

บทที่ 4

สายอากาศไมโครสตริปแพตช์แบนด์กว้างแบบแถวลำดับ และวงจรภาคส่วนหน้า สำหรับวิเคราะห์การรับส่งสัญญาณพัลส์ของระบบสื่อสารไร้สาย อัลตราไวด์แบนด์

4.1 กล่าวนำ

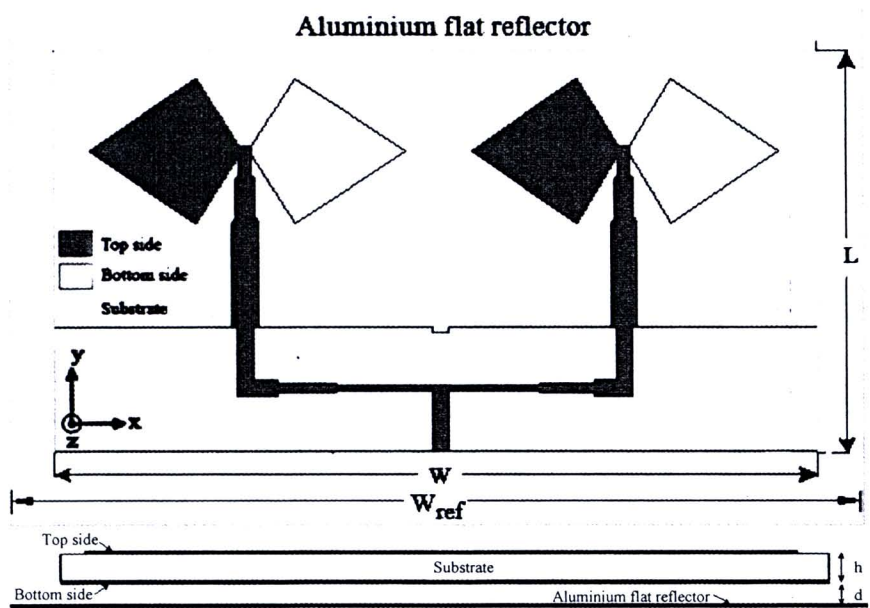
จากการกล่าวถึงการออกแบบสายอากาศไมโครสตริปแพตช์แบนด์กว้างต้นแบบ ซึ่งมีการพิจารณาคุณลักษณะของสายอากาศจากการจำลองผลด้วยโปรแกรม IE3D และผลการทดลองแล้วพบว่าทั้งสองกรณีนั้นมีความสอดคล้องกับทฤษฎี ซึ่งจากผลการทดลองสายอากาศต้นแบบตัวเดียวนั้นจะให้อัตราขยายในระดับหนึ่งคือ 2-4 dB และมีแบบรูปการแผ่พลังงานแบบรอบตัว ดังนั้นต่อไปจะได้กล่าวถึงแนวทางในการพัฒนาสายอากาศต้นแบบนี้ เพื่อปรับปรุงคุณลักษณะต่าง ๆ ของสายอากาศให้มีอัตราขยายที่สูงขึ้น อย่างไรก็ตามการเพิ่มอัตราขยายของสายอากาศนั้นสามารถทำได้โดยการทำสายอากาศแถวลำดับของสายอากาศตัวเดียวและใส่แผ่นสะท้อนคลื่นด้านหลัง เพื่อจุดประสงค์หลักคือการเพิ่มอัตราขยาย ในขณะที่คุณสมบัติทางอิมพีแดนซ์ยังคงเหมือนเดิม ประกอบกับความกว้างแถบและระดับการแมตช์ ซึ่งสายป้อนหรือสายนำสัญญาณจะต้องถูกออกแบบเป็นอย่างดีเพื่อป้อนสัญญาณให้กับสายอากาศ นอกจากนี้ยังต้องสามารถประยุกต์ใช้งานร่วมกับอุปกรณ์ต่าง ๆ ของระบบการสื่อสารอัลตราไวด์แบนด์ได้เป็นอย่างดี

ซึ่งเนื้อหาที่สำคัญในบทนี้จะกล่าวถึงการพัฒนาสายอากาศต้นแบบ เพื่อสร้างเป็นสายอากาศแถวลำดับจากสายอากาศต้นแบบตัวเดียวจากที่ได้นำเสนอไว้ในบทที่แล้ว โดยโครงสร้างของสายอากาศจะเป็นแถวลำดับในแนวระนาบ 2 มิติ มีแผ่นสะท้อนอยู่ด้านหลัง ซึ่งสายอากาศที่ได้นั้นจะมีแบบรูปการแผ่พลังงานแบบทิศทางเดียว และมีอัตราขยายที่สูงขึ้น เพื่อช่วยลดกำลังงานของเครื่องส่งลงได้ และนอกจากนี้ยังมีการออกแบบวงจรกำเนิดสัญญาณพัลส์สำหรับเครื่องส่งของเทคโนโลยีการสื่อสารอัลตราไวด์แบนด์ เพื่อใช้สำหรับการศึกษาและวิเคราะห์รูปแบบของสัญญาณที่ได้รับส่งของเทคโนโลยีการสื่อสารอัลตราไวด์แบนด์ ซึ่งจากการศึกษาทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับหลักการทำงานของเทคโนโลยีการสื่อสารอัลตราไวด์แบนด์ที่ได้กล่าวไว้ในบทที่ผ่านมาพบว่าเทคโนโลยีการสื่อสารอัลตราไวด์แบนด์มีส่วนประกอบหลักที่สำคัญคือ สายอากาศแบบแบนด์กว้างและวงจรกำเนิดสัญญาณพัลส์ โดยในส่วนของสายอากาศนั้นได้กล่าวแล้วข้างต้น และอีกส่วนหนึ่งที่สำคัญคือ วงจรกำเนิดสัญญาณพัลส์ ซึ่งในส่วนของวงจรกำเนิดสัญญาณพัลส์นั้นมีการออกแบบด้วยไดโอดพินตัว

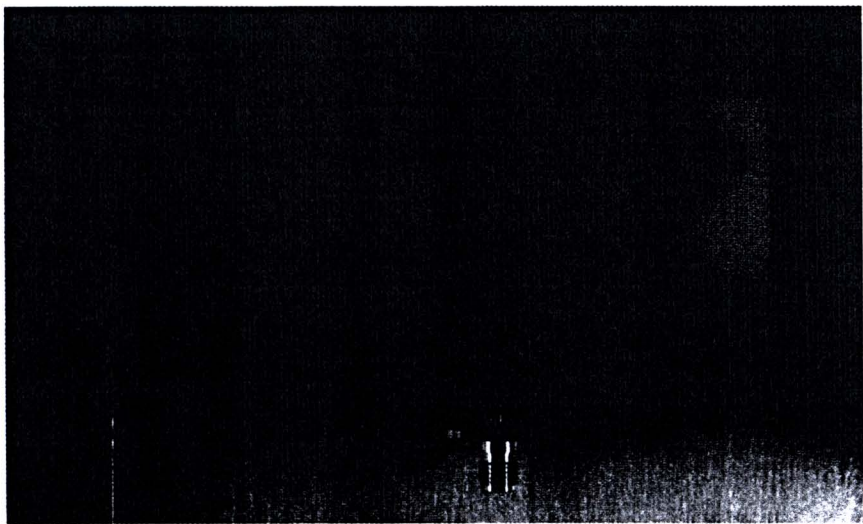
แบบขึ้นร่วมกับการใช้สายประวิงเวลาไมโครสตริป และมีการประยุกต์ใช้วงจรกรองผ่านสูง RC ร่วมด้วย ซึ่งสามารถกำเนิดสัญญาณโมโนไซเคิลพัลส์ได้โดยตรงจากวงจรกำเนิดพัลส์แบบเกาส์ รวมทั้งมีการวิเคราะห์สัญญาณโมโนไซเคิลพัลส์ในโดเมนเวลา และในโดเมนความถี่ จากการทดสอบวงจรกำเนิดสัญญาณพัลส์ที่ทำการออกแบบ โดยวงจรกำเนิดสัญญาณพัลส์นั้นถูกสร้างบนแผ่นวงจรพิมพ์แบบ FR-4 และทำการวัดผลของวงจรกำเนิดสัญญาณพัลส์ที่ได้จากการออกแบบทั้งในโดเมนเวลาและโดเมนความถี่

4.2 การออกแบบและสร้างสายอากาศแบบแถวลำดับ

จากการออกแบบและจำลองสายอากาศต้นแบบด้วยโปรแกรม IE3D เพื่อให้ได้สายอากาศที่มีคุณสมบัติที่เหมาะสมกับเทคโนโลยีการสื่อสารอัลตราไวด์แบนด์แล้ว โดยได้พารามิเตอร์ต่าง ๆ ของสายอากาศต้นแบบออกมา และจำเป็นต้องนำขนาดที่ได้จริงจากการจำลองผลด้วยโปรแกรม IE3D มาเพื่อทำการสร้างสายอากาศต้นแบบ ซึ่งทำให้ได้สายอากาศที่มีมีแบนด์วิดท์กว้างครอบคลุมย่านความถี่ 3.1 GHz ถึง 10.6 GHz ซึ่งเป็นย่านความถี่ใช้งานของเทคโนโลยีการสื่อสารอัลตราไวด์แบนด์ และมีการสร้างสายอากาศต้นแบบจริงโดยเลือกใช้แผ่นวงจรพิมพ์ชนิด FR-4 แบบสองหน้าเป็นวัสดุฐานรองที่สามารถใช้ได้ ในย่านความถี่สูง ซึ่งสายอากาศที่ได้นั้นมีขนาดเล็ก น้ำหนักเบา มีโครงสร้างที่ออกแบบง่ายไม่ซับซ้อน จากที่ได้นำเสนอไว้ในบทที่แล้วต่อไปจะได้ทำการพัฒนาสายอากาศต้นแบบ เพื่อสร้างเป็นสายอากาศแถวลำดับจากสายอากาศต้นแบบตัวเดียว ซึ่งสายอากาศแถวลำดับนี้มีการพัฒนาจากสายอากาศต้นแบบตัวเดียวที่ไม่มีแผ่นสะท้อนด้านหลัง โดยโครงสร้างของสายอากาศจะเป็นแถวลำดับในแนวระนาบ 2 อิลิเมนต์ แต่ละอิลิเมนต์มีขนาดเท่ากับสายอากาศต้นแบบตัวเดียวทุกประการ มีแผ่นสะท้อนเป็นอลูมิเนียมวางอยู่ด้านหลัง ซึ่งระยะห่างของแผ่นสะท้อนกับสายอากาศวางห่างกันเป็นระยะ d โดยที่ระยะดังกล่าวจะต้องมีการปรับเพื่อหาค่าที่เหมาะสมต่อไป นอกจากนี้ยังมีการป้อนสัญญาณด้วยสายป้อนแบบไมโครสตริปที่ต่ออยู่กับสายป้อนสัญญาณของสายอากาศต้นแบบตัวเดียว ขนาด $50\ \Omega$ ซึ่งสายป้อนสัญญาณแบบไมโครสตริปดังกล่าวจะถูกแบ่งออกเป็นสองทางที่ความต้านทานของไมโครสตริป $70.7\ \Omega$ โดยสายป้อนสัญญาณ ที่ $70.7\ \Omega$ นี้จะมีความยาวเป็น $1/4$ ของความยาวคลื่น ($\lambda/4$) ที่ความถี่กลางของช่วงความถี่ที่ทำการออกแบบ และจะถูกเพิ่มความกว้างเพื่อลดอิมพีแดนซ์ที่ระดับความสูงเดียวกันนี้เป็น $50\ \Omega$ อีกครั้งซึ่งต่ออยู่กับตัวต่อชนิด SMA ดังแสดงในรูปที่ 4.1 และ



