

การศึกษาการแพร่กระจายคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าผ่านดินที่ความถี่ 1.2 MHz Study on the Propagation of 1.2 MHz Electromagnetic Waves through Soil

เอกทัศน์ พฤตวรรณ¹ กฤตยา นาคประสิทธิ์¹ และ ระพีพันธ์ วราภิชระ^{1*}

¹สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา

rapin56_1@mutl.ac.th*

บทคัดย่อ

บทความนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการแพร่กระจายของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าผ่านดิน โดยใช้แท่งทองแดงเกรด C1100 เป็นสายอากาศสำหรับการรับและส่งสัญญาณ การทดลองประกอบด้วยการวัดค่าพารามิเตอร์ S11 และ S21 ผ่านเครื่องวิเคราะห์เครือข่าย เพื่อประเมินประสิทธิภาพของสายอากาศในการแพร่กระจายคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า นอกจากนี้ ได้มีการออกแบบและสร้างอุปกรณ์สำหรับส่งคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าผ่านดินที่ความถี่ 1.2 MHz ซึ่งเป็นค่าความถี่ที่เลือกโดยพิจารณาจากความเหมาะสมในการวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ S11 และ S21 เพื่อให้สามารถประเมินประสิทธิภาพของการส่งสัญญาณได้อย่างถูกต้อง อีกทั้ง ความถี่ 1.2 MHz ยังเหมาะสมต่อการสร้างวงจรกำเนิดความถี่เนื่องจากสามารถหาอุปกรณ์ที่รองรับได้ง่ายกว่าความถี่อื่นที่สูงกว่านี้ ซึ่งอาจมีข้อจำกัดด้านอุปกรณ์และการออกแบบวงจร การทดสอบพบว่าสามารถรับสัญญาณได้ที่ระยะทางไม่น้อยกว่า 20 เมตร แสดงให้เห็นว่าการส่งสัญญาณผ่านดินที่ความถี่ดังกล่าวเป็นไปได้โดยมีประสิทธิภาพ โดยพบว่าคุณสมบัติของดิน เช่น สภาพความชื้นและองค์ประกอบทางกายภาพมีผลโดยตรงต่อระดับการลดทอนของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ผลการศึกษานี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในระบบสื่อสารที่ไม่สามารถใช้สายอากาศทั่วไปได้ เช่น การสื่อสารใต้ดิน การสื่อสารในพื้นที่ภัยพิบัติ หรือสถานการณ์ฉุกเฉินที่ไม่สามารถพึ่งพาระบบสื่อสารแบบดั้งเดิมได้

Abstract

This thesis aims to study the propagation of electromagnetic waves through the ground using a C1100-grade copper rod as an antenna for signal transmission and reception. The experiment involves measuring the S11 and S21 parameters using a network analyzer to evaluate the antenna's efficiency in electromagnetic wave propagation. Additionally, a system for transmitting electromagnetic waves through the ground at a frequency of 1.2 MHz was designed and constructed. This frequency was selected based on its suitability for analyzing S11 and S21 parameters, ensuring accurate signal transmission performance assessment. Moreover, 1.2 MHz is an optimal frequency for circuit design, as compatible components are more readily available compared to higher frequencies, which may pose challenges in component sourcing and circuit implementation. The experimental results indicate that the signal can be received at a distance of at least 20 meters, demonstrating the feasibility of ground wave transmission at this frequency. It was also found that the electrical properties of the soil, such as moisture content and composition, directly affect the attenuation of electromagnetic waves. This study provides

insights for developing underground communication techniques, which may be beneficial for communication systems in environments where conventional antennas are impractical, such as underground communication, disaster areas, or emergency situations where traditional communication infrastructure is unavailable.

