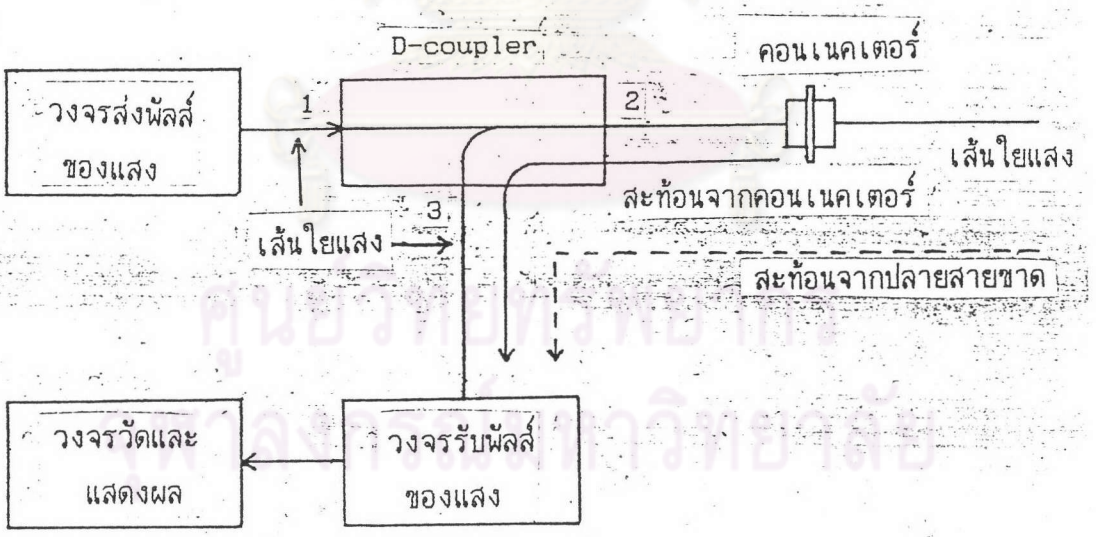
บทที่ 3

การออกแบบโครงสร้างและการทำงานของเครื่องวัดตำแหน่งสายขาดของเส้นใยแสง

3.1 โครงสร้างและการทำงานของเครื่องวัด

จากหลักการของเครื่องวัดที่กล่าวไว้ในหัวข้อ 2.3 เมื่อนำมาพิจารณาออกแบบโครงสร้างของเครื่องวัดจะพบว่าในขั้นแรก เครื่องวัดจะต้องมีส่วนประกอบที่สำคัญ ๆ ดังที่แสดงไว้ในรูปที่ 3.1 กล่าวคือ จะประกอบด้วยวงจรส่งพัลส์ของแสง, Directional coupler, คอนเนคเตอร์, วงจรรับพัลส์ของแสง และวงจรวัดและแสดงผล วงจรส่งพัลส์ของแสงจะประกอบด้วยวงจรอิเล็กทรอนิกส์และแหล่งกำเนิดแสง ซึ่งแสงจากแหล่งกำเนิดแสงนี้จะถูกคัปปลิ้งเข้าไปในเส้นใยแสงไปเข้าที่ขาเบอร์ 1 ของ Directional coupler ซึ่ง Directional coupler จะผ่านแสงนั้นไปขาเบอร์ 2 โดยไม่ให้ไปที่ขาเบอร์ 3 เส้นใยแสงที่ต่อกับขาเบอร์ 2 จะถูกต่อเข้ากับคอนเนคเตอร์รอไว้

