

การประยุกต์ใช้เลเซอร์ไดโอดในการวัดระยะทาง

Laser Diode Applied for Distance Measurement

กรกฎ วัฒนวิเชียร และ ชนะ โลหะทรัพย์ทวี

Koarakot Wattanavichean and Chana Lohasaptawee

ABSTRACT

A design and construction of electronic distance measurement using laser diode is reported. The instrument is consisted of transmitter and receiver. Transmitted signal which comes from laser diode modulated with electrical signal by amplitude modulation is objected to the reflector. The reflected light is detected by photodetector and converted to electrical signal. Distance measurement is calculated by using phase comparison between electrically transmitted and received signals. The constructed instrument can measure a distance in the range of 40 m with errors of 1 - 4 %.

Key words : laser diode, distance measurement, phase comparison

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการออกแบบและสร้างเครื่องมือวัดระยะทางโดยใช้แสงจากเลเซอร์ไดโอด ซึ่งประกอบด้วยภาคส่งและภาครับ โดยเครื่องจะส่งสัญญาณแสงที่มอดูเลตกับสัญญาณไฟฟ้าแบบแอมพลิจูดมอดูเลชัน (amplitude modulation) ออกไปยังตัวสะท้อนแสง และสะท้อนกลับมายังตัวตรวจจับแสงที่ภาครับเพื่อแปลงเป็นสัญญาณไฟฟ้า โดยอาศัยหลักการเปรียบเทียบเฟสของสัญญาณไฟฟ้าที่ส่งออกและรับเข้าที่เครื่องรับ ทำให้สามารถคำนวณหาระยะทาง

อันเนื่องมาจากความต่างเฟสของสัญญาณทั้งสอง เครื่องมือวัดระยะทางที่สร้างขึ้นสามารถวัดระยะทางได้ในช่วง 40 m และมีค่าความผิดพลาดในการวัด 1 - 4 %

คำนำ

โดยทั่วไปเครื่องมือวัดระยะทางที่ใช้กันในปัจจุบันเป็นเครื่องมือที่นำเข้าเทคโนโลยีจากต่างประเทศซึ่งมีราคาแพง (ประมาณ 2 แสนบาทขึ้นไป) เมื่อเปรียบเทียบกับราคารูปรณ์อิเล็กทรอนิกส์จะพบ

ว่าส่วนใหญ่เป็นค่าเทคโนโลยีการออกแบบและค่าใช้จ่ายในการนำเข้าเครื่องมือจากต่างประเทศ ดังนั้นจุดประสงค์ของงานวิจัยนี้ก็เพื่อศึกษาการออกแบบ และสร้างเครื่องมือวัดระยะทางที่มีราคาถูก และผลิตขึ้นใช้เองภายในประเทศ

ในปัจจุบันเครื่องมือวัดระยะทางอิเล็กทรอนิกส์ที่อาศัยการส่งคลื่นแสงแบ่งได้เป็น 3 ประเภท คือ วิธีที่ 1) อาศัยการตรวจจับเวลาของคลื่นแสง (ซึ่งมอดูเลตกับสัญญาณไฟฟ้าและส่งออกไปในลักษณะพัลส์หรือคลื่นต่อเนื่อง) ที่ส่งออกไปและสะท้อนกลับ เช่น เครื่องวัดการติดตามเป้าหมายด้วยเลเซอร์ (laser range-finder) ในรายงานของกิตติ และ ขวัญชัย, 2540 เทคนิคนี้อาศัยการตรวจจับเวลาดังแต่เริ่มส่งแสงออกไปและรับเข้ามา โดยที่ระยะทางเท่ากับ ความเร็ว x เวลา โดย $2D = vt$ เมื่อ D คือระยะทางที่ต้องการตรวจจับเป้า v คือความเร็วแสง และ t คือเวลาที่แสงเดินทางไป-กลับ (Price and Uren, 1989) เทคนิคดังกล่าวใช้สำหรับการวัดระยะทางไกลตั้งแต่ 1 km ขึ้นไป และสามารถประยุกต์ใช้ในการตรวจจับความเร็วของวัตถุ (ณรงค์, 2535) วิธีที่ 2) อาศัยหลักการสอดแทรก (interferometry) ของคลื่น 2 คลื่น ในการวัดระยะทาง โดยทำการนับริ้ว (fringe) สว่าง (ซึ่งเกิดขณะที่คลื่นมีเฟสเสริมกัน) และริ้วมืด (ซึ่งเกิดขณะที่คลื่นมีเฟสหักล้างกัน) ที่เกิดสลับกันเป็นแถบเพื่อใช้เป็นพารามิเตอร์ในการคำนวณหาระยะทาง (Wilson and Hawkes, 1987) เทคนิคดังกล่าวนี้ใช้สำหรับการวัดระยะทางใกล้และประยุกต์ใช้กับการวัดความหนาของชิ้นงานที่ต้องการความละเอียดสูงซึ่งใช้ในงานวัดอุตสาหกรรม (อังกริยะ, 2536) วิธีที่ 3) อาศัยหลักการเปรียบเทียบเฟสโดยทำการมอดูเลตสัญญาณไฟฟ้าเข้ากับคลื่นแสงและส่งออกไปยังตัวสะท้อน จากนั้นจะสะท้อนกลับมายังตัวตรวจจับแสงและถูกเปลี่ยนกลับเป็นสัญญาณไฟฟ้าหรือเรียกว่าการคิมมอดูเลต โดยการวัดความต่างเฟสของสัญญาณไฟฟ้าที่ส่งออกและรับเข้า ทำให้สามารถคำนวณหาระยะทางได้ เทคนิคดังกล่าวประยุกต์ใช้กับ

การวัดระยะทางปานกลาง (ชนะ และ กรกฎ, 2540) ซึ่งงานวิจัยนี้จะอาศัยวิธีที่ 3 เพื่อออกแบบ สร้าง และทดสอบเครื่องมือวัดระยะทาง