1. บทนำ

เหตุการณ์ 13 ชีวิตติดถ้ำหลวง-ขุนน้ำนางนอน เมื่อปี 2561 เผยให้เห็นปัญหาใหญ่ของการสื่อสารในสถานการณ์วิกฤติ วิทยุสื่อสารและโทรศัพท์มือถือไม่สามารถสื่อสารภายใต้สภาพแวดล้อม และภูมิประเทศที่ซับซ้อนได้ สาเหตุทางเทคนิคที่ "วิทยุสื่อสาร" ใช้ไม่ได้ในถ้ำ (ถึงแม้จะมองเห็นกัน) คือ การสะท้อนของคลื่นวิทยุในพื้นที่แคบ ถ้ามีลักษณะเป็นช่องหินแคบ มีความโค้งงอ และผนังถ้ำไม่เรียบ คลื่นวิทยุ (โดยเฉพาะ VHF/UHF) จะ สะท้อน, กระเจิง, หรือ หักเห เมื่อกระทบหิน ทำให้เกิดการรบกวนสัญญาณ (multipath interference) การดูดซับคลื่นโดยน้ำและหิน น้ำมีคุณสมบัติเป็น ตัวดูดซับสัญญาณวิทยุ โดยเฉพาะย่านความถี่สูง, ไม่มี Line-of-Sight ที่ดีแม้มองเห็นกัน วิทยุสื่อสารทำงานได้ดีเมื่อคลื่นเดินทางแบบตรง (line-of-sight) ถึงแม้มองเห็นกันจริง แต่ถ้ามีความชื้นสูง, พื้นเปียก, หรือมีแค่ "มุม" หันเข้าหากัน คลื่นอาจยังไม่สามารถส่งผ่านตรงๆ ได้ อีกกรณีคือเครื่องรับอยู่ในตำแหน่งอับคลื่น (shadow zone) ถึงแม้อยู่ห่างกันไม่กี่เมตร

การส่งคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าผ่านดิน (Ground Wave Propagation) จึงเป็นแนวทางที่มีศักยภาพ ในการสื่อสารในพื้นที่อับสัญญาณ รวมถึงการสำรวจใต้ผิวดิน คุณสมบัติของดินที่แตกต่างกันทั้งชนิดและความชื้นส่งผลต่อการแพร่กระจายคลื่น การหาความถี่ที่เหมาะสมจึงเป็นสิ่งจำเป็น

งานวิจัยนี้จึงเสนอแนวคิดการนำ แท่งทองแดง ซึ่งเป็นวัสดุนำไฟฟ้าสูง มาประยุกต์ใช้เป็นส่วนหนึ่งของระบบสื่อสารผ่านดิน โดยใช้เป็นสายอากาศเพื่อส่งและรับสัญญาณร่วมกับเครื่องกำเนิดสัญญาณและเครื่องวิเคราะห์สเปกตรัม หลักการนี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้จริงในการสื่อสารใต้ดิน เช่น ในเหมืองแร่หรืออุโมงค์ รวมถึงการสำรวจทางธรณีวิทยา งานวิจัยนี้จึงมุ่งพัฒนาการสื่อสารผ่านชั้นดิน เพื่อเป็นอีกหนึ่งทางเลือกสำคัญในการแก้ปัญหาการสื่อสารในสถานการณ์วิกฤติและพื้นที่จำกัด ดังกรณีที่เกิดขึ้นกับ 13 ชีวิตในถ้ำหลวง

