ชุดสาธิตทางทหารในการส่งสัญญาณแสงโดยการมัลติเพล็กซ์แบบแบ่งเวลา

The Military Kit of Optical Transmission using Time Division Multiplexing Technique

[1]ชนะ จันทร์อิ่ม

[1]กองวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ส่วนการศึกษา โรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้า

[1] Chana Jan im

[1] Department of Electrical Engineering, Academic Division, Chulachomklao Royal Military Academy

chana.ja@crma.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้นำเสนอชุดสาธิตทางทหารในการส่งสัญญาณแสงโดยการมัลติเพล็กซ์แบบแบ่งเวลา (Time Division Multiplexing, TDM) ที่ออกแบบและพัฒนาให้มีลักษณะการทำงานเสมือนวิทยุถ่ายทอดทางยุทธวิธี (Radio Relay Series, RL Series) ที่ใช้หลักการส่งสัญญาณดิจิทัลโดยการมัลติเพล็กซ์แบบ TDM ผ่านบนระบบการสื่อสารเส้นใยแก้วนำแสง โดยการทดลองประกอบด้วย 5 ใบงานการทดลอง 1. ใบงานการทดลองวิเคราะห์วงจรลอจิก 2. ใบงานการทดลองการรวมสัญญาณดิจิทัลโดยการมัลติเพล็กซ์แบบแบ่งเวลา 3.ใบงานการทดลองทฤษฎีแผนภาพดวงตา (Eye diagram) 4.การทดลองการส่งสัญญาณแสงโดยผ่านเส้นใยแก้วนำแสง และ 5. ใบงานการทดลองทฤษฎีแผนภาพดวงตาผ่านเครื่องวิทยุถ่ายทอดทางยุทธวิธี RL 422A โดยจะมีการคำนวนหาค่าอัตราความผิดพลาดบิต (Bit Error Rate, BER) จาก แผนภาพดวงตาของสัญญาณที่วัดได้ทั้งในสัญญาณที่ผ่านเส้นใยแก้วนำแสงและผ่านเครื่องวิทยุถ่ายทอดทางยุทธวิธี RL 422A

คำสำคัญ: การมัลติเพล็กซ์แบบแบ่งเวลา, แผนภาพดวงตา, วิทยุถ่ายทอดทางยุทธวิธี RL 422A

Abstract

This research presents a military kit of optical transmission using Time-Division Multiplexing (TDM). It is designed and developed to behave like a tactical radio relay (Radio Relay Series, RL Series) based on the principles of digital transmission using TDM through an optical fiber communication system. The experiment consists of 5 worksheets: 1. Logic circuit analysis experiment worksheet 2. Time-Division Multiplexing Experiment Worksheet of Digital Signal 3. Eye Diagram Theory Experiment Worksheet 4. Experimental Worksheet of Transmissions via Optical Transmitting Line 5. Eye Diagram Theory via RL 422A Tactical Radio Transmitting Experiment Worksheet. The Bit Error Rate (BER) is calculated from the eye diagram of the measured signal, both in the fiber optic signal and through the RL 422A tactical radio relay.

Keywords: Time Division Multiplexing, Eye pattern, RL 422A Tactical Radio Transmitting

1. บทนำ

จากการศึกษาข้อมูลจากโรงเรียนทหารสื่อสาร กรมการทหารสื่อสาร เป็นหน่วยงาน ให้การฝึกศึกษาแก่กำลังพลสายงานสื่อสาร วิจัยและพัฒนาเกี่ยวกับสิ่งอุปกรณ์ที่ใช้ในงานของเหล่าทหารสื่อสาร เช่น เครื่องมือวัดความถี่วิทยุ ความถี่ไมโครเวฟ และทางแสงที่ใช้งานกับยุทโธปกรณ์สายสื่อสาร ซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่ความละเอียดและซับซ้อนสูง ทางผู้วิจัยเล็งเห็นได้ว่าโดยปกติเครื่องมือและอุปกรณ์ดังกล่าวที่มีการจัดหาให้กับหน่วยผู้ใช้งานจะมีการถ่ายทอดความรู้ให้กับเจ้าหน้าที่รับผิดชอบโดยจะจัดการอบรมการใช้งานทั้งภาคทฤษฎีและภาคปฏิบัติในการใช้งานตามหลักการให้ครบทุกฟังก์ชั่น ซึ่งในทางปฏิบัติ บางฟังก์ชั่นจำเป็นต้องมีชุดสาธิต เพื่อใช้ประกอบการอบรมถ่ายทอดองค์ความรู้แก่ผู้ใช้งานโดยแสดงสถานการณ์ต่างๆ ที่เกิดขึ้นได้ในการส่งสัญญาณผ่านเส้นใยแก้วนำแสง ซึ่งจำเป็นต้องมีการทดสอบเครื่องมือและอธิบายหลักการเบื้องต้นแก่ผู้ใช้งานและนักเรียนหลักสูตรทางทหารของโรงเรียนทหารสื่อสาร ที่จะต้องเข้าใจถึงระบบการทำงานของเครื่องมือและสามารถแก้ไขข้อขัดข้องเบื้องต้นได้ตามหลักการทฤษฎีต่างๆที่เกี่ยวข้อง

นอกจากนี้สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า ส่วนการศึกษา โรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้า ยังได้มีหลักสูตรการเรียนการสอนในวิชา การสื่อสารทางแสงและวิชาปฏิบัติการสื่อสาร ทำให้นอกจากการสอนและบรรยายหลักการทางทฤษฎีของรายวิชาดังกล่าวแล้ว การมีชุดสื่อการเรียนการสอนประกอบในรายวิชา ให้กับนักเรียนนายร้อยเพื่อสร้างความเข้าใจหลักการภาคปฏิบัติและแนวทางการแก้ไขข้อขัดข้องเบื้องต้นได้ เนื่องจากนักเรียนนายร้อยเมื่อสำเร็จการศึกษาแล้วจำเป็นต้องใช้งานยุทโธปกรณ์ที่มีประสิทธิภาพสูงได้อย่างเข้าใจ ปลอดภัยและสามารถประยุกต์ให้เหมาะสมกับภารกิจ

ดังนั้นทางผู้วิจัยจึงขอนำเสนอชุดสาธิตทางทหารในการส่งสัญญาณที่ถูกมัลติเพล็กซ์แบบแบ่งทางเวลา (TDM) โดยใบงานการทดลองถูกแบ่งออกเป็น 5 ใบงานการทดลองคือ 1. ใบงานการทดลองวิเคราะห์วงจรลอจิก 2. ใบงานการทดลองการรวมสัญญาณดิจิทัลโดยการมัลติเพล็กซ์แบบแบ่งเวลา 3. ใบงานการทดลองทฤษฎีแผนภาพดวงตา 4. ใบงานการทดลองการส่งสัญญาณแสงโดยผ่านเส้นใยแก้วนำแสง และ 5. ใบงานการทดลองทฤษฎีแผนภาพดวงตาผ่านเครื่องวิทยุถ่ายทอดทางยุทธวิธี RL 422A โดยทำการคำนวนหา BER ค่าอัตราความผิดพลาดบิต (BER) เพื่อเปรียบเทียบกับค่า BER ของเครื่องวิทยุถ่ายทอดทางยุทธวิธี RL 422A จาก Eye diagram ของสัญญาณที่วัดได้ เพื่อแสดงให้เห็นถึงสถานภาพความพร้อมการใช้งานของยุทโธปกรณ์

2. ขอบเขตงานวิจัย

2.1 เพื่อพัฒนาสื่อการเรียนการสอนให้กับนักเรียนนายร้อยได้เรียนรู้และเข้าใจหลักการของการส่งสัญญาณแสงโดยวิธีมัลติเพล็กซ์แบบแบ่งเวลา