รูปที่ 4.1 โครงสร้างของสายอากาศแบบแถวลำดับ



รูปที่ 4.2 สายอากาศแบบแถวลำดับ

เมื่อทำการสร้างสายอากาศแบบแถวลำดับมีแผ่นสะท้อนเป็นอลูมิเนียมวางอยู่ด้านหลังเรียบร้อยแล้ว ต่อไปจะต้องทำการปรับเปลี่ยนระยะ d ซึ่งเป็นระยะห่างระหว่างสายอากาศกับแผ่นสะท้อน โดยระยะห่างดังกล่าวจะส่งผลต่อคุณลักษณะต่าง ๆ ของสายอากาศค่าความสูญเสีย เนื่องจากการย้อนกลับ ค่าอัตราขยาย ค่าอินพุตอิมพีแดนซ์ ค่าอัตราส่วนคลื่นนิ่ง รวมถึงแบบรูปการแผ่กระจายพลังงานของสายอากาศ ซึ่งจะได้กล่าวถึงในหัวข้อถัดไป

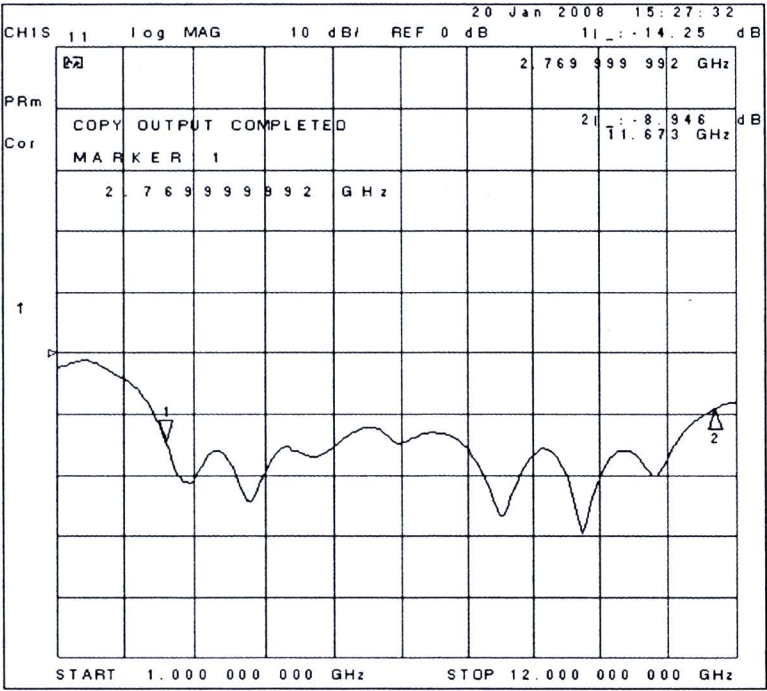
4.3 ผลการทดลองวัดค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับของสายอากาศแฉะลำดับ

และจากผลการทดลองปรับเปลี่ยนระยะ d ซึ่งเป็นระยะห่างระหว่างสายอากาศกับแผ่นสะท้อน โดยระยะห่างดังกล่าวจะส่งผลกระทบต่อคุณลักษณะต่าง ๆ ของสายอากาศสิ่งแรกที่ต้องพิจารณาคือค่าความสูญเสียเนื่องจากการย้อนกลับ สำหรับการทดสอบวัดค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับของสายอากาศนั้น พารามิเตอร์ที่สำคัญที่ใช้ในการพิจารณาคือ ค่าความสูญเสียเนื่องจากการย้อนกลับ และค่าอัตราส่วนคลื่นนิ่งของสายอากาศเนื่องจากสามารถใช้เพื่อพิจารณาถึงการแมตช์อินพุตอิมพีแดนซ์ของสายอากาศ หรือพิจารณาการแมตช์อินพุตอิมพีแดนซ์ของสายอากาศได้จากค่าของอัตราส่วนคลื่นนิ่ง โดยค่าของอัตราส่วนคลื่นนิ่งนั้นสามารถมีค่าต่ำสุดตั้งแต่ 1 ถึงอนันต์ ซึ่งถ้าอัตราส่วนคลื่นนิ่งของสายอากาศ มีค่าเท่ากับ 1 แสดงว่าสายอากาศนั้นมีการแมตช์ที่สมบูรณ์ นั่นคือพลังงานอินพุตที่ป้อนให้กับสายอากาศมีการแพร่กระจายคลื่นออกไปทั้งหมดไม่มีการสะท้อนกลับมา แต่ถ้าสายอากาศมีอัตราส่วนคลื่นนิ่งเท่ากับอนันต์หมายความว่า สายอากาศนั้นเกิดการไม่แมตช์อย่างยิ่ง ทำให้พลังงานที่ส่งออกไปจากสายอากาศเกิดการสะท้อนกลับมาทั้งหมด ซึ่งอาจทำให้เครื่องรับส่งเสียหายได้ ดังนั้นในการประยุกต์ใช้งานต่าง ๆ ค่าความสูญเสียเนื่องจากการย้อนกลับของสายอากาศจะยอมรับได้ถ้ามีค่าต่ำกว่าหรือเท่ากับ -10 dB ซึ่งจะสอดคล้องกับค่าอัตราส่วนคลื่นนิ่งเท่ากับ 2 หรือต่ำกว่า แสดงว่ามีการแมตช์ที่ดี โดยจากการวัดทดสอบคุณสมบัติของสายอากาศในการวิจัยฉบับนี้ ได้กำหนดค่าความสูญเสียเนื่องจากการย้อนกลับของสายอากาศให้มีค่าน้อยกว่า -10 dB ตลอดย่านความถี่ใช้งาน และอัตราส่วนคลื่นนิ่งให้มีค่าเท่ากับ 2 หรือต่ำกว่า ซึ่งจากผลการทดลองพบว่าระยะห่างระหว่างสายอากาศกับแผ่นสะท้อน 5.59 มิลลิเมตร โดยสายอากาศจะมีค่าความสูญเสียเนื่องจากการย้อนกลับที่มีค่าน้อยกว่า -10 dB ที่ตลอดย่านความถี่ 2.76 GHz ถึง 11.63 GHz ดังแสดงในรูปที่ 4.3 และค่าของอัตราส่วนคลื่นนิ่งซึ่งมีค่าที่ต่ำกว่า 2 สำหรับช่วงความถี่ 2.76 GHz ถึง 11.63 GHz แสดงได้ในรูปที่ 4.4 โดยสามารถหาความกว้างแถบความถี่ของสายอากาศได้จากความสัมพันธ์ต่อไปนี้ Equation Section 4

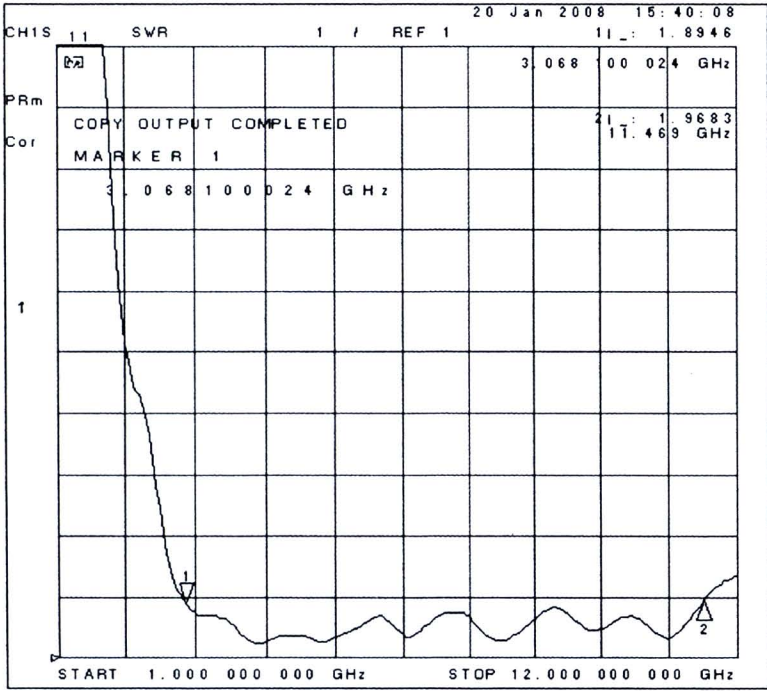
$$\% \text{ ความกว้างแถบของสัญญาณ} = \frac{f_{high} - f_{low}}{f_c} \times 100 \quad (4.1)$$

$$\% \text{ ความกว้างแถบ} = \left(2 \frac{f_{high} - f_{low}}{f_{high} - f_{low}} \right) \times 100 \quad (4.2)$$

เมื่อ f_{high} คือค่าความถี่สูงสุด f_{low} คือค่าความถี่ต่ำสุด และ f_c คือค่าความถี่กลางของสายอากาศ



รูปที่ 4.3 ค่าความสูญเสียเนื่องจากการย้อนกลับที่ได้จากการทดสอบสายอากาศแฉะลำดับ

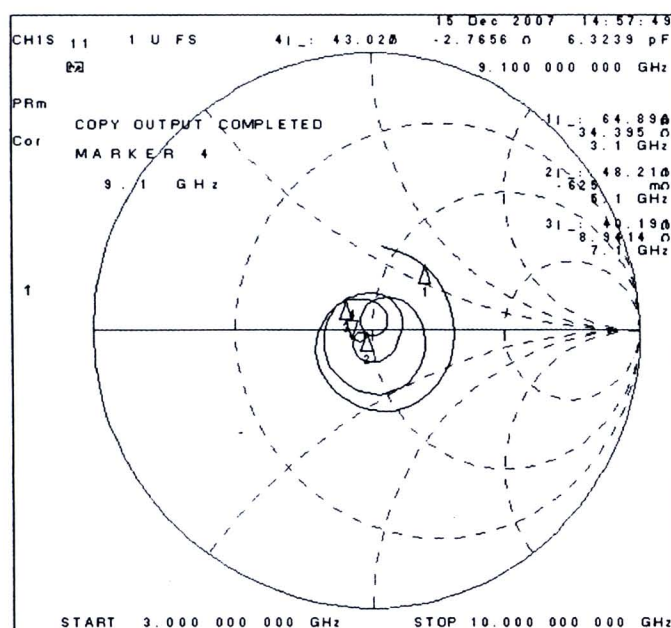


รูปที่ 4.4 ค่าอัตราส่วนคลื่นนิ่งที่ได้จากการทดสอบสายอากาศแฉะลำดับ

โดยจากรูปที่ 4.3 พบว่าสายอากาศมีความกว้างแถบประมาณ 122.22% หรือคิดเป็นอัตราส่วนของความถี่สูงสุดต่อความถี่ต่ำสุดได้ประมาณ 5 : 1 ที่ค่าความถี่กลาง 7.19 GHz

4.4 ผลการทดลองวัดค่าอิมพีแดนซ์ของสายอากาศแฉกลำดับ

ผลการทดลองวัดค่าอิมพีแดนซ์ของสายอากาศต้นแบบ สำหรับเทคโนโลยีการสื่อสารอัลตราไวด์แบนด์ โดยทำการวัดด้วยเครื่องวิเคราะห์โครงข่ายเวกเตอร์ ซึ่งทำการวัดค่าอิมพีแดนซ์ของสายอากาศที่ทำการออกแบบนั้นจะเลือกแสดงผลให้เห็นใน 4 ความถี่เท่านั้น เนื่องจากเป็นความถี่ที่จะนำไปวัดแบบรูปการแผ่กระจายพลังงาน และจากผลการทดลองวัดค่าอิมพีแดนซ์ของสายอากาศต้นแบบพบว่าสายอากาศมีค่าอิมพีแดนซ์ที่ความถี่ 3.1 GHz เท่ากับ $64.89 + j34.39 \Omega$ ค่าอิมพีแดนซ์ของสายอากาศที่ความถี่ 5.1 GHz มีค่าเท่ากับ $40.21 + j0.62 \Omega$ ค่าอิมพีแดนซ์ของสายอากาศที่ความถี่ 7.1 GHz มีค่าเท่ากับ $40.19 + j8.94 \Omega$ และค่าอิมพีแดนซ์ของสายอากาศที่ความถี่ 9.1 GHz มีค่าอิมพีแดนซ์เท่ากับ $43.02 - j2.76 \Omega$ แสดงได้ดังรูปที่ 4.5 โดยจากผลการทดลองวัดค่าอิมพีแดนซ์ของสายอากาศพบว่าสายอากาศมีอิมพีแดนซ์อยู่ในช่วง 40 Ω ถึง 60 Ω ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับ 50 Ω เนื่องจากการแสดงว่าสายอากาศต้นแบบที่ทำการออกแบบนั้น มีการแมตช์อิมพีแดนซ์ที่ดีตลอดช่วงความถี่ใช้งาน และสามารถนำไปประยุกต์ใช้งานกับเทคโนโลยีการสื่อสารอัลตราไวด์แบนด์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ



