2. Executive summary

โครงการวิจัยมีวัตถุประสงค์ในการออกแบบ ประดิษฐ์ และทดสอบประสิทธิภาพของสายอากาศ Tapered Slotline Antenna แบบ Vivaldi ที่เชื่อมต่อกับสวิตซ์ MEMS แบบหมุน (rotary MEMS switch) ซึ่งสายอากาศที่จัดทำขึ้นนี้เป็นการแสดงศักยภาพการใช้งานอย่างหนึ่งของสวิตซ์แบบหมุน เพราะนอกจากจะใช้งานเป็นสวิตซ์แบบ single-pole-multiple-throw และเป็นตัวเลื่อนเฟส (phase shifter) แล้ว การใช้งานของสวิตซ์แบบหมุนที่สำคัญในวงจรหรือระบบคลื่นความถี่สูงอีกอย่างหนึ่งคือสายอากาศ โดยสวิตซ์แบบหมุนในเทคโนโลยี MEMS นี้มีการใช้งานแบบ single-pole-eight-throw ทำให้สามารถเชื่อมต่อสายอากาศได้ 8 สายในสิ่งประดิษฐ์เดียวกัน สวิตซ์แบบหมุนสามารถใช้งานในการส่งผ่านสัญญาณได้ถึงความถี่ 12 GHz ทำให้เหมาะสมในการใช้งานเป็นสายอากาศสำหรับย่านความถี่ X-band (8-12 GHz) ความถี่กลาง 10 GHz ได้

การดำเนินโครงการเริ่มจากการศึกษาสมบัติและหลักการออกแบบสายอากาศ ทำให้ได้เรียนรู้ตัวแปรต่าง ๆที่มีผลต่อประสิทธิภาพของสายอากาศ โดยในขั้นตอนการออกแบบจำเป็นต้องมีการแปรเปลี่ยนตัวแปรเหล่านี้ เพื่อให้สายอากาศมีประสิทธิภาพสูงสุด ทั้งนี้การออกแบบสายอากาศจะกระทำด้วยแบบจำลองโครงสร้างสามมิติสำหรับคลื่นความถี่สูง เมื่อได้หลักการออกแบบแบบจำลองแล้ว ลำดับต่อไปคือการสร้างแบบจำลองโครงสร้างสามมิติของสายอากาศ ซึ่งประกอบด้วย microstrip และ slotline โดยได้เลือกใช้ซับเสตรตที่เรียกว่า Taconic RF-35 เพราะมีคุณสมบัติ dielectric constant เท่ากับ 3.5 ± 0.1 ซึ่งเปลี่ยนแปลงน้อยมากเมื่อเพิ่มความถี่ และค่า tan δ เท่ากับ 0.0018 แผ่นฉนวน RF-35 มีความหนา 250 ไมโครเมตร มีชั้นทอง/ทองแดงเคลือบทั้งด้านบนและด้านล่าง ทั้งนี้ด้านบนของแผ่น RF-35 จะติดตั้งสวิตซ์แบบหมุน มีสายสัญญาณขาออกแต่ละสายเชื่อมต่อด้วย bond wire อยู่กับสายสัญญาณ microstrip บนแผ่น RF-35 และมีวงจรไฟตรงในการขับเคลื่อนโรเตอร์ของสวิตซ์รวมอยู่ด้วย ส่วนด้านล่างของแผ่น RF-35 จะประกอบด้วยสายสัญญาณ slotline ซึ่งทำหน้าที่เป็นสายดินสำหรับทั้งวงจร ไฟตรงและสัญญาณคลื่นความถี่สูง

จากการสร้างแบบจำลองสายอากาศ ได้มีการปรับเปลี่ยนโครงสร้างของสายสัญญาณ microstrip และ slotline อันได้แก่ ขนาดความกว้างและความยาวของสายสัญญาณ การหักมุมของสายสัญญาณ microstrip และลักษณะการบานออกของสายสัญญาณ slotline จนได้แบบจำลองโครงสร้างสายอากาศที่มีประสิทธิภาพการส่งสัญญาณที่ความถี่ 10 GHz เป็นที่น่าพอใจ โดยทั่วไปการประมวลผลจะใช้ความถี่กลางของการประมวลผลเป็นกึ่งหนึ่งของความถี่ที่สนใจ (หรือ 5 GHz) อย่างไรก็ตามในโครงการวิจัยนี้ได้ใช้ความถี่กลางที่ 10 GHz เพื่อให้ได้ผลที่มีความน่าเชื่อถือ โดยพิจารณาประสิทธิภาพของสายอากาศจากค่า return loss ที่มีค่าต่ำถึงประมาณ -35 dB, ค่า efficiency 89%, ค่า -3 dB beamwidth เท่ากับ 19.64 องศา สำหรับ E-plane และ 22.31 องศา สำหรับ H-plane นอกจากนี้ยังได้ประมวลผลประสิทธิภาพของสายอากาศทั้งแปดอัน เพื่อศึกษาผลกระทบของการคู่ควบสัญญาณระหว่างสายอากาศ พบว่า