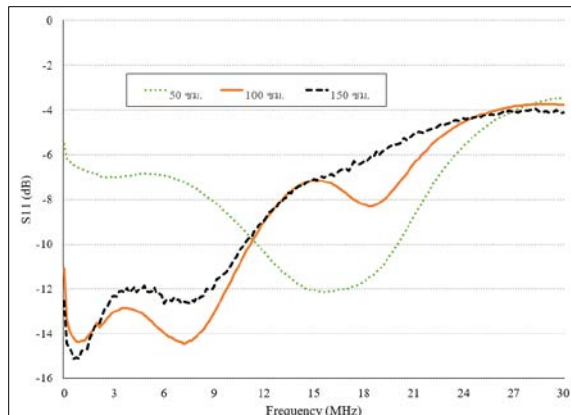
2. การออกแบบและจัดทำโครงการ

การศึกษาพฤติกรรมของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่แพร่กระจายผ่านชั้นดิน จำเป็นต้องคำนึงถึงคุณสมบัติของตัวกลาง เช่น ความต้านทาน สภาพนำไฟฟ้า และความชื้น ซึ่งมีผลต่อการลดทอนสัญญาณโดยตรง ในการทดลองนี้ใช้ดินร่วนปนดินเหนียวที่มีความชื้นประมาณ 45% บริเวณสนามหญ้าของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา เชียงใหม่ โดยเริ่มจากการหาความถี่ที่เหมาะสมของแท่งทองแดงเส้นผ่านศูนย์กลาง 16

มิลลิเมตร ที่ระดับความลึก 50, 100 และ 150 เซนติเมตร เพื่อตรวจวัดค่าการสะท้อนกลับของคลื่นในระยะใกล้ ก่อนนำไปทดสอบอัตราการส่งผ่านคลื่น และทดลองส่งสัญญาณเสียงด้วยระบบ AM

การเลือกใช้ความถี่ในช่วง 300 kHz – 5 MHz เหมาะสมกับการส่งสัญญาณผ่านดิน โดยเฉพาะ ย่านความถี่ AM (530 – 1700 kHz) ซึ่งสามารถแพร่กระจายผ่านดินได้ระดับหนึ่ง และรองรับการรับสัญญาณด้วยวิทยุทั่วไป จึงเป็นทางเลือกที่เหมาะสมสำหรับสถานการณ์ฉุกเฉิน เช่น การเตือนภัยพิบัติ ที่ต้องการความเรียบง่ายในการใช้งานและการเข้าถึงของประชาชน

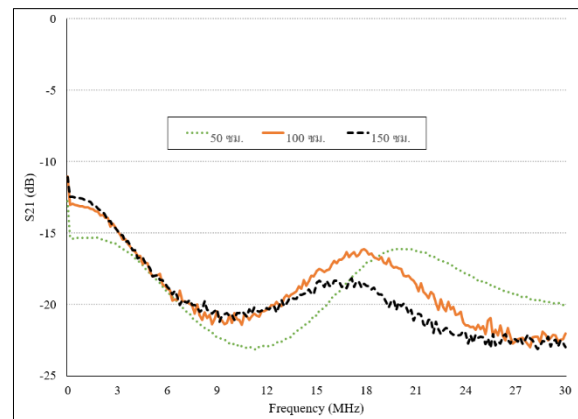
2.1 การหาความยาวของแท่งทองแดงที่เหมาะสม



รูปที่ 1 กราฟการสะท้อนกลับที่แท่งทองแดงส่ง (S11) และ มีขนาดความยาวทองแดงต่างกันเท่ากับ (50 ซม., 100 ซม, 150 ซม)

จากรูปที่ 1 จะแสดงให้เห็นว่า ความลึกของแท่งทองแดง ยาว 100 ซม. กับ 150 ซม. จะให้ค่าการสะท้อนกลับไม่ต่างกันมากนัก ณ.

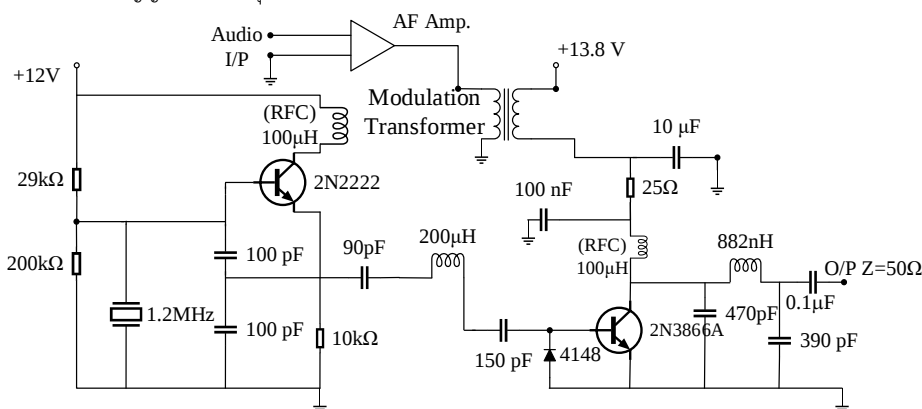
สภาพแวดล้อมเดียวกัน ให้ค่า S11 ที่ต่ำสุด -14.32 dB ที่ความถี่ 1.2 MHz ความยาวทองแดง 100 ซม.