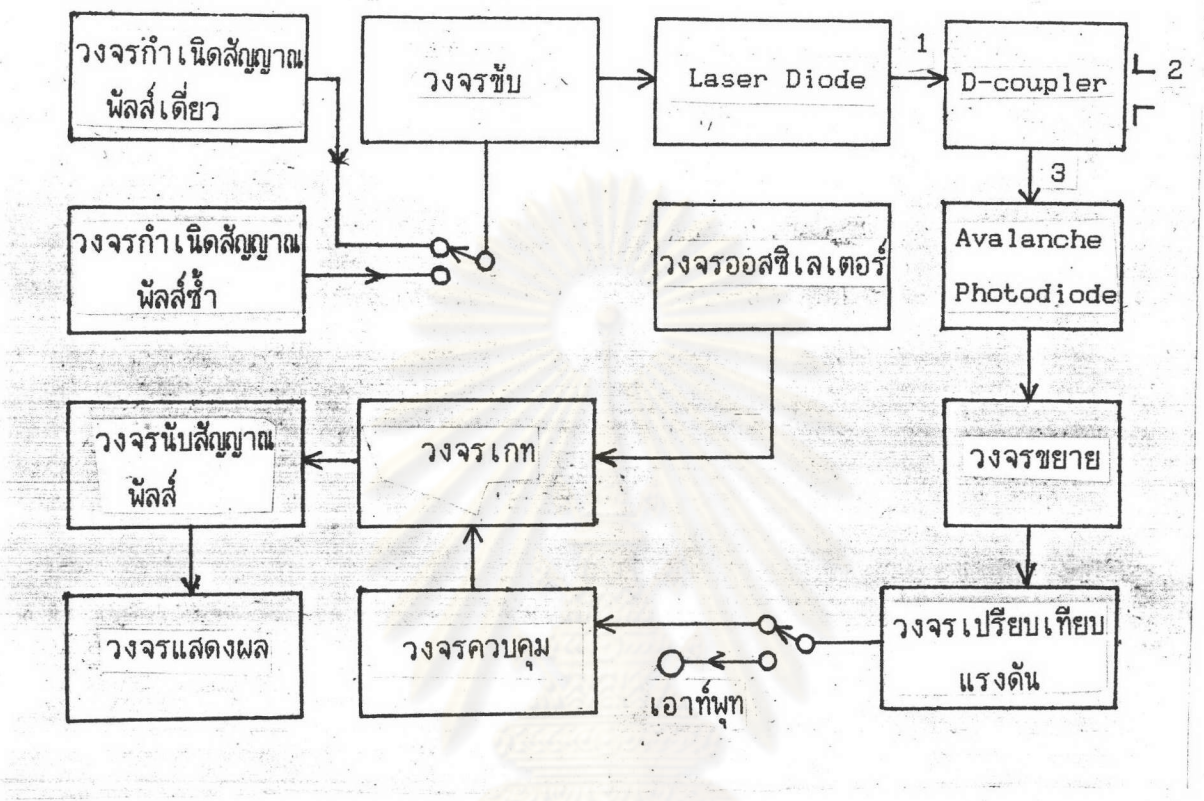


รูปที่ 3.1 ส่วนประกอบหลัก ๆ ของเครื่องวัด

เพื่อให้สามารถนำเส้นใยแสงที่ต้องการวัดที่ต่อคอนเนคเตอร์ไว้แล้วมาต่อได้ตรงตำแหน่งของคอนเนคเตอร์นี้ โดยทั่วไปจะเกิดการสะท้อนกำลังของแสงบางส่วนกลับมา เนื่องจากความไม่สมบูรณ์ของคอนเนคเตอร์ (ปกติคอนเนคเตอร์จะมีการสูญเสียกำลังประมาณ 1 dB)[11] แสงที่สะท้อนกลับมาจากขาเบอร์ 2 จะแยกไปที่ขาเบอร์ 1 และขาเบอร์ 3 ซึ่งขาเบอร์ 3 จะต่อกับวงจรภาครับไว้ พัลส์ของแสงที่สะท้อนจากคอนเนคเตอร์นี้จะถูกใช้เป็นพัลส์ลูกที่หนึ่ง ส่วนพัลส์ของแสงที่สะท้อนจากปลายสายขาดก็จะเป็นพัลส์ลูกที่สอง

วงจรภาครับจะประกอบด้วยตัวรับแสง และวงจรอิเล็กทรอนิกส์ ซึ่งจะทำการขยายสัญญาณพัลส์ที่รับมาได้ แล้วส่งไปให้วงจรวัดและแสดงผลต่อไป วงจรวัดและแสดงผลนั้น หน้าที่หลักก็คือ จะต้องวัดช่วงเวลาระหว่างพัลส์ให้ได้ถูกต้อง ซึ่งจะทำได้ 2 วิธีด้วยกันคือ ใช้ออสซิโลสโคปซึ่งมีวงจร Time base ที่ถูกต้องแน่นอน หรือใช้พัลส์ไปเปิดเกทเพื่อวัดจำนวนคลื่นของออสซิเลเตอร์ที่ผ่านเกทในช่วงเวลานับ ซึ่งจำนวนคลื่นที่นับได้จะสัมพันธ์กับช่วงเวลาที่ต้องการวัดโดยตรง การใช้ออสซิโลสโคปวัดนั้นจะทำได้โดยการส่งพัลส์ซ้ำออกไปเรื่อย ๆ โดยให้มีช่วงห่างระหว่างพัลส์อย่างเหมาะสม แล้วนำสัญญาณที่ได้จากภาครับไปดูที่ออสซิโลสโคปก็จะได้ภาพนิ่งออกมา

