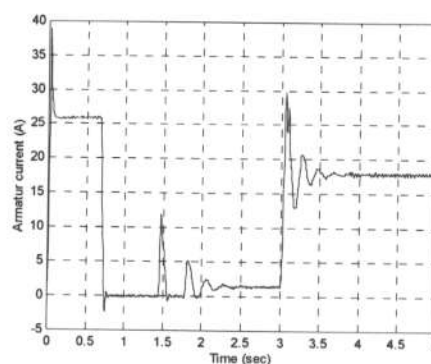
รูปที่ 5.7 รูปที่ 5.8 และรูปที่ 5.9 เป็นการขยายรูปกราฟในช่วงเวลา 4-5 วินาที ของรูปที่ 5-7 ให้เห็นรูปกราฟที่ชัดเจนยิ่งขึ้น จากกราฟในรูปที่ 5.7 สังเกตพบว่าความเร็วในสถานะคงตัวออกสวิตเลตแบบดำรงตัวอยู่ที่ค่าประมาณ 97.5 - 102 เรเดียน/วินาที เมื่อสังเกตกราฟในรูปที่ 5.8 ความเร็วในสถานะคงตัวมีค่าการออกสวิตเลตแบบดำรงตัวน้อยมาก และในรูปที่ 5.9 ความเร็วในสถานะคงตัวมีค่าคงที่เท่ากับ 99.4 เรเดียน/วินาที จากผลการเปรียบเทียบการตอบสนองด้านความเร็วมอเตอร์ของระบบที่ควบคุมโดย PI1 PI2 และ FLC สรุปได้ว่าถ้าการเลือกค่าพารามิเตอร์ของ PI ที่ยังไม่เหมาะสมจะทำให้ระบบเกิดออกสวิตเลตแบบดำรงตัว ดังแสดงในรูปที่ 5.7

5.3 การเปรียบเทียบคุณภาพของกระแสอาร์เมเจอร์

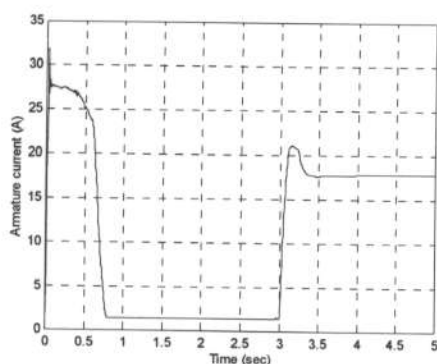
คุณภาพของกระแสเป็นปัจจัยหนึ่งที่สามารถบ่งบอกถึงสมรรถนะของระบบขับเคลื่อน ความสัมพันธ์ของกระแสอาร์เมเจอร์จะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับแรงบิดที่มอเตอร์สร้างขึ้น ถ้าการเปลี่ยนแปลงของกระแสมีค่าที่ราบเรียบ จะทำให้ระบบที่ถูกควบคุมมีการสั่นสะเทือนน้อย ในทางกลับกันถ้าการเปลี่ยนแปลงของกระแสมีลักษณะที่กระชาก (inrush current) หรือการเปลี่ยนแปลงที่รวดเร็วเกินไป จะทำให้ระบบขับเคลื่อนทำงานไม่ราบเรียบ หรือเกิดการกระตุกเป็นช่วงๆ รูปที่ 5.10 , รูปที่ 5.11 และรูปที่ 5.12 แสดงการเปลี่ยนแปลงของกระแสอาร์เมเจอร์ต่อคำสั่งความเร็วอ้างอิงแบบขั้น และการป้อนโหลด $T_L = 9$ นิวตัน-เมตร ที่เวลา 3 วินาที ของระบบที่ถูกควบคุมด้วย PI1 PI2 และ FLC ตามลำดับ ถ้าสังเกตรูปที่ 11 เปรียบเทียบกับรูปที่ 12 พบว่าในช่วงเริ่มทำงานกระแสอาร์เมเจอร์ของมอเตอร์ที่ควบคุมโดย PI2 มีค่าสูงสุดที่ประมาณ 38 แอมแปร์ ส่วนระบบที่ควบคุมโดย FLC มีค่าสูงสุดที่ประมาณ 32 แอมแปร์ ดังนั้นในการออกแบบวงจรสับไฟฟ้าเพื่อให้ไทรสเตอร์ หรือ SCR ทนต่อกระแสสูงสุดได้สำหรับการควบคุมโดย FLC ย่อมมีค่าใช้จ่ายที่ต่ำกว่า เพราะไทรสเตอร์ที่พิกัดกระแสสูงๆจะมีราคาแพงมากขึ้น ถ้าพิจารณากำลังสูญเสียโดยเฉลี่ยของระบบต่อการเปลี่ยนแปลงของกระแสอาร์เมเจอร์ซึ่งอาจคำนวณได้จาก $I_a^2 R_a$ ซึ่งจะเห็นได้ว่าการควบคุมด้วย FLC จะช่วยลดกำลังสูญเสียได้ดีกว่าการควบคุมแบบ PI



