

ชุดสาธิตทางทหารในการส่งสัญญาณแสงด้วยเทคนิคการมัลติเพล็กซ์แบบแบ่งเวลา

The Military Demonstration Kit of Optical Transmission using Time Division Multiplexing Technique

¹ชนะ จันทรอิม

¹กองวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ส่วนการศึกษา โรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้า

¹ Chana Jan im

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

chana.ja@crma.ac.th

บทคัดย่อ

Received : May 11, 2021

Revised : September 20, 2021

Accepted : November 30, 2021

งานวิจัยนี้นำเสนอชุดสาธิตทางทหารในการส่งสัญญาณแสงโดยการมัลติเพล็กซ์แบบแบ่งเวลา ที่ถูกออกแบบและพัฒนาให้มีลักษณะการทำงานเสมือนวิทยุถ่ายทอดทางยุทธวิธี รุ่น RL 422A โดยใช้หลักการวางจรร่วมสร้างสัญญาณดิจิทัลด้วยวิธีการมัลติเพล็กซ์แบบแบ่งเวลาผ่านเส้นใยแก้วนำแสง ซึ่งผู้วิจัยได้ศึกษาวิจัยการรับ-ส่งสัญญาณผ่านใบงานการทดลองและคำนวณหาค่าอัตราความผิดพลาดบิตของสัญญาณที่วัดได้ในสัญญาณที่ผ่านเส้นใยแก้วนำแสงเปรียบเทียบกับสัญญาณที่ผ่านเครื่องวิทยุถ่ายทอดทางยุทธวิธี รุ่น RL 422A โดยใช้แผนภาพดวงตา (Eye Diagram) และใบงานการทดลองที่ใช้ในการวิจัยเป็นสื่อการเรียนสอนในวิชาการปฏิบัติการสื่อสารและวิชาการสื่อสารทางยุทธวิธี จากการวิจัยพบว่า ชุดสาธิตสามารถรับส่งสัญญาณทั้ง 4 สัญญาณและสามารถปรับความถี่ได้ตามกำหนด จากการทดสอบความรู้ทฤษฎีของนักเรียนนายร้อยจำนวน 12 นาย ก่อนและหลังการนำชุดสาธิตมาประกอบการทดลอง พบว่าก่อนการทดลองคะแนนเฉลี่ย 6.83 คะแนน (เต็ม 15 คะแนน) และหลังการทดลองการคะแนนเฉลี่ย 13.5 คะแนน สรุปได้ว่าการนำชุดสาธิตประกอบใบงานการทดลองมาเป็นสื่อการเรียนการสอนนั้นเพิ่มทักษะทางการใช้งานและความรู้ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องของนักเรียนนายร้อย

คำสำคัญ: การมัลติเพล็กซ์แบบแบ่งเวลา, แผนภาพดวงตา, วิทยุถ่ายทอดทางยุทธวิธี รุ่น RL 422A

Abstract

This research presents a military demonstration kit of optical transmission using Time-Division Multiplexing. It is designed and developed to behave like a tactical radio series RL 422A relay based on the principle of digital transmission using TDM through an optical fiber communication system. The experiments focus on the calculation of the bit error rate using an eye diagram of the signals measured both in the optical fiber signal and

through the machine and tactical broadcast radio in order to be the military demonstration kit for Communication Systems Laboratory subject. The results show that this kit can transmit 4 digital signals and also its frequency can be adjusted accordingly. Also, the eye diagram is used to calculate the signal bit error rate in fiber optic and tactical radio relay. The researchers also performed the experiments on 12 cadets which aimed to verify their knowledge improvement before and after using this kit. The results show that an average score of 6.83 out of 15 on a pre-test and an average score of 13.5 after working on this kit. In conclusion, this demonstration kit can be used effectively for learning and teaching on Optical Communication theory.

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

1. บทนำ

จากการศึกษาข้อมูลจากโรงเรียนทหารสื่อสาร กรมการทหารสื่อสาร เป็นหน่วยงาน ให้การฝึกศึกษาแก่กำลังพลสายงานสื่อสารทางทหารและมีการพัฒนาทางด้านงานวิจัยเกี่ยวกับสิ่งอุปกรณ์ที่ใช้ในงานของเหล่าทหารสื่อสาร เช่น เครื่องมือวัดความถี่วิทยุ ความถี่ไมโครเวฟ และทางแสงที่ใช้งานกับชุดโพรบสัญญาณสายสื่อสาร ซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่ความละเอียดและซับซ้อนสูง ทางผู้วิจัยเล็งเห็นได้ว่าโดยปกติเครื่องมือและอุปกรณ์ดังกล่าวที่มีการจัดหาให้กับหน่วยผู้ใช้งานจะมีการถ่ายทอดความรู้ให้กับเจ้าหน้าที่รับผิดชอบโดยจะจัดการอบรมการใช้งานทั้งภาคทฤษฎีและภาคปฏิบัติในการใช้งานตามหลักการให้ครบทุกฟังก์ชัน ซึ่งในทางปฏิบัติบางฟังก์ชันจำเป็นต้องมีชุดสาธิตฯเพื่อประกอบประกอบการอบรม ถ่ายทอดองค์ความรู้แก่ผู้ใช้งานโดยแสดงสถานการณ์ต่างๆ ที่เกิดขึ้นได้ในการส่งสัญญาณผ่านเส้นใยแก้วนำแสง ซึ่งจำเป็นต้องมีการทดสอบเครื่องมือและอธิบายหลักการเบื้องต้นแก่ผู้ใช้งานและนักเรียนหลักสูตรทางทหารของโรงเรียนทหารสื่อสารที่จะต้องเข้าใจถึงระบบการทำงานของเครื่องมือและสามารถแก้ไขข้อขัดข้องเบื้องต้นได้ตามหลักการทฤษฎีต่างๆที่เกี่ยวข้อง

นอกจากนี้สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า ส่วนการศึกษา โรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้า ยังได้มีหลักสูตรการเรียนการสอนในวิชาการสื่อสารทางแสงและวิชาปฏิบัติการสื่อสารทำให้นอกจากการสอนและบรรยายหลักการทางทฤษฎีของรายวิชาดังกล่าวแล้ว การมีชุดสื่อการเรียนการสอนประกอบในรายวิชาให้กับนักเรียนนายร้อยเพื่อสร้างความเข้าใจหลักการภาคปฏิบัติและแนวทางการแก้ไขข้อขัดข้องเบื้องต้นได้ เนื่องจากนักเรียนนายร้อยเมื่อสำเร็จการศึกษาแล้วจำเป็นต้องใช้งานชุดโพรบที่มีประสิทธิภาพสูงได้อย่างเข้าใจ ปลอดภัยและสามารถประยุกต์ให้เหมาะสมกับการกิจ