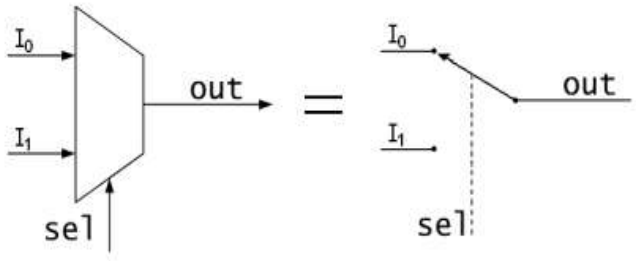
2.2 เพื่อศึกษารูปแบบแผนภาพดวงตา ของวิทยุถ่ายทอดทางยุทธวิธีที่มีการใช้งานอยู่ในกองทัพบก

3. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

3.1. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

3.1.1 การรวมสัญญาณหรือการมัลติเพล็กซ์

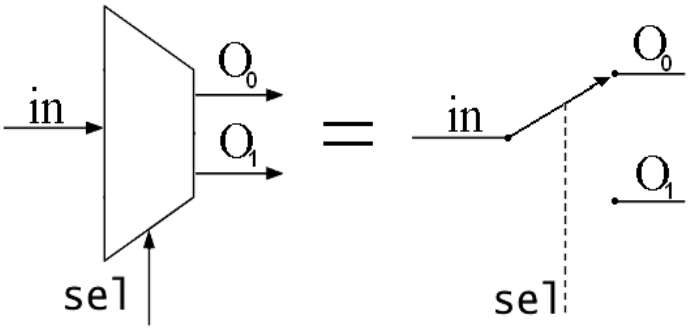
การรวมสัญญาณหรือการมัลติเพล็กซ์ อีกในความหมายหนึ่งคือ การใช้ตัวเลือกข้อมูล (Data Selector) ซึ่งมีลักษณะเป็นตัวที่ทำหน้าที่ เลือกช่องสัญญาณที่มีข้อมูลช่องหนึ่งจากหลายๆ ช่อง สัญญาณมาเป็นอินพุตและต่อช่องสัญญาณที่มีข้อมูลนั้นเข้าเป็นสัญญาณเอาต์พุตเพียงเอาต์พุตเดียว โดยจะมีหลักการทำงานเบื้องต้น [1] ดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 การรวมสัญญาณ

3.1.2 การแยกสัญญาณหรือการดีมัลติเพล็กซ์

การแยกสัญญาณหรือการดีมัลติเพล็กซ์ อีกในความหมายหนึ่งคือ การใช้วงจรกระจายข้อมูล ทำหน้าที่ตรงกันข้ามกับ มัลติเพล็กซ์เซอร์ คือทำหน้าที่กระจายข้อมูลอินพุต 1 บิต ให้ไปปรากฏที่เอาต์พุตใดเอาต์พุตหนึ่งตามการเลือกของตัวเลือกข้อมูล มีหลักการทำงานเบื้องต้น [1] ดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 การแยกสัญญาณ

3.1.3 ความถี่

ความถี่ (Frequency) คือปริมาณที่บ่งบอกจำนวนครั้งที่เหตุการณ์เกิดขึ้นในเวลาหนึ่งการวัดความถี่สามารถทำได้โดยกำหนดช่วงเวลาคงที่ค่าหนึ่ง นับจำนวนครั้งที่เหตุการณ์เกิดขึ้น นำจำนวนครั้งหารด้วยระยะเวลา และคาบ เป็นส่วนกลับของความถี่ หมายถึงเวลาที่ใช้ไปในการเคลื่อนที่ครบหนึ่งรอบ [1] ดังรูปที่ 3

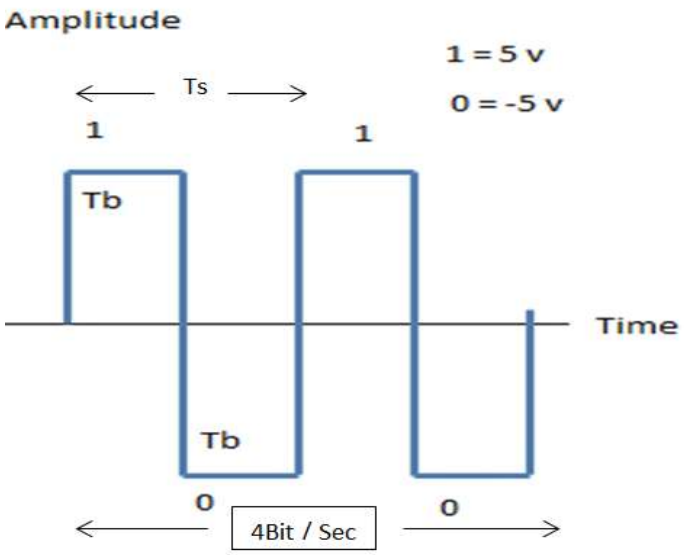
$$f = \frac{1}{Ts} \quad (1)$$

เมื่อ Ts = คาบเวลา F = ความถี่

Bit rate หมายถึง จำนวน bit ที่ถูกประมวลผลไปในหนึ่งหน่วยเวลา มีหน่วยเป็น bits per second

Bit interval (Tb) หมายถึง เวลาที่ต้องใช้ในการส่งข้อมูล 1 บิต มีหน่วยเป็นวินาที

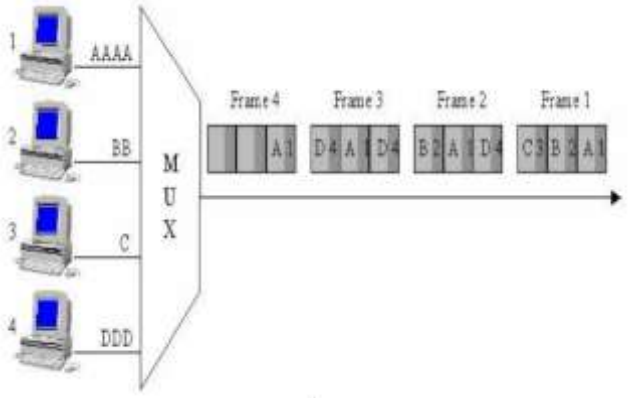
$$Bit\ rate = \ 1/Tb \quad \text{bits per second} \tag{2}$$



รูปที่ 3 ตัวอย่างความถี่ของข้อมูลสัญญาณ

3.1.4 การรวมสัญญาณแบบแบ่งเวลา

การมัลติเพล็กซ์แบบแบ่งเวลา (TDM) เหมาะกับสัญญาณแทนข้อมูลแบบดิจิทัล เนื่องจากสัญญาณดิจิทัลนั้นจะมีช่วงเวลาที่แน่นอนของบิต จึงสามารถมัลติเพล็กซ์ด้วยการแบ่งเวลาให้มีความสอดคล้องกับเวลาของบิตได้ แต่อย่างไรก็ตาม การมัลติเพล็กซ์แบบ TDM นี้จะเกี่ยวข้องกับอัตราความเร็วของสื่อนำสัญญาณเป็นสำคัญ โดยสัญญาณที่มีอัตราความเร็วต่ำหลายๆสัญญาณ เมื่อนำมามัลติเพล็กซ์รวมกันก็จะได้สัญญาณที่มีอัตราความเร็วสูงขึ้น จะมีหลักการทำงาน [2] ดังรูปที่ 4