อุปกรณ์และวิธีการ

หลักการวัดระยะทาง

โดยทั่วไปการวัดระยะทางที่คลื่นเดินทางไป-กลับ และหลักการวัดระยะทางโดยการเปรียบเทียบเฟสสามารถอธิบายได้ดัง Figure 1 เครื่องมือวัดระยะทางอิเล็กทรอนิกส์ (electronic distance measurement, EDM) ตั้งไว้ที่จุด A ทำการส่งสัญญาณแสงซึ่งมอดูเลตด้วยสัญญาณไฟฟ้าที่มีความยาวคลื่น λ ไปยังตัวสะท้อน (reflector) ที่จุด B และสะท้อนกลับเข้ามายังตัวตรวจจับแสง (photodetector) ซึ่งอยู่ภายใน EDM ดัง Figure 1(a) สำหรับ Figure 1(b) นั้นแสดงการเดินทางของคลื่นจากจุด A ไปยัง B และคลื่นสะท้อนกลับจากจุด B มายัง A จะเห็นได้ว่าที่จุด A จะเกิดความต่างเฟสของคลื่นส่งและรับ ซึ่งทำให้สามารถคำนวณระยะทางได้จาก ผลคูณของความยาวคลื่น λ และจำนวนลูกคลื่น n บวกกับระยะเศษของความยาวคลื่น P ดังแสดงใน Figure 1(c) ซึ่งสามารถเขียนได้เป็นสมการ

$$2L = n\lambda + P \quad (1)$$

$$\text{ดังนั้น } L = (n\lambda + P)/2 \quad (2)$$

โดยที่ L = ระยะทางที่ต้องการวัด λ = ความยาวคลื่น และ P = เศษความยาวคลื่น

ในกรณีที่ $n = 0$ จะได้ระยะทางตามสมการ (1) คือ $2L = P$ โดยที่ในทางปฏิบัติ P สามารถหาค่าในช่วง 0 - 1 ความยาวคลื่น และ P สามารถหาได้จากการวัดความต่างเฟสของสัญญาณไฟฟ้าที่ส่งออกและรับเข้า

ในการออกแบบเครื่องมือวัดระยะทางโดยอาศัยเทคนิคการเปรียบเทียบเฟส (Figure 2) ทำได้โดยวัดความต่างเฟส ϕ (เปลี่ยนแปลงในช่วง 0 - 360° หรือ 0 - 2π เรเดียน) ของสัญญาณไฟฟ้าที่ส่งและรับเข้าว่ามี

ค่าเท่าใด ซึ่งจะเทียบได้กับความยาวคลื่นหรือระยะทางที่เปลี่ยนแปลงจาก 0 - λ (หรือ $P = \lambda\phi/360$) ดังนั้น ระยะทางหาได้จากความต่างเฟส ϕ คือ

$$2L = \lambda\phi/360 = \lambda\phi/2p \quad (3)$$

ด้วยเหตุนี้ความต่างเฟสของสัญญาณไฟฟ้าที่ส่ง ออกและรับเข้าจึงสามารถนำมาคำนวณหาระยะทางได้

การออกแบบและสร้างเครื่องวัดระยะทางโดยใช้เลเซอร์ ไดโอด

ในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงการออกแบบและสร้าง เครื่องมือวัดระยะทาง โดยแบ่งเป็น 3 ขั้นตอนใหญ่ ๆ คือ 1) ออกแบบภาคส่งและภาครับสัญญาณแสงโดยใช้แสงจากเลเซอร์ไดโอดเป็นพาหะ 2) ออกแบบภาคผสมสัญญาณและกรองความถี่ และ 3) ออกแบบภาคตรวจสอบความต่างเฟสของสัญญาณที่รับได้และสัญญาณที่ส่งออกเพื่อนำมาคำนวณและแสดงผลเป็น ระยะทาง

การออกแบบเครื่องมือวัดระยะทางโดยการ

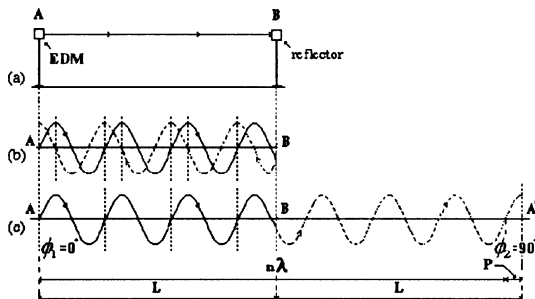


Figure 1 Phase comparison.

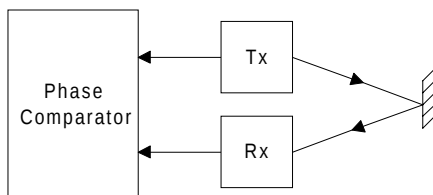


Figure 2 Concept of distance measurement using phase comparison technique.

เปรียบเทียบเฟสมีบล็อกไดอะแกรม (Figure 3)

Figure 3 แสดงบล็อกไดอะแกรมของเครื่องวัดระยะทาง โดยสัญญาณไฟฟ้า f_1 สร้างจากออสซิลเลเตอร์ 1 (OSC1) ถูกส่งไปยังภาคส่ง (TX) เพื่อทำการมอดูเลตแบบแอมพลิจูดกับแสงจากเลเซอร์ไดโอด (LD) แล้วส่งออก ขณะเดียวกันสัญญาณ f_1 นี้จะถูกส่งไปยังภาคผสมสัญญาณ 1 (MIX 1) ด้วย ทางภาครับ (RX) จะทำการแปลงสัญญาณแสงกลับเป็นสัญญาณไฟฟ้า ($f_1 + \phi$) เพื่อส่งไปยังภาคผสมสัญญาณ 2 (MIX 2) สัญญาณไฟฟ้าที่ส่งออกและรับได้จะมีความถี่เดียวกันแต่มีเฟสต่างกัน จากนั้นสัญญาณทั้งสองจะถูกแปลงความถี่ให้ต่ำลงโดยภาค MIX 1 และ MIX 2 (โดย OSC 2 จะสร้างสัญญาณ f_2 เพื่อส่งให้ MIX 1 และ MIX 2 และ f_2 มีความถี่แตกต่างจาก $f_1 = 100$ Hz สำหรับเหตุผลในแง่ความแตกต่างของความถี่จะกล่าวในภาคแสดงผล) แล้วถูกส่งต่อไปยังภาครองความถี่ผ่านแถบ (BPF) หลังจากทีสัญญาณทั้งภาคส่งและภาครับผ่านภาค BPF 1 และ BPF 2 แล้วจะมีความถี่ลดลงเป็น $f_2 - f_1$ และ $f_2 - f_1 + \phi$ ตามลำดับ จากนั้นภาคเปรียบเทียบเฟส (phase comparator) จะทำหน้าที่เปรียบเทียบเฟสของสัญญาณไฟฟ้างกล่าว เอาต์พุตของวงจรเปรียบเทียบเฟสจะนำไปเปิดเกตแอนด์ (AND) ของวงจรนับเพื่อแสดงผลระยะทางเป็นเลขฐานสิบ

