

## ET03 : Analog Position Control for DC Motor

ในปฏิบัติการนี้เราจะเรียนรู้วิธีการสร้างวงจรถวลตำแหน่งของมอเตอร์กระแสตรง โดยเลือกใช้เซอร์โวมอเตอร์เนื่องจากมีตัวต้านทานปรับค่าได้ต่ออยู่กับแกนหมุนของมอเตอร์กระแสตรงอยู่แล้ว แต่เราจะตัดเอาส่วนควบคุมอิเล็กทรอนิกส์ที่มีอยู่ ออก แล้วสร้างระบบควบคุมเอง เพื่อเรียนรู้การสร้างวงจรถวลตำแหน่งการเคลื่อนที่ของมอเตอร์

เซอร์โวมอเตอร์เป็นอุปกรณ์ที่ใช้มากในรถหรือเครื่องบินวิทยุบังคับ ใช้สำหรับควบคุมตำแหน่งการหมุน เนื่องจากสามารถใช้งานได้ง่าย การควบคุมเซอร์โวมอเตอร์ทำได้โดยการจ่ายพัลส์ที่มีความกว้างต่างๆ ซึ่งความกว้างจะสอดคล้องกับตำแหน่งของเซอร์โวมอเตอร์ เช่นสำหรับในเซอร์โวมอเตอร์รุ่นทั่วไป ความกว้างพัลส์ 1.5 ms จะทำให้มอเตอร์อยู่ในตำแหน่งกึ่งกลาง ถ้าความกว้างพัลส์มากกว่าหรือน้อยกว่านั้นก็ทำให้มอเตอร์หมุนไปทางซ้ายหรือขวาได้ ซึ่งในเซอร์โวมอเตอร์มีวงจรที่ทำหน้าที่ในการควบคุมตำแหน่งการหมุนของมอเตอร์ตามความกว้างของพัลส์

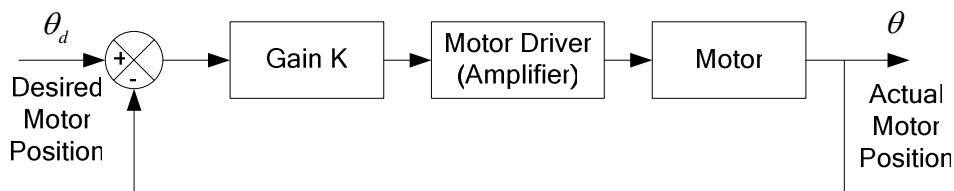
หากไม่ต้องการใช้เซอร์โวมอเตอร์ก็สามารถใช้มอเตอร์กระแสตรงได้ แต่ต้องทำการต่อแกนหมุนของมอเตอร์เข้ากับตัวต้านทานปรับค่าได้เอง

### อุปกรณ์

1. เซอร์โวมอเตอร์ รุ่นอะไรก็ได้ ที่ไม่ใช่แล้ว (ผู้เขียนใช้ของ GWS รุ่น S04 BBM)
2. ทรานซิสเตอร์ TIP31C 1 ตัว
3. ทรานซิสเตอร์ TIP32C 1 ตัว
4. Op-Amp LM324 หรือ LM 741 1 ตัว
5. ตัวต้านทานปรับค่าได้ (POT) แบบปรับ volume 1 ตัว (ในเซอร์โวมอเตอร์มีอยู่แล้วอีกหนึ่งตัว)
6. แหล่งจ่ายไฟ  $\pm 10V$