ประสิทธิภาพของสายอากาศมีความใกล้เคียงกับสายอากาศเดี่ยวมาก จึงหมายความว่าไม่จำเป็นต้องมีการปรับเปลี่ยนโครงสร้างหรือเพิ่มเติมส่วนคั่นเพื่อแยกสายอากาศออกจากกัน

จากนั้นได้สร้างลายพิมพ์สารตัวนำบนแผ่นฉนวน ซึ่งนอกจากสายสัญญาณ microstrip และ slotline แล้วยังประกอบด้วย ลายวงจรสำหรับสัญญาณขาเข้าที่เข้าสู่สวิตซ์, ลายวงจรไฟตรงเพื่อขับเคลื่อนสวิตซ์แบบหมุน และการเชื่อมต่อสายดินของทั้งสัญญาณความถี่สูงและสัญญาณไฟตรงจากนั้นติดตั้งสวิตซ์แบบหมุนลงบนแผ่นฉนวน เชื่อมต่อวงจรโดยการ bond wire เส้นทอง และติดตั้ง SMA และ pin connectors สำหรับสัญญาณความถี่สูงและสัญญาณไฟตรงตามลำดับ ลำดับต่อไปได้มีการสร้าง horn antenna ทำจากแผ่น FR-4 ติดตั้งกับสายอากาศแต่ละอัน เพื่อป้องกันการคู่ควบระหว่างสายอากาศ ถึงแม้ว่าจะไม่ปรากฏผลการคู่ควบจากการประมวลผลแบบจำลองก็ตาม

ในการวัดประสิทธิภาพของวงจร ได้ใช้การวัด return loss ด้วย Vector Network Analyzer ที่ความถี่ 6-14 GHz พบว่ามีความคลาดเคลื่อนของความถี่ที่ return loss ต่ำสุดจากที่ออกแบบไว้ที่ 10 GHz เป็นที่ 7 GHz และ 13 GHz ซึ่งอาจเกิดได้จากความไม่เหมาะสมกันของอิมพีแดนซ์ (impedance mismatch) ของ bonded wire นอกจากนี้ได้มีการวัดรูปแบบการแผ่รังสี หรือ radiation pattern โดยการจัดเตรียมสายอากาศที่ประดิษฐ์ขึ้นเป็นภาคส่ง และมีสายอากาศอ้างอิงเป็นภาครับ ต่ออยู่กับตัวตรวจจับสัญญาณความถี่วิทยุ (RF detector) และเครื่องขยายสัญญาณ อุปกรณ์ของภาครับทั้งหมดถูกเคลื่อนย้ายไปรอบๆสายอากาศภาคส่งเพื่อวัดระดับสัญญาณในระนาบ E-plane ผลการวัดพบว่าระดับสัญญาณจากสายอากาศสถานะ ON มีความแรงมากกว่าสัญญาณที่ออกจากสายอากาศในสถานะ OFF อยู่ ประมาณ 10 dB ซึ่งน้อยกว่าผลจากแบบจำลอง

จากการดำเนินการโครงการวิจัยถือว่าได้ออกแบบ, ประดิษฐ์ และวัดประสิทธิภาพของสายอากาศ ที่มีส่วนประกอบเป็นสวิตซ์ MEMS แบบหมุน ตรงตามวัตถุประสงค์ที่ต้องการแสดงศักยภาพการใช้งานของสวิตซ์แบบหมุน แม้จะมีอุปสรรคในการดำเนินขั้นตอนการประดิษฐ์สายอากาศอยู่บ้าง คือการเชื่อมต่อด้วย bond wire กระทำได้ยาก และจากการที่ผลการวัดประสิทธิภาพมีความแตกต่างจากแบบจำลองอยู่ อันอาจเนื่องมาจากการต่อเชื่อมด้วย bond wire และสภาพแวดล้อมในการวัดที่ไม่ได้กระทำในห้องจำเพาะสำหรับการวัดการแผ่รังสี อย่างไรก็ตามปัญหาที่เกิดขึ้นเหล่านี้มีความน่าสนใจ สามารถนำไปใช้เป็นหัวข้อโครงการวิจัยต่อไปได้