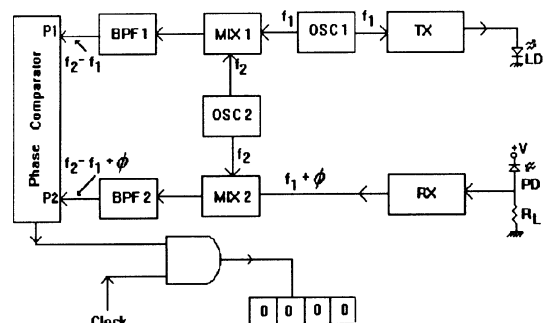


Figure 3 Block diagram of electronic distance measurement.

การออกแบบภาคส่งและภาครับ

การออกแบบวงจรภาคส่งในที่นี้กำหนดความถี่ 1 MHz (เนื่องจากแต่เดิมกำหนดระยะทางการวัดภายในระยะ 150 m) เพื่อใช้ในการมอดูเลตกับสัญญาณแสง วงจรทางด้านส่งประกอบด้วยวงจรคริสตอลออสซิลเลเตอร์ซึ่งผลิตความถี่ 1 MHz และวงจรมอดูเลเตอร์สัญญาณแสงเพื่อส่งออกดังแสดงใน Figure 4(a) และ 4(b) ตามลำดับ

Figure 4(a) แสดงวงจรคริสตอลออสซิลเลเตอร์ แบบโคลพิตตส์ (colpitts oscillator) ซึ่งถูกควบคุมความถี่โดยคริสตอลขนาด 1 MHz และตัวเก็บประจุปรับค่าได้ (5 - 20 pF) สำหรับ R1 และ R2 ในวงจรทำหน้าที่เป็นตัวจัดไบแอสให้กับทรานซิสเตอร์ R_F ทำหน้าที่ป้องกันความถี่ที่สร้างขึ้นไม่ให้รบกวนแหล่งจ่ายไฟซึ่งอาจทำให้จุดไบแอสของวงจรเปลี่ยน C1 ทำหน้าที่ป้อนกลับแบบบวกเพื่อให้วงจรเกิดการออสซิลเลต ซึ่ง C1 และ C2 จะทำหน้าที่เลื่อนเฟสและจัดไบแอสทางไฟสลับให้คงที่ด้วย จากนั้นเอาต์พุตจะต่อไปยัง วงจรมอดูเลเตอร์และส่งออก [Figure 4(b)] โดยวงจรมอดูเลเตอร์ออกแบบให้มีกระแสไหลผ่านเลเซอร์ไดโอดที่กระแสที่ I_o ทางขวามือของ LD ใน Figure 4(b) และมีกระแสที่เปลี่ยนค่าได้ทางด้านซ้ายมือของ LD กระแสค่านี้จะเปลี่ยนแปลงตามแอมพลิจูดของสัญญาณไฟฟ้าความถี่ 1 MHz ในที่นี้ใช้เลเซอร์ไดโอดที่มีความยาวคลื่น 635 nm กำลังเอาต์พุตแสงมีค่า 2 mW กระแส I_o ของเลเซอร์ไดโอดที่ 41 mA เหตุผลที่เลือกใช้เลเซอร์ไดโอดความยาวคลื่นดังกล่าวเนื่องจากเป็นเลเซอร์ไดโอดที่มีเลนส์อนุประกอบสำเร็จติดตั้งรวมอยู่ด้วย เพื่อช่วยแก้ปัญหาเรื่องการลู่ออกของลำแสง (beam divergence) ซึ่งเลเซอร์ไดโอดความยาวคลื่นนี้พร้อมเลนส์อนุหาซื้อได้สะดวกกว่าเลเซอร์ความยาวคลื่นอื่น รายละเอียดการทำงานของวงจรภาคส่งสามารถดูได้จากรายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์ (กรกฎ, 2541)

การออกแบบวงจรภาครับ (Figure 5) เนื่องจาก

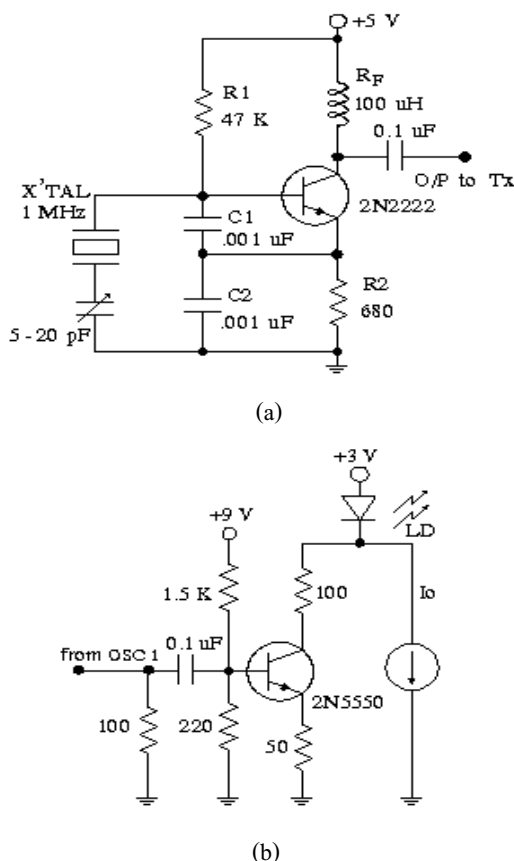


Figure 4 (a) Crystal oscillator (OSC1) and (b) modulator circuits.