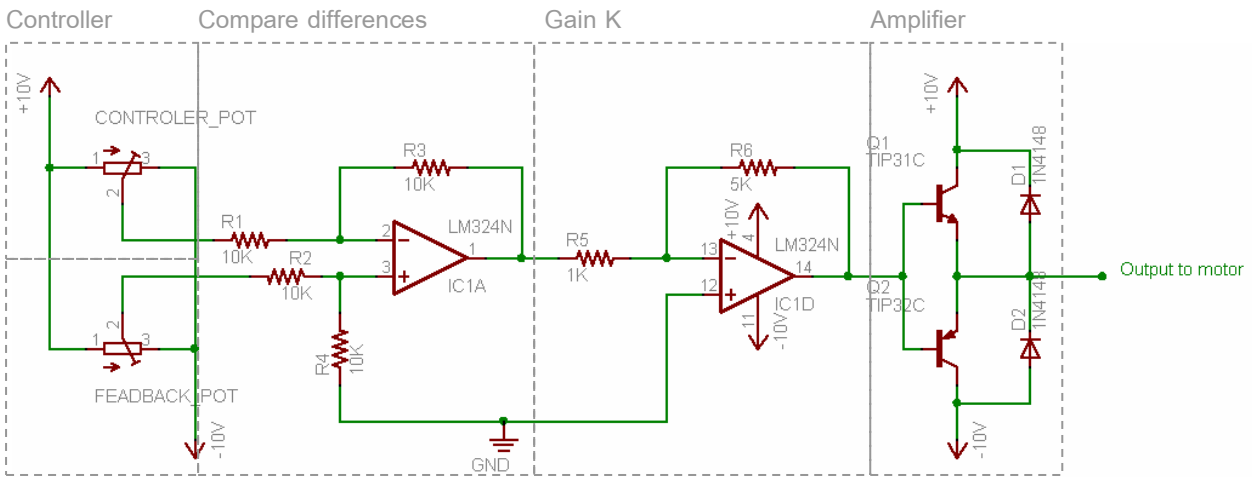
### การออกแบบวงจร

รูปที่ 1 แสดง block diagram ของระบบควบคุมตำแหน่งของมอเตอร์ โดยค่าตำแหน่งของมอเตอร์ที่ต้องการ (desired motor position) จะถูกนำมาเปรียบเทียบกับตำแหน่งของมอเตอร์จริง (actual motor position) ซึ่งผลต่างหรือ error จะถูกคูณด้วยค่าเกน K และส่งเป็นแรงดันไฟฟ้าที่จ่ายให้กับมอเตอร์



รูปที่ 1 Block diagram ของระบบควบคุมตำแหน่งมอเตอร์

บล็อก motor driver หรือ amplifier ไม่มีผลในแบบจำลองของระบบ แต่ว่าจำเป็นต้องใช้ในทางปฏิบัติ เนื่องจาก Op-Amp ไม่สามารถที่จะจ่ายกระแสเพียงพอสำหรับการขับมอเตอร์โดยตรงได้ จึงต้องผ่านตัวขับก่อนจ่ายแรงดันให้กับมอเตอร์



Feedback

รูปที่ 2 Schematic diagram ของวงจรควบคุมตำแหน่งมอเตอร์

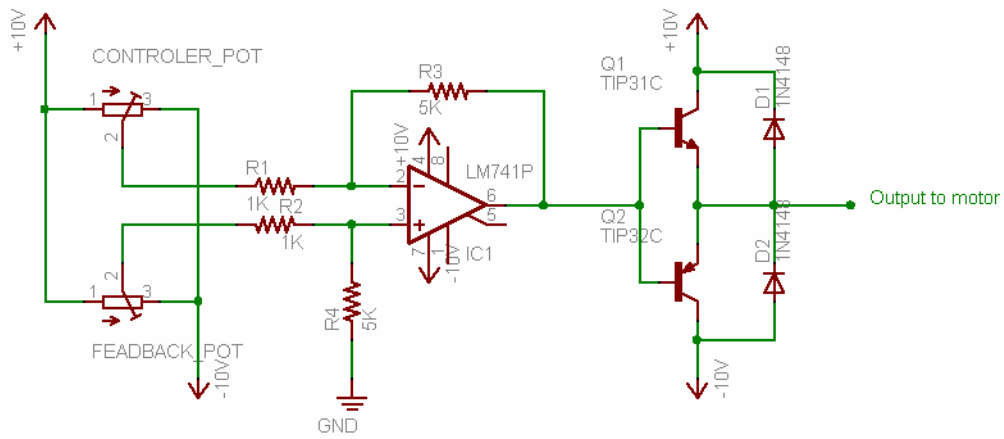
แผนผังวงจรแสดงในรูปที่ 2 ถูกออกแบบให้ตัวต้านทานปรับค่าได้ตัวหนึ่ง (แสดงในรูปโดย FEEDBACK\_POT) หมุนตามการหมุนของมอเตอร์ (อาจใช้วิธีเชื่อมแกนหมุนทั้งสองเข้าด้วยกันโดยตรงหรือใช้เฟืองเป็นตัวเชื่อมก็ได้) สำหรับเซอร์โวมอเตอร์ตัวต้านทานปรับค่าได้นี้ได้ต่อกับมอเตอร์ผ่านชุดเฟืองไว้เรียบร้อยแล้ว ส่วนตัวต้านทานปรับค่าได้อีกตัวหนึ่ง (แสดงในรูปโดย CONTROLLER\_POT) เป็นตัวควบคุมการหมุนของตัวต้านทานตัวแรกให้หมุนตามอัตราส่วนเดียวกัน จึงจ่ายไฟ  $V_{max}$  (ขา 1) และ  $V_{min}$  (ขา 3) ให้ทั้งสองตัวเท่ากันคือ +10V และ -10V ตามลำดับ