รูปที่ 4.5 ค่าอิมพีแดนซ์ที่ได้จากการวัดทดสอบสายอากาศในช่วงความถี่ต่าง ๆ

4.5 ผลการทดลองวัดค่าอัตราการขยายของสายอากาศ

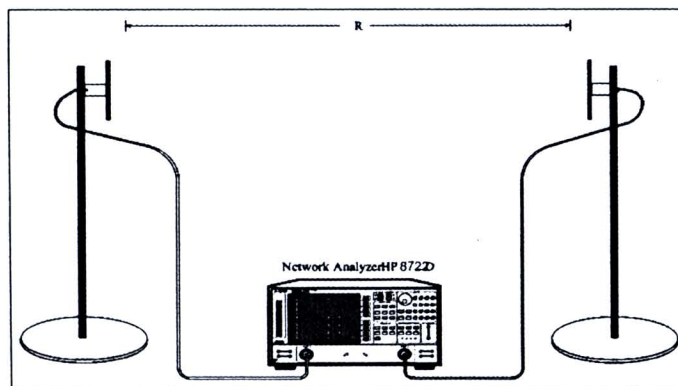
สำหรับการวัดอัตราขยายของสายอากาศแบบแถวลำดับในการวิจัยฉบับนี้นั้น ได้ใช้เทคนิควิธีการวัดด้วยสายอากาศสองตัวเช่นเดียวกับสายอากาศต้นแบบตัวเดียว (two-antenna method) โดยสายอากาศทั้งสองตัวมีลักษณะและคุณสมบัติเหมือนกันทุกประการ ซึ่งมีสายอากาศตัวหนึ่งทำหน้าที่เป็นสายอากาศส่ง และอีกตัวหนึ่งทำหน้าที่เป็นสายอากาศรับ สามารถนำสมการพื้นฐานของ Friis (Friis transmission equation) มาทำการคำนวณได้ดังสมการต่อไปนี้

$$\frac{P_r}{P_t} = \left(\frac{\lambda}{4\pi R} \right)^2 G_t G_r \quad (4.3)$$

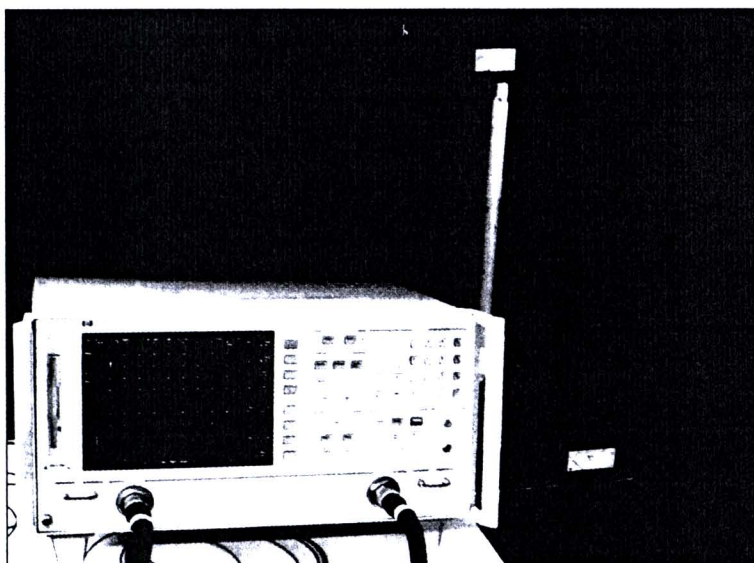
เมื่อ P_t คือพลังงานอินพุตที่ป้อนให้สายอากาศส่ง G_t คืออัตราขยายของสายอากาศส่ง P_r คือพลังงานเอาต์พุตของสายอากาศรับ G_r คืออัตราขยายของสายอากาศรับ และ r คือระยะห่างระหว่างสายอากาศส่งและสายอากาศรับ เมื่อสายอากาศส่งและสายอากาศรับเป็นสายอากาศรูปแบบเดียวกัน ดังนั้น $G_t = G_r = G$ เมื่อนำไปคำนวณหาอัตราขยายในหน่วย dB ได้ดังสมการที่ (4.4)

$$G_{dB} = \frac{1}{2} \left[20 \log_{10} \left(\frac{4\pi R}{\lambda} \right) + 10 \log_{10} \left(\frac{P_r}{P_t} \right) \right] \quad (4.4)$$

สำหรับการวัดอัตราขยายของสายอากาศในการวิจัยนี้ได้ใช้เครื่องวิเคราะห์โครงข่ายเวกเตอร์วัดพลังงานที่รับได้ แสดงได้ดังรูปที่ 4.6 และ รูปที่ 4.7

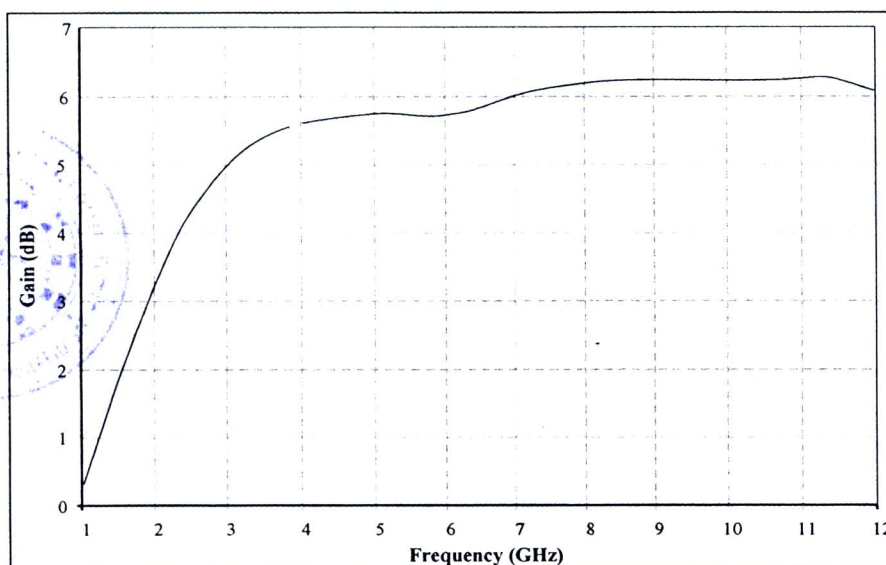


รูปที่ 4.6 การเตรียมเครื่องมือสำหรับการวัดอัตราขยายของสายอากาศต้นแบบ



รูปที่ 4.7 การวัดอัตราขยายของสายอากาศแฉวลำดับ

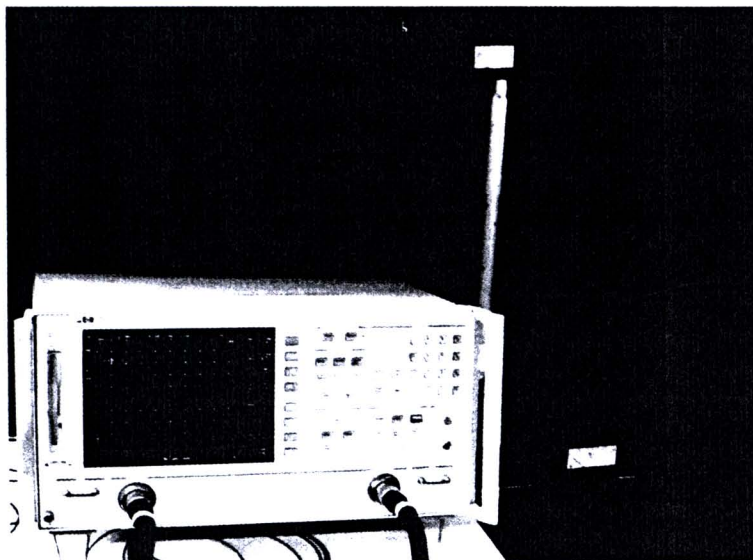
โดยในการทดลองนั้นพลังงานอินพุตที่ป้อนให้กับสายอากาศตัวส่งเท่ากับ -10 dB เช่นเดียวกันกับสายอากาศต้นแบบตัวเดียวตลอดย่านความถี่ 1 GHz ถึง 12 GHz และนำค่าที่รับได้ของสายอากาศที่คิดเป็นพลังงาน P_r แทนค่าลงในสมการที่ (4.4) แล้วจะได้ค่าอัตราขยายของสายอากาศต้นแบบจากการวัดทดสอบในแต่ละความถี่ตลอดย่านดังแสดงในรูปที่ 4.8



รูปที่ 4.8 ผลการวัดอัตราขยายของสายอากาศแฉวลำดับ

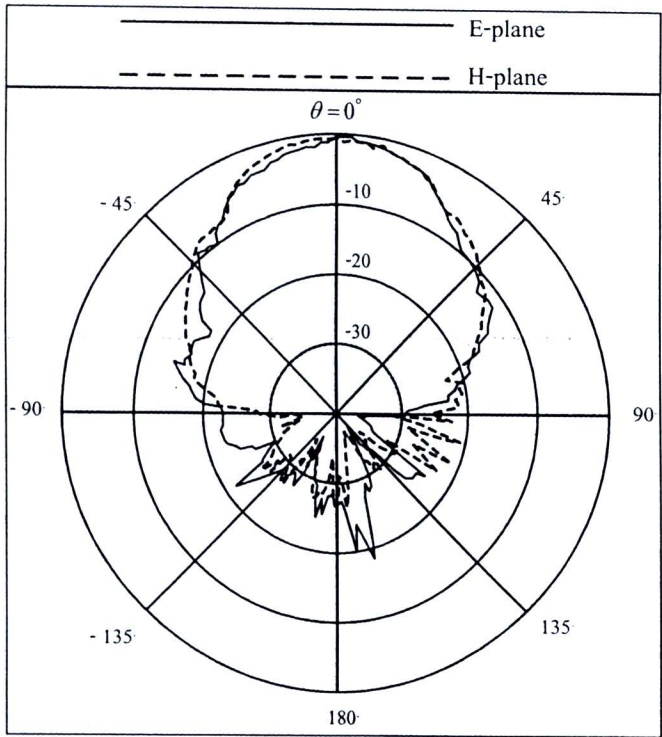
4.6 ผลการทดลองวัดแบบรูปการแผ่กระจายพลังงานของสายอากาศแถวลำดับ