สำหรับกรณีที่ใช้ออสซิเลเตอร์ที่สร้างขึ้นเองนั้นจะทำได้โดยใช้วงจรต่าง ๆ ดังที่แสดงไว้ในรูปที่ 3.2 ซึ่งการทำงานจะเป็นดังนี้คือ วงจรทางภาคส่งจะส่งพัลส์ของแสงออกไปเพียงลูกเดียว ซึ่งทางภาครับจะรับพัลส์ของแสงกลับมาได้ 2 ลูก เมื่อนำพัลส์ลูกที่หนึ่งมาเปิดเกทเพื่อให้วงจรนับความถี่เริ่มนับจำนวนคลื่นจากออสซิเลเตอร์ แล้วใช้พัลส์ลูกที่สองมาปิดเกทให้หยุดนับ จำนวนคลื่นที่นับได้ก็จะมีความสัมพันธ์โดยตรงกับระยะทาง ซึ่งเมื่อทำการออกแบบความถี่ของออสซิเลเตอร์ให้เหมาะสมแล้ว จำนวนคลื่นที่นับได้ก็อาจจะเป็นจำนวนเมตรของระยะทางไปในตัว เพื่อให้เห็นตัวเลขที่ชัดเจนจะขอสมมุติให้ค่าดัชนีหักเหของเส้นใยแสงเป็น 1.5 ซึ่งจะได้ $d = 10^8 \times t$ m ตามที่กล่าวไว้ในสมการที่ (2.11) ในกรณีเช่นนี้ถ้าเราออกแบบให้วงจรออสซิเลเตอร์มีความถี่ออสซิเลตเป็น 100 MHz ซึ่งหมายถึงคลื่น 1 ลูก จะมีคาบเวลาเป็น 10^{-8} s นั่นหมายความว่าคลื่นหนึ่งลูกที่นับได้จะเท่ากับระยะทาง 1 m เพราะ $d = 10^8 \times 10^{-8} = 1$ m ในกรณีเช่นนี้จำนวนคลื่นที่นับได้ทั้งหมดก็จะเท่ากับระยะทางที่มีหน่วยเป็นเมตรไปในตัว วิธีการดังกล่าวนี้เป็นวิธีที่ใช้ในงานวิจัยนี้



รูปที่ 3.2 บล็อกไดอะแกรมของเครื่องตรวจตำแหน่งสายขาดของเส้นใยแสง

3.2 <u>การกำหนดหน้าที่และความสามารถของวงจรต่าง ๆ</u>

เมื่อพิจารณาจากเป้าหมายของงานวิจัยที่ต้องการให้ทำการวัดระยะทางได้ไม่ต่ำกว่า 5 km และสามารถแสดงผลได้ทั้งบนออสซิโลสโคปและแสดงผลเป็นตัวเลข ความต้องการดังกล่าวนี้จะทำให้เกิดเงื่อนไขหลัก ๆ สองประการคือ

(1) กำลังแสงจากแหล่งกำเนิดแสงต้องสูงพอสมควร และความไวของตัวตรวจจับแสงจะต้องสูงเช่นเดียวกัน เพราะระยะทาง 5 km นั้น จะทำให้เกิดการบั่นทอนสัญญาณทั้งขาไปและขากลับรวมกันไม่ต่ำกว่า 25 dB ขึ้นไป นอกจากนั้นอุปกรณ์ทั้งสองนี้ยังต้องมีแบนด์วิดท์กว้างด้วยเพราะจะทำให้ส่งพัลส์ของแสงที่แคบ ๆ ได้

(2) การส่งพัลส์ของแสงที่ภาคส่งจะต้องทำได้ทั้ง 2 แบบ คือ ส่วนแบบพัลส์เดียว และส่งแบบพัลส์ซ้ำ

014158

จากเงื่อนไขประการแรกทำให้เลือกใช้แหล่งกำเนิดแสงแบบเลเซอร์ไดโอด เพราะว่ามีกำลังแสงขาออกสูง มีแบนด์วิดท์กว้าง และมีประสิทธิภาพในการคัปปลิ้งเข้าสู่เส้นใยแสงสูง เลเซอร์ไดโอดที่เลือกใช้นั้นคือ เบอร์ OD-8303 ซึ่งมีความยาวคลื่นเป็น 850 nm กำลังแสงที่เข้าสู่เส้นใยแสงประมาณ 2 mW และมีแบนด์วิดท์สูงกว่า 100 MHz สำหรับรายละเอียดอื่น ๆ แสดงไว้ในภาคผนวก ก.