เมื่อมีการหมุนตัวต้านทานตัวที่ใช้ควบคุม จะได้ค่าแรงดันค่าหนึ่งซึ่งแตกต่างจากแรงดันจากแรงดันที่ได้จากตัวต้านทานตัวที่ต่อกับมอเตอร์ นำแรงดันทั้งสองมาหาความต่างศักย์โดยใช้วงจร difference amplifier จะได้ค่าแรงดันที่จะใช้หมุนมอเตอร์ และเมื่อมอเตอร์หมุนไป จะทำให้แกนของตัวต้านทานตัวที่ต่อกับมอเตอร์หมุนตามไปด้วย จนถึงจุดที่ให้แรงดันไฟออกมาเท่ากับแรงดันไฟที่ออกมาจากตัวต้านทานตัวที่ใช้ควบคุม ทำให้ผลต่างจากวงจร difference amplifier เป็น 0V ทำให้ไม่มีกระแสไหลไปที่มอเตอร์ มอเตอร์จึงหยุดหมุนในตำแหน่งกำหนดโดยตัวต้านทานตัวที่ใช้ควบคุม

เพื่อให้มีกระแสมากพอจึงจำเป็นต้องใช้วงจรขับมอเตอร์ (Amplifier) โดยใช้ทรานซิสเตอร์ TIP31C และ TIP32C ดังในผังวงจรข้างต้น

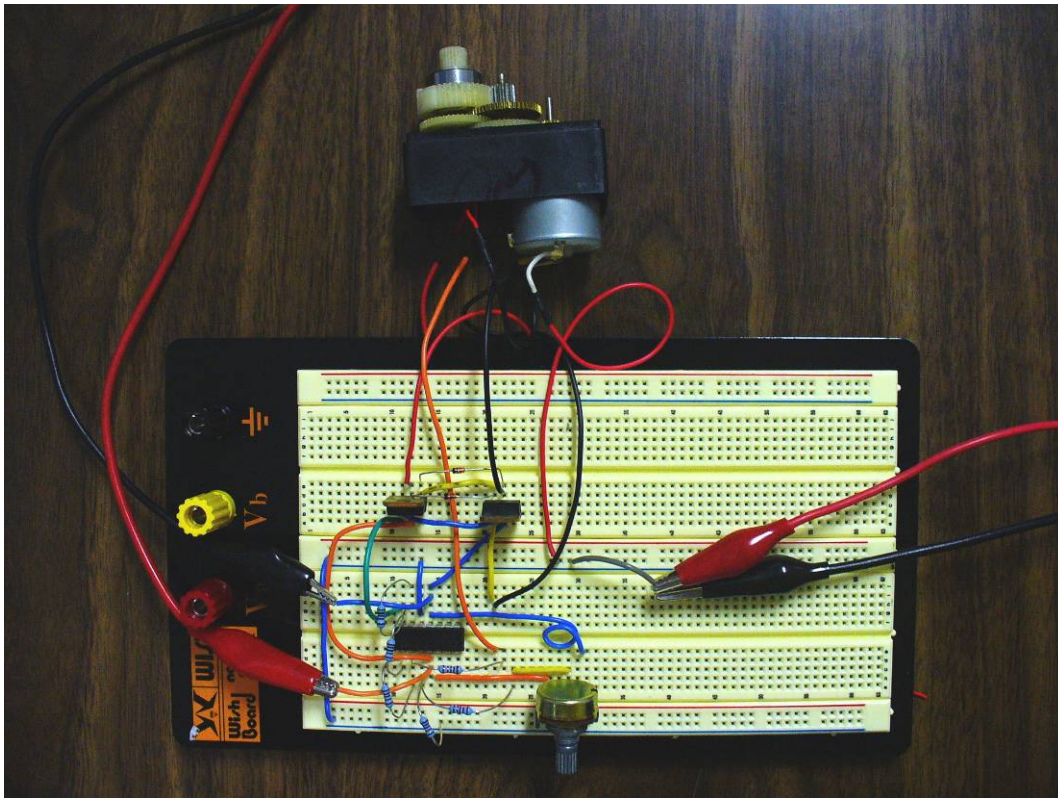
เพื่อเพิ่มอัตราส่วนแรงดันเพื่อให้มอเตอร์หมุนไปยังตำแหน่งที่ต้องการได้เร็ว และรักษาตำแหน่งให้มั่นคงยิ่งขึ้น เราจึงใช้วงจร inverting op-amp มาขึ้นกลางระหว่างวงจร difference amplifier และ motor amplifier ในผังวงจรข้างต้นออกแบบให้มีอัตราส่วน 1:5 V แต่วงจร inverting op-amp ให้แรงดันที่ขยายแล้วเป็นลบ (-) จึงต้องทำการสลับขั้วมอเตอร์เสียก่อนจึงจะหมุนได้ถูกต้องทิศทาง