ในงานวิจัยนี้ไม่สามารถหาซื้อโฟโตไดโอดที่มีผลตอบสนองต่อแสงสูงสุดที่ความยาวคลื่น 635 nm ได้ ดังนั้นจึงได้ใช้โฟโตไดโอด (PD) เบอร์ MRD 500 แทนซึ่งมีผลตอบสนองสูงสุดที่ 800 nm ด้วยเหตุนี้จึงทำให้ประสิทธิภาพในการตอบสนองที่ 635 nm มีค่าประมาณ 80 % (Motorola Inc., 1989) และได้ใช้โฟโตไดโอดเบอร์ดังกล่าวทำหน้าที่ตรวจจับแสงที่สะท้อนกลับมาจากตัวสะท้อนแสงและแปลงเป็นสัญญาณไฟฟ้าและผ่านมายัง R_L ในที่นี้ได้ทำการทดลองหาผลตอบสนองต่อแสงของโฟโตไดโอดที่ค่า R_L ต่าง ๆ กันในช่วง 50 - 330 ohm ผลปรากฏว่าเมื่อ $R_L = 100$ ohm ให้ผลตอบสนองดีที่สุด จากนั้นจึงนำแรงดันตก

คร่อม $R_L = 100 \text{ ohm}$ ไปเข้าอินพุตของวงจรขยายความแตกต่าง (differential amplifier) โดยใช้ไอซี LM733 ซึ่งเป็นไอซีที่มีแบนด์วิดท์สูง 120 MHz และได้ทำการออกแบบให้มีอัตราขยายสัญญาณ = 100 โดยรายละเอียดการออกแบบวงจรขยายผลต่างดูได้จากแผ่นข้อมูลไอซีเบอร์ดังกล่าว (National Semiconductor Corp., 1988b)

การออกแบบวงจรผสมสัญญาณและกรองความถี่

เมื่อสัญญาณไฟฟ้าความถี่ $f_1 = 1 \text{ MHz}$ ซึ่งสร้างโดย OSC1 ส่วนหนึ่งจะถูกส่งไปเป็นอินพุตของ

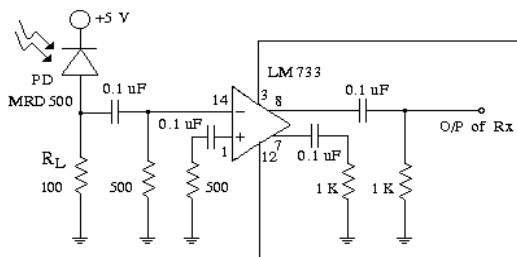


Figure 5 Receiver circuit.

Figure 4(b) และอีกส่วนหนึ่งจะไปเป็นอินพุต 1 ของวงจร MIX 1 (Figure 6) สำหรับอินพุต 2 ของวงจรจะมาจากโอสซิลเลเตอร์ (OSC2 ซึ่งมีวงจรเหมือนดัง Figure 4(a)) ที่มีความถี่ $f_2 = 1.0001 \text{ MHz}$ จากนั้นอินพุตทั้งสองจะถูกผสมสัญญาณโดย ไอซีเบอร์ MC1496 ซึ่งทำหน้าที่เป็น balanced modulator-demodulator (Motorola Inc., 1993b) เอาต์พุตที่ได้จะมีสองความถี่คือ $f_2 + f_1$ และ $f_2 - f_1$ นำเอาต์พุตที่ได้ไปเป็นอินพุตของวงจรกรองความถี่ผ่านแถบ BPF 1 (Figure 7) โดยใช้ไอซี LF353 (Motorola Inc., 1993a) ซึ่งออกแบบให้เป็นวงจรกรองความถี่ที่ $f_2 - f_1 = 100 \text{ Hz}$ การออกแบบวงจรกรองความถี่ผ่านแถบได้จาก Jain et al. (1993)

สำหรับวงจร MIX 2 (ดู Figure 3 ประกอบ) ซึ่งรับอินพุตจาก OSC2 (ความถี่ f_2) และจากภาครับ (ความถี่ $f_1 + \phi$) จะมีลักษณะวงจรเช่นเดียวกับ Figure 6 ในทำนองเดียวกันวงจรกรองความถี่ผ่านแถบ BPF 2 ที่รับอินพุตจากเอาต์พุตของวงจร MIX 2 จะมีรูปวงจรเช่นเดียวกับ Figure 7 และเอาต์พุตของวงจรนี้

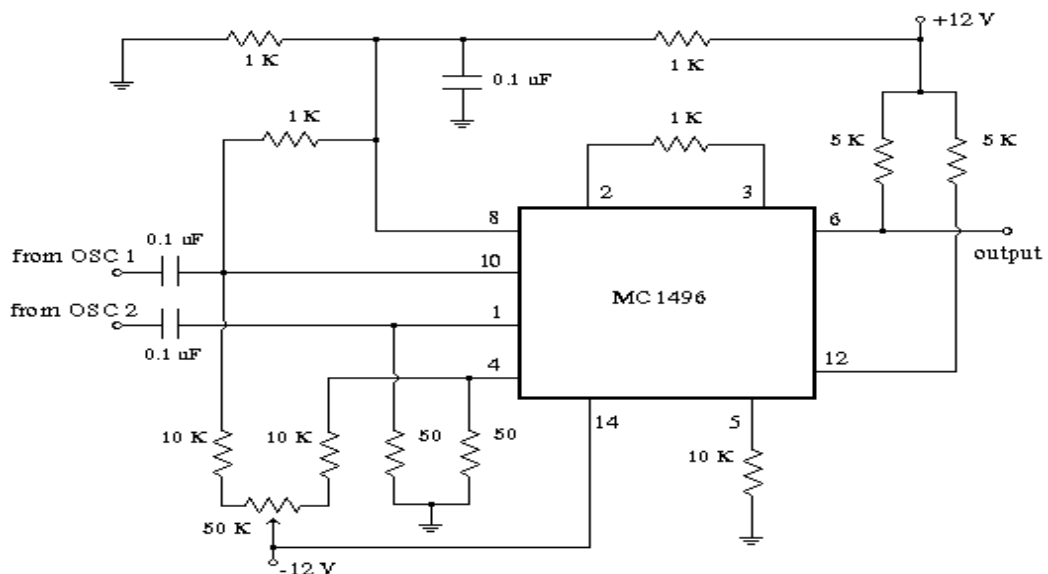


Figure 6 Mixer circuit (MIX 1).