ดังนั้นทางผู้วิจัยจึงขอนำเสนอชุดสาธิตทางทหารในการส่งสัญญาณที่ถูกมัลติเพล็กซ์แบบแบ่งทางเวลา (TDM) โดยใบบางการทดลองถูกแบ่งออกเป็น 5 ใบบางการทดลองคือ 1. ใบบางการทดลองวิเคราะห์วงจรลอจิก 2. ใบบางการทดลองการรวมสัญญาณดิจิทัลโดยการมัลติเพล็กซ์แบบแบ่งเวลา 3. ใบบางการทดลองทฤษฎีแผนภาพดวงตา 4. ใบบางการทดลองการส่งสัญญาณแสงโดยผ่านเส้นใยแก้วนำแสง และ 5. ใบบางการทดลองทฤษฎีแผนภาพดวงตาผ่านเครื่องวิทยุถ่ายทอดทางยุทธวิธี รุ่น RL 422A โดยทำการคำนวณหาอัตราความผิดพลาดบิต (BER) เพื่อเปรียบเทียบกับค่า BER ของเครื่องวิทยุถ่ายทอดทางยุทธวิธี RL 422A จาก Eye diagram ของสัญญาณที่วัดได้ เพื่อแสดงให้เห็นถึงสถานภาพความพร้อมการใช้งานของชุดโพรบ

2. ขอบเขตงานวิจัย

2.1 เพื่อพัฒนาสื่อการเรียนการสอนให้กับนักเรียนนาร้อยได้เรียนรู้และเข้าใจหลักการของการส่งสัญญาณแสงโดยวิธีมัลติเพล็กซ์แบบแบ่งเวลา

2.2 เพื่อศึกษารูปแบบแผนภาพดวงตาของวิทยุถ่ายทอดทางยุทธวิธีที่มีการใช้งานอยู่ในกองทัพบก

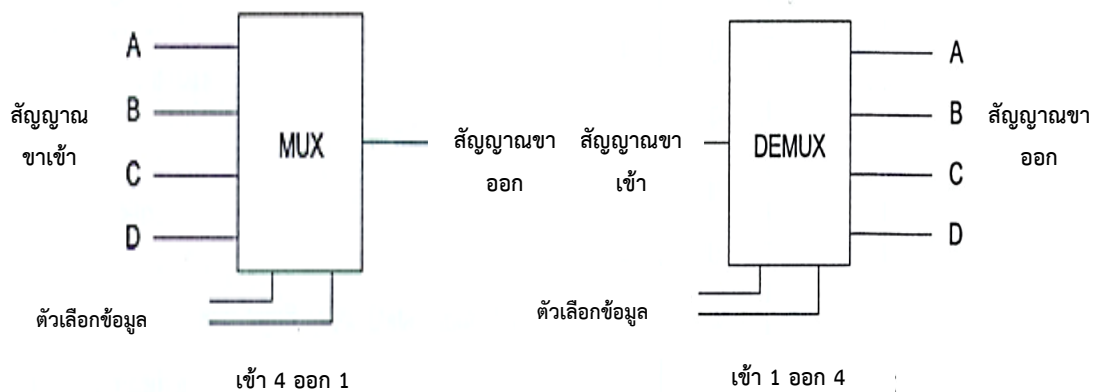
3. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

3.1. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

3.1.1 การรวมสัญญาณ (Multiplexing) และการแยกสัญญาณ (Demultiplexer)

Multiplexing คือเทคนิคที่ใช้สำหรับบริหารจัดการตัวกลางการสื่อสาร 1 เส้นทาง เพื่อให้สามารถใช้ส่งสัญญาณหลายสัญญาณรวมกันได้ ส่วนปลายทางจะมีการแยกสัญญาณ (Demultiplexer) เพื่อกระจายสัญญาณที่รวมไว้ไปยังคู่สื่อสารภาครับที่เหมาะสม โดยการรวมสัญญาณจะเลือกช่องสัญญาณที่มีข้อมูลช่องหนึ่งจากหลายช่องสัญญาณมาเป็นอินพุต และต่อช่องสัญญาณที่มีข้อมูลนั้นเข้าเป็นสัญญาณเอาต์พุตเพียงสัญญาณเดียว สามารถแยกความแตกต่างของสัญญาณต่างๆ เช่น แยกเวลา, แยกพื้นที่ และแยกความถี่ของสัญญาณแต่ละชนิดออกจากกัน ซึ่งอุปกรณ์ที่ใช้ในการรวมสัญญาณเข้าด้วยกันนั้นจะเรียกว่า มัลติเพล็กซ์เซอร์ (Multiplexer : Mux) โดยมัลติเพล็กซ์เซอร์จะมีระบบการทำงานเป็นคู่ คือรับ-ส่งสัญญาณซึ่งหลักการทำงานนี้ตัวส่งสัญญาณจะเป็นมัลติเพล็กซ์เซอร์ที่ทำการรวบรวมข้อมูลจากอุปกรณ์สื่อสารต่างๆ แล้วส่งข้อมูลนั้นออกไปพร้อมกันด้วยอัตราการส่งสูงไปยังตัวรับ หรือดีมัลติเพล็กซ์เซอร์ (Demultiplexer) เมื่อรับสัญญาณแล้วจะทำการแยกสัญญาณเพื่อให้ได้สัญญาณเดิม และทำการแยกออกไปตามแต่ละอุปกรณ์การสื่อสารที่ได้ส่งมา นอกจากนี้มัลติเพล็กซ์เซอร์ถูกนำมาใช้งานสำหรับการติดต่อสื่อสารที่เป็นระยะทางไกล (Long-haul communication) ชุดของสายสัญญาณ (Trunk) ที่นำมาใช้ในการติดต่อระยะทางไกล (Long-haul network) เป็นเส้นใยนำแสงที่มีประสิทธิภาพสูง

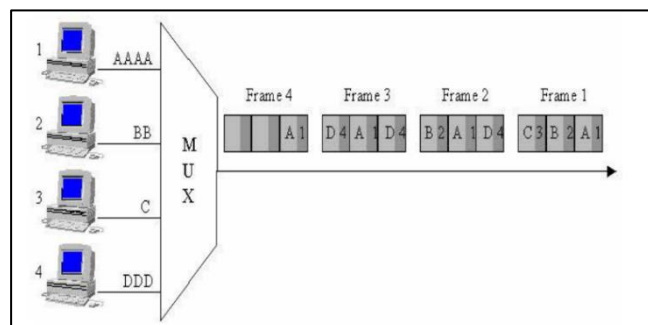
โดยส่วนใหญ่อุปกรณ์มัลติเพล็กซ์เซอร์ยังเป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการแบ่งความสามารถในการส่งข้อมูลของสื่อกลางซึ่งแบ่งออกเป็นอุปกรณ์มัลติเพล็กซ์เซอร์แบบแบ่งตามความถี่ (Frequency Division Multiplexing : FDM), อุปกรณ์มัลติเพล็กซ์เซอร์แบบแบ่งตามความยาวคลื่น (Wavelength Division Multiplexing : WDM), อุปกรณ์มัลติเพล็กซ์เซอร์แบบแบ่งตามเวลา (Time Division Multiplexing : TDM) และอุปกรณ์มัลติเพล็กซ์เซอร์แบบแบ่งเวลาด้วยสถิติ Statistical time division Multiplexing : STDM) โดยสามารถดูขั้นตอนการทำงานคร่าวๆของการรวมสัญญาณ (Multiplexing) และการแยกสัญญาณ (Demultiplexer) [1] ตามรูปที่ 1