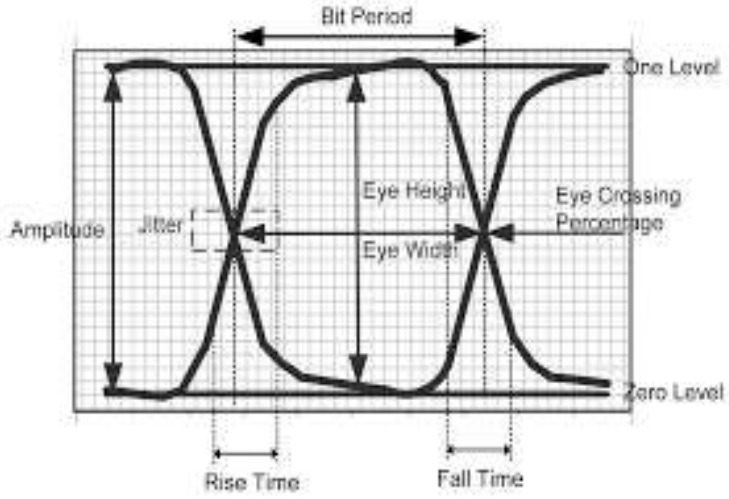


รูปที่ 4 หลักการรวมสัญญาณแบบแบ่งเชิงเวลา

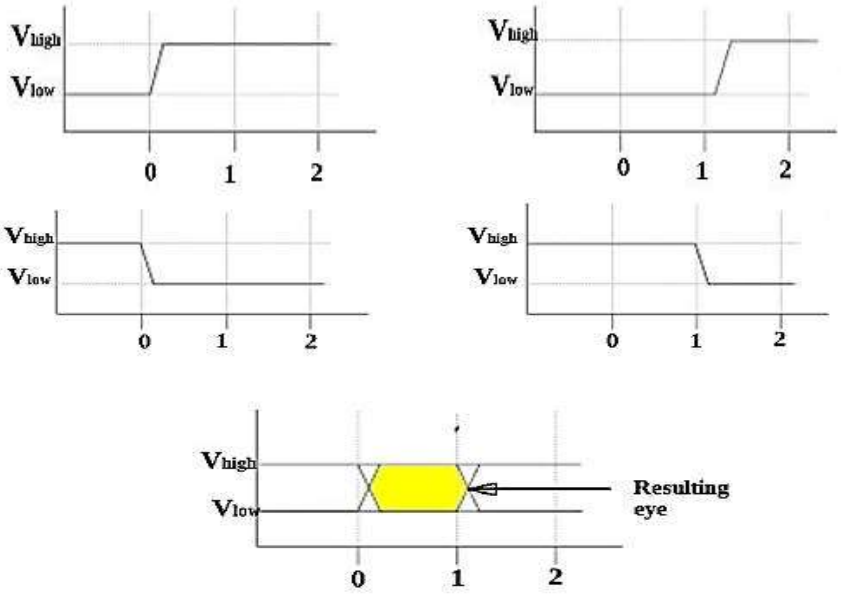
3.1.5 แผนภาพดวงตา

แผนภาพดวงตา (Eye diagram) สามารถบ่งบอกถึงอัตราความกว้างของแบนด์วิธที่ลดลง โดยสังเกตจากพื้นที่ช่องว่างตรงกลาง (ที่มีลักษณะคล้ายตา) และส่วนประกอบต่างๆ หากระยะดวงตาที่แคบลงมากเท่าไหร่จะหมายถึงคุณสมบัติการคงรูปสัญญาณของสายสัญญาณ ซึ่งผลความผิดปกติของรูปสัญญาณตรงนี้จะส่งผลกระทบไปถึงคุณภาพของภาพและเสียง โดยประเด็นนี้จะส่งผลต่อเนื่อง ซึ่งจะแสดงให้เห็นถึงความแตกต่างของคุณสมบัติของสายส่งที่เป็นสายคุณภาพสูงกับสายคุณภาพต่ำ [3] ดังรูปที่ 5

ข้อมูลที่ประมวลผลจะมีความแตกต่างกันโดยวิเคราะห์ผ่าน Eye diagram ที่บริเวณความสูงของตาและความกว้างของข้อมูลฮีสโทแกรมของสัญญาณแรงดันสูง (V_{high}) และแรงดันต่ำ (V_{low}) ที่เกิดจากนำภาพคลื่นมาซ้อนทับกันในลักษณะของคลื่นต่อเนื่องโดยใช้รูปแบบภาพคอมโพสิต [4] ดังรูปที่ 6



รูปที่ 5 ลักษณะของแผนภาพดวงตา



รูปที่ 6 ลักษณะการซ้อนทับของภาพดวงตา

3.1.6 ค่าอัตราความผิดพลาดบิต

ค่าอัตราความผิดพลาดบิตเป็นค่าที่แสดงความผิดพลาดของการรับข้อมูลในระบบดิจิทัล หาก BER เป็น 0 หรือต่ำมาก ๆ แสดงว่า เรารับสัญญาณดิจิทัลได้สมบูรณ์ครบถ้วนในแต่ละบิต ในที่นี้เรายังสามารถประมาณค่าอัตราความผิดพลาดบิตจากแผนภาพดวงตา (Eye diagram) ในหัวข้อดังกล่าวได้ดังต่อไปนี้ [5]

$$BER = \frac{1}{2}\mathrm{erf\,c(x)} \tag{3}$$

$$\sigma_1, \sigma_0 = \mathrm{V_{max}} - \mathrm{V_{min}} \tag{4}$$

$$\mathrm{u_1} = \mathrm{V_{max}} - \frac{\sigma_1}{2}, \mathrm{u_0} = \mathrm{V_{max}} - \frac{\sigma_0}{2} \tag{5}$$

$$\mathrm{Q} = \frac{\mathrm{u_1 - u_0}}{\sigma_1 + \sigma_0}, \frac{\mathrm{Q}}{\sqrt{2}} \tag{6}$$

$$\mathrm{erf\,(x)} = \frac{1}{\sqrt{\pi}} \int_{-\frac{Q}{\sqrt{2}}}^{\frac{Q}{\sqrt{2}}} \mathrm{e^{-t^2}\ dt} \tag{7}$$

$$\mathrm{erfc(x)} = 1 - \mathrm{erf(x)} \tag{8}$$

โดย BER : Bit Error Rate

erf(x) : Error Function

$\mathrm{u_1}, \mathrm{u_0}$: ค่ากึ่งกลางของขอบขาบน และขอบขาล่างของสัญญาณ

σ_1, σ_0 : ค่าความแปรปรวนของสัญญาณ

3.1.7 ชุดสาธิตการส่งสัญญาณแสงโดยวิธีการมัลติเพล็กซ์แบบแบ่งความยาวคลื่น 850 และ 1310 นาโนเมตร

ชุดสาธิตการส่งสัญญาณแสงโดยวิธีการมัลติเพล็กซ์แบบแบ่งความยาวคลื่น 850 นาโนเมตรและ 1310 นาโนเมตรได้รับการวิจัยพัฒนาจากกองทุนพัฒนาโรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้า ประจำปี 2563 มีขั้นตอนในการสร้างชุดทดลองขึ้นมา 2 ส่วนคือ ส่วนภาคการส่งสัญญาณประกอบด้วยเลเซอร์ไดโอดที่มีความยาวคลื่น 850 นาโนเมตร และ 1310 นาโนเมตร โดยจะปล่อยสัญญาณคลื่นแสงออกผ่านเส้นใยแก้วนำแสงที่มีความยาว 500 เมตร ที่ใช้เป็นชนิด Single Mode ไปยังส่วนที่ 2 ภาครับสัญญาณที่ใช้โฟโต้ไดโอดทั้ง 2 ย่านความยาวคลื่น ทั้งนี้ผู้วิจัยได้พัฒนาและปรับปรุงให้สามารถรองรับการส่งและรับข้อมูลผ่านเส้นใยแก้วนำแสง ในรูปแบบ TDM ด้วยเช่นกัน เพื่อสามารถใช้ประโยชน์จากความยาวของเส้นใยแก้วนำแสงภายในชุดสาธิตดังกล่าว โดยสามารถนำชุดสาธิตทางทหารในการส่งสัญญาณที่ถูกมัลติเพล็กซ์แบบแบ่งทางเวลาเชื่อมต่ออุปกรณ์ขั้นต้นเข้ากับชุดสาธิตการส่งสัญญาณแสงโดยวิธีการมัลติเพล็กซ์แบบแบ่งความยาวคลื่น 850 นาโนเมตรและ 1310 นาโนเมตร [6] ดังรูปที่ 7