จะมีความถี่เป็น $f_2 - f_1 + \phi = 100 \text{ Hz}$ เช่นกัน จากนั้นจะนำสัญญาณนี้ไปเข้าวงจรเลื่อนเฟส (Figure 8) ซึ่งทำหน้าที่ปรับเฟสของสัญญาณที่รับให้ตรงกับสัญญาณที่ส่งที่ระยะอ้างอิงของเครื่องมือวัดและตัวสะท้อนแสง โดยทำการปรับเทียบเครื่องมือวัดก่อนนำไปใช้วัดระยะจริง รายละเอียดการออกแบบวงจรเลื่อนเฟสสามารถอ่านได้จากเอกสารอ้างอิง (Kalsi, 1995) และรายละเอียดการทำงานของวงจรผสมสัญญาณและกรองความถี่สามารถดูได้จากรายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์ (กรกฎ, 2541)

การออกแบบวงจรเปรียบเทียบเฟสและภาคแสดงผล

การออกแบบวงจรเปรียบเทียบเฟส (Figure 9) จะต้องทำการแปลงสัญญาณลูกคลื่นไซน์ที่อินพุต P1 และ P2 ให้เป็นสัญญาณสี่เหลี่ยมก่อนโดยผ่านวงจรตรวจจับแรงดันสัญญาณข้ามศูนย์ (zero crossing detector) ซึ่งใช้ไอซี LM741 (National Semiconductor Corp., 1988a) ต่อแบบอัตราขยายวงรอบเปิด (open loop gain) ซึ่งวงจรนี้จะให้เอาต์พุตเป็น $-V_{cc}$ เมื่อระดับสัญญาณอินพุตมากกว่าศูนย์ (inverting input) และเอาต์พุตเป็น $+V_{cc}$ เมื่อระดับสัญญาณอินพุตน้อยกว่าศูนย์ จากนั้นนำไปผ่านวงจรปรับแรงดันเพื่อให้เอาต์พุตเปลี่ยนระดับสัญญาณเป็น TTL โดยใช้ทรานซิสเตอร์เบอร์ 2N2222 (National Semiconductor Corp., 1989) ทำการวัดความต่างเฟสของสัญญาณสี่เหลี่ยมเหล่านี้ โดยใช้เกตและฟลิปฟล็อปต่อวงจรดัง Figure 9 (ด้านล่าง) โดยออกแบบวงจรให้สามารถวัดความต่างเฟสจาก $0 - 360^\circ$ เอาต์พุตของวงจรเปรียบเทียบเฟสคือสัญญาณพัลส์ที่เปลี่ยนแปลงความกว้างได้จาก duty cycle ค่า 0 ถึง 99 % นั่นเอง จากนั้นนำเอาต์พุตดังกล่าวนี้ไปเปิดเกตแอนดให้สัญญาณนาฬิกาเข้าสู่วงจรนับของภาคแสดงผลดัง (Figure 10) เพื่อแสดงผลระยะทางเป็นตัวเลขฐานสิบ

การออกแบบวงจรแสดงผลระยะทางประกอบด้วย วงจรกำเนิดสัญญาณนาฬิกา สัญญาณเริ่มต้นการ

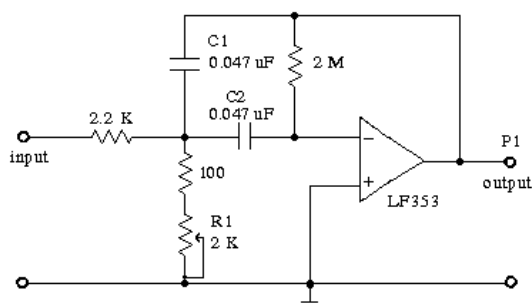


Figure 7 Second order bandpass filter (BPF 1).

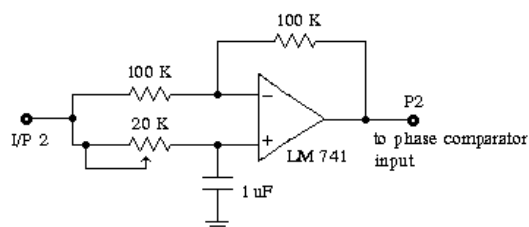
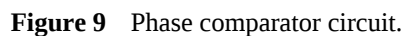


Figure 8 Phase shifter.

นับ และวงจรนับแสดงผลเป็นเลข 7 เซกเมนต์ อินพุตของวงจรจะประกอบด้วยสัญญาณนาฬิกา (150 kHz) และสัญญาณพัลส์ที่เปลี่ยนแปลงความกว้างได้จากวงจรเปรียบเทียบเฟส ในที่นี้สัญญาณนาฬิกา 1 ลูก หมายถึงระยะทาง 0.1 m หรือเทียบได้กับ สัญญาณนาฬิกาจำนวน 1,500 ลูก อยู่ในความถี่ 100 Hz นั่นเอง (ความถี่ 100 Hz ได้จากผลต่างของความถี่ $f_2 - f_1$ โดยการปรับความถี่ OSC2 ไว้ที่ 1.0001 MHz ซึ่งในทางปฏิบัติ OSC2 อาจสามารถปรับค่าได้ในช่วง 1.00000 - 1.00015 MHz และ ความถี่ 100 Hz นี้ถือเป็นความถี่ที่เหมาะสมสำหรับการออกแบบสัญญาณนาฬิกา ดังนั้นจึงออกแบบสัญญาณนาฬิกาที่ความถี่ 150 kHz เพื่อป้อนเข้าสู่วงจรนับ สำหรับสัญญาณเริ่มต้นการนับสร้างจากสัญญาณพัลส์ความต่างเฟส โดยออกแบบให้ใช้วงจรเอคเสลิดร (ซึ่งใช้ไอซีเบอร์ 74LS123) ป้อนเข้าสู่วงจรนับเช่นกัน และวงจรนับแสดงผลระยะทางออกแบบโดยใช้ไอซี 74LS90 และ