สำหรับการวัดแบบรูปการแผ่กระจายพลังงานของสายอากาศนั้นจะทำการวัดที่บริเวณสนามระยะไกล (far field region) เช่นเดียวกับสายอากาศต้นแบบตัวเดียว ทั้งในระนาบของสนามไฟฟ้า (E-plane) และระนาบสนามแม่เหล็ก (H-plane) โดยสามารถคำนวณจากความสัมพันธ์ $R \geq 2D^2/\lambda$ โดยที่ R คือระยะห่างระหว่างสายอากาศตัวส่งและสายอากาศตัวรับที่ทำการทดสอบ ที่ความถี่ต่ำสุด และ D คือ ขนาดของสายอากาศมีค่าเท่ากับ 40 มิลลิเมตร และ λ คือความยาวคลื่นของความถี่ที่ใช้คำนวณ โดยใช้ทดสอบอ้างอิงที่ความถี่ต่ำสุด 3.1 GHz ดังนั้นที่สนามระยะไกลจะกำหนดระยะห่างระหว่างสายอากาศตัวส่งและสายอากาศตัวรับเท่ากับ 65 เซนติเมตร ซึ่งในการทดสอบจะพิจารณาการเปลี่ยนแปลงของสนามไฟฟ้า และสนามแม่เหล็ก โดยจะทำการหมุนสายอากาศต้นแบบเพื่อรับคลื่นจาก 0 องศา จนถึง 360 องศา และสายอากาศที่ต้องการทดสอบนั้นจะเป็นสายอากาศตัวรับ ส่วนสายอากาศตัวส่งเป็นสายอากาศแบบไมโครสตริปไดโพลที่ออกแบบให้มีความถี่เดียวกันกับความถี่สายอากาศด้านรับที่ต้องการวัดนั่นคือ ที่ความถี่ 3.1 GHz 5.1 GHz 7.1 GHz และ 9.1 GHz โดยสายอากาศรับและสายอากาศส่งนั้นจะต้องมีโพลาริซที่เหมือนกัน และระดับความสูงของสายอากาศรับและสายอากาศส่งต้องเท่ากัน ดังแสดงในรูปที่ 4.8 ซึ่งเป็นการเตรียมเครื่องมือสำหรับการวัดแบบรูปการแผ่กระจายพลังงานของสายอากาศต้นแบบ โดยที่จะทำการทดสอบในห้องปิดกั้นคลื่นสนามแม่เหล็กไฟฟ้าไร้คลื่นสะท้อน (anechoic chamber) ดังแสดงในรูปที่ 4.9

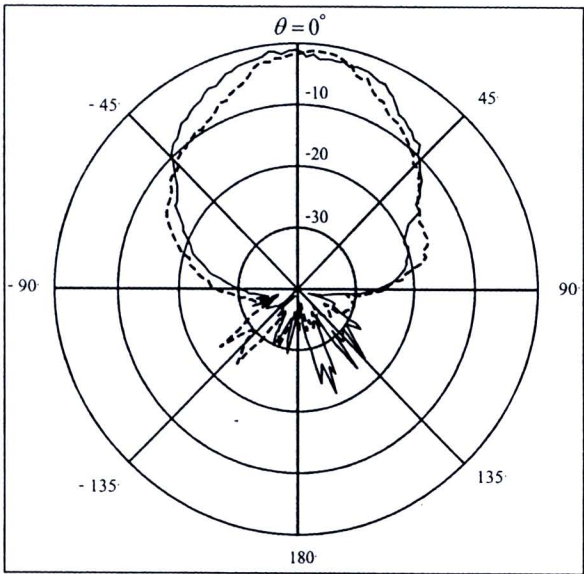


รูปที่ 4.9 การวัดแบบรูปการแผ่กระจายพลังงานของสายอากาศแบบแถวลำดับ

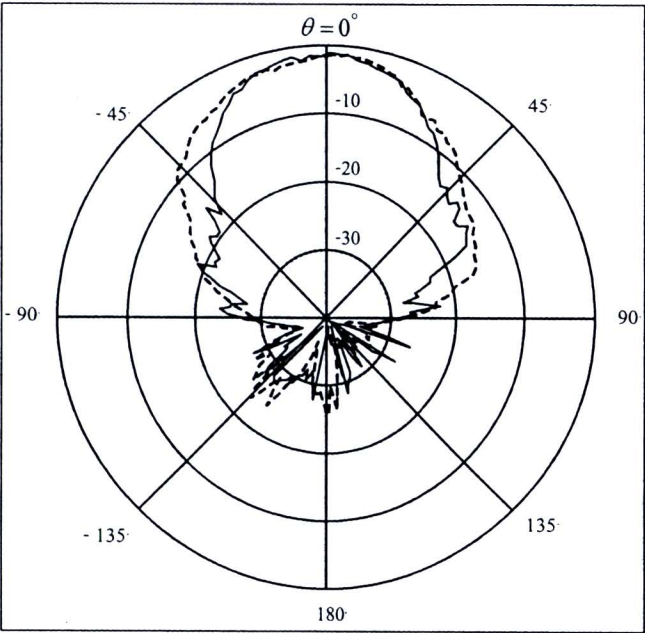
โดยผลการวัดแบบรูปการแผ่กระจายพลังงานของสายอากาศในระนาบสนามไฟฟ้าทั้งใน
 รูปแบบของโพลาริเซชันร่วม และในรูปแบบของโพลาริเซชันไขว้ จากความถี่ที่เลือกมาทำการ
 ทดสอบทั้งสี่ความถี่ตามค่าที่เลือกมาแสดงในส่วนของการจำลองแบบด้วยโปรแกรม IE3D และ
 การวัดทดสอบในส่วนของสายอากาศต้นแบบตัวเดียว เพื่อใช้สำหรับการเปรียบเทียบซึ่งกันและ
 กันในแต่ละความถี่ โดยจากผลการวัดทดสอบแบบรูปการแผ่กระจายพลังงานของสายอากาศ
 ต้นแบบในระนาบสนามไฟฟ้าและในระนาบสนามแม่เหล็ก ที่ความถี่ 3.1 GHz 5.1 GHz
 7.1 GHz และ 9.1 GHz สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 4.10



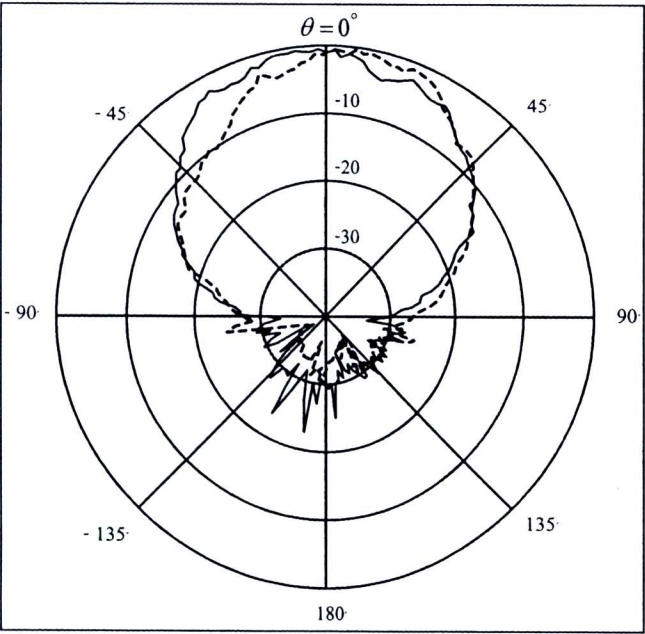
ก. ที่ความถี่ 3.1 GHz



ข. ที่ความถี่ 5.1 GHz



ค. ที่ความถี่ 7.1 GHz



ง. ที่ความถี่ 9.1 GHz

รูปที่ 4.10 แบบรูปการแผ่กระจายพลังงานของสายอากาศในระนาบสนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็ก
ที่ความถี่ต่าง ๆ

โดยจากผลการวัดแบบรูปการแผ่กระจายพลังงานของสายอากาศในระนาบสนามไฟฟ้า และในระนาบสนามแม่เหล็กนั้นได้ทำการวัดเฉพาะในรูปแบบของโพลาริเซชันร่วม ส่วนโพลาริเซชันไขว้ไม่ได้แสดงเปรียบเทียบ เนื่องจากแบบรูปการแผ่กระจายพลังงานของสายอากาศในรูปแบบของโพลาริเซชันร่วมนั้น มีพลังงานที่สูงกว่าในรูปแบบโพลาริเซชันไขว้มาก คือมีระดับของสัญญาณแตกต่างกันประมาณ 10 dB ถึง 30 dB และจากผลการวัดแบบรูปการแผ่กระจายพลังงานของสายอากาศในระนาบสนามแม่เหล็ก พบว่าสายอากาศต้นแบบมีแบบรูปการแผ่กระจายพลังงานแบบมีทิศทาง

จากคุณลักษณะของสายอากาศต้นแบบที่ได้จากการวัดและทดสอบ ในทุก ๆ ค่า นั้น แสดงให้เห็นว่าสายอากาศต้นแบบที่ทำการออกแบบนั้น มีคุณภาพมากพอที่จะนำไปประยุกต์ใช้สำหรับเทคโนโลยีการสื่อสารอัลตราไวด์แบนด์ได้อย่างมีประสิทธิภาพต่อไป

4.7 การออกแบบวงจรกำเนิดสัญญาณพัลส์

4.7.1 คุณลักษณะของวงจรกำเนิดพัลส์

เมื่อพิจารณาการเกิดพัลส์ด้วยไดโอดพินตัวแบบขึ้นจากข้อมูลที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้น ปรากฏว่าพัลส์ที่ได้จากไดโอดพินตัวแบบขึ้นนั้นเป็นพัลส์ที่มีรูปร่างลาดเอียง แทนที่จะเป็นพัลส์แบบเกาส์เซียนตามต้องการ แต่สามารถปรับปรุงพัลส์ที่ได้ให้เป็นพัลส์แบบเกาส์เซียนได้โดยการประยุกต์ใช้ไดโอดพินตัวแบบขึ้น ร่วมกับการส่งผ่านสายประวิง (transmission delay line)

ซึ่งการประยุกต์ใช้งานของเครื่องกำเนิดสัญญาณพัลส์กำลังสูงสำหรับเทคโนโลยีการตรวจจับหรือเทคโนโลยีเรดาร์ในทางไกล ๆ นั้น โดยทั่วไปแล้วการออกแบบวงจรกำเนิดพัลส์จะต้องใช้ทรานซิสเตอร์หรือใช้ SRD ไดโอด จำนวนมาก (Wu and Tian, 2007) หรืออาจจะออกแบบโดยใช้ไดโอดพินตัวแบบขึ้นที่มีการขยับเลื่อน (drift SRD : DSRD) แต่การออกแบบวงจรกำเนิดสัญญาณพัลส์ด้วยวิธีนี้นั้นจำเป็นต้องใช้แรงดันไบแอสที่สูงมากประมาณ 100 โวลต์ ประกอบกับ DSRD หากซื้อได้ยากมากตามท้องตลาด ซึ่งปัจจุบันผลิตภัณฑ์ในท้องตลาดที่มีความเหมาะสมสำหรับการใช้กำเนิดสัญญาณพัลส์กำลังสูงนั้นมีขีดจำกัดในเรื่องของประสิทธิภาพ ซึ่งสามารถกำเนิดพัลส์ที่มีความกว้างพัลส์ได้ประมาณ 1 ns และมีความถี่พัลส์ (pulse repetition frequency : PRF) ด้านออกประมาณ 1 MHz

สำหรับการออกแบบเครื่องกำเนิดสัญญาณพัลส์เพื่อประยุกต์ใช้งานที่มีกำลังต่ำ เช่น เทคโนโลยีการสื่อสารอัลตราไวด์แบนด์ และเทคโนโลยีอัลตราไวด์แบนด์เรดาร์ในระยะทางใกล้ ๆ นั้นไม่จำเป็นต้องคำนึงถึงปัญหาต่าง ๆ ในเรื่องของกำลังส่งมากนัก ดังที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้นเหมือนกับการออกแบบวงจรกำเนิดพัลส์เพื่อใช้งานด้านกำลังสูง เนื่องจากการออกแบบวงจรกำเนิดพัลส์เพื่อใช้งานด้านกำลังต่ำนั้นต้องการพลังงานพัลส์ด้านออกประมาณ 73 นาโนวัตต์เท่านั้น

