บทที่ 1

บทนำ

ความเบื้องต้น

การที่จะออกแบบให้สายอากาศนั้น ๆ มีแบบรูปการแผ่พลังงาน (radiation Pattern) ได้ตามต้องการเพื่อบรรลุตามจุดประสงค์ต่าง ๆ ของงานนั้น การทำงานในลักษณะของสายอากาศอาเรย์ ยกตัวอย่างเช่น กลุ่มสายอากาศไดโพล แผงสายอากาศไมโครสตริป ก็เป็นทางเลือกอีกทางหนึ่งในการออกแบบ การทำงานของสายอากาศอาเรย์นั้นทำให้ประสิทธิภาพในการแผ่กระจายคลื่นสูง ความกว้างของลำคลื่นหลักมีค่าน้อยเป็นเหตุให้อัตราขยาย (gain) สูงขึ้นและมีความยืดหยุ่นในการปรับเปลี่ยนได้สูงหากมีการออกแบบที่ดี แต่เมื่อเลือกใช้งานในลักษณะที่เป็นแผงหรือกลุ่มสายอากาศนั้น ก็จะมีปรากฏการณ์มิวชวลคัปปลิงเกิดขึ้นระหว่างองค์ประกอบของสายอากาศ ปรากฏการณ์ดังกล่าวเป็นผลจากการแผ่พลังงานออกมาในรูปของสนามแม่เหล็กไฟฟ้าจากแต่ละองค์ประกอบ โดยที่สนามนี้จะเหนี่ยวนำให้เกิดความเปลี่ยนแปลงต่าง ๆ ขึ้นที่องค์ประกอบใกล้เคียง ทำให้การกระจายกระแส (current distribution) มีการเปลี่ยนแปลง โดยองค์ประกอบที่ใกล้ที่สุดจะได้รับผลกระทบนี้มากที่สุด และปรากฏการณ์นี้จะนำไปสู่การเปลี่ยนแปลงของแบบรูปการแผ่พลังงานในลักษณะที่เป็นไปตามต้องการหรือไม่ก็ได้ ซึ่งถือได้ว่าเป็นข้อจำกัดอย่างหนึ่งในการออกแบบสายอากาศนอกเหนือไปจากจำนวนองค์ประกอบ (number of elements) ระยะห่างระหว่างองค์ประกอบ (element Spacing) ขนาดของแผงสายอากาศ (physical size of the array) และอื่น ๆ ที่มีผลต่ออัตราขยาย (gain) ความกว้างของลำคลื่นหลัก เป็นต้น ซึ่งผลจากการศึกษาการคัปปลิงระหว่างองค์ประกอบแผงสายอากาศนั้น จะสามารถทำให้รู้ถึงผลกระทบที่เกิดขึ้นต่อแบบรูปการแผ่พลังงานและจะทำให้สามารถออกแบบและใช้งานสายอากาศนั้นอย่างมีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น

ปัญหามิวชวลคัปปลิง

เพื่อเป็นการมองปัญหามิวชวลคัปปลิงให้ชัดเจนขึ้น ในเบื้องต้นจะทำการวิเคราะห์มิวชวลคัปปลิงระหว่างองค์ประกอบของกลุ่มสายอากาศไดโพลโดยจะพิจารณาจากหลักการของมิวชวลอิมพีแดนซ์ ด้วยเหตุที่ต้องพิจารณาสนามแม่เหล็กไฟฟ้าระยะใกล้ที่แผ่ออกมาตกกระทบที่องค์ประกอบใกล้เคียงเช่นกัน และเนื่องจากสายอากาศไดโพลเป็นสายอากาศที่นิยมใช้กันทั่วไปและมีลักษณะทางกายภาพสะดวกต่อการทำความเข้าใจ

มิวชวลคัปปลิงระหว่างองค์ประกอบของกลุ่มสายอากาศไดโพล

ในการพิจารณาผลกระทบระหว่างองค์ประกอบของสายอากาศ ดังรูป 1.1 ซึ่งสมมติว่ากลุ่มสายอากาศไดโพลมีอยู่ 2 องค์ประกอบ โดยที่สายอากาศตัวที่ 1 ได้รับแรงดัน V_1 และมีกระแสที่ตำแหน่งป้อนแรงดันเท่ากับ I_1 และถ้าขั้วของสายอากาศตัวที่ 2 นั้นเปิดวงจร จะมีการแผ่พลังงานในรูปของสนามแม่เหล็กไฟฟ้า (ดังแสดงในรูป 1.1 ก (ลูกศร)) ออกมาจากสายอากาศตัวที่ 1 และสนามนี้เหนี่ยวนำให้เกิดแรงดันที่ขั้วของสายอากาศตัวที่ 2 คือ V_{21} โดยที่อิมพีแดนซ์ร่วม (Z_{21}) คือ