รูปที่ 1 ภาพประกอบขั้นตอนการทำงานของ การรวมสัญญาณและการแยกสัญญาณ

3.1.2 การรวมสัญญาณแบบแบ่งเวลา

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

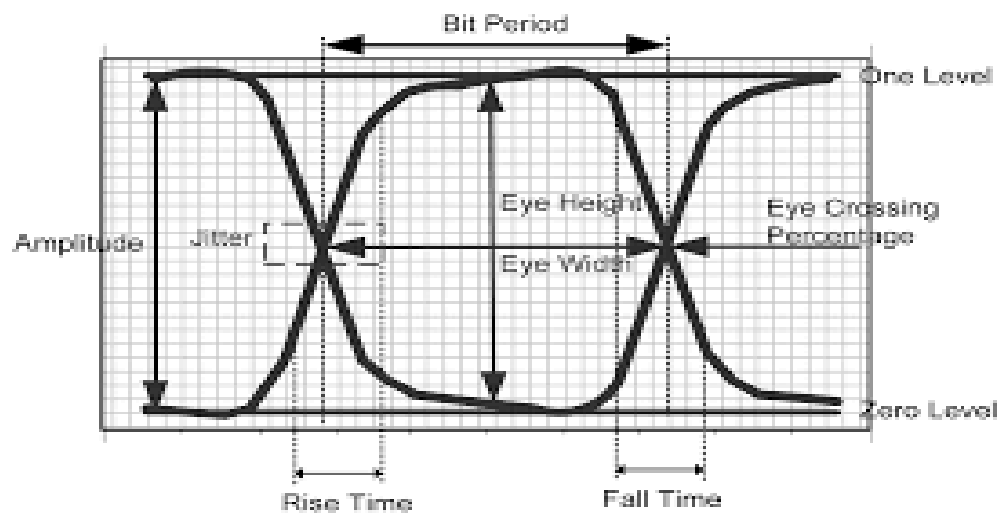


รูปที่ 2 หลักการรวมสัญญาณแบบแบ่งเชิงเวลา

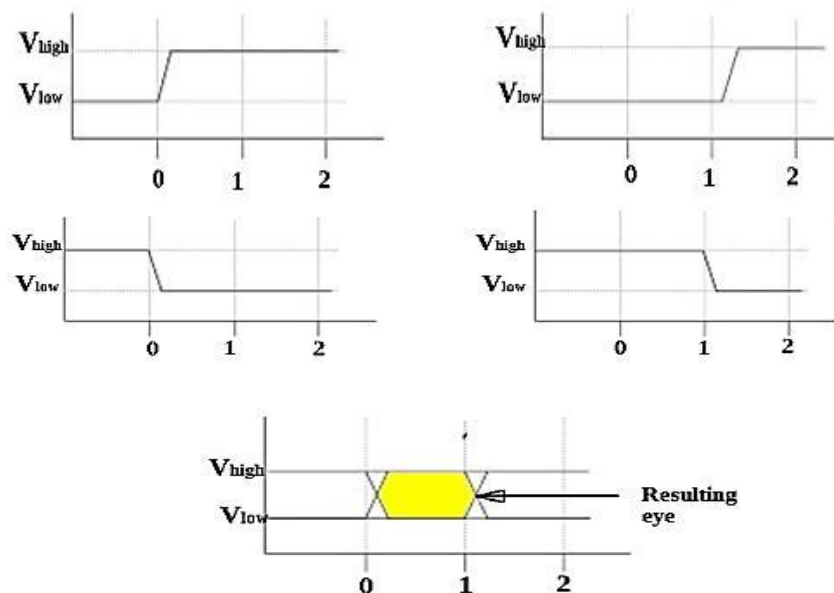
3.1.3 แผนภาพดวงตา

แผนภาพดวงตา (Eye diagram) สามารถบ่งบอกถึงอัตราความกว้างของแบนด์วิธที่ลดลง โดยสังเกตจากพื้นที่ช่องว่างตรงกลาง (ที่มีลักษณะคล้ายตา) และส่วนประกอบต่างๆ หากระยะดวงตาที่แคบลงมากเท่าไรจะหมายถึงคุณสมบัติการคงรูปสัญญาณของสายสัญญาณ ซึ่งผลความผิดปกติของรูปสัญญาณตรงนี้จะส่งผลกระทบไปถึงคุณภาพของภาพและเสียง โดยประเด็นนี้จะส่งผลกระทบต่อเนื้อ ซึ่งจะแสดงให้เห็นถึงความแตกต่างของคุณสมบัติของสายส่งที่เป็นสายคุณภาพสูงกับสายคุณภาพต่ำ [3] ตามรูปที่ 3

ข้อมูลที่มีประมวลผลจะมีความแตกต่างกันโดยวิเคราะห์ผ่าน Eye diagram ที่บริเวณความสูงของตาและความกว้างของข้อมูลฮิสโทแกรมของสัญญาณแรงดันสูง (V_{high}) และแรงดันต่ำ (V_{low}) ที่เกิดจากนำภาพคลื่นมาซ้อนทับกันในลักษณะของคลื่นต่อเนื่องโดยใช้รูปแบบภาพคอมพิวเตอร์ [4] ตามรูปที่ 4



รูปที่ 3 ลักษณะของแผนภาพดวงตา



รูปที่ 4 ลักษณะการซ้อนทับของภาพดวงตา

3.1.4 ค่าอัตราความผิดพลาดบิต

ค่าอัตราความผิดพลาดบิตเป็นค่าที่แสดงถึงความผิดพลาดของการรับข้อมูลในระบบดิจิทัล หาก BER เป็น 0 หรือต่ำมาก ๆ แสดงว่า เราได้รับสัญญาณดิจิทัลได้สมบูรณ์ครบถ้วนในแต่ละบิต ในที่นี้เราสามารถประมาณค่าอัตราความผิดพลาดบิตจากแผนภาพดวงตา (Eye diagram) ในหัวข้อดังกล่าวได้ดังต่อไปนี้ [5]

$$BER = \frac{1}{2} \text{erfc}(x) \quad (1)$$

$$\sigma_1, \sigma_0 = V_{\max} - V_{\min} \quad (2)$$

$$u_1 = V_{\max} - \frac{\sigma_1}{2}, u_0 = V_{\max} - \frac{\sigma_0}{2} \quad (3)$$

$$Q = \frac{u_1 - u_0}{\sigma_1 + \sigma_0}, \frac{Q}{\sqrt{2}} \quad (4)$$

$$\operatorname{erf}(x) = \frac{1}{\sqrt{\pi}} \int_{-\frac{Q}{\sqrt{2}}}^{\frac{Q}{\sqrt{2}}} e^{-t^2} dt \quad (5)$$

$$\operatorname{erfc}(x) = 1 - \operatorname{erf}(x) \quad (6)$$

โดย BER : Bit Error Rate

$\operatorname{erf}(x)$: Error Function

u_1, u_0 : ค่ากึ่งกลางของขอบขาบน และขอบล่างของสัญญาณ

σ_1, σ_0 : ค่าความแปรปรวนของสัญญาณ

จากความสัมพันธ์ตามข้อ 3.1.3 และ 3.1.4 แสดงถึงค่าสัญญาณแรงดันสูงและแรงต่ำของภาพสัญญาณ Eye diagram ที่จะบ่งบอกถึงค่าอัตราความผิดพลาดบิต (BER) ตามสมการข้อที่ 3.1.4 ผู้วิจัยจึงนำคุณสมบัติดังกล่าวนำมาประยุกต์ใช้เพื่อหาค่า BER เพื่อทำให้ผู้ทำการทดลองทำการประเมินคุณสมบัติของเครื่องรับส่งสัญญาณแบบ TDM ได้ โดยขั้นตอนการทดลองจะกล่าวต่อไป