สำหรับตัวตรวจจับแสงนั้นเลือกใช้แบบ APD (Avalanche Photodiode) ซึ่งมีความไวสูง และมีแบนด์วิดท์กว้าง APD ที่เลือกใช้เป็นของ NEC เบอร์ OD-8412 ซึ่งมีการทำงานในย่านความยาวคลื่น 850 nm มีแบนด์วิดท์กว้าง และมี Dark current ต่ำกว่า 1 nA สำหรับรายละเอียดอื่น ๆ นั้นแสดงไว้ในภาคผนวก ข.

อุปกรณ์ทางแสงที่สำคัญอีกชิ้นหนึ่งคือ Directional coupler เนื่องจากตามความต้องการของระบบนั้นต้องการให้แสงจากเลเซอร์ไดโอดผ่านเข้าสู่เส้นใยแสงที่ต้องการวัดอย่างเต็มที่ จึงต้องเลือกใช้อุปกรณ์ที่มีค่า Insertion loss ระหว่างขั้ว 1 และขั้ว 2 ต่ำ มีค่า Isolation ระหว่างขั้ว 1 กับขั้ว 3 สูง สำหรับแสงที่สะท้อนกลับจากเส้นใยแสงนั้นต้องการให้เข้าที่ขั้ว 3 ซึ่งต่อ APD ไว้มากที่สุด ดังนั้นจึงต้องเลือกให้มีค่า coupling สูง เมื่อพิจารณาดังนี้แล้ว จึงได้เลือกใช้ Directional coupler เบอร์ OD-8606 ซึ่งมีค่า Insertion loss ต่ำกว่า 1.5 dB ค่า Isolation เป็นสูงกว่า 35 dB และค่า Coupling ซึ่งแสดงเป็นอัตราส่วนระหว่างเพาเวอร์ที่ไปที่ขั้ว 1 และขั้ว 3 เป็น 1 ต่อ 1 ค่า Coupling 1 ต่อ 1 นี้เป็นค่าสูงสุดที่เป็นไปได้อยู่ในตัวด้วย

จากเงื่อนไขประการที่สองที่ต้องการให้วงจรส่งพัลส์ส่งแบบพัลส์เดียวและแบบพัลส์ซ้ำได้นั้น ก็จะทำได้โดยการเตรียมวงจรกำเนิดสัญญาณพัลส์ไว้ทั้งสองแบบ แล้วเลือกโหมดการทำงานโดยใช้สวิทช์ ในขณะเดียวกันในวงจรภาครับเองก็จะต้องสามารถเลือกโหมดการทำงานให้ตรงกับการทำงานของวงจรกำเนิดสัญญาณพัลส์ด้วย กล่าวคือ ในขณะที่วงจรกำเนิดสัญญาณพัลส์ทำงานแบบส่งพัลส์เดียว วงจรภาครับก็จะต้องทำงานแบบอ่านค่าออกมาเป็นตัวเลขแสดงความยาวเป็นเมตร ซึ่งในเงื่อนไขเช่นนี้สัญญาณจากภาครับจะต้องถูกส่งต่อไปยังวงจรควบคุม เพื่อให้เกิดการนับจำนวนพัลส์ต่อไป สำหรับในกรณีที่วงจรกำเนิดสัญญาณพัลส์ส่งแบบพัลส์ซ้ำ วงจรภาครับก็จะส่งสัญญาณไปที่ขั้วที่จะต่อเข้าที่ออสซิ-โลสโคปโดยไม่ส่งสัญญาณไปที่วงจรควบคุม ดังนั้นจึงต้องมีสวิทช์ในการเลือกโหมดดังกล่าวนี้ด้วย

นอกจากเงื่อนไขที่กล่าวมาทั้งสองประการนี้แล้ว วงจรนับสัญญาณพัลส์ก็จะต้องทำงานได้ที่ความถี่สูงกว่า 100 MHz ขึ้นไป เพราะความถี่ของพัลส์ที่ทำการนับนั้นจะอยู่ในหลักของ 100 MHz