รูปที่ 7 ชุดสาธิตการส่งสัญญาณแสงโดยวิธีการมัลติเพล็กซ์แบบแบ่งความยาวคลื่น 850 นาโนเมตรและ 1310 นาโนเมตร

3.1.8 วิทยุถ่ายทอดทางยุทธวิธี รุ่น RL 422A

วิทยุถ่ายทอด RL 422A เป็นยุทโธปกรณ์หลักที่ใช้ในหน่วยทหารระดับกองพันทหารสื่อสารขึ้นไป เพื่อให้การสนับสนุนในการจัดทำข่ายวิทยุถ่ายทอดทางยุทธวิธี โดยที่ทำงานในย่าน 610 – 960 MHz ทำการรับส่งสัญญาณดิจิทัล ในระบบ TDM สามารถเลือกทำงานในโหมด Automatic Power เพื่อที่จะให้เครื่องจะปรับค่า Power ให้มีค่าเหมาะสมได้ ทั้งยังสามารถตั้งความถี่ล่วงหน้า (User define) และยังใช้งานแบบความถี่ก้าวกระโดดได้ โดยมีการใช้งานระดับหน่วยทหารสื่อสารกองพลขึ้นไป [7] ดังรูปที่ 8

รูปที่ 8 วิทยุถ่ายทอดทางยุทธวิธี RL 422A

3.2. การออกแบบและวงจรภายในชุดสาธิตทางทหาร ในการส่งสัญญาณที่ถูกมัลติเพล็กซ์แบบแบ่งทางเวลา

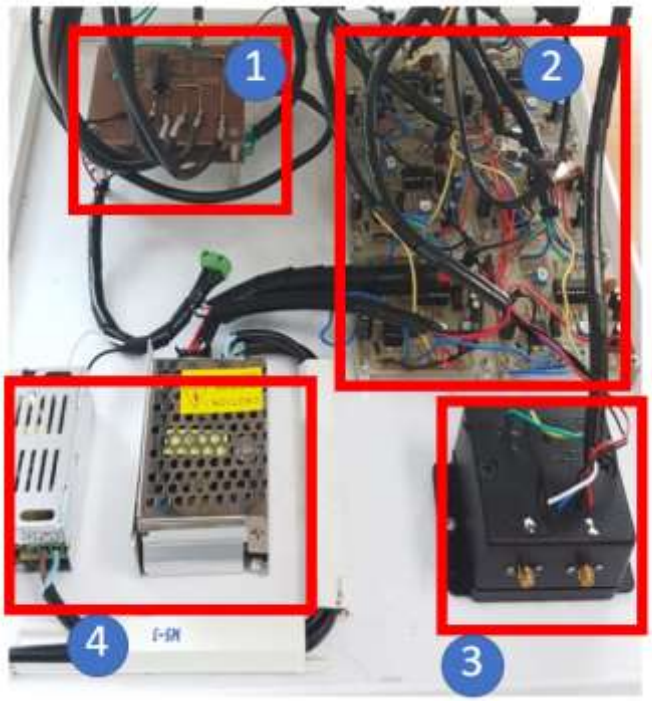
ทางผู้วิจัยได้จัดทำชุดสาธิตทางทหารในการส่งสัญญาณที่ถูกมัลติเพล็กซ์แบบแบ่งทางเวลาไปบนระบบการสื่อสารผ่านเส้นใยแก้วนำแสง โดยการออกแบบและอุปกรณ์ภายในชุดสาธิตทางทหาร ในการส่งสัญญาณแสงโดยการมัลติเพล็กซ์แบบแบ่งทางเวลา ดังรูปที่ 9

3.2.1 วงจรรวมสัญญาณ (MUX) และวงจรแยกสัญญาณ (DEMUX)

3.2.2 วงจรผลิตความถี่ 15 Hz – 150 kHz ในรูปแบบของสัญญาณคลื่นไซน์ สัญญาณสามเหลี่ยม และสัญญาณสี่เหลี่ยม โดยใช้เครื่องสร้างสัญญาณ (Function Generator) จำนวน 6 ชุด

3.2.3 วงจรออปแอมป์ (Op-amp) และ วงจรสร้างสัญญาณนาฬิกา (CLK)

3.2.4 แหล่งจ่ายแรงดัน 5 และ12 โวลต์



รูปที่ 9 ภายในชุดสาธิตทางทหารการส่งสัญญาณแสงด้วยอุปกรณ์ TDM

4. การดำเนินการวิจัย

ทางผู้วิจัยได้จัดทำชุดสาธิตทางทหารในการส่งสัญญาณที่ถูกมัลติเพล็กซ์แบบแบ่งทางเวลาได้ทำการศึกษาผ่านใบงานการทดลองแบ่งเป็น 5 ใบงานการทดลองดังนี้

4.1 ใบงานการทดลองที่ 1 การวิเคราะห์วงจรลอจิก

ใบงานการทดลองนี้ มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาวงจรลอจิกโดยทำการวัดค่าสัญญาณขาออก (Output) ของ MUX และ DEMUX โดยวัดเทียบกับตารางค่าความจริงของวงจรเบอร์ 741551 ซึ่งมีค่าตารางความจริงตามตารางที่ 1 จะพบว่าการกำหนดค่า Select B (S0) และ Select A (S1) เพื่อให้กำหนดสัญญาณขาเข้า 4 สัญญาณ ในวงจรรวมเพื่อให้

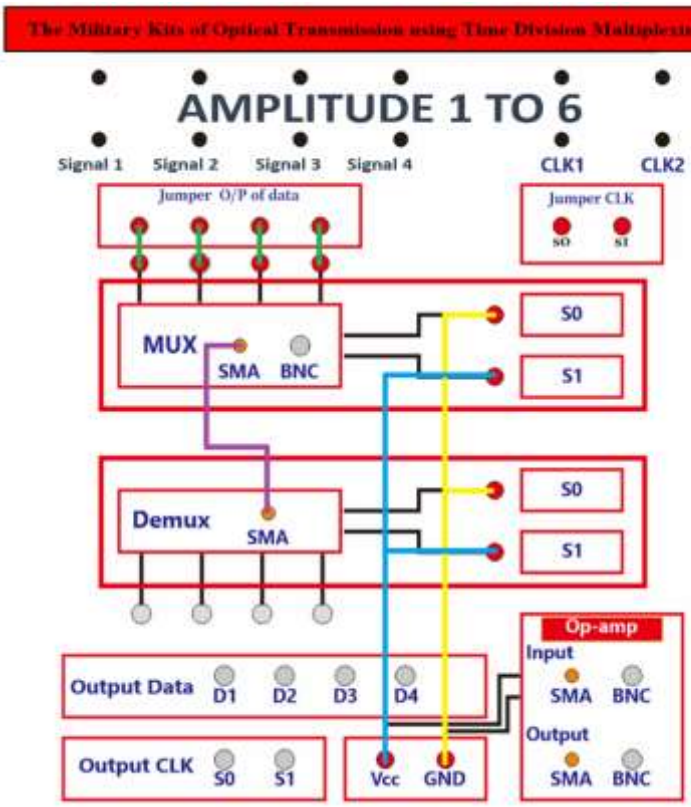
เป็น 1 สัญญาณขาออก และในส่วนวงจรแยกสัญญาณขาเข้า 1 สัญญาณเป็น 4 สัญญาณขาออก ตามใบงานการทดลองนี้เราใช้ค่าสัญญาณขาเข้าจำนวน 4 สัญญาณ จึงใช้ค่าตามตารางค่าความจริงของสัญญาณขาออกคือ 1Y0, 1Y1, 1Y2 และ 1Y3 เท่านั้น [8]

