

2102331: การทดลองระบบควบคุมป้อนกลับ
ห้องปฏิบัติการพื้นฐานระบบควบคุม
ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

การทดลอง CS03: การควบคุมความเร็วมอเตอร์กระแสตรง

วัตถุประสงค์

ศึกษาเปรียบเทียบผลตอบสนองในสถานะอยู่ตัว (steady-state response) และผลตอบสนองสถานะชั่วคราว (transient response) ของระบบควบคุมความเร็วแบบวงเปิด และวงปิด

1 บทนำ

ระบบควบคุมความเร็วที่ใช้ในการทดลองนี้ มีแผนภาพกรอบดังรูป 1 ในระบบนี้ใช้เพียงสัญญาณคลาดเคลื่อน เพื่อควบคุมระบบเท่านั้น

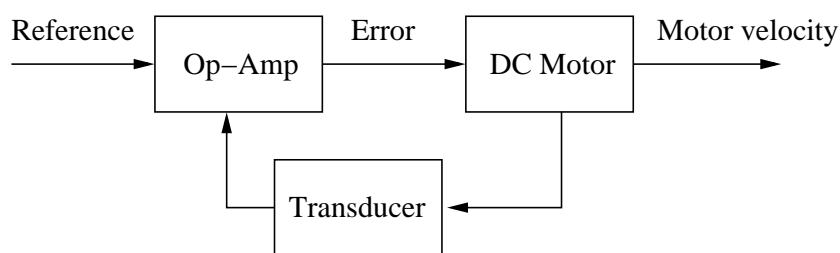


Figure 1: แผนภาพกรอบระบบควบคุมความเร็ว

ออปแอมป์ (operational amplifier) ทำหน้าที่เปรียบเทียบสัญญาณเข้ากับสัญญาณออก ที่ป้อนกลับผ่านทรานส์ดิวเซอร์ ได้ผลลัพธ์เป็นสัญญาณคลาดเคลื่อน (error signal) นอกจากนี้ ออปแอมป์ทำหน้าที่ขยายสัญญาณคลาดเคลื่อนนี้ส่งต่อให้มอเตอร์ วงจรออปแอมป์ที่ใช้แสดงดังรูป 2

จากรูป 2(a) ความสัมพันธ์ของสัญญาณเข้าและสัญญาณออกคือ

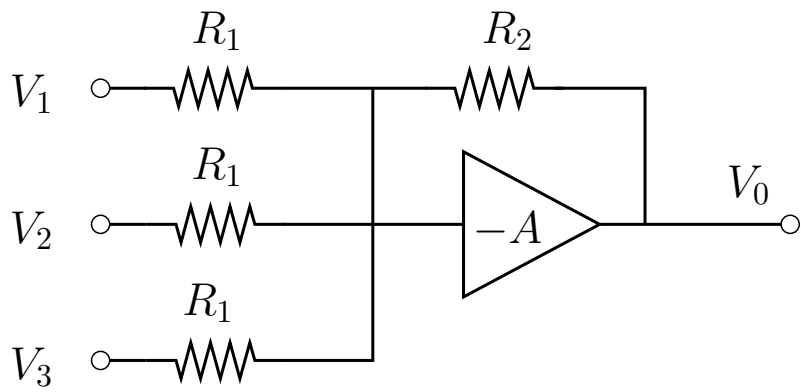
$$V_0 = -\frac{R_2}{R_1}(V_1 + V_2 + V_3)$$

ในกรณีที่ต้องการเปลี่ยนค่าอัตราขยายมักใช้วงจรรูป 2(b) ซึ่งมีความสัมพันธ์คือ

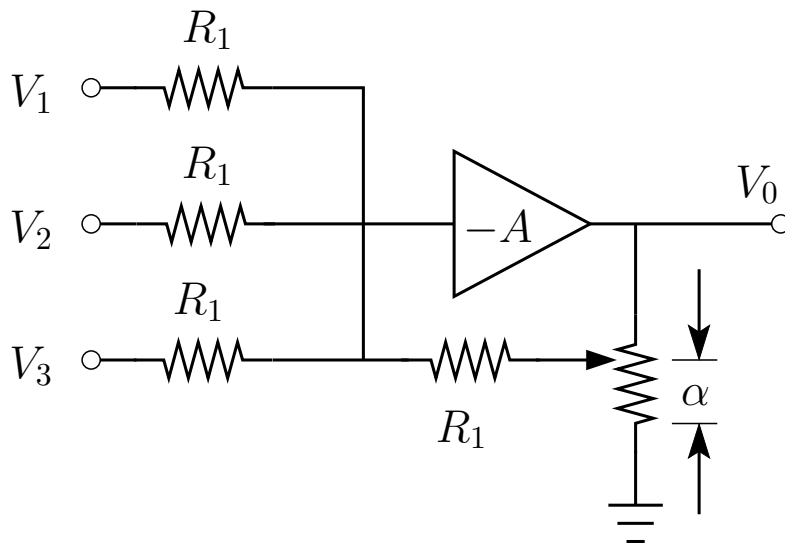
$$V_0 = -\frac{1}{\alpha}(V_1 + V_2 + V_3)$$

