



บทความวิชาการ

การควบคุมตำแหน่งเซอร์โวมอเตอร์ไฟตรงด้วยความกว้างของพัลส์อย่างง่าย

Simple Pulse Width Modulation Position Control of a DC Servo Motor

บุญเรือง วัชราภรณ์^{1*} และ ธวัชชัย จิตต์สนธิ²

¹สาขาวิชาวิศวกรรมการวัดและควบคุม คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีปทุมวัน

833 ถนนพระราม 1 เขตปทุมวัน กรุงเทพฯ 10330 โทรศัพท์: 0-2219-3861 E-mail: boonrwan@gmail.com

²สาขาวิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์และโทรคมนาคม คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีปทุมวัน

833 ถนนพระราม 1 เขตปทุมวัน กรุงเทพฯ 10330 โทรศัพท์: 0-2219-3861 E-mail: t_jitson@hotmail.com

บทคัดย่อ

บทความฉบับนี้นำเสนอ การควบคุมตำแหน่งเซอร์โวมอเตอร์ไฟตรงด้วยความกว้างของพัลส์อย่างง่าย โดยใช้ความกว้างของพัลส์อ้างอิงทางอินพุตในช่วงของ 1.62ms จนถึง 2.75ms ที่ความถี่ประมาณ 300Hz โดยสามารถควบคุมตำแหน่งการเคลื่อนที่เป็นเชิงเส้นได้ในระยะ 0mm จนถึง 150mm ผลที่ได้จากการคำนวณและผลที่ได้จากการต่อวงจรทดลองจริงให้ผลที่สอดคล้องกันและมีค่าความผิดพลาดของตำแหน่งน้อยกว่า $\pm 2.1\text{mm}$ โดยที่ใช้เวลาตอบสนองต่อการเคลื่อนที่ในระยะทางสูงสุดไม่มากไปกว่า 1.46 วินาที

คำสำคัญ: เซอร์โวมอเตอร์ไฟตรง ความกว้างของพัลส์ โพเทนชิโอมิเตอร์

Abstract

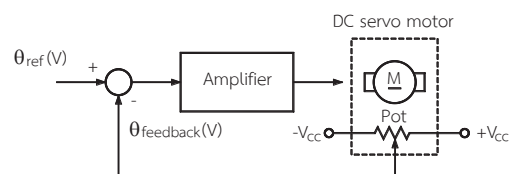
This paper proposes the position control of DC servo motor using the simple pulse width controller. The position control can be adjusted as linear distance between 0mm to 150mm at the input reference pulse width between 1.62ms to 2.75ms by constant frequency at 300Hz. The calculation and the implementation results indicated that both methods are related. The position error and the time response of full scale movement are less than $\pm 2.1\text{mm}$ and 1.46ms respectively.

Keywords: dc servo motor, pulse width modulation, potentiometer

1. บทนำ

ในการควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้า นอกจากการควบคุมความเร็วรอบที่แกนเพลามอเตอร์แล้ว การควบคุมตำแหน่งหรือมุมที่หมุนไปของแกนเพลายังเป็นสิ่งที่ต้องการในระบบควบคุม เช่นการควบคุมหางเสือของเรือขนาดใหญ่เพื่อบังคับทิศทางการเดินเรือ การบังคับแพนอากาศของเครื่องบินเพื่อบังคับทิศทางในการเลี้ยวเบนต่าง ๆ การนำเอามอเตอร์ไฟฟ้ามาต่อเข้ากับโพเทนชิโอมิเตอร์ ซึ่งเป็นตัวต้านทานที่มีค่าความต้านทานที่เปลี่ยนแปลงไปตามการหมุน[1] ซึ่งการต่ออุปกรณ์ร่วมกันดังกล่าว จึงเรียกมอเตอร์ไฟฟ้าประเภทนี้ว่า “เซอร์โวมอเตอร์” และใช้ในการควบคุมตำแหน่งหรือมุมที่หมุนไปของแกนเพล

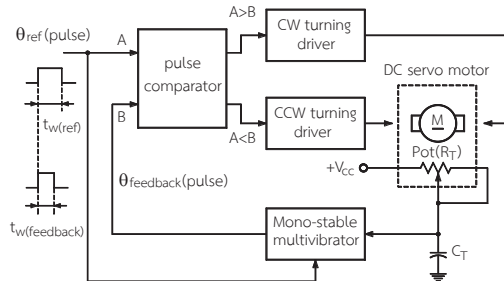
โดยทั่วไปการควบคุมตำแหน่งเซอร์โวมอเตอร์ จะเป็นการควบคุมแบบลูปปิด (Close loop control) และสัญญาณควบคุมตำแหน่งหรือมุมที่ต้องการให้แกนเพลามุมไป (θ_{ref}) จะเป็นแรงดันไฟฟ้าอ้างอิง มีหน่วยเป็นโวลต์ (V) ซึ่งเป็นการควบคุมเชิงอนาล็อกดังบล็อกไดอะแกรมที่แสดงในรูปที่ 1