รูปที่ 2 กราฟการส่งผ่าน (S21) ที่ระยะห่าง 1 เมตร แท่งทองแดงยาวเท่ากับ (50 ซม., 100 ซม, 150 ซม)

จากรูปที่ 2 แสดงผลการวัดอัตราการส่งผ่านสัญญาณ (S21) ที่ระยะห่าง 1 เมตร ระหว่างแท่งทองแดงที่ทำหน้าที่เป็นตัวส่งและรับสัญญาณ โดยแท่งทองแดงฝังในดินมีความยาวแตกต่างกัน ได้แก่ 50 ซม., 100 ซม. และ 150 ซม. จากผลการทดลองพบว่า ในย่านความถี่ต่ำ อัตราการส่งผ่านของสัญญาณมีค่าสูงกว่าย่านอื่นอย่างชัดเจน และความยาวแท่งทองแดงมีผลกระทบต่อสัญญาณเพียงเล็กน้อย โดยกราฟของแต่ละกรณีแสดงแนวโน้มที่ใกล้เคียงกัน ซึ่งสะท้อนว่า ความยาวของแท่งทองแดงในช่วงที่ทดลองไม่มีผลต่อประสิทธิภาพของการส่งผ่านสัญญาณอย่างมีนัยสำคัญ

2.2 การออกแบบเครื่องส่งสัญญาณคลื่นวิทยุสำหรับงานวิจัย 1.2 MHz



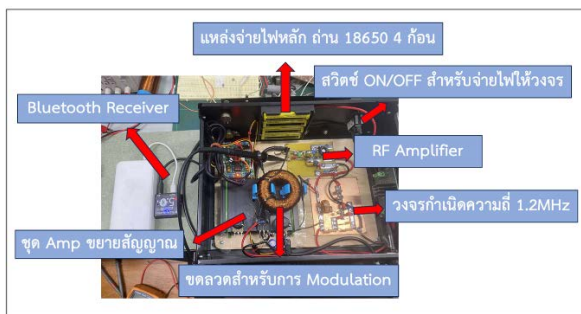
รูปที่ 3. วงจรเครื่องส่งสัญญาณวิทยุความถี่ 1.2 MHz

จากรูปที่ 3 วงจรที่แสดงนี้เป็นวงจรเครื่องส่งสัญญาณวิทยุระบบ AM (Amplitude Modulation) ที่ใช้ความถี่พาหะที่ 1.2 MHz โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อใช้ส่งสัญญาณวิทยุ โดยจะทำการมอดูเลตคลื่นเสียงไปกับคลื่นพาหะ ก่อนจะขยายสัญญาณและส่งออกผ่านสายอากาศ (หรือผ่านดินตามงานวิจัยนี้) วงจรแบ่งออกเป็น 3 ส่วนหลัก คือ วงจรสร้างคลื่นพาหะ วงจรมอดูเลต และวงจรขยายกำลังและปรับแมตซ์อิมพีแดนซ์ ในส่วนแรกของวงจรคือ วงจรสร้างคลื่นพาหะ ซึ่งใช้ทรานซิสเตอร์เบอร์ 2N2222 ทำ