โดยที่ α คือเศษส่วนของโพเทนซิโอมิเตอร์ (potentiometer) จากตำแหน่งเข็มเลื่อนถึงกราวด์ หากต่อตัวเก็บประจุขนานกับตัวต้านทานป้อนกลับดังรูป 2(c) เมื่อใส่สัญญาณเข้าเป็นสัญญาณขั้นหนึ่งหน่วย (unit step) จะได้

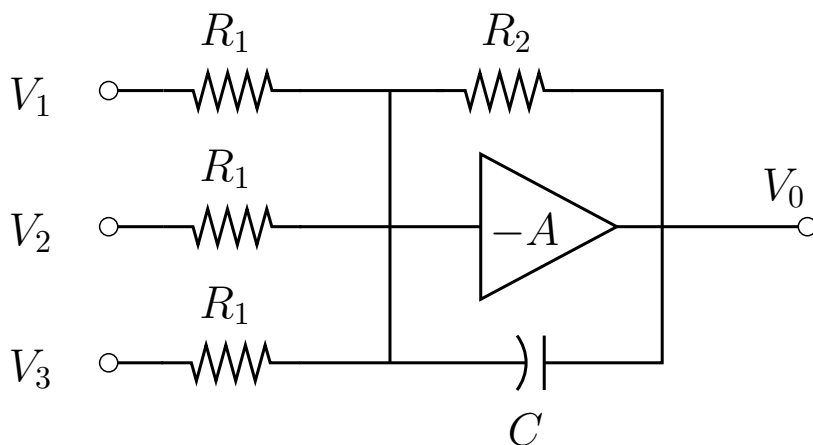
$$V_0 = -\frac{R_2}{R_1}(1 - e^{-t/R_2C})(V_1 + V_2 + V_3)$$