รูปที่ 1 การควบคุมตำแหน่งเซอร์โวมอเตอร์ไฟตรงเชิงอนาล็อก

รูปที่ 1 เป็นบล็อกไดอะแกรมในการควบคุมตำแหน่งเซอร์โวมอเตอร์ไฟตรงเชิงอนาล็อกที่นิยมใช้กันอยู่โดยทั่วไป ซึ่งเป็นการควบคุมแบบสัดส่วน (Proportional control) โดยตำแหน่งหรือมุมที่มอเตอร์หยุดหมุนจะเป็นตำแหน่งที่แรงดันไฟฟ้าที่เกิดจากการแบ่งแรงดันไฟฟ้าโดยความต้านทานของโพเทนซิโอมิเตอร์ ทำให้เกิดแรงดันไฟฟ้าที่แทนความหมายเป็นมุมป้อนกลับ ($\theta_{feedback}$) มีค่าเท่ากับแรงดันไฟฟ้าที่แทนความหมายเป็นมุมอ้างอิง (θ_{ref}) เมื่อแรงดันไฟฟ้าที่แทนความหมายเป็นมุมอ้างอิงเกิดการเปลี่ยนแปลงไป มอเตอร์ก็จะหมุนไปในทิศทางที่ทำให้แรงดันไฟฟ้าที่แทนความหมายเป็นมุมป้อนกลับมีค่าเท่ากับแรงดันไฟฟ้าที่แทนความหมายเป็นมุมอ้างอิงเสมอ

รูปที่ 2 เป็นบล็อกไดอะแกรมการควบคุมตำแหน่งเซอร์โวมอเตอร์ไฟตรงด้วยความกว้างของพัลส์อย่างง่าย ซึ่งจะเห็นว่ากรควบคุมจะเป็นแบบลูปิดและเป็นการควบคุมแบบสัดส่วนเช่นเดียวกัน แต่ขบวนการควบคุมจะเป็นเชิงดิจิทัล โดยตัวแทนของตำแหน่งหรือมุมที่ต้องการควบคุมจะเป็นความกว้างของพัลส์อ้างอิงที่มีค่าเวลาเป็น $t_{w(ref)}$



รูปที่ 2 การควบคุมตำแหน่งของเซอร์โวมอเตอร์ไฟตรง
ด้วยความกว้างของพัลส์

ต่อจากนั้นจะนำมาเปรียบเทียบกับตัวแทนความหมายของตำแหน่งหรือมุมที่ป้อนกลับซึ่งมีความกว้างของพัลส์เป็นเวลา $t_{w(feedback)}$ ซึ่งเกิดการตั้งเวลาด้วยวงจรโมโนสเตเบิลมัลติไวเบรเตอร์ ต่อจากนั้นผลของการเปรียบเทียบจะถูกส่งไปยังวงจรขับเพื่อให้มอเตอร์หมุนไปในทิศทางตามเข็มนาฬิกา(Clockwise, CW) หรือทวนเข็มนาฬิกา(Counter clockwise, CCW) โดยขณะที่หมุนไป ก็จะทำให้ค่าความ

ต้านทานของโพเทนซิโอมิเตอร์(R_T)เกิดการเปลี่ยนแปลงไปด้วย ซึ่งเป็นผลให้การตั้งเวลาของวงจรโมโนสเตเบิลมัลติไวเบรเตอร์ เกิดการเปลี่ยนแปลงไปด้วย[2] และเมื่อค่าเวลาของ $t_{w(ref)}$ มีค่าเท่ากับ $t_{w(feedback)}$ การหมุนของมอเตอร์ก็จะหยุดลง ซึ่งจะเป็นตำแหน่งหรือมุมที่ต้องการควบคุม

2. วงจรการควบคุมตำแหน่งเซอร์โวมอเตอร์ไฟตรงด้วยความกว้างของพัลส์

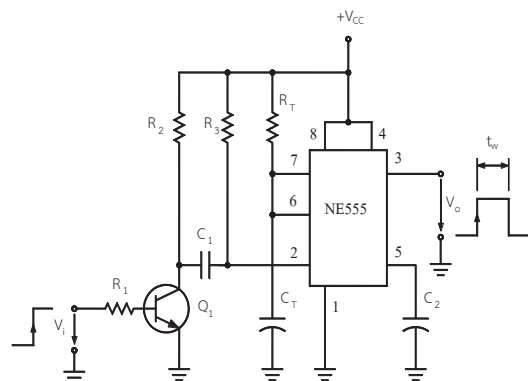
จากบล็อกไดอะแกรมการควบคุมตำแหน่งเซอร์โวมอเตอร์ไฟตรงด้วยความกว้างของพัลส์ในรูปที่ 2 จะเห็นว่าประกอบด้วยวงจรต่างๆ ที่ต่อเข้ารวมกันเป็นระบบควบคุมอยู่ 3 ส่วน อันได้แก่

1. วงจรโมโนสเตเบิลมัลติไวเบรเตอร์ เพื่อกำหนดค่าเวลาหรือความกว้างของพัลส์ที่ใช้ในการป้อนกลับซึ่งจะเปลี่ยนแปลงไปตามตำแหน่งการหมุนของโพเทนซิโอมิเตอร์
2. วงจรเปรียบเทียบความกว้างของพัลส์
3. วงจรขับมอเตอร์ไฟตรง

โดยอุปกรณ์และรายละเอียดในการทำงานของวงจรจะเป็นดังต่อไปนี้

2.1 วงจรโมโนสเตเบิลมัลติไวเบรเตอร์

รูปที่ 3 เป็นวงจรโมโนสเตเบิลมัลติไวเบรเตอร์ ที่ใช้ไอซีเบอร์ NE555 พร้อมกับทรานซิสเตอร์ Q_1 ให้ทำการตั้งเวลาที่ขอบขาขึ้นของสัญญาณพัลส์ที่เข้ามาทางด้านอินพุตของวงจร โดยไอซีเบอร์ NE555 จะมีจุดเด่นก็คือเวลาที่กำหนดจะไม่ถูกกระทบจากแรงดันไฟฟ้าที่มีการเปลี่ยนแปลงไป