3.1.5 วิเคราะห์ทอดทางยุทธวิธี รุ่น RL 422A

วิทยุถ่ายทอด RL 422A เป็นชุดโพรโทคอลหลักที่ใช้ในหน่วยทหารระดับกองพันทหารสื่อสารขึ้นไป เพื่อให้การสนับสนุนในการจัดทำข่ายวิทยุถ่ายทอดทางยุทธวิธี โดยที่ทำงานในย่าน 610 – 960 MHz ทำการรับส่งสัญญาณดิจิทัล ในระบบ TDM สามารถเลือกทำงานในโหมด Automatic Power เพื่อที่จะให้เครื่องจะปรับค่า Power ให้มีค่าเหมาะสมได้ จากคุณสมบัติดังกล่าว ผู้วิจัยเล็งเห็นการช่องว่างที่จะทำให้ง่ายต่อการใช้งานชุดวิทยุถ่ายทอด RL 422A ที่จะเข้าใจหลักการรับส่งข้อมูลแบบ TDM อีกทั้งยังสามารถคำนวณค่า BER เพื่อสามารถวิเคราะห์คุณสมบัติของเครื่องสามารถนำไปปฏิบัติงานได้หรือไม่ [6] ตามรูปที่ 5



รูปที่ 5 วิเคราะห์ทอดทางยุทธวิธี RL 422A

3.2. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในการจัดทำชุดสาธิตทางทหารในการส่งสัญญาณที่ถูกมัลติเพล็กซ์แบบแบ่งเวลานี้ ผู้วิจัยได้มีการค้นคว้าหาข้อมูล ให้นำบทความวิจัยต่างๆ มาประยุกต์ใช้เป็นแนวทางในการศึกษาและจัดทำชุดสาธิตนี้ขึ้นมา โดยในส่วนของภาคทฤษฎีของการทดลองต่างๆ เช่น ชุดสาธิตการส่งสัญญาณแสงโดยวิธีการมัลติเพล็กซ์แบบแบ่งความยาวคลื่น 850 นาโนเมตรและ 1,310 นาโนเมตรได้รับการวิจัยพัฒนาจากกองทุนพัฒนาโรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้า ประจำปี 2563 ชุดสาธิตนี้ที่จัดทำขึ้นได้ต้นแบบมาจากชุดสาธิตประกอบการทดลอง Light Runner เป็นชุดสาธิตการทดลองทางแสง Fiber Optic มีใบงานการทดลองต่างๆ อาทิเช่นการทดลอง WDM Fiber Optic Link (การทดลองการสูญเสียในระบบ WDM), การทดลอง Characterization of WDM Mux & Demux (การทดลองการส่งสัญญาณในระบบ WDM) และการทดลอง Characterization of Erbium Doped Fiber Amplifier (การทดลองการขยายสัญญาณแสงผ่าน EDFA) โดยชุดสาธิตการทดลองที่ผู้วิจัยได้จัดทำขึ้นนั้นจะสามารถใช้งานประกอบกับเครื่องมือวัดทางแสง เช่น Optical Spectrum Analyzer, Optical Time Domain Reflectometer เป็นต้น อีกทั้งภายในชุดสาธิตดังกล่าวมีสายใยแก้วนำแสงยาวถึง 500 เมตร ซึ่งทางผู้วิจัยสามารถนำชุดสาธิตการส่งสัญญาณด้วยวิธีการมัลติเพล็กซ์แบบแบ่งเวลา มาใช้ประกอบรวมเพื่อดูลักษณะของแผนภาพดวงตาเมื่อรับส่งสัญญาณผ่านเส้นใยแก้วนำแสงระยะ 500 เมตร และวิเคราะห์หาค่า BER ที่เกิดขึ้นในการรับส่งสัญญาณดังกล่าวเช่นกัน [7] ตามรูปที่ 6



รูปที่ 6 ชุดสาธิตการส่งสัญญาณแสงโดยวิธีการมัลติเพล็กซ์แบบแบ่งความยาวคลื่น 850 นาโนเมตรและ 1,310 นาโนเมตร

การพัฒนาชุดฝึกปฏิบัติการด้านการสื่อสารทางแสงแบบประหยัด โดยการนำเครื่องมืออิเล็กทรอนิกส์มาประยุกต์ใช้ใหม่และพัฒนาให้เป็นชุดฝึกปฏิบัติการ ซึ่งผู้ทำการสอนสามารถซ่อมแซมชุดฝึกปฏิบัติการได้ด้วยตนเอง โดยง่ายและใช้ต้นทุนต่ำเมื่อเปรียบเทียบกับการใช้ชุดฝึกปฏิบัติการที่นำเข้าจากต่างประเทศ ผลการทดสอบการใช้งานโดยนักศึกษาพบว่าชุดฝึกปฏิบัติการนี้สามารถฝึกฝนและเพิ่มทักษะให้นักศึกษาได้อย่างมีประสิทธิภาพ ดังนั้นจึงเหมาะสมแก่การนำมาใช้เป็นสื่อการเรียนการสอน ซึ่งหนึ่งในวิชาเหล่านั้นก็คือวิชาในภาคทฤษฎีและปฏิบัติด้านการสื่อสารทางแสง (Optical communications), การกระจายของคลื่น, ชนิดคุณสมบัติ, ขบวนการผลิตของเส้นใยแก้วนำแสง, การประมาณการระบบการเชื่อมต่อ, แหล่งกำเนิดแสงและการตรวจจับสัญญาณ, การเข้ารหัส, การมัลติเพล็กซ์ และดีมัลติเพล็กซ์ เป็นต้น ในปัจจุบันมีการจัดเตรียมชุดฝึกปฏิบัติการเพื่อรองรับการสอนในเทคโนโลยีต่างๆ ด้วยที่ชุดฝึกปฏิบัติการส่วนใหญ่จะมุ่งเน้นการฝึกปฏิบัติการทดลองด้านทฤษฎีต่างๆ ของการ

สื่อสารทางแสง อย่างไรก็ตามการออกแบบวงจรอิเล็กทรอนิกส์ไม่ได้ครอบคลุมสำหรับการควบคุมการทำงานของระบบสื่อสารทางแสง ดังนั้นจึงเป็นเหตุให้ผู้วิจัยได้ทำการออกแบบและสร้างชุดปฏิบัติการมีขึ้นมา [8]

4. การดำเนินการวิจัย

การดำเนินการสร้างชุดสาธิตทางทหารในการส่งสัญญาณที่ถูกมัลติเพล็กซ์แบบแบ่งเวลาได้แบ่งขั้นตอนการดำเนินงานดังต่อไปนี้

4.1 แนวคิดในการออกแบบการทดลอง

วัตถุประสงค์ของการจัดทำใบงานประกอบการทดลองนั้นเพื่อที่จะอธิบายถึงทฤษฎีที่นำมาใช้โดยผ่านการปฏิบัติโดยทุกทฤษฎีที่นำมาใช้จะมีใบงานประกอบการทดลองทั้งหมดโดยผู้วิจัยออกแบบ 5 ใบงานการทดลอง