(a) วงจรออปแอมป์ $V_0 = -\frac{R_2}{R_1}(V_1 + V_2 + V_3)$



(b) วงจรออปแอมป์ $V_0 = -\frac{1}{\alpha}(V_1 + V_2 + V_3)$



(c) วงจรออปแอมป์ $V_0 = -\frac{R_2}{R_1}(1 - e^{-t/R_2C})(V_1 + V_2 + V_3)$

Figure 2: วงจรออปแอมป์ 3 แบบ

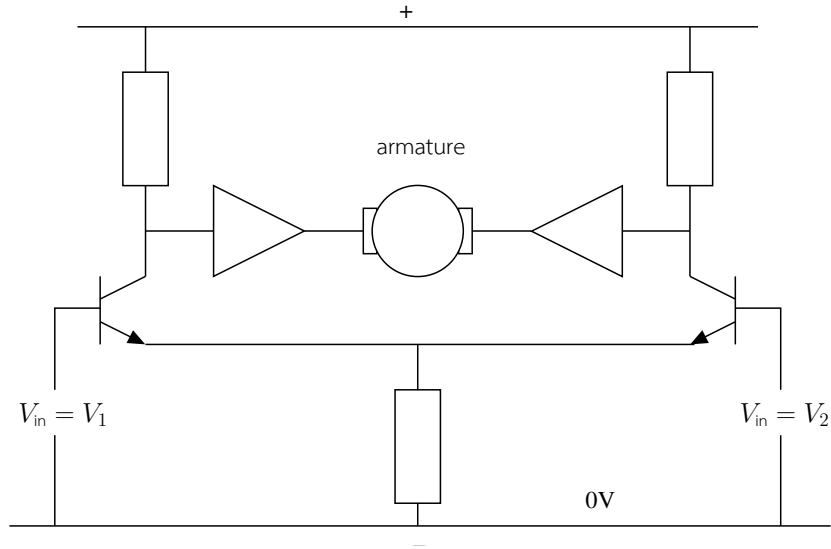


Figure 3: การต่อมอเตอร์แบบ armature

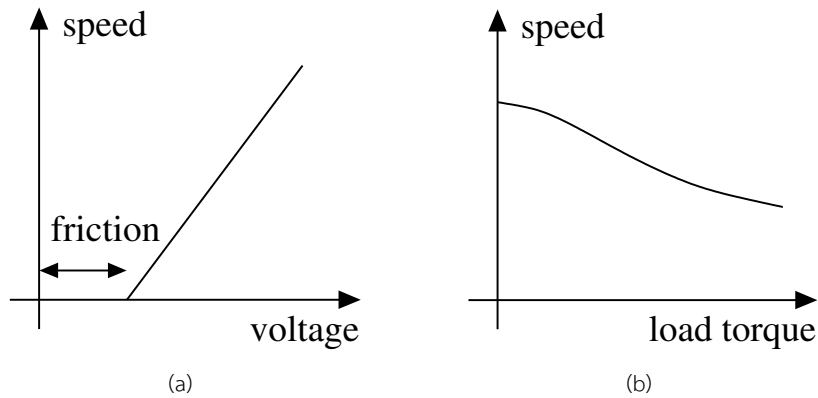


Figure 4: ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วกับแรงดัน และความเร็วกับแรงบิดโหลด

มอเตอร์ และวงจรรขยายเซอร์โว ชุดทดลองมอเตอร์นี้เป็นแบบแม่เหล็กถาวร และมีขดลวดอาร์เมเจอร์เดี่ยวหนึ่งชุด ดังแสดงในรูป 3 กระแสที่ไหลผ่านขดลวดอาร์เมเจอร์จะถูกควบคุมผ่านวงจรรขยายกำลัง เพื่อให้มอเตอร์สามารถหมุนได้สองทิศทาง โดยเมื่อใส่แรงดันบวกเข้าที่ V_1 มอเตอร์หมุนทิศทางหนึ่ง และเมื่อใส่แรงดันบวกที่ V_2 มอเตอร์จะหมุนอีกทิศทางหนึ่ง ในการทดลอง สัญญาณควบคุมจะถูกส่งมาจากชุด Pre-Amplifier Unit PA150C ซึ่งต่อกับสัญญาณเข้า 1 และ 2 บนชุด SA150D

เมื่อมอเตอร์มีความเร็วเพิ่มขึ้น ตัวอาร์เมเจอร์จะกำเนิดแรงดันย้อนกลับ (back-emf) V_a ให้มีค่าเพิ่มขึ้น ซึ่งแรงดันนี้จะมีทิศตรงข้ามกับแรงดันสัญญาณขาเข้า ดังนั้นกระแสในวงจรรอาร์เมเจอร์ จะประมาณได้คร่าวๆ ว่า แปรผผัน โดยตรงกับ $V_{in} - V_a$ ถ้าความเร็วมอเตอร์ลดลง (เนื่องจากโหลดมากขึ้น) จะได้ว่า V_a ก็จะลดลงด้วย ทำให้กระแสมีค่าเพิ่มขึ้น และแรงบิดของมอเตอร์ ก็มีค่าเพิ่มตาม ดังแสดงในรูป 4

แทคโคเจนเนอเรเตอร์ (tachogenerator) คือทรานส์ดิวเซอร์ที่เปลี่ยนสัญญาณความเร็วเป็นสัญญาณไฟฟ้าด้วยอัตราคงที่ (หน่วยเป็น โวลต์/rpm) อัตราคงที่นี้หาได้จากการวัดแรงดันและความเร็วของมอเตอร์ แทคโคเจนเนอเรเตอร์ ที่ใช้ในการทดลองนี้มีอัตราคงที่เท่ากับ 2.5 V/1000 rpm