หน้าที่เป็นออสซิลเลเตอร์ โดยควบคุมความถี่ด้วยผลึกคริสตัล (Crystal Oscillator) ที่ความถี่ 1.2 MHz สัญญาณคลื่นพาหะที่ได้จะถูกส่งต่อผ่านคาปาซิเตอร์และตัวเหนี่ยวนำที่ใช้เป็นวงจรกรองความถี่ เพื่อเตรียมเข้าสู่ขั้นตอนมอดูเลต โดยวงจรมอดูเลตจะทำการรวมสัญญาณเสียงเข้ากับคลื่นพาหะ โดยสัญญาณเสียงจากภายนอกจะถูกขยายด้วยภาคขยายเสียง (AF Amp) แล้วส่งผ่านหม้อแปลง (Modulation Transformer) เพื่อรวมแรงดันกับแหล่งจ่ายไฟที่ระดับ 13.8 โวลต์ กระแสที่ผสมระหว่างแรงดันเสียงและ

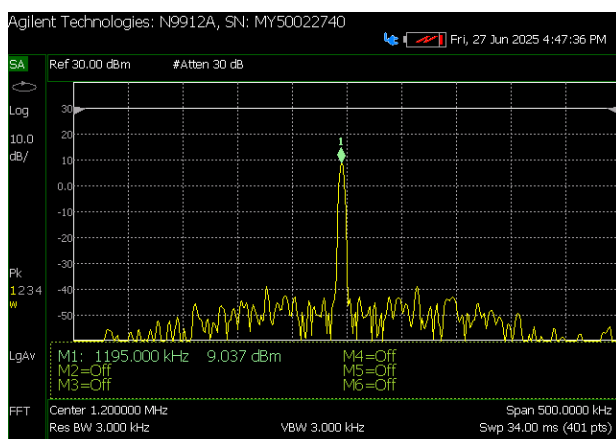
พาดะนี้จะถูกใช้ในการควบคุมกระแสไบอัสของทรานซิสเตอร์ขยายกำลังในชั้นถัดไป ทำให้เกิดสัญญาณ AM ซึ่งมีแอมพลิจูดแปรผันตามสัญญาณเสียงต้นทาง ทรานซิสเตอร์เบอร์ 2N3866A ทำหน้าที่เป็นภาคขยายกำลัง (RF Power Amplifier) โดยรับสัญญาณที่มอดูเลตแล้วมาขยายให้มิกำลังงานเพียงพอสำหรับการส่งออก ตัววงจรมีการจัดไบอัสด้วยไดโอด 1N4148 และใช้ขดลวด RFC ป้องกันสัญญาณความถี่วิทยุรบกวนวงจรภายใน นอกจากนี้ยังมีวงจรกรองความถี่ที่ประกอบด้วยคาปาซิเตอร์และตัวเหนี่ยวนำ เพื่อให้สัญญาณความถี่ 1.2 MHz ส่งออกไปได้ดีที่สุดและสามารถถ่ายเทกำลังงานได้อย่างมีประสิทธิภาพสูญเสียที่มีอิมพีแดนซ์ 50 โอห์ม เช่น สายอากาศ เป็นต้น