4.1.1 ใบงานการทดลองที่ 1 การทดลองวงจรลอจิก และการวัดประสิทธิภาพ

การทดลองตรวจสอบความสัมพันธ์ของตารางค่าความจริงของวงจรการรวมสัญญาณและวงจรการแยกสัญญาณ โดยจะมีการทดสอบประสิทธิภาพของข้อจำกัดของอุปกรณ์วงจรรวมรวมสัญญาณ และการแยกสัญญาณที่สามารถรองรับได้

4.1.2 ใบงานการทดลองที่ 2 การรวมสัญญาณแบบแบ่งเชิงเวลา

การคำนวณหา Bit Rate, Bit Interval ของความถี่ และคำนวณการจัด Slot ของการรวมสัญญาณแบบแบ่งเชิงเวลา รวมทั้งมีการทดลองการรวมสัญญาณแบบแบ่งเวลาในรูปแบบเชิงโครนัสและ รูปแบบอะซิงโครนัส

4.1.3 ใบงานการทดลองที่ 3 แผนภาพดวงตา (Eye pattern)

การสอนคำนวณหาความผิดพลาดของสัญญาณ (Bit Error Rate) ในรูปแบบของแผนภาพดวงตา

4.1.4 ใบงานการทดลองที่ 4 การส่งสัญญาณแบบแบ่งเชิงเวลาด้วยเส้นใยนำแสง

การทดลองการรวมสัญญาณแบบแบ่งเวลาผ่านเส้นใยแก้วนำแสงโดยการนำชุดสาธิตการส่งสัญญาณแสงโดยวิธีการมัลติเพล็กซ์แบบแบ่งความยาวคลื่น 850 นาโนเมตรและ 1310 นาโนเมตรนำมาประยุกต์ใช้เข้าด้วยกันและคำนวณหาความผิดพลาดของสัญญาณ (Bit Error Rate) ในรูปแบบของแผนภาพดวงตาเมื่อผ่านเส้นใยนำแสง

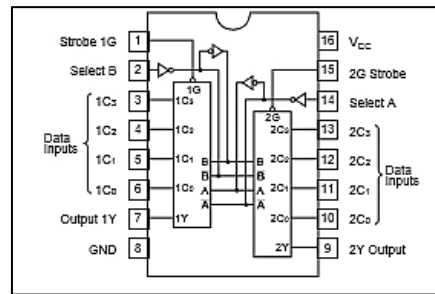
4.1.5 ใบงานการทดลองที่ 5 การทดลองทฤษฎีแผนภาพดวงตาผ่านเครื่องวิทยุถ่ายทอดทางยุทธวิธี

การทดลองการรวมสัญญาณแบบแบ่งเชิงเวลาผ่านเส้นใยแก้วนำแสงโดย การนำชุดวิทยุถ่ายทอดทางยุทธวิธี RL 422A นำมาประยุกต์ใช้เข้าด้วยกันและคำนวณหาความผิดพลาดของสัญญาณ (Bit Error Rate) ในรูปแบบของแผนภาพดวงตาเมื่อผ่านเส้นใยนำแสง

4.2 การนำอุปกรณ์มาสร้างชุดสาธิต

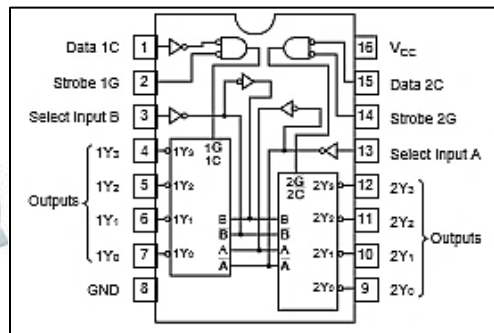
4.2.1 วงจรรวมเบอร์ 74153 และ 74155

วงจรรวมเบอร์ 74153 ซึ่งทำหน้าที่ในการรวมสัญญาณ แบบ 4 สัญญาณขาเข้าเป็น 1 สัญญาณขาออกมีทั้งหมด 16 ขา โดยมีฝั่งซ้าย 8 ขา และฝั่งขวา 8 ขา ซึ่งแต่ละฝั่งสามารถทำการรวมสัญญาณได้ โดยสามารถใช้ไฟเลี้ยงภายในอุปกรณ์ 5 โวลต์ ด้วยคุณสมบัติดังกล่าวผู้วิจัยสามารถนำวงจรนี้ไปใช้ได้และสามารถรองรับความถี่ของอินพุตสัญญาณสูงสุดถึงระดับเมกะเฮิรตซ์ ตามรูปที่ 7



รูปที่ 7 วงจรรวมเบอร์ 74153 และ Pin Arrangement (MUX)

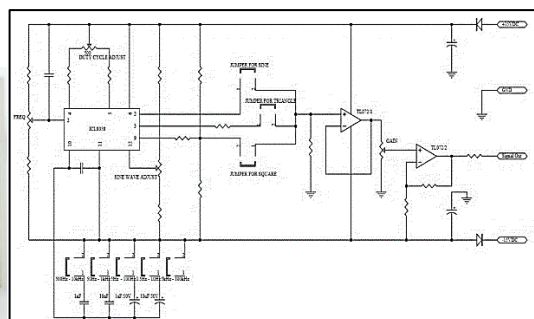
วงจรรวมเบอร์ 74155 ซึ่งทำหน้าที่ในการรวมสัญญาณ แบบ 1 สัญญาณขาเข้าเป็น 4 สัญญาณขาออก และสามารถนำมาใช้เป็นวงจรถอดรหัสได้ มีทั้งหมด 16 ขา โดยมีขา 8 ขา เหมาะสำหรับการนำไปใช้ในการเชื่อมต่อแบบการถอดรหัส และขา 8 ขา ใช้สำหรับการแยกสัญญาณ โดยสามารถใช้ไฟเลี้ยงภายในอุปกรณ์ 5 โวลต์ ด้วยคุณสมบัติดังกล่าวผู้วิจัยสามารถใช้ร่วมกับวงจรรวมเบอร์ 74153 ประเภท MUX 4:1 และสามารถรองรับความถี่ของอินพุตสัญญาณสูงสุดถึง 3 เมกะเฮิรตซ์ ตามรูปที่ 8



รูปที่ 8 วงจรรวมเบอร์ 74155 และ Pin Arrangement (DEMUX)

4.2.2 วงจรสำเร็จรูปผลิตความถี่ 0.5 เฮิรตซ์-100 กิโลเฮิรตซ์ คลื่นไซน์, สามเหลี่ยม และสี่เหลี่ยม

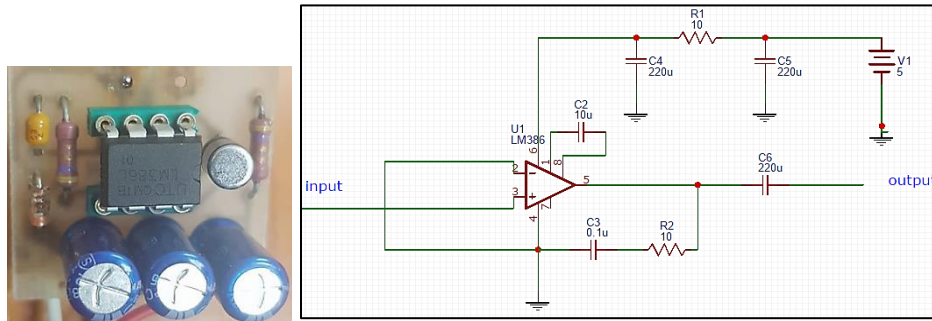
เป็นวงจรผลิตความถี่สามรูปแบบคลื่นคือคลื่นไซน์, สามเหลี่ยม และสี่เหลี่ยม ให้สัญญาณที่ออกมามีความสมมาตร เนื่องจากใช้แหล่งจ่ายไฟคู่ บวก-ลบ ที่แรงดัน 12 โวลต์-15 โวลต์ สามารถเลือกความถี่โดยการเสียบ Jumper ได้ในย่านความถี่ 0.5 เฮิรตซ์-100 กิโลเฮิรตซ์ ขนาดแผ่นวงจร 6.9 เซนติเมตร x 7.3 เซนติเมตร ด้วยคุณสมบัติดังกล่าวผู้วิจัยสามารถนำอุปกรณ์ตัวนี้ที่เป็นวงจรสำเร็จรูปและสะดวกในการใช้งาน ตามรูปที่ 9