74LS47 (Motorola Inc, 1992) อย่างละ 4 ตัว (Figure 10) เอาต์พุตของภาคแสดงผลนี้คือเลข 7 เซกเมนต์ 4 หลัก สำหรับรายละเอียดของวงจรภาคแสดงผลสามารถดูได้จากรายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์ (กรกฎ, 2541) และ Figure 11 แสดงภาพถ่ายจริงของแผงเครื่องมือวัดระยะทางที่สร้างขึ้นและตัวสะท้อน

ผล

เมื่อทำการออกแบบและสร้างเครื่องมือวัดระยะทางดังได้อธิบายการทำงานและหน้าที่ของแต่ละส่วนไว้แล้วในหัวข้อก่อน ได้ทำการวัดสัญญาณเอาต์พุตของภาคส่ง โดยใช้ digital storage scope (Yogokawa DL-1520) ซึ่งได้รูปคลื่นดังแสดงใน Figure 12 ส่วนบน โดยสัญญาณดังกล่าววัดได้จากขาแคโทด (Figure 4(b)) ของเลเซอร์ไดโอด และสัญญาณที่วัดได้มีความถี่ 1 MHz แอมพลิจูดมีค่า 23.2 mV_{p-p}

สัญญาณภาครับวัดได้ที่เอาต์พุตของภาคขยายสัญญาณของ Figure 5 ซึ่งทำการวัด ณ จุดอ้างอิงการวัด จะมีรูปคลื่นเหมือนดังที่แสดงใน Figure 12 ส่วนล่าง โดยมีความถี่ 1 MHz เช่นเดียวกับภาคส่งและมีแอมพลิจูด 520 mV_{p-p}

จากนั้นทำการวัดสัญญาณที่ผ่านมายังวงจรผสมสัญญาณและกรองความถี่โดยวัดที่จุด P1 ของ Figure 7 และได้รูปคลื่นสัญญาณความถี่ต่ำ ($f_2 - f_1 = 100$ Hz) ดังแสดงใน Figure 13 ส่วนบน ซึ่งมีแอมพลิจูด 1.5 V_{p-p} ในทำนองเดียวกันสัญญาณทางภาครับที่ผ่านภาคผสมสัญญาณ กรองความถี่ และวงจรเลื่อนเฟส จะสามารถวัดได้จากจุด P2 ของ Figure 8 โดยสัญญาณมีความถี่ 100 Hz แอมพลิจูด 1.36 V_{p-p} (Figure 13 ส่วนล่าง) และเงื่อนไขการวัดกระทำ ณ จุดอ้างอิงการวัด จากนั้นจึงนำสัญญาณทั้งสองนี้มาทำการเปรียบเทียบเฟสตามวงจรใน Figure 9

Figure 14 แสดงสัญญาณดิจิทัลของอินพุต P1

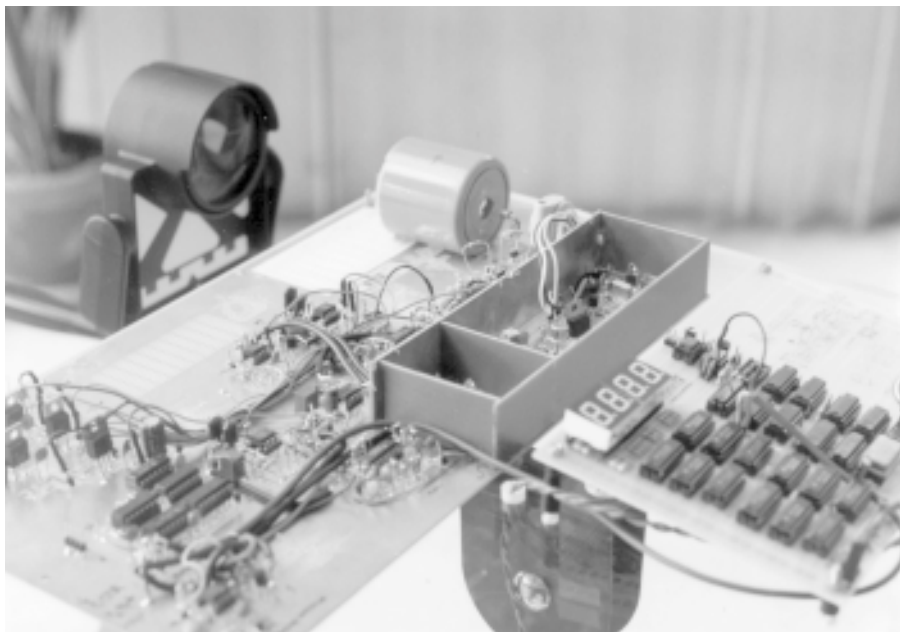


Figure 11 Photo of constructed instrument together with reflector for distance measurement.

และอินพุต P2 ที่วัด ณ จุด X1 และ X2 ของ Figure 9 ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าสัญญาณทั้งสองมีเฟสเหมือนกัน และ Figure 14 ได้ทำการวัด ณ จุดอ้างอิงการวัด (ระยะระหว่างเครื่องวัดและตัวสะท้อนห่างกันประมาณ 10 cm) ซึ่งสามารถทำการปรับเฟสได้โดยการปรับค่า $R = 20 \text{ Kohm}$ ใน Figure 8 จนเฟสของสัญญาณที่จุด

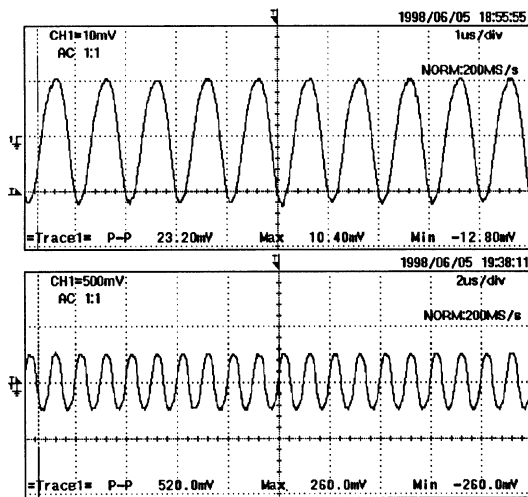


Figure 12 Output signal of transmitter (upper) and receiver (lower).