นอกจากนี้ เราสามารถใช้ op-amp เพียงตัวเดียวได้โดยใช้วงจร difference amplifier เพื่อเพิ่มอัตราส่วนได้ดังแผนผังวงจรในรูปที่ 3

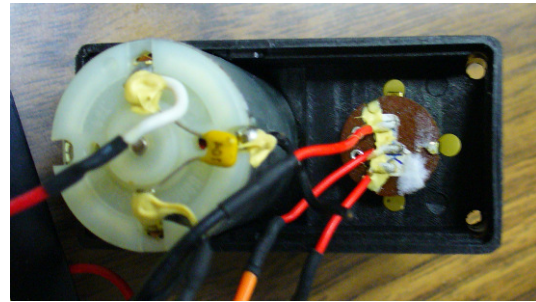
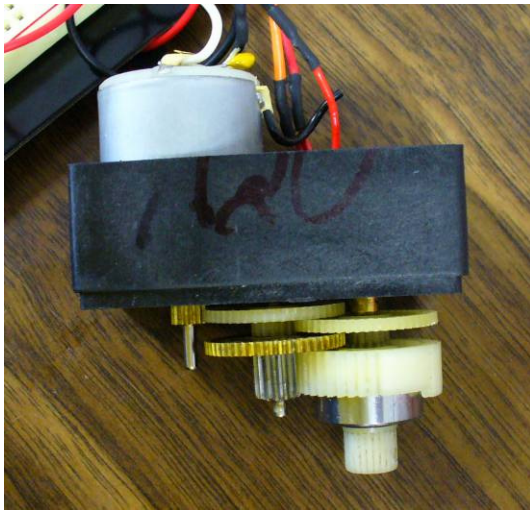


รูปที่ 3 Schematic diagram ของวงจรควบคุมตำแหน่งมอเตอร์ที่ดัดแปลงให้ใช้ Op-Amp เพียงตัวเดียว

### การต่อวงจร



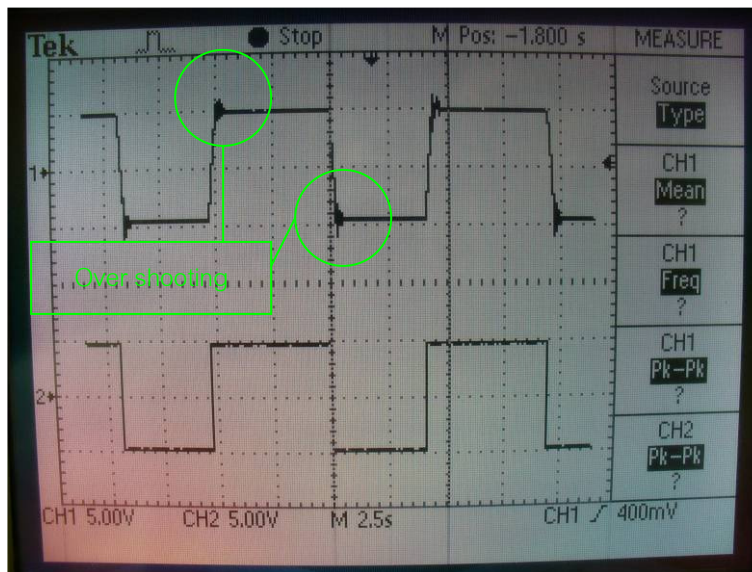
รูปที่ 4 การต่อวงจรควบคุมตำแหน่ง



รูปที่ 5 การต่อตัวต้านทานปรับค่าได้ (Feedback POT) เข้ากับมอเตอร์ในเซอร์โวมอเตอร์