รูปที่ 9 วงจรผลิตความถี่ 0.5 เฮิรตซ์-100 กิโลเฮิรตซ์ และแผ่นผังวงจร

4.2.3 วงจรขยายสัญญาณ

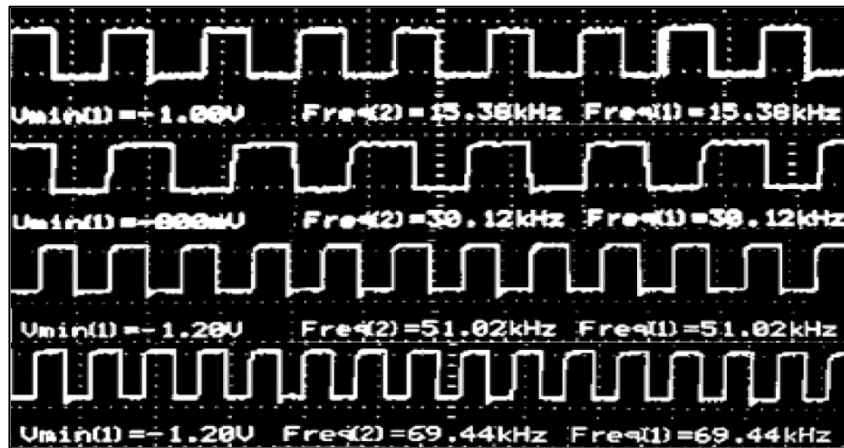
ผู้วิจัยได้นำวงจรขยาย (Op Amp) เชื่อมต่อสัญญาณสัญญาณขาเข้าเข้าไป C2 จะทำหน้าที่ป้อนกลับสัญญาณเพื่อรักษาเสถียรภาพของการทำงานของวงจรรวม ส่วน R1, C4 และ C5 ทำหน้าที่รักษาไฟเลี้ยงวงจรให้เรียบ และป้องกันไม่ให้สัญญาณรบกวนที่ปะปนกับแหล่งจ่ายเข้าไปในวงจรรวม วงจรดังกล่าวก็สามารถตอบสนองให้สามารถขยายสัญญาณได้ตามรูปที่ 10



รูปที่ 10 วงจรขยายสัญญาณ และแผนผังวงจร

4.3 การออกแบบ

ทางผู้วิจัยได้จัดทำชุดสาริตทางทหารในการส่งสัญญาณที่ถูกมัลติเพล็กซ์แบบแบ่งทางเวลา โดยใช้โปรแกรม Corel draw ช่วยในการออกแบบ โดยมีขนาด 530 x 380 มิลลิเมตร โดยจะมีการควบคุมด้วยสวิทช์ในการเปิด-ปิดด้านหน้ากล่อง สามารถปรับความถี่ (Data1-CLK2) และปรับแรงดันไฟของความถี่ (Amplitude1-Amplitude6) ด้วยการหมุน ส่วนทางด้าน Output Data, Output CLK, Output Mux และ Output Demux จะใช้หัวเอาต์พุตเป็นแบบ BNC เพื่อให้ง่ายต่อการใช้งานในการวัดค่าในออสซิลโลสโคป ส่วนทางด้านหัว SMA นั้นจะคู่กับสาย SMA RG178 เพื่อเป็นการเชื่อมต่อข้อมูลของฝั่ง Mux และ Demux ทางด้าน S0, S1 จะต้องเชื่อมต่อโดยใช้สายจัมป์แบบหัวเสียบในการต่อเชื่อมของฝั่ง Mux และ Demux ส่วน Vcc จะใช้ไฟ +5V และ GND จะใช้เป็นกราวของแหล่งจ่าย 5V ออกแบบเพื่อไว้ใช้ในการทดลองส่วนของ Op-amp จะทำหน้าที่ไว้สำหรับขยายสัญญาณ แต่ว่าไม่ได้ใช้งานในการทดลอง ทางด้านเอาต์พุตเป็นแบบ BNC และ SMA ซึ่งการวางตำแหน่งของอุปกรณ์ตามรูปที่ 11

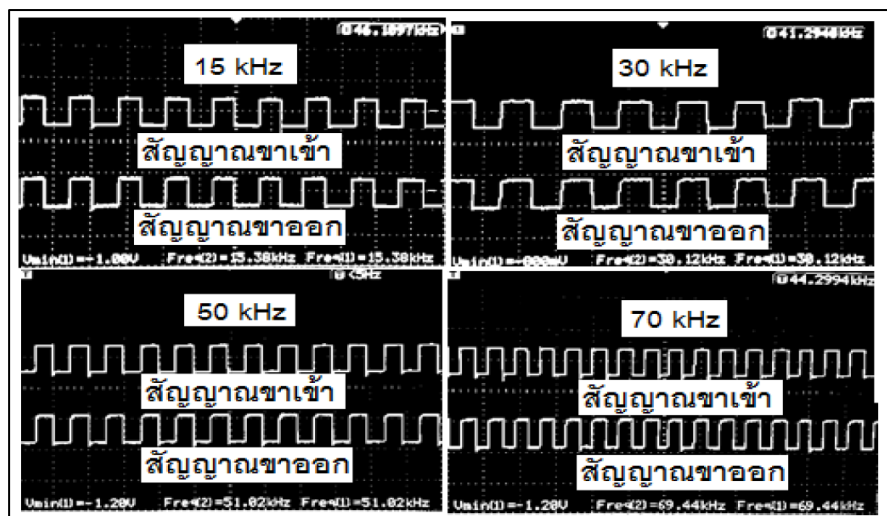


รูปที่ 12 สัญญาณดิจิทัลทั้ง 4 สัญญาณขาออก

จากผลการทดลอง พบว่าคลื่นสัญญาณทั้ง 4 สัญญาณ จะอยู่ในช่วงที่ 15 -70 KHz เป็นความถี่ที่สามารถใช้งานได้ดี โดยจะมีค่าแรงดัน (Vpp) อยู่ในช่วง 5-6 V จะสามารถใช้งานได้ดี สังเกตได้จากรูปสัญญาณขาออกที่ได้จะมีลักษณะเหมือนสัญญาณขาเข้า และสามารถนำค่าตามตารางความจริงได้อย่างถูกต้อง ตามรูปที่ 12

5.1.2 ใบงานการทดลองที่ 2 การทดลองการรวมสัญญาณดิจิทัลโดยการมัลติเพล็กซ์แบบแบ่งเวลา