จากหลักการทำงานภายในชุดสาธิตทางทหารการส่งสัญญาณที่ถูกมัลติเพล็กซ์แบบ TDM โดยทำการเชื่อมต่อกับออสซิลโลสโคปและศึกษาขั้นตอนภายในใบงานการทดลอง โดยมีการเชื่อมต่อวงจรขั้นต้น ดังรูปที่ 10

ตารางที่ 1 ตารางค่าความจริงของวงจรเบอร์ 741551

Inputs				Outputs			
Select		Strobe	Data	$1Y_0$	$1Y_1$	$1Y_2$	$1Y_3$
B	A	1G	1C				
X	X	H	X	H	H	H	H
L	L	L	H	L	H	H	H
L	H	L	H	H	L	H	H
H	L	L	H	H	H	L	H
H	H	L	H	H	H	H	L
X	X	X	L	H	H	H	H

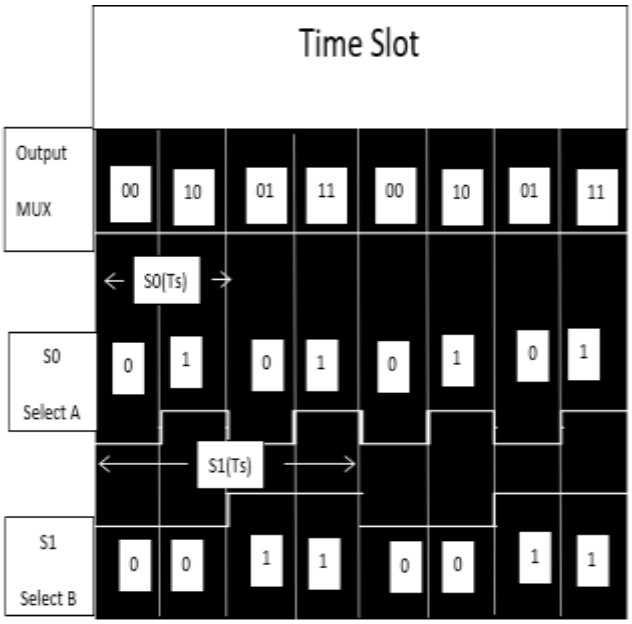
Inputs				Outputs			
Select		Strobe	Data	$2Y_0$	$2Y_1$	$2Y_2$	$2Y_3$
B	A	2G	2C				
X	X	H	X	H	H	H	H
L	L	L	L	L	H	H	H
L	H	L	L	H	L	H	H
H	L	L	L	H	H	L	H
H	H	L	L	H	H	H	L
X	X	X	H	H	H	H	H



รูปที่ 10 การเชื่อมต่อวงจรชุดสาธิตกับออสซิลโลสโคป

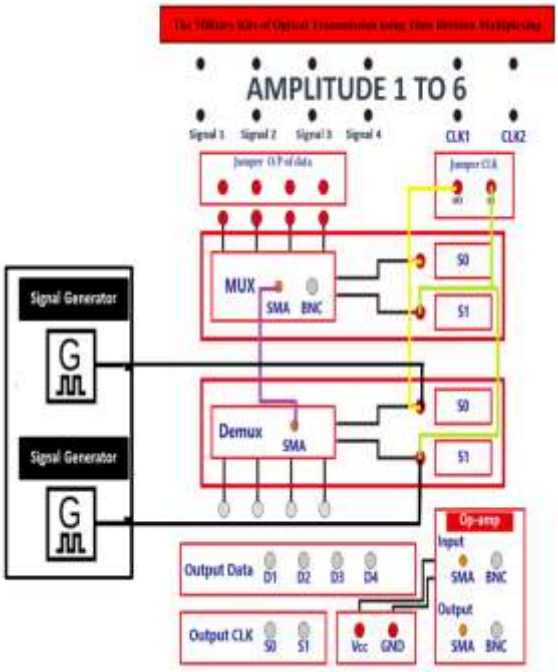
4.2 ใบงานการทดลองที่ 2 การทดลองการรวมสัญญาณดิจิทัลโดยการมัลติเพล็กซ์แบบแบ่งเวลา

ใบงานการทดลองนี้ มีวัตถุประสงค์เพื่อพิสูจน์หลักการทำงานในระบบการรวมสัญญาณและแยกสัญญาณของการรวมสัญญาณแบบแบ่งเชิงเวลา และการจัด Time Slot เพื่อให้เกิดการรับส่งของข้อมูลสัญญาณ [3] ดังรูปที่ 11



รูปที่ 11 การทำงานของวงจรรวมสัญญาณแบบ 4 ขาเข้าเป็น 1 ขาออก

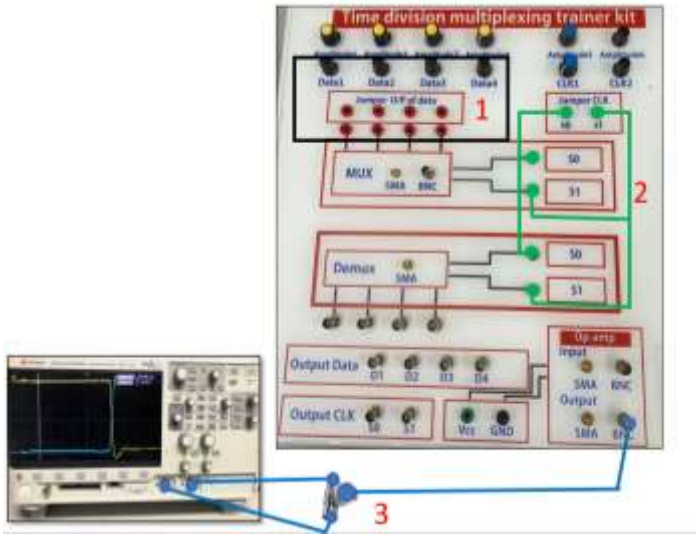
จากการทำงานของวงจรรวมสัญญาณแบบ 4 สัญญาณขาเข้าเป็น 1 สัญญาณขาออก ตามรูปที่ 11 แล้วนั้นจะเป็นหลักการทำงานภายในชุดสาธิตทางทหารในการส่งสัญญาณที่ถูกมัลติเพล็กซ์แบบแบ่งทางเวลา โดยจะเชื่อมต่อกับเครื่องออสซิลโลสโคป (Oscilloscope) และเครื่องสร้างสัญญาณ (Signal Generator) เพื่อแสดงค่าและบันทึกผลการทดลอง ดังรูปที่ 12



