

บทที่ 3

ระเบียบวิธีวิจัย

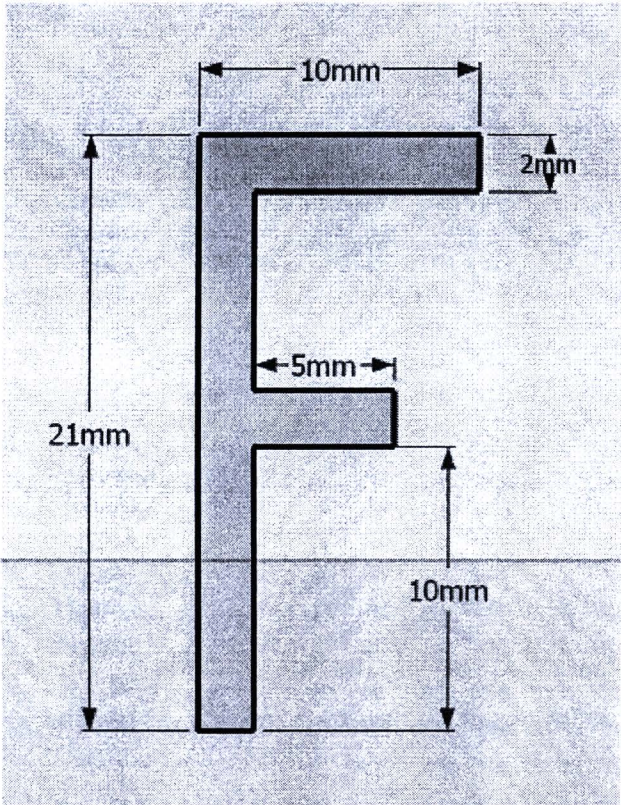
ในบทที่ 3 นี้จะกล่าวถึงหลักการและการออกแบบทีละขั้นตอน โดยเริ่มต้นจากหัวข้อที่ 3.1 ที่จะกล่าวถึงการออกแบบสายอากาศโมโนโพลบนแผ่นวงจรพิมพ์รูปตัว F ที่นำเสนอผ่านมาแล้ว หลังจากนั้น หัวข้อที่ 3.2 จะกล่าวถึงการออกแบบสายอากาศโมโนโพลบนแผ่นวงจรพิมพ์โครงสร้างใหม่ที่น่าสนใจ ซึ่งจะนำเสนอการออกแบบและพัฒนาโครงสร้างสายอากาศแบบใหม่ 2 แบบ คือ แบบที่มีปลายตรงลักษณะคล้ายกับตัว L หัวกลับและแบบที่มีปลายงอลงคล้ายรูปตัว C โดยสายอากาศที่น่าสนใจจะต้องสามารถรองรับการใช้งานที่ 2 ย่านความถี่และคุณสมบัติในการใช้งานเป็นไปตามที่ต้องการได้ ส่วนผลการทดสอบและเปรียบเทียบคุณสมบัติในการทำงานของสายอากาศเหล่านี้จะกล่าวถึงต่อไปในบทที่ 4 ต่อไป รายละเอียดของแต่ละหัวข้อมีดังนี้

3.1 การออกแบบสายอากาศโมโนโพลบนแผ่นวงจรพิมพ์รูปตัว F¹

สายอากาศโมโนโพลรูปตัว F (F-Shaped Monopole Antenna) บนแผ่นวงจรพิมพ์ FR-4 และมีกราวด์เพลนอยู่อีกด้านหนึ่ง¹ ได้ถูกจำลองขึ้นมาดังแสดงในภาพที่ 3.1 โดยความกว้างของสตริปตัวนำรูปตัว F มีค่าเท่ากันทั้งหมดเท่ากับ 2 mm สตริปตัวนำในแนวนอนด้านบนห่างจากสตริปตัวนำในแนวนอนด้านล่างประมาณ 6 - 8 mm ความยาวของสตริปตัวนำหรือสายอากาศโมโนโพล (ยาว $\lambda_g/4$) ด้านบนที่ใช้งานย่านความถี่ต่ำ 2.4 GHz มีความยาวเท่ากับ 23 mm และความยาวของสตริปตัวนำด้านล่างที่ใช้งานย่านความถี่สูง 5.25 GHz มีความยาวเท่ากับ 12 mm หลักการที่สำคัญที่ใช้ในการออกแบบสายอากาศโมโนโพลชนิดนี้ก็คือ “ความยาวของสตริปตัวนำที่ใช้งานรองรับย่านความถี่สูงที่วางตัวในแนวดิ่งเป็นส่วนหนึ่งของความยาวของสตริปตัวนำที่ใช้งานรองรับย่านความถี่ต่ำ” จากการเขียน โปรแกรมและจำลองตัวสายอากาศโมโนโพลรูปตัว F นี้ในทางทฤษฎีพบว่า ค่าการสูญเสียจากการย้อนกลับ (Return Loss หรือ S_{11}) ที่ได้รับมีค่าเท่ากับ -16.58 dB และ -10 dB ที่ค่าความถี่ 2.41 GHz และ 5.81 GHz ตามลำดับ ซึ่งจะพบว่า สายอากาศต้นนี้สามารถทำงานได้ดี