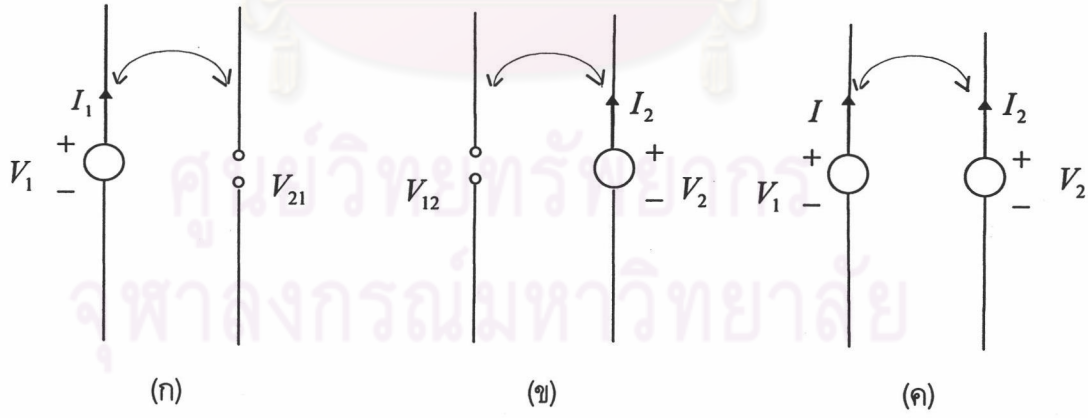
$$Z_{21} = \frac{V_{21}}{I_1} \tag{1.1}$$

ในทำนองเดียวกัน

$$Z_{12} = \frac{V_{12}}{I_2} \tag{1.2}$$

ซึ่ง V_{12} คือแรงดันของวงจรเปิดที่คร่อมระหว่างขั้วของสายอากาศตัวที่ 1 เนื่องจากกระแส I_2 ที่ไหลอยู่ในสายอากาศตัวที่ 2 และจากทฤษฎีบทภาวะย้อนกลับของลอเรนซ์ (Lorrentz's reciprocity theorem) จะได้

$$Z_{12} = Z_{21} \tag{1.3}$$



(ก) (ข) (ค)

รูป 1.1 ผลกระทบระหว่างองค์ประกอบของสายอากาศ

แต่ถ้าสายอากาศทั้ง 2 ตัวต่างก็ได้รับแรงดัน (applied voltage) ดังรูป 1.1 ค. ทำให้ได้

$$V_1 = I_1 Z_{11} + I_2 Z_{12} \tag{1.4}$$

$$V_2 = I_1 Z_{21} + I_2 Z_{22} \tag{1.5}$$

ซึ่ง Z_{11} ก็คือ ความต้านทานที่วัดที่ขั้วของสายอากาศตัวที่ 1 เมื่อเปิดวงจรที่ขั้วของสายอากาศตัวที่ 2 และเช่นเดียวกัน Z_{22} คือ ความต้านทานที่วัดที่ขั้วของสายอากาศตัวที่ 2 เมื่อเปิดวงจรที่ขั้วของสายอากาศตัวที่ 1 โดยที่สมการ (1.4) และ (1.5) สามารถเขียนได้เป็น

$$\frac{V_1}{I_1} = Z_{11} + Z_{12}\frac{I_2}{I_1} \tag{1.6}$$

$$\frac{V_2}{I_2} = Z_{21}\frac{I_1}{I_2} + Z_{22} \tag{1.7}$$

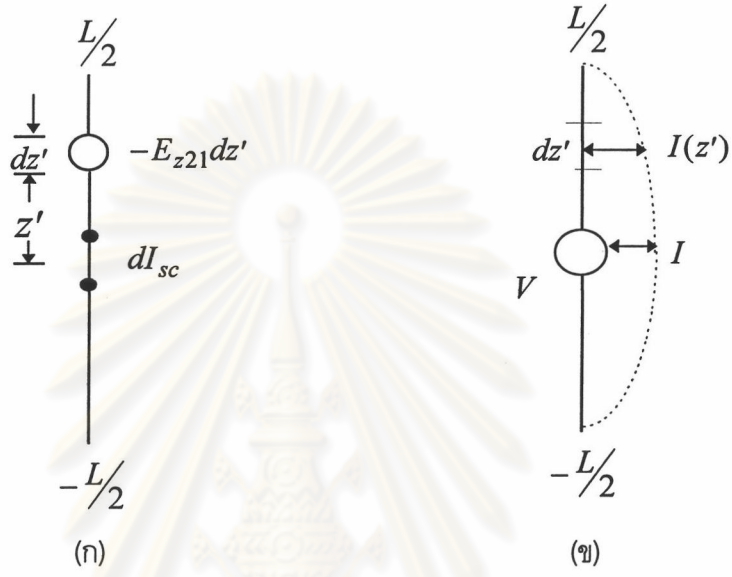
ซึ่งอิมพีแดนซ์ขาเข้า (V_1/I_1 และ V_2/I_2) คือค่าความต้านทานที่จะต้องออกแบบในระบบการป้อนกำลังแก่สายอากาศ สมการ (1.6) และ (1.7) แสดงให้เห็นว่าค่าความต้านทานนี้ขึ้นอยู่กับอัตราส่วนของกระแสและอิมพีแดนซ์ร่วม และสำหรับกรณีทั่วไปของสายอากาศที่มีองค์ประกอบ N ตัว จะได้