3. ผลการทดลองการส่งสัญญาณเสียงด้วยความถี่พาหะที่ 1.2 MHz

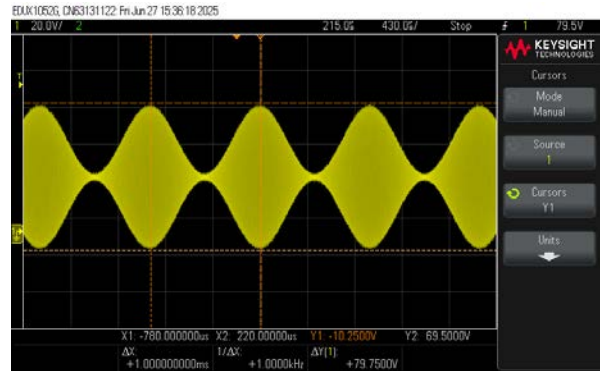


รูปที่ 4 เครื่องสัญญาณวิทยุย่านความถี่ AM

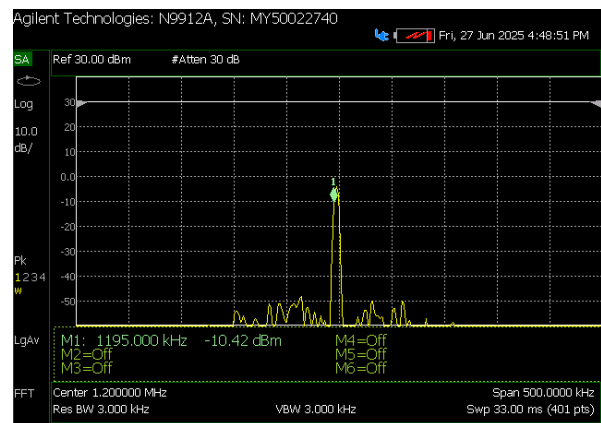
จากรูปที่ 4 เป็นรูปอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบจริง โดยระบบส่งสัญญาณต้นแบบในย่านความถี่ AM ใช้เครื่องกำเนิดความถี่ 1.2 MHz เป็นสัญญาณพาหะ (Carrier) สำหรับมอดูเลตข้อมูล สัญญาณข้อมูลที่ใช้ในการทดลองมีความถี่ 1 kHz ซึ่งได้จากการส่งผ่านแบบไร้สายจากโทรศัพท์มือถือไปยังโมดูลรับสัญญาณบลูทูธ จากนั้นสัญญาณข้อมูลจะถูกขยายด้วยวงจรขยายสัญญาณก่อนเข้าสู่ขั้นตอนการมอดูเลตแบบ AM กับสัญญาณพาหะ ภายหลังการมอดูเลต สัญญาณที่ได้จะถูกขยายกำลังอีกครั้ง เพื่อให้เพียงพอต่อการส่งผ่านผ่านชั้นดิน โดยกำลังงานสูงสุดวัดได้ 9.037 dBm หรือเพียง 8.011 mW เท่านั้น โดย เครื่องวิเคราะห์สเปกตรัม (Spectrum Analyzer) ยี่ห้อ Agilent Technology รุ่น N9912A ดังรูปที่ 5



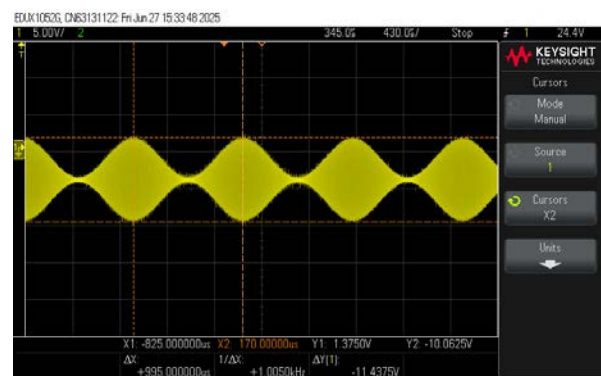
รูปที่ 5 กำลังส่งของเครื่องส่งสัญญาณวิทยุที่สร้างขึ้น