(Ghavami, Michael, and Kohno, 2007) แต่การออกแบบวงจรกำเนิดสัญญาณพัลส์สำหรับเทคโนโลยีอัลตราไวด์แบนด์กำลังต่ำหรือทางการสื่อสารนั้นจำเป็นต้องออกแบบวงจรกำเนิดสัญญาณพัลส์ให้มีช่วงกว้างของพัลส์ในระดับนาโนวินาที หรือพิโกวินาที เนื่องจากต้องการให้ได้การแผ่สเปกตรัมที่กว้างในโดเมนความถี่ เนื่องจากเทคโนโลยีการสื่อสารอัลตราไวด์แบนด์ภายในอาคารนั้น ตามข้อกำหนดของ FCC แล้วต้องการแบนด์วิดท์อยู่ในระดับกิกะเฮิรตซ์ (GHz) ครอบคลุมตลอดย่านความถี่ใช้งาน 3.1 GHz–10.6 GHz (Ghavami, Michael, and Kohno, 2007; Roberto and Anuj, 2006) โดยจำเป็นต้องมีการออกแบบวงจรกำเนิดสัญญาณพัลส์ที่มีความกว้างพัลส์ที่น้อยกว่านาโนวินาที ส่วนการประยุกต์ใช้งานด้านการตรวจจับหรือการสื่อสารที่ต้องการการทะลุทะลวงสูงนั้นจำเป็นต้องมีการออกแบบวงจรกำเนิดสัญญาณพัลส์ที่มีความกว้างพัลส์อยู่ในช่วงนาโนวินาที (Roberto and Anuj, 2006; Wu and Tian, 2007) และนอกจากทางด้านเทคนิคการออกแบบเพื่อให้ได้คุณลักษณะของวงจรกำเนิดพัลส์ดังที่ได้กล่าวมาแล้วยังต้องคำนึงถึงต้นทุนในการพัฒนาออกแบบด้วย ซึ่งนับว่าเป็นสิ่งที่น่าสนใจและมีความท้าทายเป็นอย่างยิ่ง โดยเฉพาะความพยายามของนักวิจัยที่ต้องการให้วงจรกำเนิดสัญญาณพัลส์สามารถปรับค่าความกว้างพัลส์ได้ หรือสามารถออกแบบและสร้างวงจรกำเนิดพัลส์ด้วยเทคนิควิธีที่ไม่ซับซ้อน และสามารถใช้งานร่วมกับสายอากาศอัลตราไวด์แบนด์ได้ เพื่อความสะดวกในการนำไปประยุกต์ประยุกต์ใช้งาน โดยที่ผ่านมานั้นได้มีผู้ทำการวิจัยเกี่ยวกับการกำเนิดสัญญาณพัลส์ที่มีกำลังสูงเป็นส่วนใหญ่ รวมทั้งพัลส์ที่ได้ยังเป็นรูปแบบของพัลส์ที่เป็นฟังก์ชันแบบขั้นบันได โดยการออกแบบมีการใช้ทลเนลไดโอดและทรานซิสเตอร์จำนวนมาก ซึ่งต้องใช้ต้นทุนสูง (Wu and Tian, 2007) รวมทั้งการออกแบบวงจรกำเนิดสัญญาณพัลส์ที่มีกำลังต่ำหรือสำหรับการใช้งานทางการสื่อสาร รวมถึงการใช้งานด้านการตรวจจับหรือการสื่อสารที่ต้องการความสามารถในการทะลุทะลวงสูง ซึ่งที่ผ่านมานั้นได้มีผู้ทำการวิจัยพัฒนาและออกแบบวงจรกำเนิดสัญญาณพัลส์อย่างแพร่หลาย โดยมีการประยุกต์ใช้ SRD ไดโอด (Jeong, Cam, and Tom, 2001) ร่วมกับทฤษฎีสายประวิงเวลา เช่น การออกแบบวงจรกำเนิดพัลส์ให้สามารถปรับความกว้างของพัลส์ได้ แต่สัญญาณพัลส์ที่สนใจนั้นเป็นสัญญาณพัลส์แบบเกาส์ (Jeongwoo and Cam, 2004; Wu and Tian, 2007; Jianping, Qing, Jingzhao, and Zhenghe, 2008) ซึ่งผลที่ได้นั้นพบว่าพัลส์ยังมีการแกว่งแบบหน่วงอยู่

โดยสัญญาณพัลส์ส่วนมากที่นิยมนำมาประยุกต์ใช้สำหรับเทคโนโลยีการสื่อสารอัลตราไวด์แบนด์ ทั้งในด้านการสื่อสารภายในอาคาร รวมถึงการประยุกต์ใช้งานด้านการตรวจจับหรือการสื่อสารที่ต้องการการทะลุทะลวงสูงนั้น นิยมใช้พัลส์แบบ โมโนไซเคิลเป็นส่วนใหญ่ เนื่องจากระบบต่าง ๆ เหล่านี้ล้วนมีสายอากาศเป็นส่วนประกอบทั้งสิ้นจึงไม่เหมาะสมกับสัญญาณที่เป็นพัลส์แบบเกาส์ เนื่องจากสัญญาณพัลส์แบบเกาส์จะมีส่วนประกอบของระดับสัญญาณ DC ก่อนข้างสูงสำหรับสเปกตรัมความถี่ด้านต่ำ ซึ่งในทางปฏิบัติแล้วไม่สามารถส่งสัญญาณผ่าน

สายอากาศได้ และต่อมาได้มีผู้พัฒนาออกแบบวงจรกำเนิดสัญญาณพัลส์แบบโมโนไซเคิล เพื่อให้เหมาะกับการนำไปประยุกต์ใช้ร่วมกับสายอากาศอัลตราไวด์แบนด์สำหรับเทคโนโลยีการสื่อสาร อัลตราไวด์แบนด์ภายในอาคาร และการประยุกต์ใช้งานด้านการตรวจจับหรือการสื่อสารที่ต้องการการทะลุทะลวงสูงได้ ซึ่งมีการใช้ SRD ไดโอด ร่วมกับทฤษฎีสายประวิงเวลาเช่นกัน แต่งานวิจัยนี้มีการทำรูปร่างพัลส์ด้วยวิธีการใช้ทรานซิสเตอร์ โดยใช้เทคนิควิธีการรวมสัญญาณพัลส์แบบเกาส์เซียนพัลส์สองลูกที่มีเฟสต่างกัน 180° และมีเวลาประวิงที่แน่นอนระหว่างพัลส์ทั้งสองลูก ซึ่งหลังจากที่พัลส์ทั้งสองถูกรวมกันแล้วจะได้พัลส์แบบโมโนไซเคิลพัลส์ และการวิธีนี้ความกว้างของโมโนไซเคิลพัลส์ที่ได้ จะมีความกว้างเท่ากับความกว้างของเกาส์เซียนพัลส์แต่ละลูก ร ว ม กั น (Jeong and Cam, 2001; Alexandre, Yvan, Tan, Ewerton, and Glauco, 2006; Dederer, Schleicher, Trasser, Fegerand, and Schumacher, 2008)

นอกจากเทคนิควิธีการต่าง ๆ ของการกำเนิดสัญญาณพัลส์และโมโนไซเคิลพัลส์ดังที่ได้กล่าวมาแล้วนั้น ยังมีวิธีการอื่นอีก เช่น การออกแบบวงจรกำเนิดสัญญาณโมโนไซเคิลพัลส์ด้วยการใช้ชิปวงจรรวม และทรานซิสเตอร์ (Junwoo, Young, Myunghoi, Changwook, Joungho, and Kwan, 2006; Wun, Ying, and Fu, 2008; Qing, Xiaojian, Yang, Bo, and Bo, 2008; Dederer, Schleicher, Trasser, Fegerand, and Schumacher, 2008)

โดยจากการวิจัยและพัฒนางานกำเนิดสัญญาณพัลส์แบบโมโนไซเคิลพัลส์ สำหรับประยุกต์ใช้กับเทคโนโลยีการสื่อสารอัลตราไวด์แบนด์ภายในอาคาร หรือการประยุกต์ใช้งานด้านการตรวจจับหรือการสื่อสารที่ต้องการการทะลุทะลวงสูงนั้นต้องใช้ต้นทุนที่สูง มีการใช้เทคนิควิธีที่ค่อนข้างยุ่งยากซับซ้อนและมีการใช้เทคโนโลยีที่สูง กว่าจะได้มาซึ่งสัญญาณโมโนไซเคิลพัลส์ ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้นำเทคนิควิธีการกำเนิดสัญญาณโมโนไซเคิลพัลส์ด้วยการประยุกต์ใช้ทฤษฎีของวงจรกรองผ่านสูง RC ร่วมด้วย ซึ่งสามารถกำเนิดสัญญาณโมโนไซเคิลพัลส์ได้โดยตรงจากพัลส์แบบเกาส์ โดยรูปแบบของสัญญาณโมโนไซเคิลพัลส์ที่ได้มานี้เป็นการนำสัญญาณในรูปแบบพัลส์แบบเกาส์มาทำอนุพันธ์อันดับที่หนึ่ง และทำให้ได้พัลส์แบบโมโนไซเคิลพัลส์ที่มีความกว้างของพัลส์เท่ากับความกว้างของพัลส์ก่อนการทำอนุพันธ์ จึงสามารถทำให้ลดต้นทุน ลดความยุ่งยากซับซ้อนในการออกแบบพัฒนาลงได้ และพัลส์ที่ได้มีการแกว่งแบบหน่วงของสัญญาณพัลส์ค่อนข้างต่ำ ซึ่งผลสุดท้ายของการทำการวิจัยครั้งนี้คือ การออกแบบและพัฒนางานกำเนิดสัญญาณพัลส์แบบโมโนไซเคิล ด้วยการประยุกต์ใช้ SRD ไดโอด ร่วมกับทฤษฎีสายประวิงเวลา และทฤษฎีของวงจรเชิงอนุพันธ์สำหรับการทำรูปร่างพัลส์ โดยมีจุดประสงค์เพื่อประยุกต์ใช้งานกับเทคโนโลยีการสื่อสารอัลตราไวด์แบนด์กำลังต่ำ ซึ่งมีความถี่พัลส์ด้านออกประมาณ 2 MHz

จากการออกแบบและพัฒนางานกำเนิดสัญญาณโมโนไซเคิลพัลส์ของการวิจัยฉบับนี้ เป็นการออกแบบโดยใช้ SRD ไดโอดเพียงตัวเดียวเท่านั้น ซึ่งคุณสมบัติของ SRD ไดโอดที่