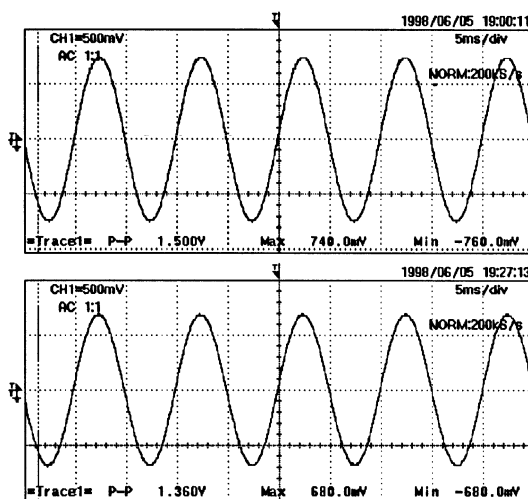


Figure 13 Down frequency of OSC1 (upper) and received signal (lower) to 100 Hz.

X1 และ X2 มีค่าตรงกัน

เมื่อทำการวัดระยะทางโดยเคลื่อนตัวสะท้อนห่างออกจากเครื่องวัดระยะทางประมาณ 8.8 m จะได้สัญญาณดิจิทัลที่จุด X1 และ X2 ของวงจรเปรียบเทียบเฟส (Figure 15) จะเห็นได้ว่าเฟสของสัญญาณที่จุดทั้งสองมีค่าต่างกันประมาณ 21.6° และเมื่อคำนวณด้วยสมการ (3) จะได้ค่าระยะทาง = 9 m ซึ่งคิดเป็นค่าผิดพลาดในการวัด 2.5 % ในทำนองเดียวกันเฟสของสัญญาณทั้งสองจะแตกต่างกันมากขึ้นที่ระยะทางไกลขึ้น และความต่างเฟสในการวัดจะแปรค่าจาก $0 - 360^\circ$

Table 1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะทางที่วัดจริงโดยใช้ไม้เมตรในช่วง 40 m และระยะทางที่อ่านได้จากเครื่องมือที่สร้าง (ค่าในตารางเป็นค่าเฉลี่ยที่คำนวณได้จากการอ่านที่เครื่องวัดจำนวน 20 ครั้ง) จะเห็นได้ว่าในช่วงระยะ 40 m เครื่องมือวัดระยะทางที่สร้างขึ้นอ่านค่าระยะทางผิดพลาดในช่วง 1 - 4 % และมีค่าความผิดพลาดสูงสุดอยู่ที่ระยะ 5 m และ 10 m

สรุปและวิจารณ์

จากการศึกษา ได้ออกแบบวงจรภาคส่งและรับ

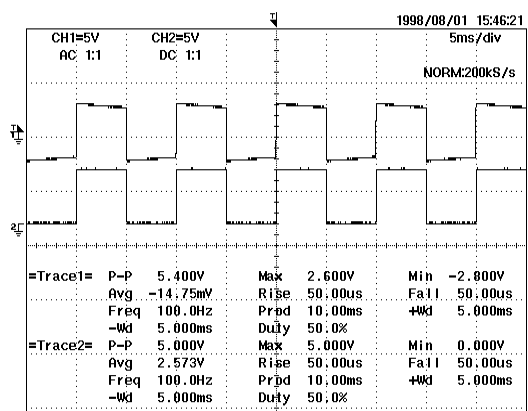


Figure 14 Digital signals at inputs X1 and X2 of phase comparator.

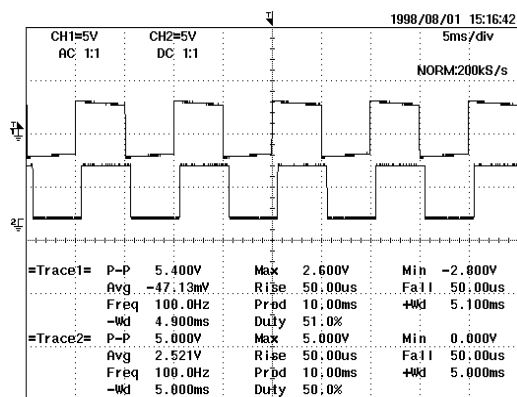


Figure 15 Phase difference of digital signals at inputs X1 and X2.

สัญญาณแสง ภาคผสมสัญญาณ ภาคกรองความถี่ ภาคตรวจสอบความต่างเฟส และภาคแสดงผล จากนั้นทำการสร้างเครื่องมือวัดระยะทางด้วยแสงจากเลเซอร์ไดโอดโดยอาศัยเทคนิคการเปรียบเทียบเฟสของสัญญาณไฟฟ้าด้านส่งและด้านรับ เครื่องมือวัดระยะทางที่สร้างขึ้นสามารถวัดระยะทางภายใน 40 m โดยระยะทางแปรผันตรงกับ ความต่างเฟส และมีค่าความผิดพลาดในการวัดอยู่ในช่วง 1 - 4 %

จากผลใน Table 1 เห็นได้ว่าความผิดพลาดที่วัดได้เป็นค่าสัมบูรณ์อยู่ในช่วง 20 - 50 cm และผลการวัดระยะไกลมีค่า % ความผิดพลาดสูงกว่าการวัดระยะใกล้ สาเหตุที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากที่ระยะ L ใกล้ค่าความต่างเฟส ϕ ที่วัดได้มีค่าน้อย และหากวัดความต่างเฟสผิดพลาดได้เป็น $\Delta\phi$ จะทำให้ แม้ $\Delta\phi$ มีค่าผิดพลาดไม่มากแต่เนื่องจาก ϕ มีค่าน้อย จึงทำให้ ความแตกต่างระหว่าง ϕ และ $\Delta\phi$ มีค่ามากเมื่อเทียบกับค่าความแตกต่าง (ϕ และ $\Delta\phi$) ที่วัดได้จากระยะใกล้ ด้วยเหตุนี้เมื่อวัดระยะทางที่ไกลขึ้น % ความผิดพลาดจึงสูงขึ้น อย่างไรก็ตามเครื่องมือวัดระยะทางที่สร้างได้มีราคาต่ำกว่าที่นำเข้าจากต่างประเทศมากกว่า 10 เท่า

การวัดระยะทางที่แม่นยำมากขึ้นสามารถ

Table 1 Distance measurement by using meterstick and constructed instrument.