**ผลการทดลอง**

เมื่อควบคุมสัญญาณอินพุตด้วยฟังก์ชันเจนเนอเรเตอร์ แทนการควบคุมผ่านตัวต้านทานปรับค่าได้ โดยควบคุมให้จ่ายสัญญาณ square wave ที่ความต่างศักย์ Peak-Peak ที่ +5 และ -5V จะได้ผลการทดลองดังแสดงในรูปที่ 6

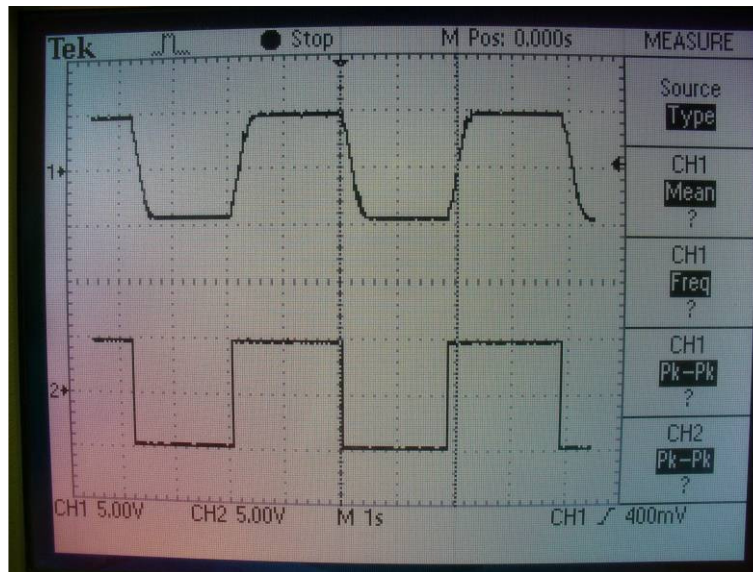


รูปที่ 6 การตอบสนองของมอเตอร์ที่มี overshoot

จะสังเกตเห็นว่าจะเกิดสัญญาณเอาต์พุตบางส่วนที่เรียกว่า overshooting แสดงให้เห็นว่าเมื่อมีการเปลี่ยนค่าสัญญาณอินพุต วงจรจะพยายามจ่ายกระแสให้มอเตอร์หมุนไปยังตำแหน่งที่ให้ค่าสัญญาณเอาต์พุตที่ตรงกัน แต่การทำงานในช่วงแรกมีการจ่ายกระแสมากเกินไปทำให้ของมอเตอร์หมุนเกินตำแหน่งที่ควรจะเป็น(ตำแหน่งที่ทำให้สัญญาณเอาต์พุตเสถียร) จึงมี feedback ทำให้มอเตอร์หมุนกลับจนเกิดสัญญาณเอาต์พุตที่เสถียรขึ้นตามลำดับ และจะได้สัญญาณเอาต์พุตคงที่ตรงเท่ากับสัญญาณอินพุตมีค่าเท่าเดิม ทั้งนี้การเกิด นั้นเกิดจากค่า Gain K มากเกินไปจึงทำให้มอเตอร์หมุนด้วยอัตราเร่งสูง เกินกว่าผลการตอบสนองจาก feedback จะปรับสู่ค่าที่เหมาะสมได้ทัน มอเตอร์จึงหมุนเลยตำแหน่งที่ควรหยุดไป

การควบคุมที่ดีที่สุดคือการทำมอเตอร์หมุนเข้าสู่ตำแหน่งที่ต้องการได้รวดเร็วที่สุดโดยที่ไม่เกิด overshooting เราเรียกว่า การเกิด critically damped สามารถหาได้โดยการปรับ Gain K ให้ได้อัตราส่วนที่เหมาะสม โดยการทดลองเปลี่ยน R6 เป็นตัว

ด้านทานแบบปรับค่าได้ แล้วทดลองหมุนไปยังค่าความต้านทานต่างๆ จนได้กราฟที่มีคุณสมบัติดังกล่าวข้างต้น จากวงจรที่ต่อไว้ จะได้ค่าที่เหมาะสมที่สุดสำหรับ R5 และ R6 คือ 1:1.77 ซึ่งจะได้กราฟดังแสดงในรูปที่ 7



รูปที่ 7 การตอบสนองของมอเตอร์แบบ critically damped