รูปที่ 12 การเชื่อมต่อวงจรชุดสาธิตกับออสซิลโลสโคปและเครื่องสร้างสัญญาณ

4.3 ใบงานการทดลองที่ 3 การทดลองทฤษฎีแผนภาพดวงตา

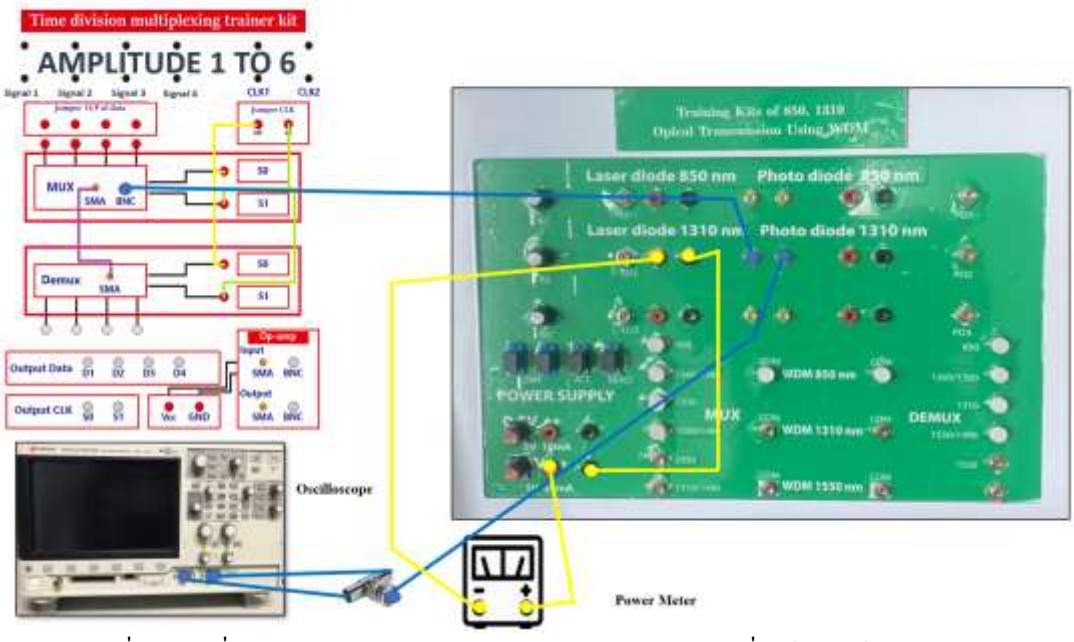
ใบงานการทดลองนี้ มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการคำนวณหาค่า BER ในการส่งสัญญาณรูปแบบ Eye diagram ด้วยชุดสาธิตทางทหารในการส่งสัญญาณที่ถูกมัลติเพล็กซ์แบบแบ่งทางเวลา โดยให้ผู้ทำการทดลองวัดสัญญาณขาออกของ DEMUX ของแต่ละความถี่และคำนวณหาค่า BER จากสูตรที่กำหนดไว้ในเนื้อหาข้างต้น [5] ดังรูปที่ 13



รูปที่ 13 การเชื่อมต่อวงจรชุดสาธิตกับออสซิลโลสโคป

4.4 ใบงานการทดลองที่ 4 การทดลองการส่งสัญญาณแสงโดยผ่านเส้นใยแก้วนำแสง

ใบงานการทดลองนี้ มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการส่งสัญญาณข้อมูลผ่านเส้นใยแก้วนำแสงที่มีระยะทางไกล โดยทำการศึกษาผ่านชุดสาธิตการส่งสัญญาณแสงโดยวิธีการมัลติเพล็กซ์แบบแบ่งความยาวคลื่น 850 นาโนเมตรและ 1310 นาโนเมตร ซึ่งมีความยาวของเส้นใยแก้วนำแสง 500 เมตรและคำนวณ BER โดยวิเคราะห์ผ่าน Eye diagram [9] ดังรูปที่ 14



รูปที่ 14 การเชื่อมต่อวงจรชุดสาธิตกับชุดสาธิตการส่งสัญญาณแสงที่มีเส้นใยแก้วนำแสง

4.5 ใบงานการทดลองที่ 5 การทดลองทฤษฎีแผนภาพดวงตาผ่านผ่านเครื่องวิทยุถ่ายทอดทางยุทธวิธี RL 422A

ใบงานการทดลองนี้ มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการส่งสัญญาณข้อมูลด้วยเส้นใยแก้วนำแสงในโหมด TDM และการคำนวณหาค่าอัตราความผิดพลาดของการส่งสัญญาณในรูปแบบแผนภาพดวงตาเพื่อนำมาคำนวณหาค่าผิดพลาดที่เกิดจากเครื่องวิทยุถ่ายทอด RL 422A ที่จะนำมาวิเคราะห์ปัญหาของเครื่องวิทยุถ่ายทอดทางยุทธวิธีก่อนนำมาใช้ปฏิบัติงานจริงได้ต่อไป [7] ดังรูปที่ 15

รูปที่ 15 การเชื่อมต่อวงจรเครื่องวิทยุถ่ายทอด RL 422A

5. ผลการวิจัย

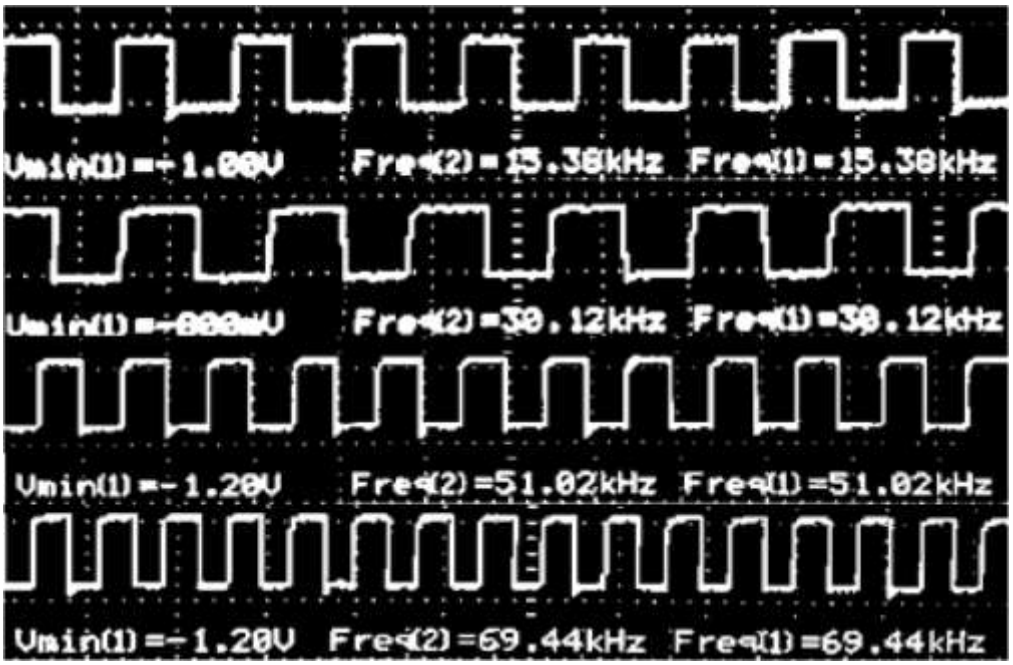
จากการศึกษาผ่านใบงานการทดลองทั้ง 5 ใบงานการทดลองกับการเชื่อมชุดสาธิตทางทหารในการส่งสัญญาณที่ถูกมัลติเพล็กซ์แบบแบ่งทางเวลา ได้ผลการทดลองดังนี้

5.1 ใบงานการทดลองที่ 1 การวิเคราะห์วงจรลอจิก

จากการศึกษาทำการทดลองผ่านใบงานการทดลองที่ 1 โดยวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของวงจรมัลติแพล็กซ์และดีมัลติแพล็กซ์สัญญาณเป็นค่าตารางความจริงที่ 1 โดยที่ผลการทดลองตามตารางบันทึกผลการทดลอง ดังนี้

ตารางที่ 2 ตารางผลการทดลองความถี่ Demux

สัญญาณขาเข้า		สัญญาณขาออก Demux (KHz)				สัญญาณเหมาะสมหรือไม่
ตัวเลือกข้อมูล		สัญญาณขาออก1	สัญญาณขาออก2	สัญญาณขาออก3	สัญญาณขาออก4	
S(0)	S(1)					
0	0	102.0	-	-	-	✓
1	0	-	70.42	-	-	✓
0	1	-	-	48.02	-	✓
1	1	-	-	-	30.12	✓