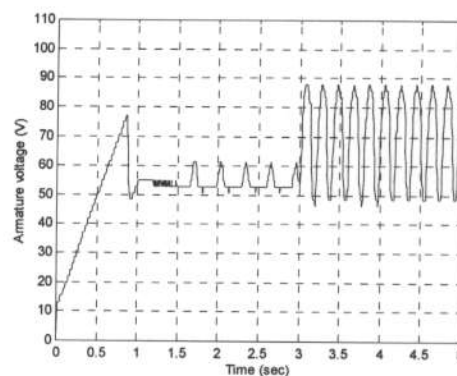
รูปที่ 5.10 การเปลี่ยนแปลงของกระแสอาร์เมเจอร์ต่อคำสั่งความเร็วอ้างอิงแบบขั้น และการป้อนโหลด ที่เวลา 3 วินาที (PI1)



รูปที่ 5.11 การเปลี่ยนแปลงของกระแสอาร์เมเจอร์ต่อคำสั่งความเร็วอ้างอิงแบบขั้น และการป้อนโหลด ที่เวลา 3 วินาที (PI2)

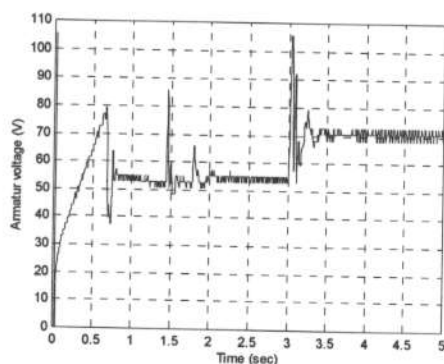


รูปที่ 5.12 การเปลี่ยนแปลงของกระแส
อาร์เมเจอร์ต่อคำสั่งความเร็วอ้างอิง
แบบขั้น และการป้อนโหลด ที่เวลา
3 วินาที (FLC)

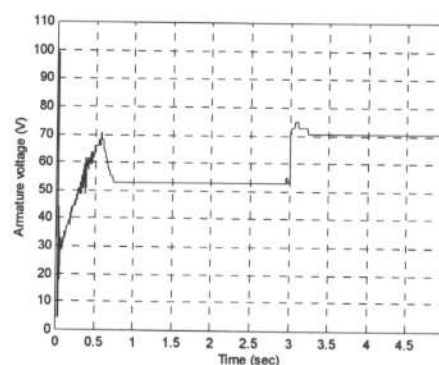


รูปที่ 5.13 การเปลี่ยนแปลงของแรงดันที่ป้อน
ให้กับมอเตอร์ต่อคำสั่งความเร็วอ้างอิง
แบบขั้นและการป้อนโหลด
ที่เวลา 3 วินาที

การลดกำลังสูญเสียจะช่วยลดค่าใช้จ่ายในด้านการประหยัดพลังงานไฟฟ้า (Dubey, 1993) ถ้าสมมุติว่าระบบที่ถูกควบคุมเป็นยานยนต์ที่ใช้แบตเตอรี่การลดกำลังสูญเสียจะช่วยให้การใช้แบตเตอรี่ให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น ซึ่งหมายถึงการเพิ่มระยะทางการวิ่งของรถได้มากขึ้นก่อนที่จะนำแบตเตอรี่ไปอัดประจุใหม่อีกครั้งหนึ่ง รูปที่ 5.13 รูปที่ 5.14 และรูปที่ 5.15 แสดงการเปรียบเทียบแรงดันเฉลี่ยที่ป้อนให้กับมอเตอร์ ซึ่งมอเตอร์เริ่มทำงานในสภาวะไร้โหลด และในเวลา 3 วินาที ป้อนโหลด $T_L = 9$ นิวตัน-เมตร ของระบบที่ถูกควบคุมด้วย PI1 PI2 และ FLC ตามลำดับ ถ้าสังเกตจะพบว่าการควบคุมโดย PI แรงดันเฉลี่ยที่ป้อนให้กับมอเตอร์จะมีการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา ส่วนระบบที่ควบคุมโดย FLC แรงดันจะคงที่หลังจากผ่านช่วงการตอบสนองในสภาวะชั่วคราว



รูปที่ 5.14 การเปลี่ยนแปลงของแรงดันที่ป้อน
ให้กับมอเตอร์ต่อคำสั่งความเร็วอ้างอิงแบบขั้น
และการป้อนโหลดที่เวลา 3 วินาที (PI2)



รูปที่ 5.15 การเปลี่ยนแปลงของแรงดันที่ป้อน
ให้กับมอเตอร์ต่อคำสั่งความเร็วอ้างอิงแบบขั้น
และการป้อนโหลดที่เวลา 3 วินาที (FLC)

5.4 สรุป

บทนี้ได้ทำการเปรียบเทียบสมรรถนะของระบบขับเคลื่อนที่ควบคุมด้วยตัวควบคุมแบบพีไอ และตัวควบคุมแบบฟuzzyลอจิก พบว่าการควบคุมด้วยตัวควบคุมแบบฟuzzyลอจิกให้ผลการตอบสนองด้านความเร็วเป็นที่น่าพึงพอใจเป็นอย่างยิ่ง และให้ผลการเปลี่ยนแปลงกระแสอาร์เมเจอร์และการเปลี่ยนแปลงของแรงดันที่ป้อนให้กับมอเตอร์มีค่าการเปลี่ยนแปลงที่ราบเรียบดีกว่าการควบคุมด้วยตัวควบคุมแบบพีไอ