รูปที่ 6 สัญญาณมอดูเลตที่เครื่องส่ง



รูปที่ 7 กำลังงานที่รับได้ที่ระยะ 10 เมตร



รูปที่ 8 สัญญาณมอดูเลตที่เครื่องรับที่ระยะห่าง 10 เมตร

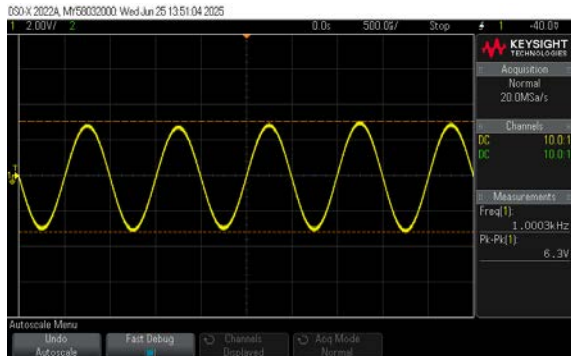
จากรูปที่ 6 แสดงรูปคลื่นของสัญญาณที่ผ่านการมอดูเลตแบบแอมพลิจูดมอดูเลชัน (AM) โดยใช้สัญญาณพาหะความถี่ 1.195 MHz ขนาด 40 Vp ทำการมอดูเลตร่วมกับสัญญาณข้อมูลความถี่ 1 kHz ขนาด 38 Vp ผลจากการมอดูเลตทำให้ได้สัญญาณเอาต์พุตที่มีขนาด 79.75 Vp-p ซึ่งจากสมการที่ (1) สามารถคำนวณค่าดัชนีมอดูเลชัน (Modulation Index) ได้เท่ากับ 0.95 ภายหลังได้นำสัญญาณดังกล่าวส่งผ่านชั้นดินโดยใช้แท่งทองแดงยาว 1 เมตรเป็นอิล็กโทรดส่ง และทำการรับสัญญาณด้วยแท่งทองแดงอีกแท่งหนึ่งทีระยะห่าง 10 เมตร จากการวัดพบว่ากำลังงานของสัญญาณที่ได้รับเท่ากับ -10.42 dBm หรือ 90.782 ไมโครวัตต์ ดังแสดงในรูปที่ 7 และเมื่อวัดขนาดของสัญญาณมอดูเลตที่ตำแหน่งดังกล่าวจะมีค่าประมาณ 11.43 Vp-p ตามที่แสดงในรูปที่ 8

$$m = \frac{V_m}{V_c} \quad (1)$$

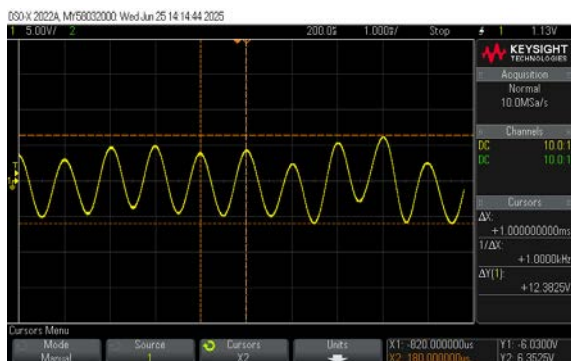
m = ดัชนีการมอดูเลท (modulation index)

V_m = ค่าสูงสุด(peak)ของสัญญาณข้อมูล

V_c = ค่าสูงสุด(peak)ของสัญญาณพาหะ



รูปที่ 9 กำลังส่งของเครื่องส่งสัญญาณวิทยุ



รูปที่ 10 กำลังส่งของเครื่องส่งสัญญาณวิทยุ

รูปที่ 9 แสดงผลการวัดสัญญาณที่ได้รับโดยการเชื่อมต่อสายอากาศจากแท่งทองแดง (แท่งรับ) ซึ่งอยู่ห่างจากจุดส่งสัญญาณ 10 เมตร เข้ากับขั้วต่อสายอากาศของเครื่องรับวิทยุ AM และทำการวัดสัญญาณที่ขั้ว Audio Output (หรือสายลำโพง) ของเครื่องรับโดยใช้ออสซิลโลสโคป จากผลการวัดพบว่าสามารถถอดรหัสสัญญาณข้อมูล (Demodulation) ออกมาได้ถูกต้อง โดยไม่มีความผิดเพี้ยนที่สังเกตเห็นได้ สำหรับรูปที่ 10 เป็นการทดลองในลักษณะเดียวกันกับรูปที่ 9 แต่เพิ่มระยะห่างระหว่างจุดส่งและจุดรับออกไปเป็น 20 เมตร ผลการทดลองพบว่าสามารถมอดูเลตสัญญาณข้อมูลออกมาได้เช่นเดียวกัน นอกจากนี้ คณะผู้วิจัยได้ทดลองมอดูเลตสัญญาณเสียงเข้าไปยังสัญญาณพาหะ และทำการรับสัญญาณด้วยเครื่องรับวิทยุ AM ในระยะมากกว่า 20 เมตร พบว่าสามารถรับฟังเสียงที่ถูกส่งมาได้ชัดเจน ซึ่งแสดงให้เห็นว่าสัญญาณที่ส่งผ่านชั้นดินสามารถส่งผ่านข้อมูลเสียงได้อย่างมีประสิทธิภาพในระยะดังกล่าว