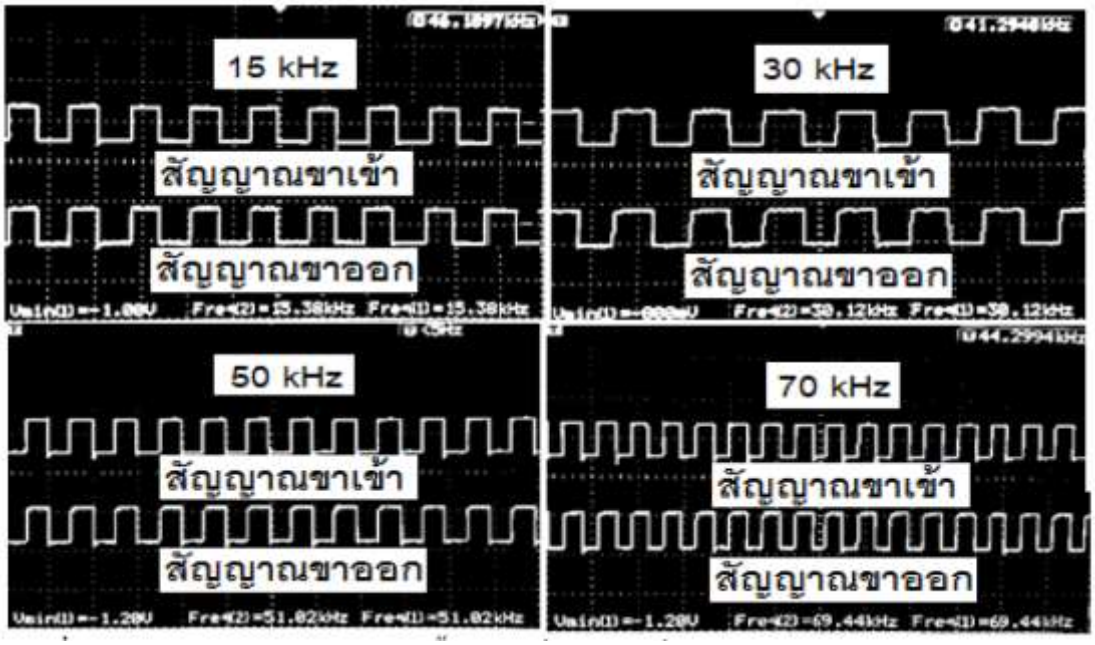


รูปที่ 16 สัญญาณดิจิตอลทั้ง 4 สัญญาณขาออก

จากผลการทดลอง พบว่าคลื่นสัญญาณทั้ง 4 สัญญาณ จะอยู่ในช่วงที่ 15 -70 KHz เป็นความถี่ที่สามารถใช้งานได้ดี โดยจะมีค่าแรงดัน (Vpp) อยู่ในช่วง 5-6 V จะสามารถใช้งานได้ดี สังเกตุได้จากรูปสัญญาณขาออกที่ได้จะมีลักษณะเหมือนสัญญาณขาเข้า และสามารถนำค่าตามตารางความจริงได้อย่างถูกต้อง ดังรูปที่ 16

5.2 ใบงานการทดลองที่ 2 การทดลองการรวมสัญญาณดิจิทัลโดยการมัลติเพล็กซ์แบบแบ่งเวลา

จากการศึกษาทำการทดลองผ่านใบงานการทดลองที่ 2 การทดลองการรวมสัญญาณแบบ TDM โดยทำการพิสูจน์หลักการทำงานในระบบการรวมสัญญาณและแยกสัญญาณของการรวมสัญญาณแบบแบ่งเชิงเวลา



รูปที่ 17 สัญญาณขาเข้าและขาออกของทั้ง 4 สัญญาณ ก่อนและหลัง TDM

จากผลการทดลอง ได้นำสัญญาณดิจิตอลทั้ง 4 ความถี่คือ 15, 30, 50, และ 70 kHz ที่ถูกมัลติเพล็กซ์และดีมัลติเพล็กซ์สัญญาณแบบ TDM ทำให้เป็นการยืนยันว่าทั้ง 4 สัญญาณสามารถถูกส่งผ่านด้วยวิธีการมัลติเพล็กซ์แบบแบ่งเวลาได้จริง ดังรูปที่ 17

5.3 ใบงานการทดลองที่ 3 การทดลองทฤษฎีแผนภาพดวงตา

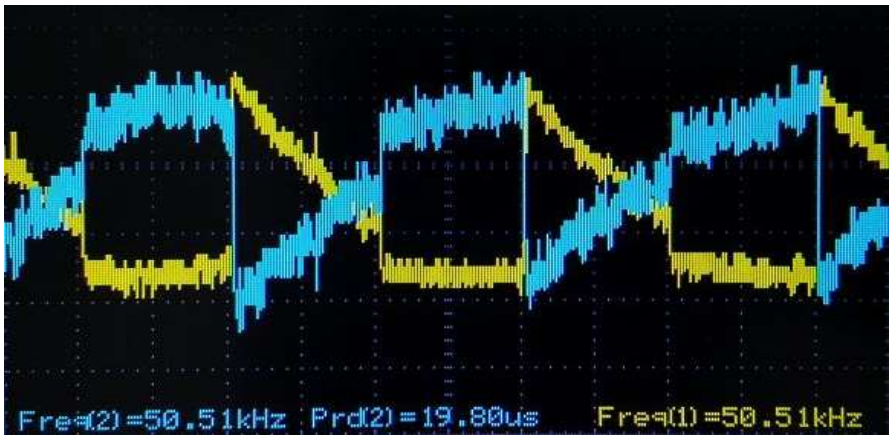
จากการศึกษาทำการทดลองผ่านใบงานการทดลองที่ 3 การทดลองทฤษฎีแผนภาพดวงตา เพื่อเป็นการคำนวณหาค่า BER เพื่อพิสูจน์ตามทฤษฎีของแผนภาพดวงตา

รูปที่ 18 แผนภาพดวงตาของสัญญาณขาออก 60 kHz

จากผลการทดลอง จะสามารถคำนวณหาค่า BER ของสัญญาณที่อยู่ในรูปแบบ Eye diagram จากสัญญาณเชิงไฟฟ้า โดยการนำสัญญาณมาอินเวอร์สกันและนำมาทับซ้อนกันจนเกิดเป็นแผนภาพดวงตาขึ้น ตามสมการค่าความผิดพลาดบิต ซึ่งจากสัญญาณขาออก 60 kHz จะได้ แรงดันที่ขอบขาบน: max = 4.00V, min = 3.76V และแรงดันที่ขอบขาล่าง: max = -3.76V, min = -4.00V เมื่อนำคำนวณหาค่า BER มีค่าเท่ากับ 0.0013 ดังรูปที่ 18

5.4 ใบงานการทดลองที่ 4 การทดลองการส่งสัญญาณแสงโดยผ่านเส้นใยแก้วนำแสง

จากการศึกษาผ่านใบงานการทดลองที่ 4 การทดลองการส่งสัญญาณแสงโดยผ่านเส้นใยแก้วนำแสง โดยทำการศึกษาผ่านชุดสาธิตการส่งสัญญาณแสงโดยวิธีการมัลติเพล็กซ์แบบแบ่งความยาวคลื่น 850 นาโนเมตร และ 1310 นาโนเมตร และทำการคำนวณหา BER ผ่าน Eye diagram