¹ S. H. Yeh and K. L. Wong. (2002, July). “Integrated F-shaped monopole antenna for 2.4/5.2 GHz dual-band operation.”

ตามต้องการ ณ ย่านความถี่ต่ำ 2.4 GHz แต่ที่ย่านความถี่สูงจะใช้งานได้จริงเลื่อนออกไปจากค่าความถี่ 5.25 GHz ที่ต้องการ ซึ่งอาจจะเป็นผลกระทบที่เกิดขึ้นจากกราวด์เพลนและขนาดของ สตริปตัวนำที่อาจจะต้องมีการปรับปรุง จึงส่งผลกระทบโดยตรงต่อค่าสูญเสียจากการย้อนกลับที่ค่าความถี่ออกแบบ 5.25 GHz และแบบภาพการแพร่กระจายคลื่นที่ย่านความถี่สูงมีมากกว่าที่ย่านความถี่ต่ำ โดยกราฟของค่าสูญเสียจากการย้อนกลับจะแสดงไว้ในบทที่ 4 หัวข้อผลการทดสอบ



ภาพที่ 3.1 สายอากาศโมโนโพลบนแผ่นวงจรพิมพ์รูปตัว F

3.2 การออกแบบสายอากาศโมโนโพลบนแผ่นวงจรพิมพ์โครงสร้างใหม่ที่นำเสนอ

จากหลักการที่ใช้ในการออกแบบสายอากาศที่ทำงาน 2 ย่านความถี่ โดยนำความยาวของ สตริปตัวนำขนาด $\lambda_g/4$ ที่ใช้งานย่านความถี่สูงมาเป็นส่วนหนึ่งของความยาวของสตริปตัวนำ ขนาด $\lambda_g/4$ ที่ใช้งานย่านความถี่ต่ำมีความเป็นไปได้ ดังที่กล่าวไปแล้วในหัวข้อที่ 3.1 จึงนำหลักการ ดังกล่าวไปใช้การออกแบบสายอากาศโมโนโพลบนแผ่นวงจรพิมพ์ที่มีแนวโน้มว่าจะสามารถ นำเสนอโครงสร้างใหม่ได้

จากหลักการที่ใช้ในการออกแบบและสร้างสายอากาศโมโนโพลบนแผ่นวงจรพิมพ์ และจากการใช้เขียนโปรแกรมและจำลองตัวสายอากาศในทางทฤษฎี จึงทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ สามารถที่จะนำเสนอสายอากาศโมโนโพลบนแผ่นวงจรพิมพ์ที่มีโครงสร้างใหม่และสามารถรองรับการใช้งาน 2 ย่านความถี่ตามที่ต้องการได้ โดยตัวโมโนโพลโครงสร้างใหม่ที่น่าสนใจจะถูกสร้างลงบนแผ่นวงจรพิมพ์ FR-4 ที่มีความหนาเป็น h มีค่าคงตัวไดอิเล็กตริกเป็น ϵ_R และอาศัยกราวด์เพลนของสายนำสัญญาณแบบไมโครสตริปเป็นกราวด์เพลนของสายอากาศ และมีการป้อนกำลังงานแก่สายอากาศผ่านสายนำสัญญาณแบบไมโครสตริป เนื่องจาก FR-4 เป็นแผ่นวงจรพิมพ์ที่มีราคาถูกและหาซื้อง่ายในประเทศไทย อีกทั้งการออกแบบและสร้างสายอากาศที่น่าสนใจนี้มีค่าความถี่ใช้งานไม่เกิน 3 – 4 GHz จึงทำให้สร้างบนแผ่นวงจรพิมพ์ FR-4 ได้อย่างไม่มีปัญหา