อุปกรณ์การทดลอง

1. ชุด Modular Servo MS150

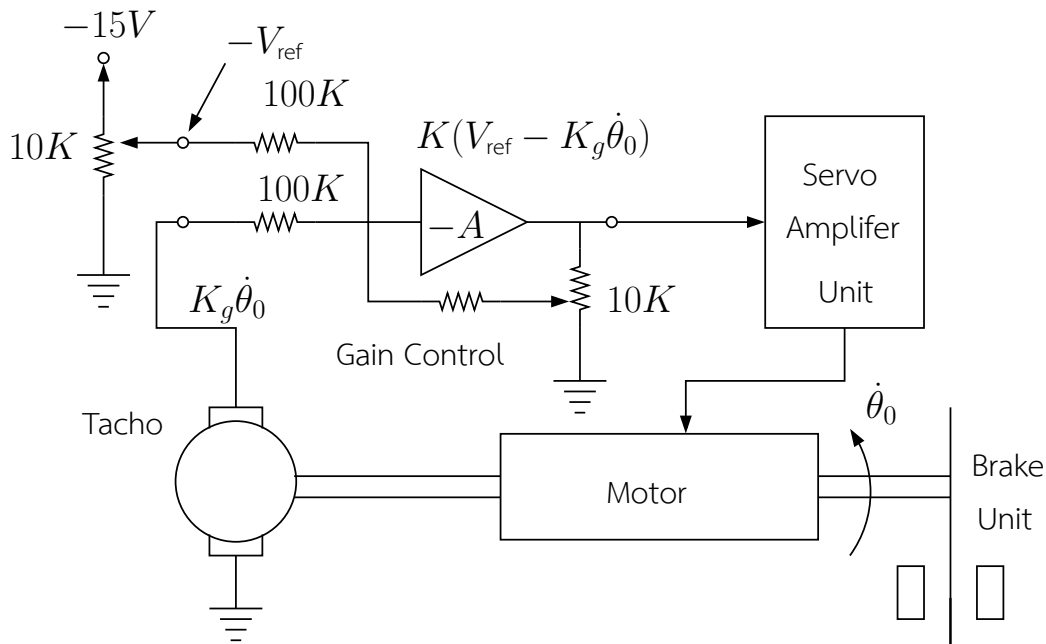


Figure 5: ระบบควบคุมความเร็ว

2. เครื่องกำเนิดสัญญาณ
3. โวลต์มิเตอร์
4. คอมพิวเตอร์พร้อม A/D card สำหรับบันทึกสัญญาณ

2 วิธีทดลอง

ในชุดการทดลองนี้ พบว่าถ้าปรับแรงดันที่เข้าวงจรเซอร์โวเพิ่มให้มากขึ้นเรื่อยๆ จนถึงจุดๆ หนึ่ง ความเร็วของมอเตอร์จะไม่เพิ่มขึ้นอีก ซึ่งอยู่ที่ค่าประมาณ 2650 RPM และค่านี้เทียบได้กับสัญญาณแรงดันประมาณ 6.8 โวลต์ที่แทคโคมิเตอร์ โดยค่าสัญญาณเข้าที่ทำให้เกิดความเร็วกว่าที่ค่านี้อยู่ที่ประมาณ 2 โวลต์ ดังนั้นในการทดลอง ให้สังเกตด้วยว่าค่าสัญญาณเข้าอาจจะมีค่ามากเกินไป จนทำให้ระบบเกิดการอ้อมตัวหรือไม่

การทดลอง 1 ผลตอบในสถานะอยู่ตัว

ในการทดลองนี้เราจะใช้สัญญาณเข้าเป็นจากการแบ่งแรงดันไฟตรงจากแหล่งจ่ายไฟ แล้ววัดค่าสัญญาณออก (คือความเร็ว) เมื่อแปรค่าโหลด ณ ค่าต่างๆ ออปแอมป์ OA150A จะทำหน้าที่เป็นตัวเปรียบเทียบสัญญาณเข้ากับสัญญาณความเร็ว AU150B เป็นอุปกรณ์เพื่อใช้ในการแบ่งแรงดัน GT150X เป็นแทคโคมิเตอร์ที่ใช้วัดความเร็วซึ่งแสดงผลได้ทั้งค่า RPM หรือค่าในรูปแบบของสัญญาณแรงดัน

1. ศึกษาการทำงานของส่วนต่างๆ ของระบบควบคุมความเร็วที่ในรูป 5 จากนั้นต้องจงตามรูป 6
2. ปรับปุ่มเลือกการป้อนกลับ (feedback selector switch) บนออปแอมป์ OA150A ไปที่ External เพื่อปรับอัตราขยายออปแอมป์ การต่อวงจรดังกล่าวคือการต่อสัญญาณป้อนกลับจากออปแอมป์ ให้เข้ามาที่สัญญาณเข้าขาหนึ่งของออปแอมป์ เพื่อให้มีการปรับอัตราขยายของตัวออปแอมป์ได้ ดังรูปแบบที่ 2(b) นั่นคืออัตราขยายของออปแอมป์ จะเป็นส่วนกลับกับอัตราขยายในการแบ่งแรงดันสัญญาณออกจากออปแอมป์
3. ตั้งอัตราขยายของ OA150A ให้เท่ากับ 5 โดยปรับปุ่มความต้านทานปรับค่าได้ (attenuator) AU150B ไปที่เลข 2¹

¹ทำไมการตั้งอัตราขยายวงจรป้อนกลับเป็น 5 จึงต้องปรับปุ่มของ AU150B ไปที่เลข 2 แทนที่จะปรับไปที่เลข 5 ?