จากการศึกษาทำการทดลองผ่านใบงานการทดลองที่ 2 การทดลองการรวมสัญญาณแบบ TDM โดยทำการพิสูจน์หลักการทำงานในระบบการรวมสัญญาณและแยกสัญญาณของการรวมสัญญาณแบบแบ่งเชิงเวลา



รูปที่ 13 สัญญาณขาเข้าและขาออกของทั้ง 4 สัญญาณ ก่อนและหลัง TDM

จากผลการทดลอง ได้นำสัญญาณดิจิทัลทั้ง 4 ความถี่คือ 15, 30, 50, และ 70 KHz ที่ถูกมัลติเพล็กซ์และดีมัลติเพล็กซ์สัญญาณแบบ TDM ทำให้เป็นการยืนยันว่าทั้ง 4 สัญญาณสามารถถูกส่งผ่านด้วยวิธีการมัลติเพล็กซ์แบบแบ่งเวลาได้จริง ตามรูปที่ 13

5.1.3 ใบงานการทดลองที่ 3 การทดลองทฤษฎีแผนภาพดวงตา

จากการศึกษาทำการทดลองผ่านใบงานการทดลองที่ 3 การทดลองทฤษฎีแผนภาพดวงตา เพื่อเป็นการคำนวณค่า BER เพื่อพิสูจน์ตามทฤษฎีของแผนภาพดวงตา

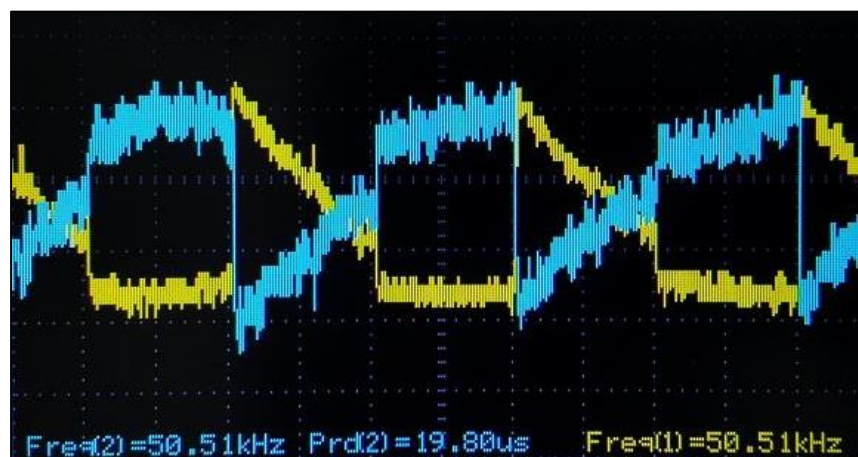


รูปที่ 14 แผนภาพดวงตาของสัญญาณขาออก 60 KHz

จากผลการทดลอง จะสามารถคำนวณหาค่า BER ของสัญญาณที่อยู่ในรูปแบบ Eye diagram จากสัญญาณเชิงไฟฟ้า โดยการนำสัญญาณมาอินเวอร์สกันและนำมาทับซ้อนกันจนเกิดเป็นแผนภาพดวงตาขึ้น ตามสมการค่าความผิดพลาดบิต ซึ่งจากสัญญาณขาออก 60 KHz จะได้ แรงดันที่ขอบขาบน: $\max = 4.00 \text{ V}$, $\min = 3.76 \text{ V}$ และ แรงดันที่ขอบขาล่าง: $\max = -3.76 \text{ V}$, $\min = -4.00 \text{ V}$ เมื่อนำคำนวณหาค่า BER มีค่าเท่ากับ 0.0013 ตามรูปที่ 14

5.1.4 ใบงานการทดลองที่ 4 การทดลองส่งสัญญาณแสงโดยผ่านเส้นใยแก้วนำแสง

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

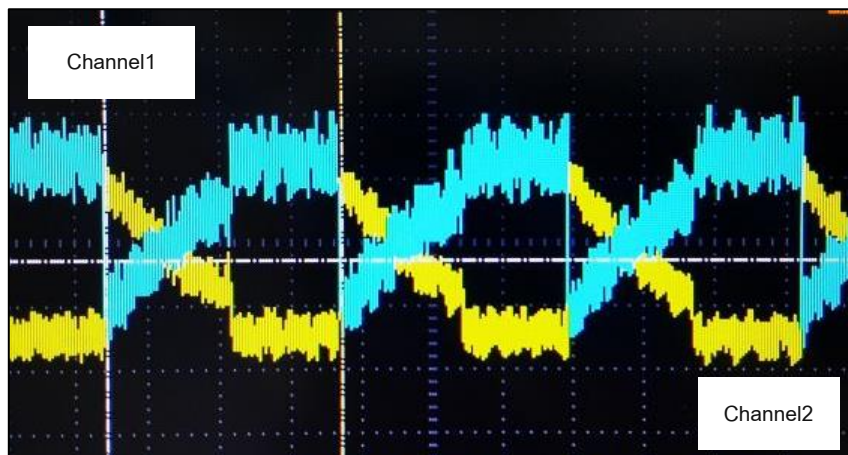


รูปที่ 15 แผนภาพดวงตาของสัญญาณขาออกของ Demux ที่ความถี่ 50 KHz

จากผลการทดลอง พบว่าเมื่อนำเส้นใยแก้วนำแสงที่มีความยาวมากขึ้นเชื่อมต่อกับชุดสาธิตการส่งสัญญาณแสงโดยวิธีการมัลติเพล็กซ์แบบแบ่งความยาวคลื่น 850 และ 1,310 นาโนเมตร ที่มีความยาว 500 เมตรโดยผ่านอุปกรณ์ WDM แสดงให้เห็นถึงแผนภาพดวงตาภายหลังผ่านระบบเส้นใยนำแสง จะพบว่ารูปร่างดวงตามีลักษณะปิดลงมากขึ้น ซึ่งแสดงถึงความผิดเพี้ยนของสัญญาณที่มากขึ้น ส่งผลทำให้เกิดอัตราความผิดพลาดของบิตที่มากขึ้นด้วยเช่นกัน ตามรูปที่ 15

5.1.5 ใบงานการทดลองที่ 5 การทดลองการส่งสัญญาณผ่านเครื่องวิทยุถ่ายทอดทางยุทธวิธี RL 422A

จากการศึกษาผ่านใบงานการทดลองที่ 5 การทดลองการส่งสัญญาณผ่านเครื่องวิทยุถ่ายทอดทางยุทธวิธี RL 422A โดยการคำนวณหาค่าความผิดพลาด (BER)