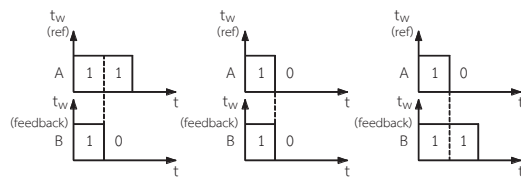
รูปที่ 3 วงจรโมโนสเตเบิลมัลติไวเบรเตอร์

จากวงจรในรูปที่ 3 ค่าเวลาคงที่ (t_w) จะสามารถคำนวณได้
จากสมการที่ (1) ดังนี้

$$t_w \cong 1.1 R_T C_T \quad (1)$$

2.2 วงจรเปรียบเทียบความกว้างของพัลส์

พิจารณาความกว้างของพัลส์ที่มีค่าเวลาเป็น $t_{w(ref)}$
ซึ่งเป็นตัวแทนความหมายของตำแหน่งหรือมุมที่ต้องการ
ควบคุม และความกว้างของพัลส์ที่มีค่าเวลาเป็น $t_{w(feedback)}$
ซึ่งเป็นตัวแทนความหมายของตำแหน่งหรือมุมที่ป้อนกลับ ดัง
แสดงในรูปที่ 4



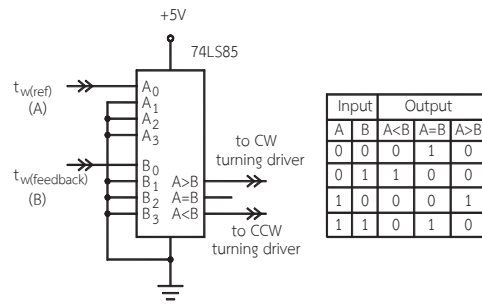
(ก) $t_{w(ref)} > t_{w(feedback)}$ (ข) $t_{w(ref)} = t_{w(feedback)}$

(ค) $t_{w(ref)} < t_{w(feedback)}$

รูปที่ 4 ความกว้างของพัลส์

$t_{w(ref)}$ และ $t_{w(feedback)}$ ในช่วงเวลาต่าง ๆ

จากรูปที่ 4 จะเห็นว่าในแต่ช่วงเวลาความกว้างของ
พัลส์ $t_{w(ref)}$ และ $t_{w(feedback)}$ สามารถแทนระดับสัญญาณใน
ช่วงเวลาต่าง ๆ ด้วยรหัสตัวเลขเชิงดิจิทัลเป็น “0” และ “1”
ซึ่งเป็นตัวเลขในระบบเลขฐานสอง ดังนั้นในการเปรียบเทียบ
ความกว้างของพัลส์จึงเสมือนกับการเปรียบเทียบตัว
เลขฐานสองขนาด 1 บิต โดยกำหนดให้ ความกว้างของพัลส์
 $t_{w(ref)}$ เป็นข้อมูลเลขฐานสองชุด A และ ความกว้างของพัลส์
 $t_{w(feedback)}$ เป็นข้อมูลเลขฐานสองชุด B ซึ่งในบทความนี้ จะ
นำไอซีเบอร์ 74LS85 ซึ่งเป็นไอซีที่ใช้ในการเปรียบเทียบ
ข้อมูลตัวเลขฐานสองขนาด 4 บิต[3] โดยวงจรการประยุกต์ใช้
งานและตารางความจริงดังแสดงในรูปที่ 5



(ก) วงจร

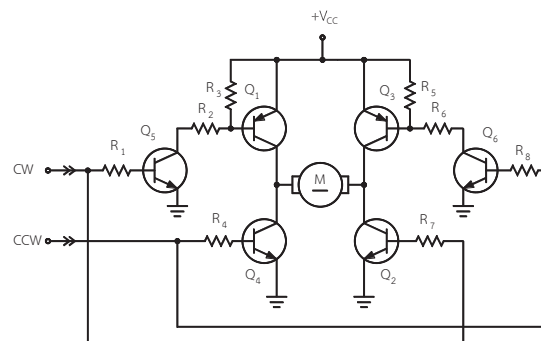
(ข) ตารางความจริง

รูปที่ 5 การประยุกต์ใช้งานไอซีเบอร์ 74LS85

มาใช้ในการเปรียบเทียบความกว้างของพัลส์

2.3 วงจรขับเคลื่อนมอเตอร์ไฟตรง

รูปที่ 6 เป็นวงจรขับเคลื่อนมอเตอร์ไฟตรง โดยรูปแบบของ
วงจรจะเป็นแบบบริดจ์[4] ซึ่งสามารถควบคุมทิศทางการหมุน
ของมอเตอร์ได้โดยการกำหนดสถานะทางลอจิกเข้าที่อินพุต
CW และ CCW ของวงจร เช่นถ้าต้องการให้มอเตอร์หมุนไปใน
ทิศทางตามเข็มนาฬิกา ก็กำหนดให้สถานะทางลอจิกของอินพุต
CW มีค่าเป็น “1” และที่อินพุต CCW มีค่าเป็น “0” ในทาง
กลับกันถ้าต้องการให้มอเตอร์หมุนในทิศทางทวนเข็มนาฬิกา ก็
กำหนดให้สถานะทางลอจิกของอินพุต CW มีค่าเป็น “0” และที่
อินพุต CCW มีค่าเป็น “1” และถ้าต้องการให้มอเตอร์หยุดหมุน
ก็กำหนดให้สถานะทางลอจิกของอินพุต CW มีค่าเป็น “0” และ
ที่อินพุต CCW มีค่าเป็น “0” ด้วยเช่นเดียวกัน