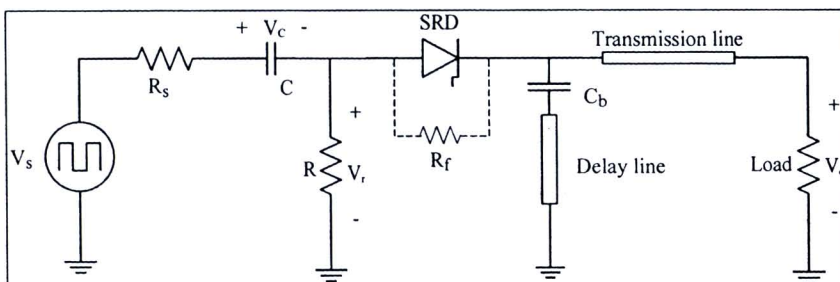
นำมาใช้นั้นต้องมีช่วงเวลาขึ้นที่รวดเร็วอย่างยิ่ง โดยที่ผ่านมานั้นมีการใช้วงจรจับกำลังเพื่อส่งสัญญาณไปกระตุ้น SRD ไดโอดด้วยวงจรขยายสัญญาณความเร็วสูงร่วมกับวงจรบัฟเฟอร์ เนื่องจากวิธีการนี้มีการใช้อุปกรณ์แอททิฟหลายตัว และมีการใช้ชิปวงจรรวม MMIC แบบแบนด์กว้างสำหรับการขยายกำลังของสัญญาณพัลส์ ซึ่งในการเพิ่มประสิทธิภาพของสัญญาณพัลส์ด้านออกด้วยวิธีการนี้จำเป็นต้องมีการไบแอสไฟ DC ให้กับวงจรอย่างเหมาะสม (Guillermo, 1996; Reinhold and Pavel, 2000; Devendra, 2004) ส่งผลให้วงจรมีความซับซ้อนและมีต้นทุนสูง แต่วิธีการที่ใช้ในการออกแบบวงจรกำเนิดสัญญาณพัลส์เพื่อให้ได้สัญญาณพัลส์ด้านออกให้มีประสิทธิภาพสำหรับการวิจัยฉบับนี้นั้น มีการออกแบบวงจรตัวเชื่อมร่วม (coupling) สำหรับสัญญาณนาฬิกาที่จะมากระตุ้นวงจรของ SRD ไดโอด ด้วยวงจรกรองผ่านสูง RC อันดับที่หนึ่ง ซึ่งเป็นวงจรประเภทพาสซีฟและไม่จำเป็นต้องใช้การไบแอสไฟ DC จากภายนอกให้กับวงจรจึงทำให้ลดความซับซ้อนของวงจรลงได้ รวมทั้งมีการออกแบบวงจรกรองผ่านสูง RC อันดับที่สองของสัญญาณทางด้านออกจากวงจรของ SRD ไดโอด เพื่อเป็นการทำรูปร่างพัลส์และลดการสั่นแบบหน่วงของสัญญาณพัลส์แบบโมโนไซเคิลพัลส์ด้านออกด้วย เพราะสัญญาณพัลส์แบบโมโนไซเคิลพัลส์ที่ได้นั้นโดยปกติแล้วจะมีการแกว่งแบบหน่วงสูงมาก อันเนื่องมาจากสัญญาณพัลส์มีช่วงเวลาขึ้นลงที่รวดเร็วมากนั่นเอง โดยแนวความคิดเบื้องต้นของการกำเนิดสัญญาณ โมโนไซเคิลพัลส์ด้วยวิธีการนี้นั้น อันดับแรกจะต้องทำการกำเนิดสัญญาณเกาส์เซียนพัลส์จากสัญญาณนาฬิกาของแหล่งกำเนิดเสียก่อน และหลังจากนั้นจะนำสัญญาณเกาส์เซียนพัลส์ที่ได้ไปทำให้เป็นสัญญาณพัลส์แบบโมโนไซเคิลพัลส์ต่อไปด้วยการใช้ประโยชน์จากวงจรกรองผ่านสูง RC ตามที่ได้กล่าวมาแล้ว โดยอาศัยหลักการของวงจรกรองผ่านสูงที่มีคุณสมบัติเป็นวงจรเชิงอนุพันธ์ร่วมกับวงจรขยายสัญญาณเชิงอนุพันธ์ (differentiator amplifier) ประกอบกับการออกแบบสายประวิงเวลาร่วมด้วย

4.7.2 การออกแบบสายประวิงเวลาสำหรับวงจรกำเนิดสัญญาณโมโนไซเคิลพัลส์

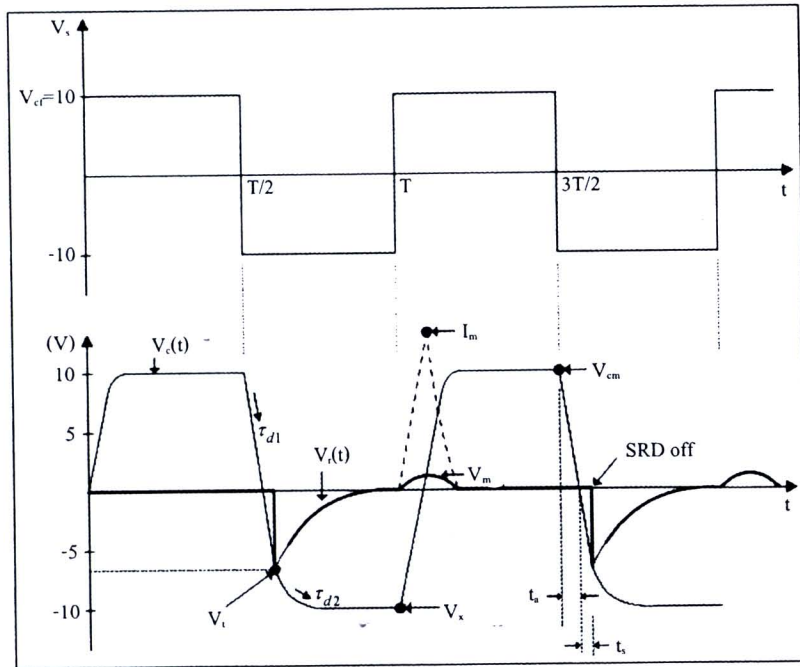
องค์ประกอบสำคัญพื้นฐานอีกส่วนหนึ่งของการออกแบบวงจรกำเนิดสัญญาณพัลส์แบบโมโนไซเคิลพัลส์ สำหรับเครื่องรับส่งสัญญาณของเทคโนโลยีการสื่อสารอัลตราไวด์แบนด์ภายในอาคาร หรือการประยุกต์ใช้งานด้านการตรวจจับหรือการสื่อสารที่ต้องการการทะลุทะลวงสูงนั้น คือ การออกแบบสายประวิงเวลา โดยหลักการและแนวความคิดของการออกแบบวงจรกำเนิดสัญญาณพัลส์ร่วมกับสายประวิงเวลานั้นเป็นเทคนิควิธีแบบดั้งเดิมที่มีใช้สำหรับการออกแบบวงจรในส่วนของดิจิทัลหรือวงจรที่เกี่ยวกับสัญญาณพัลส์ (Jeongwoo and Cam, 2004; Wu and Tian, 2007; Jianping, Qing, Jingzhao, and Zhenghe, 2008) ซึ่งการออกแบบวงจรกำเนิดสัญญาณพัลส์แบบโมโนไซเคิลพัลส์ด้วย SRD ไดโอด ในการวิจัยฉบับนี้ได้นำหลักการของสายประวิงเวลา มาทำการออกแบบวงจรเช่นเดียวกัน โดยใช้การออกแบบสายประวิงเวลาเป็นแบบไมโครสตริป (Jeongwoo and Cam, 2004) นอกจากนี้เทคนิควิธีของสายประวิงเวลาจะถูกนำมาใช้สำหรับการ

ออกแบบวงจรกำเนิดสัญญาณโมโนไซเคิลพัลส์แล้ว ยังสามารถนำมาประยุกต์ใช้สำหรับการออกแบบวงจรกำเนิดสัญญาณพัลส์รูปแบบอื่นที่ต้องการความกว้างพัลส์น้อยกว่าระดับนาโนวินาที ด้วย SRD ไดโอด ได้เช่นเดียวกัน

โดยก่อนที่จะทำการออกแบบวงจรกำเนิดสัญญาณพัลส์ด้วยการใช้ SRD ไดโอด จำเป็นต้องทำความเข้าใจเกี่ยวกับข้อกำหนดและคุณลักษณะที่สำคัญของ SRD ไดโอดก่อน เนื่องจากคุณสมบัติเหล่านี้ส่งผลต่อประสิทธิภาพของวงจรกำเนิดสัญญาณพัลส์ โดยคุณลักษณะสำคัญสิ่งแรกที่ต้องพิจารณาในการเลือกใช้ SRD ไดโอด คือ ช่วงเวลาการเปลี่ยนแปลงสัญญาณพัลส์ (pulse's transition time) ของ SRD ไดโอดเนื่องจากเป็นตัวกำหนดช่วงเวลาการเปลี่ยนแปลงที่น้อยที่สุดของสัญญาณพัลส์ที่สามารถจะเป็นไปได้ และคุณลักษณะต่อมาที่ต้องพิจารณาคือ ช่วงการคงอยู่ของพาหะส่วนน้อย (minority carrier lifetime : MCLT) สำหรับ SRD ไดโอด ที่จะเลือกมาใช้ เนื่องจากจะมีผลต่อช่วงเวลาของการคงอยู่ (storage time) ของพาหะส่วนน้อยภายใต้สภาวะของการไบแอสย้อนกลับ และสิ่งสุดท้ายที่ต้องพิจารณาคือ เมื่อมีการใช้สัญญาณนาฬิกาจากภายนอกมากระตุ้นให้กับวงจรกำเนิดสัญญาณพัลส์ที่มีการออกแบบด้วย SRD ไดโอดแล้ว สัญญาณนาฬิกานั้นจะต้องมีช่วงเวลาขึ้นที่น้อยกว่า MCLT ของ SRD ไดโอด วงจรสมมูลพื้นฐานของการกำเนิดสัญญาณพัลส์ด้วย SRD ไดโอดและสายประวิงเวลา ดังแสดงใน นั้นเป็นการแทนวงจรขับสัญญาณนาฬิกาด้วยแหล่งจ่ายแรงดัน มี R_s เป็นความต้านทานของแหล่งจ่ายแรงดัน และความต้านทาน R_i เป็นความต้านทานในสถานะการไบแอสตรงของ SRD ไดโอด โดยแหล่งจ่ายสัญญาณ V_s เป็นการสมมุติว่าเป็นสัญญาณนาฬิกาในอุดมคติเพื่อให้ง่ายต่อการวิเคราะห์ และมีการเปลี่ยนแปลงอย่างทันทีทันใด ซึ่งรูปสัญญาณของ V_c และ V_r ที่กำหนดไว้ในรูปที่ 4.11 นั้นเป็นการอธิบายให้เห็นถึงการวิเคราะห์สภาวะชั่วคราวในเบื้องต้น เนื่องจากสัญญาณที่ V_r คือ สัญญาณที่ได้จากการทำอนุพันธ์ของสัญญาณนาฬิกาที่เข้ามา โดยมีรูปแบบของสัญญาณเป็น $V_r(t)$ และสัญญาณที่ได้นี้จะกลายเป็นสัญญาณใหม่ที่ป้อนให้กับวงจรการจัดรูปรางพัลส์ โดยสัญญาณนี้จะมีการเปลี่ยนแปลงเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วเนื่องจาก SRD ไดโอดหยุดนำกระแส ดังแสดงในรูปที่ 4.12



รูปที่ 4.11 โครงสร้างพื้นฐานการกำเนิดพัลส์ด้วยไดโอดพื้นตัวแบบชั้นร่วมกับสายประวิงเวลา



รูปที่ 4.12 ลักษณะสัญญาณของแรงดันและกระแสที่เกิดขึ้นจากวงจรพื้นฐานการกำเนิดพัลส์ด้วยไดโอดฟิวด์แบบขึ้นร่วมกับสายประวิงเวลา

โดยความกว้างของพัลส์กำหนดด้วยความยาวสายท่อนสั้นวงจรลัด (short circuit stub) ซึ่งความกว้างและความยาวของสายส่งสามารถวิเคราะห์และคำนวณได้ดังสมการต่อไปนี้ (Jeong, Cam, and Tom, 2001; Wu and Tian, 2007; Jianping, Qing, Jingzhao, and Zhenghe, 2008)

$$\tau = \frac{2L_{tl}}{v_p} \quad (4.5)$$

เมื่อ L_{tl} คือความยาวสายส่งย้อนกลับ (reverse transmission line [มีหน่วยเป็นเมตร]) และ v_p คือความเร็วเฟสระหว่างสายส่งย้อนกลับ (มีหน่วยเป็นเมตรต่อวินาที) ซึ่งความเร็วเฟสระหว่างสายส่งแบบไมโครสตริปสามารถคำนวณได้จากสมการที่ (4.6)

$$v_p = \frac{c}{\sqrt{\epsilon_e}} \quad (4.6)$$

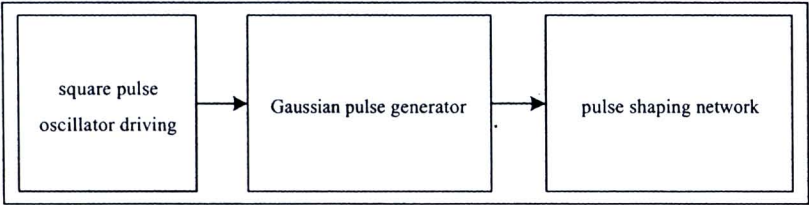
โดยที่ c คือความเร็วแสง (มีหน่วยเป็นเมตรต่อวินาที) และ ϵ_e คือค่าคงที่สภาพยอมประสิทธิผลของไมโครสตริป ซึ่งค่าคงที่สภาพยอมประสิทธิผลนี้เป็นค่าเอกพันธ์สมมูลระหว่างอากาศว่างและชั้นสเตรตของไมโครสตริป สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (4.7)

$$\epsilon_e = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \left(\frac{1}{\sqrt{1 + 12d/w}} \right) \tag{4.7}$$