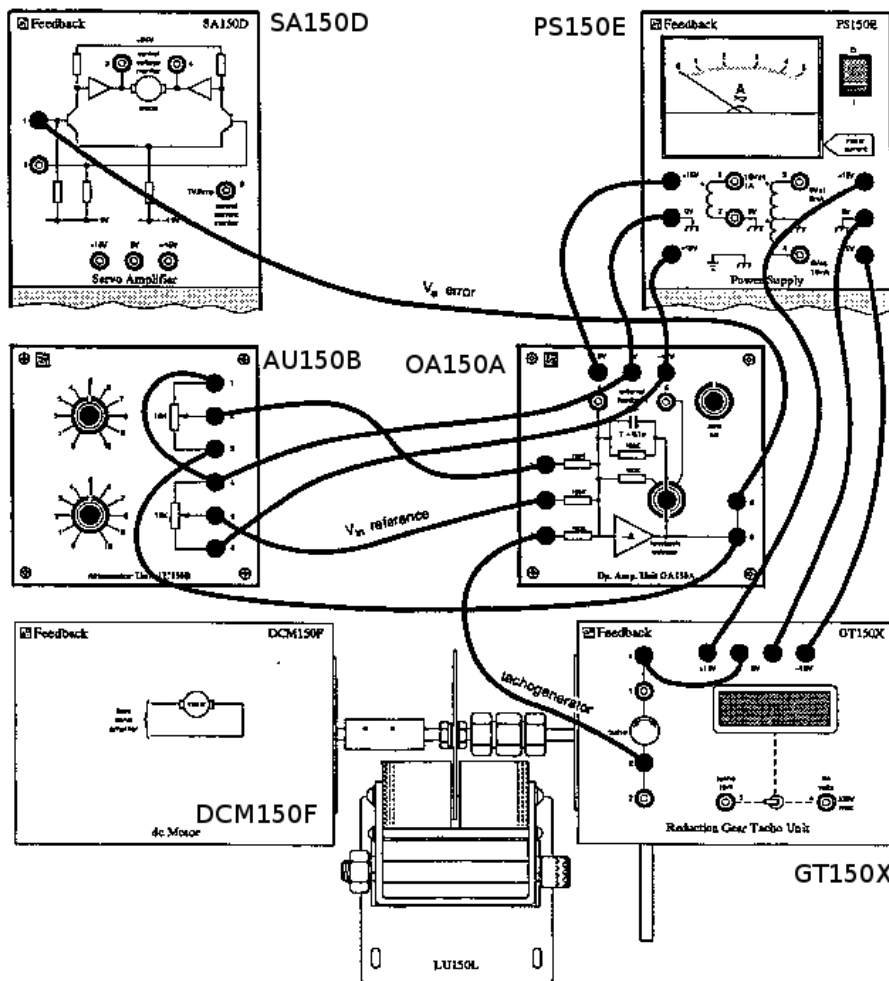


Figure 6: การต่อวงจรสำหรับระบบควบคุมความเร็ว

4. ปลดสายป้อนกลับจากแทคโคเจนเนอเรเตอร์ GT150X ออก เพื่อทดสอบการทำงานของระบบควบคุมวงเปิด
5. ตั้งค่าเบรคสเกลที่ 10 เพิ่มแรงดันอ้างอิงโดยปรับปุ่มความต้านทานปรับค่าได้ AU150B จนกระทั่งกระแสเริ่มมีค่าคงที่ (สังเกตจากหน้าปัดของแหล่งจ่ายไฟ PS150E) แล้วปรับแรงดันอ้างอิงลดลงจากค่านี้น้อยหรืออย่างมากสุดที่ค่าแรงดันที่ทำให้กระแสคงที่² (คงค่าแรงดันนี้จนจบการทดลองที่ 1) วัดความเร็วมอเตอร์บน GT150X และวัดสัญญาณคลาดเคลื่อนที่ขั้วออกของ OA150A³ พร้อมทั้งสังเกตค่ากระแสที่ PS150E (ให้ระลึกไว้เสมอว่า ไม่ควรรันมอเตอร์จนทำให้กระแสบน PS150E เกิน 2A จนเกิด overload) จากนั้นเปลี่ยนเบรคสเกล 5 ค่าจาก 0, 2, . . . , 10 แล้วบันทึกข้อมูล
6. ต่อสายป้อนกลับ GT150X ให้เป็นระบบควบคุมวงปิด ให้ตรวจสอบว่าเป็นการต่อแบบ negative feedback หรือไม่ โดยสังเกตช่องหมายเลข 1 และ 2 บนตัว GT150X เมื่อใช้สัญญาณช่อง 2 เป็นสัญญาณออก ช่องเบอร์ 1 จะต้องถูกต่อกับกราวด์ เช่นเดียวกันหากจะเปลี่ยนให้สัญญาณช่อง 1 เป็นสัญญาณออก ช่อง 2 ก็ต้องถูกต่อกับกราวด์ โดยสัญญาณช่อง 1 กับ 2 นั้นช่องหนึ่งจะมีค่าเป็นบวก และอีกช่องจะมีค่าเป็นลบ ดังนั้นการเปลี่ยนจาก negative เป็น positive feedback จึงทำได้จากการเปลี่ยนระหว่างช่องสัญญาณ 1 และ 2 นี้ เมื่อตรวจสอบการต่อเรียบร้อยแล้ว ให้ทำการทดลองดังข้อ 5
7. ตั้งอัตราขยายของ OA150A ให้เท่ากับ 1 โดยปรับปุ่มควบคุมอัตราขยายของ AU150B ไปที่ 10 แล้วทำการทดลองดังข้อ 4, 5 และ 6

การทดลอง 2 ผลตอบชั่วคราว

ในการทดลองนี้ เราจะใช้สัญญาณอ้างอิงเป็นสัญญาณสี่เหลี่ยมแทนไฟตรง เพื่อศึกษาผลตอบชั่วคราว