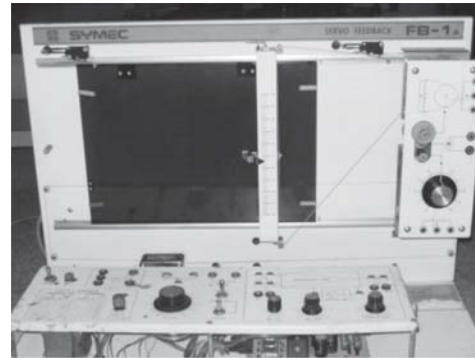
รูปที่ 6 วงจรขับเคลื่อนมอเตอร์ไฟตรง

วงจรในรูปที่ 7 เป็นวงจรควบคุมตำแหน่งหรือมุมของเซอร์โวมอเตอร์ด้วยความกว้างของพัลส์ที่สมบูรณ์ โดยมีไดโอด D_2 กับ C_4 และ D_3 กับ C_5 ทำหน้าที่ประจุไฟฟ้าสำรอง (Charge plumb) เพื่อใช้ในการขับนำให้มอเตอร์หมุนได้อย่างต่อเนื่อง อันเนื่องจากสัญญาณเอาต์พุตที่ได้จากวงจรเปรียบเทียบกับความกว้างของพัลส์จะมีลักษณะเป็นพัลส์ที่เกิดขึ้นในเวลาสั้น ๆ เท่านั้น

ส่วนทรานซิสเตอร์ Q_7 กับ Q_8 จะทำหน้าที่เป็นตัวป้องกันซึ่งกันและกัน (Inter lock) มิให้เกิดการขับนำกระแสไฟฟ้าของทรานซิสเตอร์กำลังที่อยู่บนกิ่งกระแสเดียวกันในขณะที่มีการขับนำให้มอเตอร์ทำการหมุนในทิศทางตามเข็มนาฬิกาหรือทวนเข็มนาฬิกา ซึ่งอาจจะทำให้เกิดการลัดวงจรและจะมีผลทำให้ ทรานซิสเตอร์กำลังที่ใช้ในการขับนำมอเตอร์เกิดการเสียหายได้

2.4 แผงสาธิตสำหรับการทดลอง

ในการทดลองจะใช้แผงสาธิตการควบคุมเซอร์โวมอเตอร์ไฟตรงของ SYMEC โดยในแผงสาธิตจะประกอบด้วยมอเตอร์ไฟตรงขนาด 12V เฟืองทดโดยที่เพลลาของเฟืองทดจะถูกต่อเข้ากับโพเทนชิโอมิเตอร์แบบหมุนได้ซึ่งมีค่าความต้านทาน $2k\Omega$ ต่อจากนั้นจะถูกปรับเปลี่ยนมุมที่แกนเพลลาให้เป็นสเกลบอกตำแหน่งการเคลื่อนที่เป็นเชิงเส้นด้วยสายพาน ซึ่งมีระยะการเคลื่อนที่ของตำแหน่งอยู่ในช่วง 0mm จนถึง 150mm ดังแสดงในรูปที่ 8

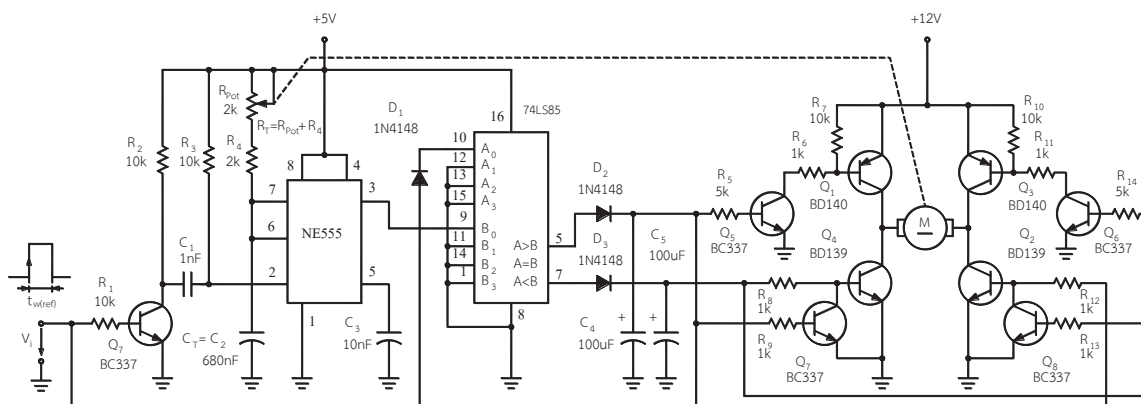


รูปที่ 8 แผงการควบคุมเซอร์โวมอเตอร์ไฟตรงของ SYMEC

เนื่องจากแผงการควบคุมเซอร์โวมอเตอร์ไฟตรงของ SYMEC เป็นแผงสาธิตการควบคุมตำแหน่งของเซอร์โวมอเตอร์ไฟตรงที่ใช้ระบบควบคุมเชิงอนาล็อก ดังนั้นในบทความนี้จึงใช้เพียงเซอร์โวมอเตอร์ไฟตรงที่ต่อรวมอยู่กับโพเทนซิโอมิเตอร์ และการแสดงผลด้วยสเกลบอกตำแหน่งในช่วง 0mm จนถึง 150mm และต่อเข้ากับวงจรควบคุมที่ออกแบบขึ้นใหม่ดังแสดงในรูปที่ 7