เมื่อ ϵ_r คือค่าคงที่สภาพยอมสัมพัทธ์ของชั้นสเตรต d คือความหนาชั้นสเตรตของไมโครสตริป และ w คือ ความกว้างสายส่งไมโครสตริป (มีหน่วยเป็นเมตร)

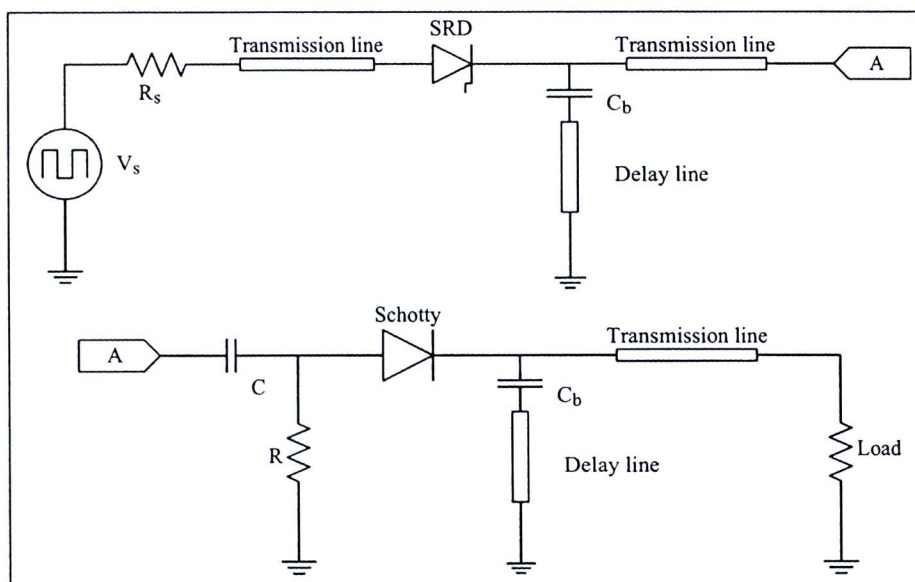
โดยการออกแบบระบบส่วนมากมักจะมีการกำหนดความกว้างของพัลส์ไว้ก่อน หลังจากนั้นจึงทำการคำนวณหาความยาวของสายส่ง และนำไปสู่การออกแบบวงจรกำเนิดสัญญาณพัลส์ต่อไป ดังแสดงตัวอย่างในรูปที่ 4.14 โดยหลังจากการออกแบบเสร็จเมื่อนำไปประยุกต์ใช้งานจริงส่วนมากแล้วจะมีการผิดเพี้ยนของสัญญาณพัลส์เกิดขึ้น และมีการแกว่งของสัญญาณพัลส์มากเกินไป เนื่องจากพัลส์มีช่วงเวลาขึ้นลงอย่างรวดเร็ว หรืออาจเกิดจากผลกระทบของอุปกรณ์อื่น ๆ ที่อยู่ข้างเคียงด้วย ซึ่งปัญหาเหล่านี้สามารถแก้ไขได้ด้วยการออกแบบวงจรขायการทำรูปร่างของพัลส์ (pulse shape) เพิ่มเติมเข้าไป โดยวงจรขायการทำรูปร่างพัลส์นั้นมีหลายเทคนิควิธี เช่น การนำไดโอดแบบชอททกี (Schottky diode) หรือเมสเฟต (MESFET) มาใช้ร่วมกับการออกแบบวงจร

การออกแบบวงจรกำเนิดสัญญาณพัลส์สำหรับประยุกต์ใช้กับเทคโนโลยีการสื่อสารอัลตราไวด์แบนด์นี้สามารถแบ่งออกเป็น 3 ส่วน คือ ส่วนแรกเป็นแหล่งกำเนิดสัญญาณสี่เหลี่ยม ส่วนที่สองเป็นการกำเนิดสัญญาณพัลส์ และส่วนสุดท้ายเป็นวงจรขायการทำรูปร่างพัลส์ ซึ่งสามารถแสดงเป็นแผนภาพบล็อกได้ดังรูปที่ 4.13 แผนภาพบล็อกการกำเนิดสัญญาณโมโนไซเคิลพัลส์



รูปที่ 4.13 แผนภาพบล็อกการกำเนิดสัญญาณ โมโนไซเคิลพัลส์

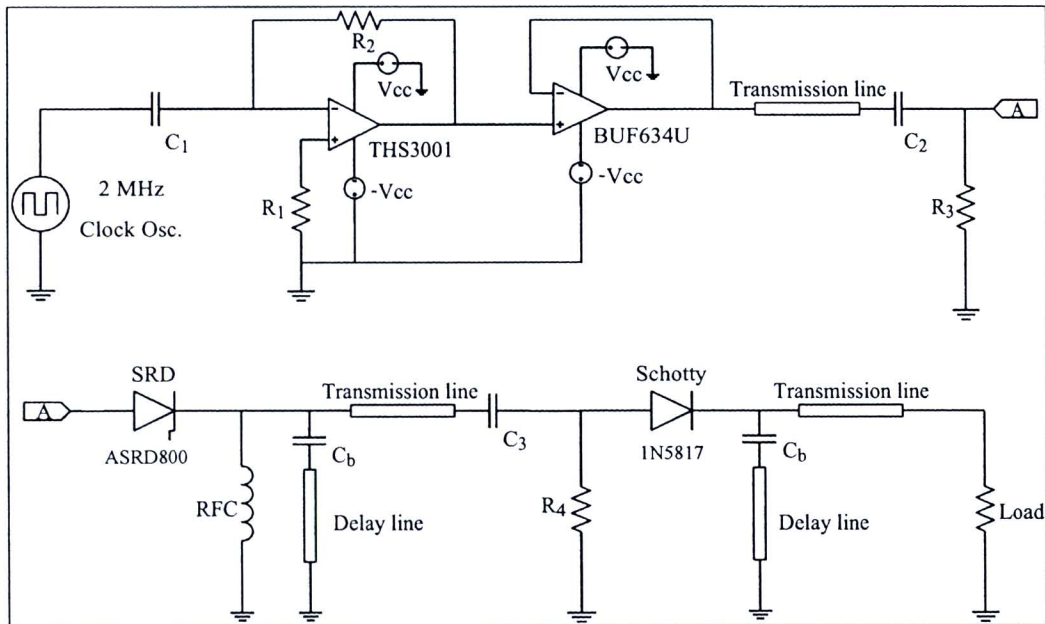
โดยการออกแบบวงจรกำเนิดสัญญาณพัลส์นั้นเลือกใช้แผ่นวงจรพิมพ์ชนิด FR-4 แบบสองหน้า ซึ่งพารามิเตอร์ที่จำเป็นสำหรับการออกแบบสายประวิงได้แก่ ค่าคงที่ไดอิเล็กตริก สัมพัทธ์ของวัสดุฐานรอง (ϵ_r) ประมาณ 4.5 ความสูงของวัสดุฐานรอง (h) เท่ากับ 1.6 มิลลิเมตร และจากทฤษฎีการคำนวณหาความยาวของสายประวิงเวลา ซึ่งสามารถคำนวณค่าความยาวของสายประวิงเวลาได้จากสมการที่ (4.5) โดยกำหนดความกว้างของพัลส์ไว้ที่ 100 ns และความกว้างสายประวิงเวลาไมโครสตริปไว้ที่ 2.5 มิลลิเมตร ซึ่งจะได้ขนาดความยาวของสายประวิงเวลาเท่ากับ 15 มิลลิเมตร และทำการออกแบบวงจรกำเนิดสัญญาณพัลส์ด้วยไดโอดพื้นตัวแบบชั้นร่วมกับสายประวิงเวลาได้ในเบื้องต้น ดังแสดงในรูปที่ 4.14



รูปที่ 4.14 โครงสร้างการออกแบบวงจรกำเนิดสัญญาณพัลส์ด้วยไดโอดพื้นตัวแบบชั้นร่วมกับสายประวิงเวลา

โดยจากรูปที่ 4.14 โครงสร้างการออกแบบวงจรกำเนิดสัญญาณพัลส์ด้วยไดโอดพื้นตัวแบบชั้นร่วมกับสายประวิงเวลา เป็นการแสดงโครงสร้างการออกแบบวงจรกำเนิดสัญญาณพัลส์ด้วยไดโอดพื้นตัวแบบชั้นร่วมกับสายประวิงเวลา ด้วยการป้อนสัญญาณนาฬิกาจากแหล่งกำเนิด ซึ่งเป็นฟังก์ชันแบบซันบันโดความถี่ 2 MHz ผ่านไดโอดพื้นตัวแบบชั้นเพื่อสร้างพัลส์สี่เหลี่ยมที่มีช่วงเวลากการส่งผ่าน (transition time) สั้นมาก และมีความกว้างของพัลส์สัมพันธ์กับความยาวของสายประวิงเวลา เมื่อสัญญาณพัลส์นี้ผ่านวงจรเชิงอนุพันธ์แล้วสัญญาณพัลส์ที่ได้มีรูปร่างใกล้เคียงกับสัญญาณพัลส์แบบเกาส์ แต่สัญญาณพัลส์ที่เกิดขึ้นนี้มีช่วงเวลายื่นลงเร็วมาก จึงทำ

ให้เกิดการแกว่งแบบหน่วงของสัญญาณพัลส์ที่ไม่ต้องการมากเกินไป ซึ่งปัญหาดังกล่าวที่เกิดขึ้นนี้สามารถแก้ไขได้โดยการนำไดโอดแบบชอตท์กีมาประยุกต์ใช้ร่วมกับสายประวิงเวลาในส่วนสุดท้าย เพื่อช่วยลดการแกว่งของสัญญาณพัลส์ลงได้ ซึ่งสามารถนำไปสู่การพัฒนาและออกแบบวงจรกำเนิดสัญญาณโมโนไซเคิลพัลส์ สำหรับการประยุกต์ใช้กับเทคโนโลยีการสื่อสารอัลตราไวด์แบนด์ได้ดังแสดงในรูปที่ 4.15

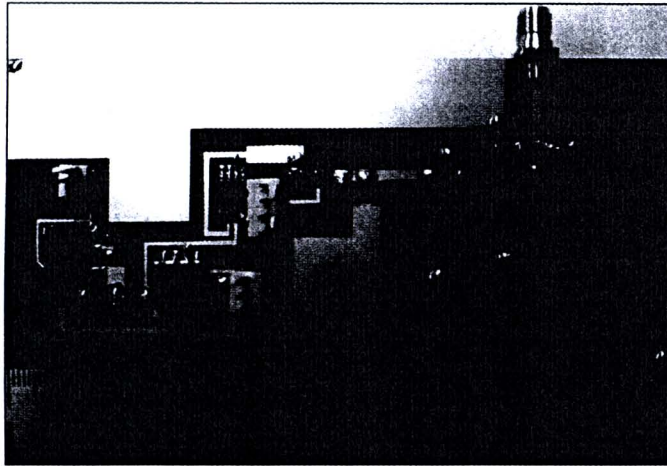


รูปที่ 4.15 โครงสร้างของชุดวงจรกำเนิดสัญญาณ โมโนไซเคิลพัลส์สำหรับเทคโนโลยีการสื่อสารอัลตราไวด์แบนด์