4. สรุป

การทดลองประกอบด้วยการวัดค่าพารามิเตอร์ S11 และ S21 ผ่านเครื่องวิเคราะห์เครือข่าย เพื่อประเมินประสิทธิภาพของสายอากาศในการแพร่กระจายคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า นอกจากนี้ ความถี่ 1.2 MHz ซึ่งเป็นค่าความถี่ที่เลือกโดยพิจารณาจากความเหมาะสมในการวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ S11 และ S21 เพื่อให้สามารถประเมินประสิทธิภาพของการส่งสัญญาณได้อย่างถูกต้อง อีกทั้ง ความถี่ 1.2 MHz ยังเหมาะสมต่อ

การสร้างวงจรกำเนิดความถี่ เนื่องจากสามารถหาอุปกรณ์ที่รองรับได้ง่ายกว่าความถี่อื่นที่สูงกว่านี้ ซึ่งอาจมีข้อจำกัดด้านอุปกรณ์และการออกแบบวงจร การทดสอบพบว่าการส่งสัญญาณผ่านดินที่มีความถี่ดังกล่าวเป็นไปได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยพบว่าคุณสมบัติของดิน เช่น สภาพความชื้นและองค์ประกอบทางกายภาพ มีผลโดยตรงต่อระดับการลดทอนของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ผลการศึกษานี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในระบบสื่อสารที่ไม่สามารถใช้สายอากาศทั่วไปได้ เช่น การสื่อสารใต้ดิน การสื่อสารในพื้นที่ภัยพิบัติ หรือสถานการณ์ฉุกเฉินที่ไม่สามารถพึ่งพาบบสื่อสารแบบดั้งเดิมได้

เอกสารอ้างอิง

- [1] Wang, Z., Jia, D., Sun, F., Chen, Q., Zhu, S., & Wang, Q. (n.d.). Research on extremely low frequency electromagnetic wave model and simulation in wellbore communication. Retrieved from www.nature.com/scientificreports
- [2] Carr, Joseph J. (2001). Practical Antenna Handbook (4th ed.). หน้า 29. McGraw-Hill International Edition.
- [3] รังสรรค์ วงศ์สรรค์ และคณะผู้วิจัย. รายงานฉบับสมบูรณ์ โครงการศึกษาแนวทางการใช้คลื่นความถี่สำหรับระบบสื่อสารรวมทั้งการสร้างแบบจำลองและระบุตำแหน่งในถ้ำ (รหัสโครงการวิจัย BT62-1-(2)/004). สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี. ได้รับการสนับสนุนจาก กองทุน กทปส. สำนักงาน กสทช.
- [4] Wikipedia contributors, "Through-the-Earth communications," Wikipedia, [Online]. Available: https://en.wikipedia.org/wiki/Through-the-earth_communications. [Accessed: Jan. 27, 2025].



เอกทัศน์ พงกขวรรณ สำเร็จการศึกษาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ปัจจุบันเป็นอาจารย์ ประจำสาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา เชียงใหม่ มีความสนใจทางด้านวิศวกรรมวิศวกรรมไฟฟ้าสื่อสาร วิศวกรรมไมโครเวฟ การออกแบบวงจรความถี่สูง



กฤตยา นาคประสิทธิ์ สำเร็จปริญญาวิศวกรรมศาสตรดุษฎีบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ปัจจุบันเป็นอาจารย์ ประจำสาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา เชียงใหม่ มีความสนใจทางด้านวิศวกรรมการสื่อสารไร้สาย วิศวกรรมสายอากาศ



ระพีพันธ์ วราภิชระ สำเร็จปริญญาวิศวกรรมศาสตรดุษฎีบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม ปัจจุบันเป็นอาจารย์ ประจำสาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา มีความสนใจทางด้านวิศวกรรมสายอากาศ