3. การคำนวณเชิงทฤษฎี

จากรูปที่ 8 เมื่อเชื่อมบอค่าตำแหน่งอยู่ที่ 0mm วัดค่าความต้านทานของโพเทนซิโอมิเตอร์ได้เท่ากับ 164Ω และเมื่อเชื่อมบอค่าตำแหน่งอยู่ที่ 150mm จะวัดค่าความต้านทานของโพเทนซิโอมิเตอร์ได้เท่ากับ $1.67k\Omega$ เมื่อพิจารณาวงจรในรูปที่ 7



รูปที่ 7 วงจรควบคุมตำแหน่งเซอร์โวมอเตอร์ด้วยความกว้างของพัลส์อย่างง่าย

ในส่วนของวงจรโมโน สเตเบิลแม็คดีไวเซอร์ ซึ่งเป็นวงจรที่ใช้ในการตั้งเวลาของตัวแทนความหมายของมุมที่ใช้ในการป้อนกลับ $t_{w(feedback)}$ ซึ่งจะขึ้นอยู่กับผลรวมของค่าความต้านทานที่แปรเปลี่ยนไปตามการหมุนของโพเทนชิโอเมเตอร์ (R_{Pot}) รวมกับค่าความต้านทานของ R_4 และ C_2 ดังนั้นจะสามารถคำนวณหาความกว้างของพัลส์ที่ใช้ในการป้อนกลับเป็นค่าต่ำสุดและค่าสูงสุดได้ตามสมการที่ (1) ดังนี้

$$\begin{aligned} t_{w(feedback,min)} &= 1.1(R_4 + R_{Pot})C_2 \Big|_{R_{Pot}=164\Omega} \\ &= 1.1(2k\Omega + 164\Omega)680nF = 1.62ms \end{aligned} \quad (2)$$

และ

$$\begin{aligned} t_{w(feedback,max)} &= 1.1(R_4 + R_{Pot})C_2 \Big|_{R_{Pot}=1.67k\Omega} \\ &= 1.1(2k\Omega + 1.67k\Omega)680nF = 2.75ms \end{aligned} \quad (3)$$

จากสมการที่ (2) และ (3) และเนื่องจากมอเตอร์จะหยุดหมุนเมื่อช่วงเวลาความกว้างของพัลส์ $t_{w(ref)}$ และ $t_{w(feedback)}$ มีค่าเท่ากัน ดังนั้นช่วงเวลาความกว้างของพัลส์ที่ใช้ในการอ้างอิง $t_{w(ref)}$ ที่เป็นค่าต่ำสุดและสูงสุดจะเป็นดังสมการที่ (4) และ (5) ตามลำดับ

$$t_{w(ref,min)} = t_{w(feedback,min)} = 1.62ms \quad (4)$$

และ

$$t_{w(ref,max)} = t_{w(feedback,max)} = 2.75ms \quad (5)$$

รูปที่ 9 แสดงการแปลงเปลี่ยนตำแหน่งเชิงมุมเป็นตำแหน่งเชิงเส้น โดยในรูปที่ 9 (ก) แสดงความสัมพันธ์ของความยาวส่วนโค้ง (C) ซึ่งจะมีค่าสัมพันธ์เป็นเชิงเส้นกับมุมหมุนที่เปลี่ยนแปลงไป ขณะที่ความยาวรัศมีของวงกลมมีค่าคงที่ตามสมการที่ (6) ดังนี้

$$C = R \cdot \theta \quad (6)$$

เมื่อ

C คือความยาวส่วนโค้ง

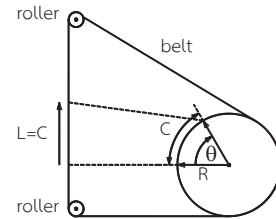
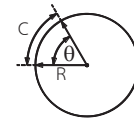
R คือรัศมีของวงกลม

θ คือมุมที่เปลี่ยนแปลงไป (rad)

ในรูปที่ 9(ข) แสดงการเคลื่อนที่ของตำแหน่ง L ซึ่งจะเท่ากันกับการเคลื่อนที่ของความยาวส่วนโค้ง C เมื่อมุม θ เกิดการเปลี่ยนแปลงไป ดังนั้นจะเห็นได้ว่าความสัมพันธ์ของการเคลื่อนที่ของตำแหน่ง L จะมีความสัมพันธ์เป็นเชิงเส้นกับมุม θ ที่เปลี่ยนแปลงไปด้วยเช่นเดียวกัน ดังสมการที่ (7) ดังนี้

$$L = C = R \cdot \theta \quad (7)$$

(ก) ความยาวส่วนโค้ง (C)
รัศมี (R) และ มุม (θ)



(ข) ความสัมพันธ์ความยาวส่วนโค้ง(C) และความยาวเชิงเส้น (L)
รูปที่ 9 การแปลงเปลี่ยนตำแหน่งเชิงมุมเป็น
ตำแหน่งเชิงเส้น