Real distance	Distance measured	
	by constructed instrument	% errors
0 m	0 m	-
5 m	5.2 m	4.0
10 m	10.4 m	4.0
15 m	15.5 m	3.3
20 m	20.2 m	1.0
25 m	24.7 m	1.2
30 m	30.5 m	1.7
35 m	34.5 m	1.4
40 m	40.4 m	1.0

กระทำได้โดยการส่งสัญญาณหลายความถี่ (หลายความยาวคลื่น) เพื่อนำมาคำนวณค่าระยะทางในแต่ละความยาวคลื่นแล้วจึงนำมาประมวลผล (อาจใช้ไมโครโพรเซสเซอร์ช่วย) เป็นระยะทาง

กรณีที่ต้องการวัดระยะทางไกลขึ้นสามารถกระทำได้โดยการส่งสัญญาณไฟฟ้าที่มีความถี่ต่ำลง (ความยาวคลื่นยาว) และต้องใช้กำลังส่งของแสงเลเซอร์มากขึ้น (กำลังเอาต์พุตทางแสง ≥ 5 mW ขึ้นไป) อีกทั้งต้องใช้เลนส์นูนที่สามารถปรับโฟกัสได้ (adjustable focus lens) เพื่อช่วยให้แสงจากเลเซอร์ไดโอดเป็นลำแสงขนานที่ดีในช่วงระยะทางที่ต้องการวัด นอกจากนี้จะต้องทำการติดตั้งเลนส์นูนที่ตัวโฟโตไดโอด ในทางปฏิบัติ การหาซื้อเลเซอร์ไดโอดกำลังสูงพร้อมอุปกรณ์ที่กล่าวถึงมักกระทำได้ยาก เนื่องจากไม่มีจำหน่ายภายในประเทศจึงต้องสั่งซื้อจากต่างประเทศโดยตรงซึ่งในงานวิจัยนี้ได้กระทำถึงขั้นตอนนี้แล้ว หากแต่สินค้าที่ส่งมาใช้งานไม่ได้ตามพิคคข้อกำหนดรายละเอียดที่ระบุไว้

คำขอบคุณ

ขอขอบพระคุณต่อสถาบันวิจัยและพัฒนาแห่งมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ที่ได้ให้ทุนสนับสนุนงานวิจัยตามรหัส ว-อ 9.41

เอกสารอ้างอิง

- กรกฎ วัฒนวิเชียร. 2541. การประยุกต์ใช้เลเซอร์ไดโอดในการวัดระยะทาง. รายงานฉบับสมบูรณ์. สถาบันวิจัยและพัฒนาแห่งมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ. 28 น.
- กิตติ ไพฑูรย์วัฒนกิจ และขวัญชัย มีสะอาด. 2540. เครื่องมือวัดระยะทางด้วยเลเซอร์, น. 233-247 ใน การประชุมใหญ่ทางวิชาการประจำปี 20-23 พฤศจิกายน 2540. วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์, กรุงเทพฯ.
- ชนะ โลหะทรัพย์ทวี และ กรกฎ วัฒนวิเชียร. 2540. การวัดระยะทางโดยอาศัยเทคนิคการเปรียบเทียบเฟส, น. 844-849. ใน การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 20. 13-14 พ.ย. 2540. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ.
- ณรงค์ หมั่นพลศรี. 2535. ระบบติดตามเป้าหมายด้วยเลเซอร์. วิทยานิพนธ์ ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, กรุงเทพฯ.
- อঞ্জลริยะ โสโน. 2536. การใช้เลเซอร์ไดโอดในงานวัดอุตสาหกรรม. รายงานการวิจัยและพัฒนา วิศวกรรมฉบับสมบูรณ์. ศูนย์เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์แห่งชาติ กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม, กรุงเทพฯ. 88 น.
- Jain, L., S., Hungenahally, and A. Bolton. 1993. Analog Electronic Circuit. BPB Publications, New Delhi. 200 p.
- Kalsi, H.S. 1995. Electronic Instrumentation. Tata McGraw-Hill Pub Co. Ltd. New Delhi. 635 p.
- Motorola Inc., 1989. Optoelectronics Device Data. 5th ed. Literature Distribution Center, Arizona. 409 p.
- Motorola Inc., 1992. Motorola FAST and LS TTL Data. Literature Distribution Center, Arizona. 708 p.
- Motorola Inc., 1993a. Motorola Linear and Interface Integrated Circuits. Vol. I. Literature Distribution Center, Arizona. 1182 p.
- Motorola Inc., 1993b. Motorola Linear/Interface ICs Device Data. Vol. II. Literature Distribution Center, Arizona. 1040 p.
- National Semiconductor Corp. 1988a. Linear 1 Databook. Literature Distribution Center, California. 1243 p.
- National Semiconductor Corp. 1988b. Linear 3 Databook. Literature Distribution Center, California. 914 p.
- National Semiconductor Corp. 1989. Discrete Semiconductor Product Databook. Literature Distribution Center, California. 709 p.
- Price, W.F. and J. Uren. 1989. Laser Surveying. University Press, Cambridge. 256 p.
- Wilson, J. and J.F.B. Hawkes. 1987. Laser Principles and Application. Prentice Hall International Delhi. 308 p.

วันรับเรื่อง : 14 ส.ค. 41

วันรับตีพิมพ์ : 14 ม.ค. 42