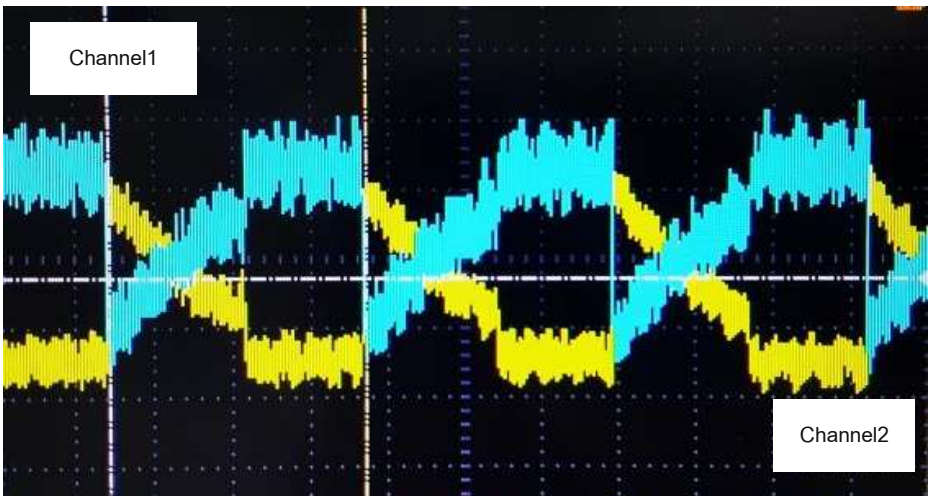


รูปที่ 19 แผนภาพดวงตาของสัญญาณขาออกของ Demux ที่ความถี่ 50 kHz

จากผลการทดลอง พบว่าเมื่อนำเส้นใยแก้วนำแสงที่มีความยาวมากขึ้นเชื่อมต่อกับชุดสาธิตการส่งสัญญาณแสงโดยวิธีการมัลติเพล็กซ์แบบแบ่งความยาวคลื่น 850 และ 1310 นาโนเมตร ที่มีความยาว 500 เมตร โดยผ่านอุปกรณ์ WDM แสดงให้เห็นถึงแผนภาพดวงตาภายหลังผ่านระบบเส้นใยนำแสง จะพบว่ารูปร่างดวงตามีลักษณะปิดลงมากขึ้น ซึ่งแสดงถึงความผิดเพี้ยนของสัญญาณที่มากขึ้น ส่งผลทำให้เกิดอัตราความผิดพลาดของบิตที่มากขึ้นด้วยเช่นกัน ดังรูปที่ 19

5.5 ใบงานการทดลองที่ 5 การทดลองการส่งสัญญาณผ่านเครื่องวิทยุถ่ายทอดทางยุทธวิธี RL 422A

จากการศึกษาผ่านใบงานการทดลองที่ 5 การทดลองการส่งสัญญาณผ่านเครื่องวิทยุถ่ายทอดทางยุทธวิธี RL 422A โดยการคำนวณหาค่าความผิดพลาด (BER)



รูปที่ 20 แผนภาพดวงตาของสัญญาณขาออกของ Demux ที่ความถี่ 650 MHz

จากผลการทดลอง พบว่าเมื่อนำเส้นใยนำแสงเข้ามาทำงานร่วมกับเครื่องวิทยุถ่ายทอดทางยุทธวิธี RL 422A แสดงให้เห็นถึงแผนภาพดวงตา ที่มีลักษณะปิดลงมากขึ้น ก็ส่งผลให้เกิดค่า BER สูงมากขึ้นด้วย อันเนื่องจากการรบกวนของสัญญาณและกำลังที่ใช้ในการส่งออกด้วยเช่นกัน ซึ่งเมื่อทำการคำนวณค่า BER มีค่าเท่ากับ 0.692 พบว่าเป็นค่าอัตราความผิดพลาดของบิต (BER) ที่น้อยมาก ซึ่งสามารถบ่งบอกถึงยุทโธปกรณ์ชุดนี้สามารถนำไปปฏิบัติภารกิจได้ ดังรูปที่ 20

6. สรุป

ชุดสาธิตทางทหารในการส่งสัญญาณที่ถูกมัลติเพล็กซ์แบบแบ่งทางเวลา ไปบนระบบการสื่อสารผ่านเส้นใยแก้วนำแสงสามารถทำการรับ-ส่ง ข้อมูลดิจิทัลทั้ง 4 สัญญาณ โดยที่สัญญาณดิจิทัลทั้ง 4 สัญญาณสามารถถูกปรับค่าความถี่ได้ และสามารถรวมสัญญาณในรูปแบบการมัลติเพล็กซ์แบบ TDM อีกทั้งสามารถนำ Eye diagramมาวิเคราะห์และคำนวณหาค่า BER ได้ และทำการประยุกต์ใช้กับเครื่องวิทยุถ่ายทอดทางยุทธวิธี RL 422A ในโหมด TDM ได้เพื่อคำนวณหาค่า BER เพื่อเป็นการตรวจสอบสถานภาพของยุทโธปกรณ์ที่พร้อมใช้งานได้เช่นกัน

7. กิตติกรรมประกาศ

การทำวิจัยชุดสาธิตทางทหารในการส่งสัญญาณที่ถูกมัลติเพล็กซ์แบบแบ่งทางเวลา สำเร็จลุล่วงด้วยดีนั้น ขอขอบคุณ บริษัท ลูเมนตั้ม อินเตอร์เนชั่นเนล (ประเทศไทย) จำกัด ที่ได้ให้ความอนุเคราะห์ให้ยืมอุปกรณ์ในการใช้งานวิจัย ทั้งการวิเคราะห์และประมวลผล ขอขอบคุณโรงเรียนทหารสื่อสาร กรมการทหารสื่อสาร ที่สนับสนุนยุทโธปกรณ์ที่นำมาทดลองและต้องขอขอบคุณ กองทุนพัฒนาโรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้าที่สนับสนุนทุนวิจัยในครั้งนี้ให้สำเร็จ

8. เอกสารอ้างอิง

[1] วิทวัส สิฏฐกุล, การสื่อสารผ่านเส้นใยนำแสง, 1st ed. ประเทศไทย, สำนักพิมพ์ ซีเอ็ดยูเคชั่น, 2560

[2] Pedram Keirkhah Sangdeh, “Overview of Multiplexing Techniques in Wireless Networks” Published on September 2019 from https://www.intechopen.com/books/multiplexing/overview-of-multiplexing-techniques-in-wireless-networks

[3] Shiva Kumar, M.Jamal Deen, “Fiber Optic Communication: Fundamentals and Application” John Wiley and Son, 2014

[4] R.Sokullu, “Digital Communication Systems”, chapter 6, 2012.

[5] วิทวัส สิฏฐกุล จิรกิตติ์ เตรียมสกุล และ ปรีชา เกิดเจริญ. (2560). ชุดสาธิตการจำลองเหตุการณ์ผิดปกติบนสายใยแก้วนำแสง.การประชุมวิชาการ งานวิจัยและพัฒนาเชิงประยุกต์ ครั้งที่ 9

[6] ชนะ จันทร์อิ่ม. (2563). ชุดสาธิตการส่งสัญญาณแสงโดยวิธีการมัลติเพล็กซ์แบบแบ่งความยาวคลื่น 850 และ 1310 นาโนเมตร. เอกสารงานวิจัย กองทุนพัฒนาโรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้า.

[7] แผนกการสื่อสารประเภทสาย ส่วนการศึกษา โรงเรียนทหารสื่อสาร กรมการทหารสื่อสาร, 2550

[8] STMicroelectronics. (2001). Datasheet Series 74HC. Retrieved on December 6, 2020, from https://datasheetz.com

[9] ภัทรพงษ์ รักน้อย, ปรีชา ยุพาพิน. (2539). การตรวจวัดระยะไกลทางสิ่งแวดล้อมโดยใช้เส้นใยนำแสง. วารสารวิชาการมหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ปีที่ 4 เล่มที่ 2. 72-77