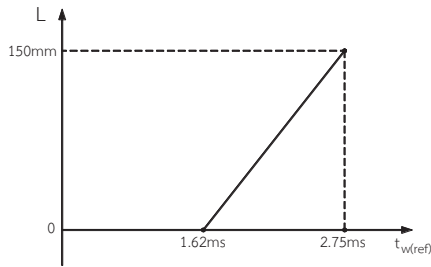
และเนื่องจากในขณะที่มีความกว้างของพัลส์ที่ใช้ในการอ้างอิง มีค่าต่ำสุดเป็น $t_{w(ref,min)}$ มุมที่แกนเพลลา จะเป็นค่าที่ต่ำสุด θ_{min} และถูกถ่ายโอนให้เป็นการเคลื่อนที่แบบเชิงเส้นที่ตำแหน่งต่ำสุดเป็น L_{min} ในทำนองเดียวกันเมื่อความกว้างของพัลส์ที่ใช้ในการอ้างอิงมีค่าสูงสุดเป็น $t_{w(ref,max)}$ มุมที่แกนเพลลา จะเป็นค่าที่สูงสุด θ_{max} และถูกถ่ายโอนให้เป็นการเคลื่อนที่แบบเชิงเส้นที่ตำแหน่งสูงสุดเป็น L_{max} ด้วยเช่นเดียวกัน ดังนั้นจะได้ความสัมพันธ์ของความกว้างของพัลส์อ้างอิงกับตำแหน่งการเคลื่อนที่ดังสมการที่ (8) และ (9) ตามลำดับ

$$t_{w(ref,min)} = 1.62ms \quad \text{เมื่อ} \quad L_{min} = 0mm \quad (8)$$

และ

$$t_{w(ref,max)} = 2.75ms \quad \text{เมื่อ} \quad L_{max} = 150mm \quad (9)$$

จากสมการที่(8)และ(9) สามารถเขียนความสัมพันธ์ในเชิงกราฟเส้นตรงได้แสดงในรูปที่ 10



รูปที่ 10 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของตำแหน่งการเคลื่อนที่และค่าความกว้างของพัลส์ที่ใช้ในการอ้างอิง

จากสมการเส้นตรงของเส้นกราฟในรูปที่ 10 สามารถหาสมการของเส้นตรง ซึ่งทำให้สามารถคำนวณหาตำแหน่งการเคลื่อนที่ เมื่อค่าความกว้างของพัลส์ที่เปลี่ยนแปลงไปได้ดังสมการที่ (10)

$$L = 132.74 \times t_{w(ref)} - 215\text{mm} \quad (10)$$

เมื่อ

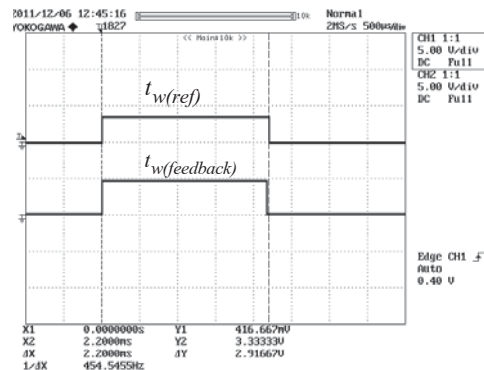
L คือตำแหน่งการเคลื่อนที่มีหน่วยเป็น mm

$t_{w(ref)}$ คือความกว้างของพัลส์ที่ใช้ในการอ้างอิงตำแหน่งมีหน่วยเป็นมิลลิวินาที (ms)

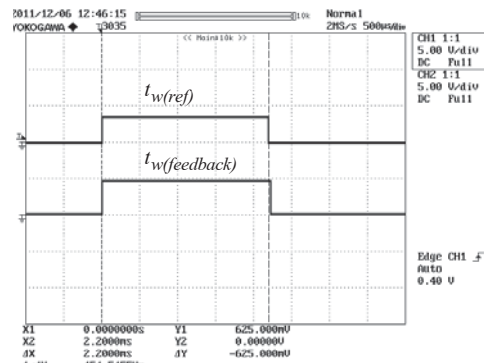
4. ผลการทดลอง

เมื่อต้องจรถดลองดังแสดงในรูปที่ 7 เข้ากับแผงสาธิตการควบคุมเซอร์โวมอเตอร์ไฟตรงของ SYMEC และทำการป้อนพัลส์อ้างอิงให้มีค่าความกว้างของพัลส์ ตั้งแต่ 1.7ms จนถึง 2.7ms ที่ความถี่ประมาณ 300Hz ซึ่งจะทำให้มอเตอร์หมุนในทิศทางตามเข็มนาฬิกา (CW) รูปที่ 11 เป็นแสดงถึงความกว้างของพัลส์อ้างอิง $t_{w(ref)}$ ที่มีค่าเท่ากับ 2.2ms และพัลส์ $t_{w(feedback)}$ ขณะที่มอเตอร์หยุดหมุน ต่อจากนั้นทำการวัดระยะทางที่ตำแหน่งต่าง ๆ โดยทำการวัดโดยเทียบกับตำแหน่ง 0mm ในแต่ละครั้งของการทดลองจะได้ผลการทดลองดังแสดงในตารางบันทึกผลการทดลอง

จากรูปที่ 11 จะเห็นว่าค่าความกว้างของ $t_{w(feedback)}$ จะน้อยกว่า $t_{w(ref)}$ เล็กน้อย ซึ่งค่าผลต่างของความกว้างของพัลส์ทั้งสองที่น้อยมากนี้จะทำให้แรงดันไฟตรงเฉลี่ยที่ป้อนให้กับมอเตอร์มีค่าน้อยเกินกว่าที่จะทำให้มอเตอร์หมุนได้ ซึ่งเป็นคุณสมบัติเฉพาะของมอเตอร์ไฟฟ้าโดยทั่วไป



รูปที่ 11 มอเตอร์หมุนในทิศทาง CW และหยุดหมุนเมื่อความกว้างของพัลส์อ้างอิง $t_{w(ref)} = 2.2\text{ms}$