แต่เนื่องจากสายอากาศโมโนโพลที่น่าสนใจถูกสร้างขึ้นบนแผ่นวงจรพิมพ์ ดังนั้นค่าความยาวคลื่นที่ใช้ในการสร้างสายอากาศจึงมีค่าไม่เท่ากับค่าความยาวคลื่นในอากาศ ($\lambda \neq \lambda_0$) ซึ่งหาค่าจากสมการที่ 1 ดังนี้

$$\lambda_g \approx \frac{\lambda_0}{\sqrt{\epsilon_{eff}}} \quad (1)$$

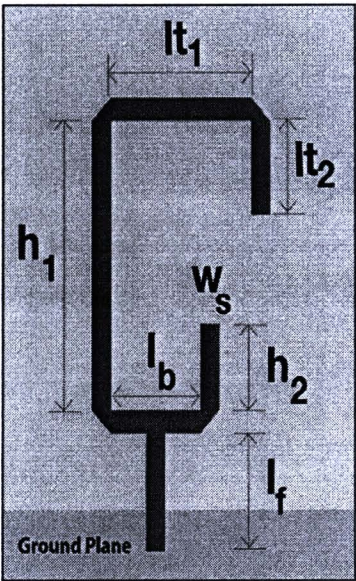
เมื่อ $\lambda_0 = c/f$ เป็นค่าความยาวคลื่นในอากาศ, λ_g เป็นค่าความยาวคลื่นในแผ่นวงจรพิมพ์ (Guided Waveguide) และ ϵ_{eff} เป็นค่าคงที่ไดอิเล็กตริกสัมพัทธ์ (Relative Permittivity) ที่ซึ่งเราไม่สามารถจะนำเอาของสมการที่เกี่ยวข้องกับสายนำสัญญาณไมโครสตริปมาใช้ได้ เพราะแผ่นวงจรพิมพ์ที่สร้างสายอากาศโมโนโพลนี้ไม่มีกราวด์เพลน แต่เราสามารถที่จะประมาณค่า ϵ_{eff} นี้ได้จากสมการที่ 2¹

$$\epsilon_{eff} \approx 1 + \frac{\epsilon_R - 1}{2} \left\{ 1 - \left[\frac{w_s/h}{1 + w_s/h} \right] \right\} \quad (2)$$

เมื่อ w_s เป็นความกว้างของสตริป จากการใช้แผ่นวงจรพิมพ์ FR-4 ที่พิจารณาค่า $h = 1.6$ mm และ $\epsilon_R = 4.9$ อีกทั้งสายอากาศโมโนโพลนี้ถูกป้อนกำลังงานผ่านสายนำสัญญาณไมโครสตริป 50 โอห์ม จึงทำให้ได้ค่าความกว้างของสายนำสัญญาณไมโครสตริปมีค่าเท่ากับ 3 mm หลังจากนั้น จะคำนวณหาค่า ϵ_{eff} มีค่าเท่ากับ 1.678 ซึ่งจะนำค่า ϵ_{eff} นี้ไปแทนค่าในสมการที่ 1 เพื่อหาค่าความยาวของสายอากาศโมโนโพลที่ใช้งาน ณ ย่านความถี่ต่ำและสูงที่ต้องการ

¹ C. Laohapensaeng, C. Free, and K.M. Lum. (2005, March). "Printed strip monopole antenna with the parasitic elements on the circular ground plane." *IWAT 2005*. pp. 371 - 374.

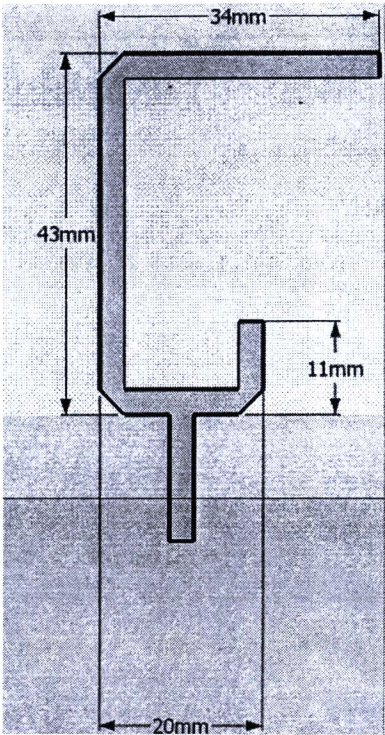
ทั้งนี้ ตัวโมโนโพลโครงสร้างใหม่ที่นำเสนอก็จะมีค่าความกว้างของสตริปตัวนำเท่ากับ 3 mm ทั้งหมดเช่นกัน ในที่นี้ จะกำหนดสัญลักษณ์ความยาวต่างๆ ของสายอากาศที่นำเสนอเพื่อใช้ในการคำนวณดังในภาพที่ 3.2