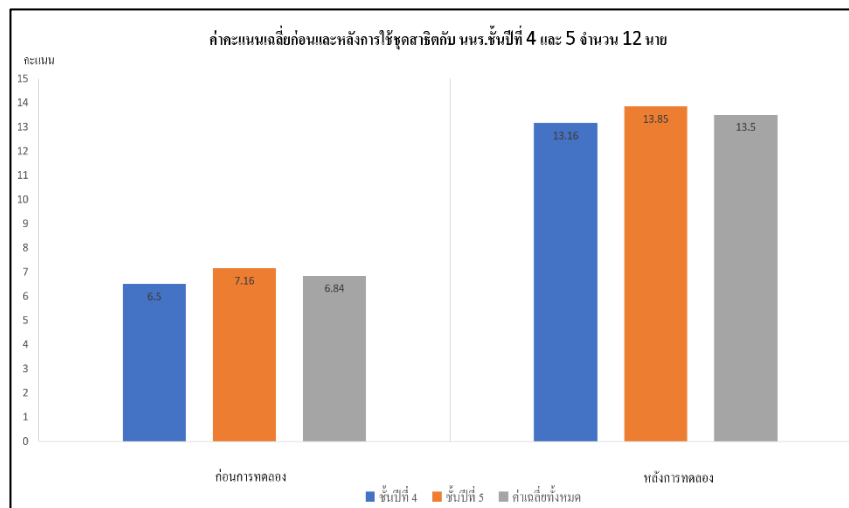


รูปที่ 16 แผนภาพดวงตาของสัญญาณขาออกของ Demux ที่ความถี่ 650 MHz

จากผลการทดลอง พบว่าเมื่อนำสัญญาณแสงเข้ามาทำงานร่วมกับเครื่องวิทยุถ่ายทอดทางยุทธวิธี RL 422A แสดงให้เห็นถึงแผนภาพดวงตา ที่มีลักษณะบิดลงมากขึ้น ก็ส่งผลให้เกิดค่า BER สูงมากขึ้นด้วย อันเนื่องจากการรบกวนของสัญญาณและกำลังที่ใช้ในการส่งออกด้วยเช่นกัน ซึ่งเมื่อทำการคำนวณค่า BER มีค่าเท่ากับ 0.692 พบว่าเป็นค่าอัตราความผิดพลาดของบิต (BER) ที่น้อยมาก ซึ่งสามารถบ่งบอกถึงยุทธโศปกรณ์ชุดนี้สามารถนำไปปฏิบัติการกิจได้ ตามรูปที่ 16

5.2 ผลการทดสอบและความพึงพอใจ

จากการให้ นนร.ทำการทดสอบก่อนหลังการใช้งานชุดสาธิตทางทหารในการส่งสัญญาณแสงโดยการมัลติเพล็กซ์แบบแบ่งเวลา จำนวน 12 นาย โดย นนร. กลุ่มดังกล่าวได้เรียนวิชาการปฏิบัติการสื่อสารและวิชาการระบบการสื่อสารดิจิทัล ได้ทำการทดสอบก่อนทดลอง จำนวน 15 ข้อ มีคะแนนเฉลี่ย 6.84 คะแนน แล้วทำการทดสอบหลังการใช้งานชุดสาธิตประกอบใบงานการทดลองจำนวน 15 ข้อมีคะแนนเฉลี่ย 13.5 คะแนน ซึ่ง นนร.กลุ่มดังกล่าวมีความพึงพอใจมากในการใช้สื่อการเรียนการสอนที่จะเชื่อมโยงกับยุทธโศปกรณ์ที่มีอยู่จริง อีกทั้งให้ นนร.ได้แสดงความคิดเห็นควรมีการเพิ่มขั้นตอนในการรับส่งข้อมูลเทคนิคหรือรูปแบบอื่นๆ ที่ใช้ในการสื่อสารทางทหารด้วย ตามรูปที่ 17



รูปที่ 17 กราฟเปรียบเทียบค่าคะแนนเฉลี่ยก่อนและหลังการใช้งานชุดสาธิตทางทหารในการส่งสัญญาณที่ถูกมัลติเพล็กซ์แบบแบ่งทางเวลา

6. สรุป

ชุดสาธิตทางทหารในการส่งสัญญาณที่ถูกมัลติเพล็กซ์แบบแบ่งทางเวลา ไปบนระบบการสื่อสารผ่านเส้นใยแก้วนำแสงสามารถทำการรับ-ส่ง ข้อมูลดิจิทัลทั้ง 4 สัญญาณ โดยที่สัญญาณดิจิทัลทั้ง 4 สัญญาณสามารถถูกปรับค่าความถี่ได้และสามารถรวมสัญญาณในรูปแบบการมัลติเพล็กซ์แบบ TDM อีกทั้งสามารถนำ Eye diagram มาวิเคราะห์และคำนวณหาค่า BER ได้และทำการประยุกต์ใช้กับเครื่องวิทยุถ่ายทอดทางยุทธวิธี รุ่น RL 422A ในโหมด TDM ได้คำนวณหาค่า BER เพื่อเป็นการตรวจสอบสถานะภาพของยุทธโปกรณ์ที่พร้อมใช้งานได้เช่นกัน อีกทั้งทำการทดสอบก่อนและหลังทำการทดลองกับนักเรียนนายร้อย จำนวน 12 นาย ผลการทดสอบมีคะแนนเฉลี่ยสูงขึ้น พร้อมทั้งมีข้อเสนอแนะในข้อควรพัฒนาให้รองรับทั้งระบบข้อมูลโครงข่ายทางทหารและโครงข่ายพลเรือนเป็นต้น

7. กิตติกรรมประกาศ

การทำวิจัยชุดสาธิตทางทหารในการส่งสัญญาณที่ถูกมัลติเพล็กซ์แบบแบ่งทางเวลา สำเร็จลุล่วงด้วยดีนั้น ขอขอบคุณ บริษัท ลูเมนต้า อินเทอร์เน็ตเนชั่นเนล (ประเทศไทย) จำกัด ที่ได้ให้ความอนุเคราะห์ให้ยืมอุปกรณ์ในการใช้งานวิจัย ทั้งการวิเคราะห์และประมวลผล ขอขอบคุณโรงเรียนทหารสื่อสาร กรมการทหารสื่อสาร ที่สนับสนุนยุทธโปกรณ์ที่นำมาทดลองและต้องขอขอบคุณ กองทุนพัฒนาโรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้าที่สนับสนุนทุนวิจัยในครั้งนี้ให้สำเร็จ

8. เอกสารอ้างอิง

- [1] วิทวัส สิริฐกุล, 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 สัญญกุล จิรจิตต์ เตรียมสกุล และ ปรีชา เกิดเจริญ. (2560). ชุดสาริตการจำลองเหตุการณ์ผิดปกติบนสายใยแก้วนำแสง.การประชุมวิชาการ งานวิจัยและพัฒนาเชิงประยุกต์ ครั้งที่ 9
- [6] แผนกการสื่อสารประเภทสาย ส่วนการศึกษา โรงเรียนทหารสื่อสาร กรมการทหารสื่อสาร, 2550
- [7] ชนะ จันทรัมย์. (2563). ชุดสาริตการส่งสัญญาณแสงโดยวิธีการมัลติเพล็กซ์แบบแบ่งความยาวคลื่น 850 และ 1,310 นาโนเมตร. เอกสารงานวิจัย กองทุนพัฒนาโรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้า.
- [8] ดิสพล น้าเนียวกุล. การพัฒนาชุดฝึกปฏิบัติการด้านการสื่อสารทางแสงแบบประหยัด. กรุงเทพมหานคร : มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ สถาบันวิจัยและพัฒนา; 2557.
- [9] STMicroelectronics. (2001). Datasheet Series 74HC. Retrieved on December 6, 2020, from <https://datasheetz.com>
- [10] ภัทรพงษ์ รักน้อย, ปรีชา ยูพาพันธ์. (2539). การตรวจวัดระยะไกลทางสิ่งแวดล้อมโดยใช้เส้นใยนำแสง. วารสารวิชาการมหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ปีที่ 4 เล่มที่ 2. 72-77