รูปที่ 12 มอเตอร์หมุนในทิศทาง CCW และหยุดหมุนเมื่อความกว้างของพัลส์อ้างอิง $t_{w(ref)} = 2.2\text{ms}$

ส่วนในการทดลองให้มอเตอร์หมุนในทิศทางทวนเข็มนาฬิกา (CCW) จะทำการป้อนพัลส์อ้างอิงให้มีค่าความกว้างของพัลส์ ตั้งแต่ 2.7ms จนถึง 1.7ms ที่ความถี่ประมาณ 300Hz ซึ่งจะทำให้มอเตอร์หมุนในทิศทางทวนเข็มนาฬิกา (CCW) รูปที่ 12 เป็นแสดงถึงความกว้างของพัลส์อ้างอิง $t_{w(ref)}$ ที่มีค่าเท่ากับ 2.2ms และพัลส์ $t_{w(feedback)}$ ขณะที่มอเตอร์หยุดหมุน ซึ่งจะ

เห็นว่า $t_{w(\text{feedback})}$ จะมากกว่า $t_{w(\text{ref})}$ เล็กน้อย ต่อจากนั้นทำการวัดระยะทางที่ตำแหน่งต่าง ๆ โดยทำการวัดโดยเทียบกับตำแหน่ง 0mm ในแต่ละครั้งและได้ผลการทดลองดังแสดงในตารางบันทึกผลการทดลองที่ 1

ตารางที่ 1 บันทึกผลการทดลอง

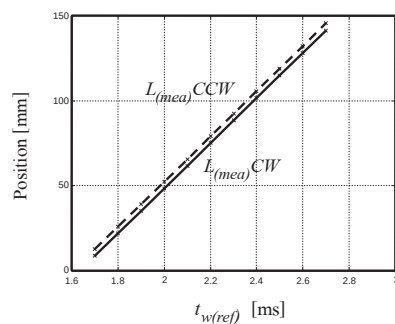
$t_{w(\text{ref})}$ (ms)	$L_{(\text{cal})}$ (mm)	$L_{(\text{mea})}$ (mm)		Position error (mm)	
		CW	CCW	CW	CCW
1.7	10.66	8.62	12.64	-2.04	1.98
1.8	23.93	21.94	25.96	-1.99	2.03
1.9	37.21	35.25	39.25	-1.96	2.04
2.0	50.48	48.42	52.48	-2.06	2.00
2.1	63.75	61.67	65.72	-2.08	1.97
2.2	77.03	75.10	79.10	-1.93	2.07
2.3	90.30	88.25	92.36	-2.05	2.06
2.4	103.57	101.58	105.57	-1.99	2.00
2.5	116.85	114.81	118.84	-2.04	1.99
2.6	130.12	128.08	132.18	-2.04	2.06
2.7	143.40	141.38	145.42	-2.02	2.02

หมายเหตุ : วัดความกว้างของพัลส์ $t_{w(\text{ref})}$ ด้วยออสซิลอสโคป YOKOGAWA DL1620 และวัดตำแหน่งหรือระยะการเคลื่อนที่ด้วยเวอร์เนียร์แคลิเปอร์

รูปที่ 13 เป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ของระยะทางการเคลื่อนที่ $L_{(\text{mea})}$ หรือตำแหน่งต่าง ๆ เมื่อเทียบกับความกว้างของพัลส์อ้างอิง $t_{w(\text{ref})}$ ที่ได้จากการทดลองที่บันทึกในตารางบันทึกผลการทดลองที่ 1

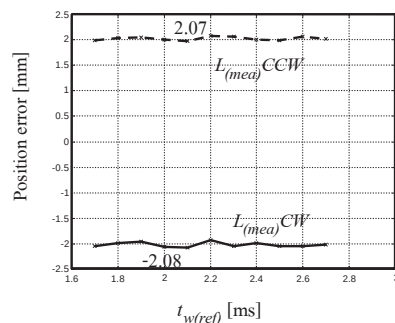
สำหรับค่าความผิดพลาดของตำแหน่ง (Position error) ที่ได้จากการทดลองดังแสดงในตารางบันทึกผลการทดลองที่ 1 จะสามารถคำนวณได้จากสมการที่ (11)

$$\text{Position error} = L_{(\text{mea})} - L_{(\text{cal})} \quad (11)$$



รูปที่ 13 ตำแหน่งต่าง ๆ ที่ได้จากการวัดระยะทางจริง

จากค่าของความผิดพลาดของตำแหน่งที่คำนวณได้จากสมการที่ (11) แสดงผลของการคำนวณในตารางบันทึกผลการทดลองที่ 1 นำมาเขียนเป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ของค่าความผิดพลาดของตำแหน่งที่เกิดขึ้น เมื่อเทียบกับค่าความกว้างของพัลส์อ้างอิง ดังแสดงในรูปที่ 14



รูปที่ 14 ค่าความผิดพลาดของตำแหน่ง ที่เกิดขึ้นจากการทดลอง เมื่อเทียบกับค่าความกว้างของพัลส์อ้างอิง

ส่วนในการทดลองเพื่อหาค่าเวลาตอบสนองต่อการเคลื่อนที่ในระยะทางสูงสุด (จาก 0mm จนถึง 150mm) จะกระทำโดยการป้อนพัลส์อ้างอิงที่อินพุตมีค่าเป็น 2.75 ms และทำการจับเวลาโดยเริ่มตั้งแต่มอเตอร์เริ่มหมุนจนถึงเวลาที่มอเตอร์หยุดหมุน เป็นจำนวน 10 ครั้ง ผลการทดลองเป็นดังตารางบันทึกผลการทดลองที่ 2