4.8 การสร้างวงจรกำเนิดสัญญาณพัลส์

4.8.1 การสร้างวงจรกำเนิดสัญญาณพัลส์

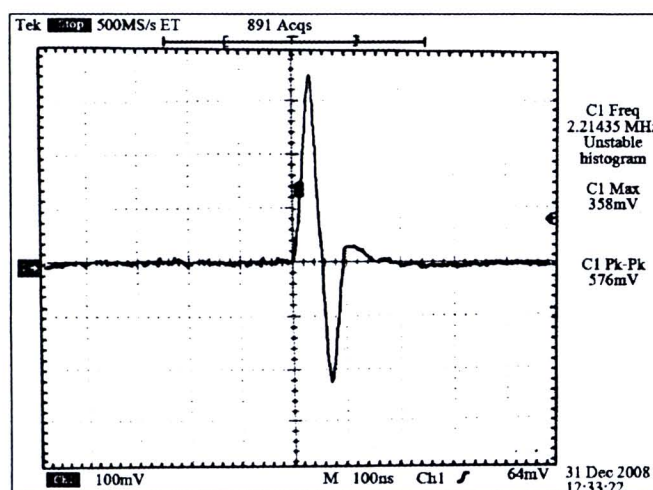
สำหรับการออกแบบวงจรกำเนิดสัญญาณ โมโนไซเคิลพัลส์เลือกใช้แผ่นวงจรพิมพ์ชนิด FR-4 แบบสองหน้า ซึ่งพารามิเตอร์ที่จำเป็นในการออกแบบวงจรกำเนิดสัญญาณพัลส์นี้ ได้แก่ ค่าคงที่ไดอิเล็กตริกสัมพัทธ์ของวัสดุฐานรอง (ϵ_r) ประมาณ 4.5 ความสูงของวัสดุฐานรอง (h) เท่ากับ 1.6 มิลลิเมตร และจากทฤษฎีการคำนวณหาความยาวของสายประวิงเวลาในบทที่ 2 ซึ่งสามารถคำนวณค่าความยาวของสายประวิงเวลาได้จากสมการที่ (2.45) โดยกำหนดความกว้างของพัลส์ไว้ที่ 100 ns และกำหนดความกว้างของสายประวิงแบบไมโครสตริปไว้ที่ 2.5 มิลลิเมตร ซึ่งจะได้ขนาดของความยาวสายประวิงเวลาเท่ากับ 15 มิลลิเมตร ดังแสดงในรูปที่ 4.16



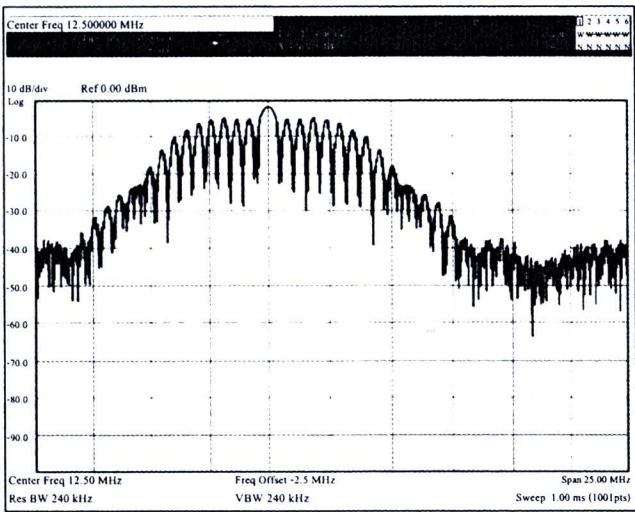
รูปที่ 4.16 ชุดวงจรกำเนิดสัญญาณโมนโอไซเคิลพัลส์สำหรับเทคโนโลยีการสื่อสารอัลตราไวด์แบนด์

4.8.2 ผลการวัดและทดสอบวงจรกำเนิดสัญญาณพัลส์

จากการออกแบบและสร้างวงจรกำเนิดสัญญาณพัลส์แบบโมนโอไซเคิลพัลส์ โดยมีการปรับค่าความยาวของสายประวิงเวลา ตัวเก็บประจุและตัวต้านทานในส่วนของวงจรเชิงอนุพันธ์ เพื่อให้ได้สัญญาณโมนโอไซเคิลพัลส์ที่มีความกว้างพัลส์น้อยที่สุด และจากผลการวัดทดสอบพัลส์ที่เอาต์พุตของวงจร ด้วยเครื่องออสซิลโลสโคปในโดเมนเวลาและเครื่องวิเคราะห์แวกเตอร์ในโดเมนความถี่ได้รูปร่างของพัลส์ โดยมีความหนาแน่นเชิงสเปกตรัมดังรูปที่ 4.17 และรูปที่ 4.18 ตามลำดับ



รูปที่ 4.17 ผลการวัดสัญญาณโมนโอไซเคิลพัลส์ในโดเมนเวลาด้วยออสซิลโลสโคป



รูปที่ 4.18 ผลการวัดสัญญาณโมโนไซเคิลพัลส์ในโดเมนความถี่ด้วยเครื่องวิเคราะห์เวกเตอร์

โดยจากการพิจารณารูปที่ 4.17 ซึ่งเป็นผลการวิเคราะห์สัญญาณโมโนไซเคิลพัลส์ในโดเมนเวลา พบว่าสัญญาณโมโนไซเคิลพัลส์มีแอมพลิจูดสูงสุด 576 mV มีความกว้างของพัลส์ 80 ns ที่ขนาดแอมพลิจูดสูงสุดลดลงครึ่งหนึ่ง และมีความกว้างของพัลส์ 100 ns ที่ 10% ของแอมพลิจูดสูงสุด สัมพันธ์กับความถี่ทำงานประมาณ 10 MHz และมีการแกว่งของสัญญาณโมโนไซเคิลพัลส์น้อยมาก และจากการพิจารณารูปที่ 4.18 ซึ่งเป็นการวัดทดสอบวงจรกำเนิดสัญญาณโมโนไซเคิลพัลส์ในโดเมนความถี่ โดยทำการวิเคราะห์ผลจากความหนาแน่นพลังงานเชิงสเปกตรัมดั้งของสัญญาณโมโนไซเคิลพัลส์ และพบว่าสัญญาณโมโนไซเคิลพัลส์ที่ได้มีแบนด์วิดท์ 10 MHz ของความถี่กลางและครอบคลุมย่านความถี่ใช้งานในช่วง 5 MHz–15 MHz โดยทำการวัดที่ระดับสัญญาณ -20 dB

4.9 สรุป

เนื้อหาที่สำคัญในบทนี้จะกล่าวถึงการพัฒนาสายอากาศต้นแบบ เพื่อสร้างเป็นสายอากาศแถวลำดับจากสายอากาศต้นแบบตัวเดียวจากที่ได้นำเสนอไว้ในบทที่แล้ว โดยโครงสร้างของสายอากาศจะเป็นแถวลำดับในแนวระนาบ 2 อิลลิเมนต์ มีแผ่นสะท้อนอยู่ด้านหลัง ซึ่งสายอากาศที่ได้นั้นจะมีแบบรูปการแผ่พลังงานแบบทิศทางเดียว และมีอัตราขยายที่สูงขึ้น เพื่อช่วยลดกำลังงานของเครื่องส่งลงได้ และนอกจากนี้ยังมีการออกแบบวงจรกำเนิดสัญญาณพัลส์สำหรับเครื่องส่งของเทคโนโลยีการสื่อสารอัลตราไวด์แบนด์ เพื่อใช้สำหรับการศึกษาและวิเคราะห์รูปแบบของสัญญาณที่ได้รับส่งของเทคโนโลยีการสื่อสารอัลตราไวด์แบนด์ ซึ่งจากการศึกษาทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับหลักการ

ทำงานของเทคโนโลยีการสื่อสารอัลตราไวด์แบนด์ที่ได้กล่าวไว้ในบทที่ผ่านมาพบว่าเทคโนโลยีการสื่อสารอัลตราไวด์แบนด์มีส่วนประกอบหลักที่สำคัญ คือ สายอากาศแบบแบนด์กว้างและวงจรกำเนิดสัญญาณพัลส์ โดยในส่วนของสายอากาศนั้นได้กล่าวแล้วข้างต้น และอีกส่วนหนึ่งที่สำคัญ คือ วงจรกำเนิดสัญญาณพัลส์ ซึ่งในส่วนของวงจรกำเนิดสัญญาณพัลส์นั้นมีการออกแบบด้วยไดโอดพินตัวแบบขึ้นร่วมกับการใช้สายประวิงเวลาไมโครสตริป และมีการประยุกต์ใช้วงจรกรองผ่านสูง RC ร่วมด้วย ซึ่งสามารถกำเนิดสัญญาณโมโนไซเคิลพัลส์ได้โดยตรงจากวงจรกำเนิดพัลส์แบบเกาส์ รวมทั้งมีการวิเคราะห์สัญญาณโมโนไซเคิลพัลส์ในโดเมนเวลา และในโดเมนความถี่ จากการทดสอบวงจรกำเนิดสัญญาณพัลส์ที่ทำการออกแบบ โดยวงจรกำเนิดสัญญาณพัลส์นั้นถูกสร้างบนแผ่นวงจรพิมพ์แบบ FR-4 และทำการวัดผลของวงจรกำเนิดสัญญาณพัลส์ที่ได้จากการออกแบบทั้งในโดเมนเวลาและโดเมนความถี่

โดยจากการทดสอบพบว่าสายอากาศแบบแกลวลำดับมีค่าอิมพีแดนซ์ที่ย่านความถี่ 3.1 GHz เท่ากับ $64.89+j34.39 \Omega$ ค่าอิมพีแดนซ์ของสายอากาศที่ความถี่ 5.1 GHz มีค่าเท่ากับ $40.21+j0.62 \Omega$ ค่าอิมพีแดนซ์ของสายอากาศที่ความถี่ 7.1 GHz มีค่าเท่ากับ $40.19+j8.94 \Omega$ และค่าอิมพีแดนซ์ของสายอากาศที่ความถี่ 9.1 GHz มีค่าอิมพีแดนซ์เท่ากับ $43.02-j2.76 \Omega$ มีความกว้างแถบประมาณ 122.22% หรือคิดเป็นอัตราส่วนของความถี่สูงสุดต่อความถี่ต่ำสุดได้ประมาณ 5 : 1 ครอบคลุมย่านความถี่ใช้งานสำหรับเทคโนโลยีการสื่อสารอัลตราไวด์แบนด์ มีอัตราส่วนคลื่นนิ่งน้อยกว่า 2 ตลอดย่าน มีอัตราการขยายเฉลี่ยอยู่ที่ประมาณ 6 dB รวมทั้งมีการวิเคราะห์สัญญาณโมโนไซเคิลพัลส์ในโดเมนเวลา และในโดเมนความถี่ จากการทดสอบวงจรกำเนิดสัญญาณพัลส์ที่ทำการออกแบบ โดยจากผลการทดลองพบว่าวงจรกำเนิดสัญญาณพัลส์สามารถกำเนิดสัญญาณโมโนไซเคิลพัลส์ได้แอมพลิจูดสูงสุด 576 mV มีความกว้างของพัลส์ 80 ns ที่ขนาดแอมพลิจูดสูงสุดลดลงครึ่งหนึ่ง และมีความกว้างของพัลส์ 100 ns ที่ 10% ของขนาดแอมพลิจูดสูงสุด สัมพันธ์กับความถี่ทำงานประมาณ 10 MHz และสัญญาณโมโนไซเคิลพัลส์ที่ได้มีแบนด์วิดท์ 10 MHz ของค่าความถี่กลางและครอบคลุมย่านความถี่ใช้งานช่วง 5 MHz–15 MHz โดยทำการวัดที่ระดับสัญญาณ -20 dB นอกจากนี้สัญญาณพัลส์แบบโมโนไซเคิลพัลส์ที่ได้นั้นมีการแกว่งแบบหน่วงของสัญญาณน้อยมาก สามารถนำไปประยุกต์ใช้งานกับระบบการสื่อสารอัลตราไวด์แบนด์ภายในอาคาร หรือการประยุกต์ใช้งานด้านการตรวจจับหรือการสื่อสารข้อมูลที่มีความถี่ต่ำและต้องการการทะลุทะลวงสูงได้ต่อไปในอนาคต