1. ต่อวงจรดังรูป 6 แต่แทนสัญญาณเข้า -15 โวลต์ ที่ขั้วหมายเลข 1 ของ OA150A ด้วยสัญญาณอ้างอิงแบบสี่เหลี่ยมขนาด $3 V_{p-p}$ ความถี่ 0.2 เฮิรตซ์ (ถ้าไม่สามารถวัดผลได้ครบปรับขนาดแอมพลิฟายและความถี่ของสัญญาณอ้างอิงให้เหมาะสม)
2. ตั้งอัตราขยายของ OA150A ให้เท่ากับ 1
3. ปลดสายป้อนกลับจาก GT150X ออก เพื่อทดสอบการทำงานของระบบควบคุมวงเปิด
4. ตั้งเบรคสเกลที่ 5 แล้วบันทึกค่าแรงดันอ้างอิงจาก OA150A (แรงดันคลาดเคลื่อน) และแรงดันที่ออกจาก GT150X (ความเร็วของมอเตอร์) ขอให้ตรวจสอบความถูกต้องของผลตอบ โดยใช้ oscilloscope วัดสัญญาณอ้างอิงเข้าช่อง X และผลตอบความเร็วเข้าที่ช่อง Y เมื่อพิจารณาว่าผลตอบถูกต้องแล้ว ให้ต่อสายวัดจาก NI card เพื่อเก็บข้อมูลเข้าคอมพิวเตอร์ โดยการรันผ่านไฟล์ `getdata.mdl` ที่เตรียมไว้ให้ และพล็อตความเร็ว เทียบกับสัญญาณอ้างอิง
5. ตั้งอัตราขยายของ OA150A เท่ากับ 5 แล้วทำซ้ำข้อ 4
6. ต่อสายป้อนกลับจาก GT150X เพื่อให้เป็นระบบควบคุมวงปิด จากนั้นทำการทดลองดังข้อ 4 เมื่อใช้ค่าอัตราขยายของ OA150A เป็น 1 และ 5

References

- [1] K. Ogata, *Modern Control Engineering*, 3rd edition, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, 1997.
- [2] B.C. Kuo, *Automatic Control Systems*, 7th edition, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, 1991.
- [3] *Modular Servo Type MS150 Part I-II*, Feedback Instruments Limited, Crowborough Sussex, England.

²ทำไมต้องคงค่ากระแสที่ค่าต่ำกว่ากระแสเริ่มคงที่ จะคงค่ากระแสไว้ที่ค่ากระแสสูงกว่านี้ได้หรือไม่ ?

³การวัดสัญญาณแรงดัน GT150X และสัญญาณที่ขั้วออกของ OA150A อธิบายถึงสมบัติอะไรของระบบมอเตอร์ ?