ตารางที่ 2 บันทึกผลการทดลอง

ครั้งที่	เวลา(วินาที)	ครั้งที่	เวลา(วินาที)
1	1.45	6	1.45
2	1.44	7	1.46
3	1.46	8	1.46
4	1.45	9	1.44
5	1.46	10	1.46

หมายเหตุ : วัดเวลาด้วยนาฬิกาจับเวลา hanhart TIMOPHIL ที่มีค่าความละเอียดเป็น 1/100 วินาที

6. บทสรุป

จากผลการทดลองควบคุมตำแหน่งเซอร์โวมอเตอร์ไฟตรงด้วยความกว้างของพัลส์อย่างง่ายดังวงจรที่เสนอในบทความนี้ จะเห็นว่าวงจรที่ออกแบบขึ้นนั้นไม่ซับซ้อน และผลจากการทดลองจะสอดคล้องกับทฤษฎี นอกจากนั้นความเร็วในการเคลื่อนที่เข้าหาตำแหน่งใด ๆ จะขึ้นอยู่กับผลต่างของความกว้างของพัลส์อ้างอิงและความกว้างของพัลส์ที่ใช้ในการป้อนกลับ ซึ่งส่งผลให้แรงดันไฟตรงเฉลี่ยที่ป้อนให้กับมอเตอร์เปลี่ยนแปลงขนาดจากมากไปหาน้อยโดยอัตโนมัติ ส่งผลให้ความเร็วรอบที่เพลาของมอเตอร์ลดลงด้วยเช่นกัน ซึ่งเป็นข้อดีของการควบคุมในลักษณะนี้เมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการควบคุมเชิงอนาล็อกที่ใช้อยู่บนแผงการควบคุมเซอร์โวมอเตอร์ไฟตรงของ SYMEC ซึ่งเข็มบอกตำแหน่งจะส่ายไป-มาตรงบริเวณตำแหน่งที่อ้างอิง อย่างไรก็ตามมอเตอร์จะหยุดหมุนเมื่อแรงดันเฉลี่ยที่ป้อนให้กับมอเตอร์อยู่ในบริเวณเขตตาย (dead zone) ในการทำงานของมอเตอร์ไฟตรงซึ่งจะขึ้นอยู่กับภาระที่ต่ออยู่ที่แกนเพลามอเตอร์ จึงเป็นผลให้เกิดค่าความผิดพลาดของตำแหน่งขึ้น ซึ่งผลจากการทดลองจะมีค่าผิดพลาดของตำแหน่งอยู่ในช่วง $\pm 2.1\text{mm}$ ค่าเวลาตอบสนองต่อการเคลื่อนที่ในระยะทางสูงสุดไม่มากกว่า 1.46 วินาที

อย่างไรก็ดีแล้วแต่ วงจรการควบคุมตำแหน่งของเซอร์โวมอเตอร์ไฟตรงด้วยความกว้างของพัลส์ ที่ออกแบบขึ้นในบทความนี้ เหมาะสมกับการนำไปประยุกต์ใช้ในระบบการควบคุมด้วยการสั่งงานจากไมโครคอนโทรเลอร์หรือไมโครโปรเซสเซอร์ ซึ่งสามารถกำเนิดสัญญาณความกว้าง

ของพัลส์อ้างอิงตำแหน่งที่ต้องการได้โดยง่าย ทั้งนี้เนื่องจากไมโครคอนโทรเลอร์หรือไมโครโปรเซสเซอร์โดยทั่วไปจะไม่มีวงจรแปลงผันสัญญาณจากดิจิทัลเป็นอนาล็อก(DAC) สำหรับการสั่งงานภายนอกในเชิงอนาล็อกอยู่ภายในตัวเอง

เอกสารอ้างอิง

- [1] James Maas. *Industrial Electronics*. Prentice-Hall International , Inc, 1995.
- [2] “LM555/NE555/SA555 Single Timer” Internet , www.fairchildsemi.com , 2002.
- [3] Louis Nashelsky. *Introduction to Digital Computer Technology 2ndEd.s.*, John Wiley & Sons, 1977.
- [4] Cyril W. Lander . *Power Electronics third edition*. McGraw-Hill International editions , 1993.

ประวัติผู้เขียนบทความ



ผศ.บุญเรือง วังศิลาบัตร สำเร็จการศึกษาปริญญาตรี สาขาวิชาไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์อุตสาหกรรม และวิทยาศาสตร์ สจพ. และ ระดับปริญญาโท สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ สจพ. ปัจจุบันดำรงตำแหน่งเป็นอาจารย์ประจำสาขาวิชาวิศวกรรมการวัดและควบคุม สถาบันเทคโนโลยีปทุมวัน

งานวิจัยที่สนใจ Power Electronics & Electronics Circuits Design



ผศ.วัชชัย จิตต์สนธิ สำเร็จการศึกษาปริญญาตรี สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า-โทรคมนาคม รม. และ ระดับปริญญาโท สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้าสื่อสาร คณะวิศวกรรมศาสตร์อุตสาหกรรม สจล. ปัจจุบันดำรงตำแหน่งเป็นอาจารย์ประจำสาขาวิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์และโทรคมนาคม สถาบันเทคโนโลยีปทุมวัน

งานวิจัยที่สนใจ Digital & Logic design and Microcontroller