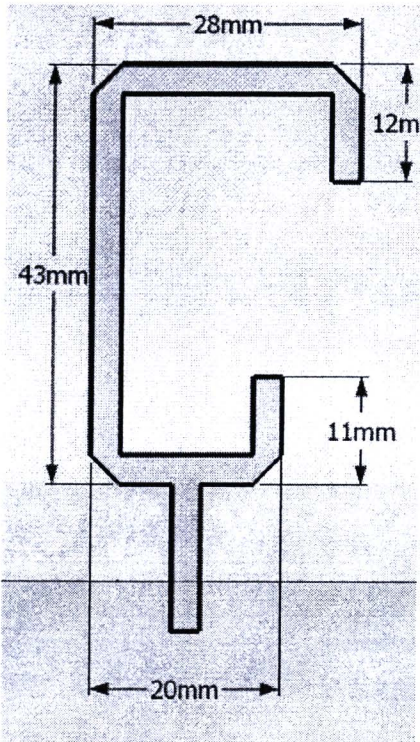
ภาพที่ 3.2 สัญลักษณ์ความยาวต่างๆ ของสายอากาศที่นำเสนอ

โดยการทำงานของสายอากาศที่ย่านความถี่ต่ำจะถูกกำหนดให้มีความถี่กลางเท่ากับ 850 MHz ดังนั้น ความยาวของสายอากาศโมโนโพลที่ทำงานย่านความถี่ต่ำนี้จะมีค่าเท่ากับ $L_{low} = h_1 + l_{t1} + l_{t2} = \lambda_{gl}/4$ ส่วนที่ย่านความถี่สูงจะถูกกำหนดให้มีความถี่กลางเท่ากับ 2.25 GHz ดังนั้น ความยาวของสายอากาศโมโนโพลที่ทำงานย่านความถี่สูงมีค่าเท่ากับ $L_{high} = l_{t1} = \lambda_{gh}/4$ โดยจะใช้ความยาว l_{t2} และ h_2 ทำหน้าที่ในการปรับการแมทซ์ซึ่งอิมพีแดนซ์ (Impedance Matching) ให้ได้คุณสมบัติการทำงานของสายอากาศตามที่ต้องการ

จากหลักการออกแบบที่กล่าวมาข้างต้นทั้งหมด จึงทำให้เกิดโครงสร้างสายอากาศแบบใหม่ 2 แบบ คือ แบบที่มีปลายตรงลักษณะคล้ายกับตัว L หัวกลับและแบบที่มีปลายโค้งลงลักษณะคล้ายรูปตัว C (โครงสร้างแบบหลังนี้จะถูกเรียกย่อๆ ต่อไปนี้ว่า “รูปตัว C”) ดังแสดงในภาพที่ 3.3 และ 3.4 ตามลำดับ ซึ่งวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้นำเสนอ 2 โครงสร้างใหม่นี้ดังกล่าวเพื่อแสดงให้เห็นถึงลำดับขั้นของการพัฒนาสายอากาศโมโนโพลที่นำเสนอและแสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพการทำงานของสายอากาศโมโนโพลที่นำเสนอ ก่อนที่จะได้รับสายอากาศโมโนโพลโครงสร้างรูปสุดท้ายที่มีคุณสมบัติในการทำงานที่ดีที่สุดและตอบสนองต่อความต้องการในการออกแบบได้



ภาพที่ 3.3 สายอากาศโมโนโพลบนแผ่นวงจรพิมพ์แบบที่มีปลายตรงลักษณะคล้ายตัว L กลับหัว



ภาพที่ 3.4 สายอากาศโมโนโพลบนแผ่นวงจรพิมพ์แบบที่มีปลายงอคล้ายรูปตัว C

จากสมการที่ 1 และ 2 เราสามารถคำนวณหาค่าความยาว (L) ของสายอากาศโมโนโพล ในหน่วย mm ที่สร้างขึ้นมาใช้งานในอากาศกับที่สร้างขึ้นใช้งานบนแผ่นวงจรพิมพ์ในทางทฤษฎี ซึ่งค่าที่คำนวณได้มีแสดงไว้ในตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 ค่าความยาวของสายอากาศโมโนโพล (หน่วย mm)

ค่า L ที่ใช้งานในอากาศ	ค่า L ที่ใช้งานบนแผ่นวงจรพิมพ์
$L_{low} \approx \frac{\lambda_0}{4} = 88.23 \text{ mm}$ (ที่ความถี่ 850 MHz)	$L_{low} \approx \frac{\lambda_{gl}}{4} = 67.9 \approx 68 \text{ mm}$
$L_{high} \approx \frac{\lambda_0}{4} = 33.33 \text{ mm}$ (ที่ความถี่ 2.25 GHz)	$L_{high} \approx \frac{\lambda_{gh}}{4} = 25.6 \approx 26 \text{ mm}$