$$\begin{aligned} V_1 &= I_1 Z_{11} + I_2 Z_{12} + \ldots + I_N Z_{1N} \\ V_2 &= I_1 Z_{21} + I_2 Z_{22} + \ldots + I_N Z_{2N} \\ &\vdots \quad\quad \vdots \quad\quad \vdots \quad\quad\quad \vdots \\ V_N &= I_1 Z_{N1} + I_2 Z_{N2} + \ldots + I_N Z_{NN} \end{aligned} \tag{1.8}$$

ในการคำนวณอิมพีแดนซ์ร่วม (Z_{21}) ในสมการ (1.1) นั้นจะต้องหาแรงดันของวงจรปิดที่ขั้วของสายอากาศตัวที่ 2 (V_{21}) เนื่องมาจากกระแส I_1 ที่สายอากาศตัวที่ 1 พิจารณาสายอากาศตัวที่ 2 ซึ่งได้รับพลังงานคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้ามาจากตัวที่ 1 ส่วนของสายอากาศ dz' บนสายอากาศตัวที่ 2 ซึ่งมีระยะทางห่างจากขั้วตรงกลางเท่ากับ z' และกำหนดให้องค์ประกอบของสนามไฟฟ้าที่ตกกระทบเข้ามาซึ่งขนานกับสายอากาศคือ E_{z21} ดังนั้นสนามที่ถูกเหนี่ยวนำภายใน dz' จะเป็น

$$E_{Zi} = -E_{Z21} \tag{1.9}$$

ซึ่งสนามไฟฟ้ารวมจะต้องมีค่าเป็นศูนย์สำหรับตัวนำสมบูรณ์ ทำให้แรงเคลื่อนไฟฟ้าที่ถูกเหนี่ยวนำใน dz' มีค่าเท่ากับ $-E_{z21}dz'$ ถ้าที่ขั้วตรงกลางสายอากาศนั้นถูกลัดวงจร แรงเคลื่อนไฟฟ้านี้จะทำให้มีกระแสไหลคร่อมขั้วนั่นคือ dI_{sc} ซึ่งแสดงดังรูป 1.2 ก.



รูป 1.2 บทประยุกต์ของทฤษฎีบทย้อนกลับ
ก) เมื่อสายอากาศมีสนามมาตกกระทบ
ข) เมื่อสายอากาศเป็นสายอากาศส่ง

ถ้าพิจารณาโดยให้สายอากาศตัวที่ 2 เป็นสายอากาศส่ง (transmitter antenna) ให้ V คือ แรงดันที่ขั้วตรงกลางของสายอากาศและมีการกระจายกระแส $I_2(z')$ ดังรูป 1.2 ข. และจากทฤษฎีบทภาวะย้อนกลับของลอเรนซ์ทำให้ได้

$$\frac{-E_{z21}dz'}{dI_{sc}} = \frac{V}{I_2(z')}$$

หรือ

$$dI_{sc} = -E_{z21}dz'\frac{I_2(z')}{V} \qquad (1.10)$$

ดังนั้น ผลรวมของกระแสลัดวงจร I_{sc} ซึ่งเนื่องมาจากแรงเคลื่อนไฟฟ้าทั้งหมดซึ่งเหนี่ยวนำทั้งสายอากาศคือ

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

$$I_{sc} = -\frac{1}{V}\int E_{z21} I_2(z')dz' \qquad (1.11)$$

โดยที่ค่าแรงดันของวงจรเปิด V_{21} มีค่าเท่ากับกระแสลัดวงจร I_{sc} คูณด้วยความต้านทานของสายอากาศ Z_{22}

$$V_{21} = I_{sc}Z_{22} = -\frac{Z_{22}}{V}\int E_{z21} I_2(z')dz' \qquad (1.12)$$

ซึ่ง $Z_{22} = V/I_2$ จะได้

$$V_{21} = -\frac{1}{I_2}\int E_{z21} I_2(z')dz' \qquad (1.13)$$

โดยนำสมการ (1.13) แทนในสมการ (1.1) ดังนั้น

$$Z_{21} = -\frac{1}{I_1 I_2}\int E_{z21} I_2(z')dz' \qquad (1.14)$$

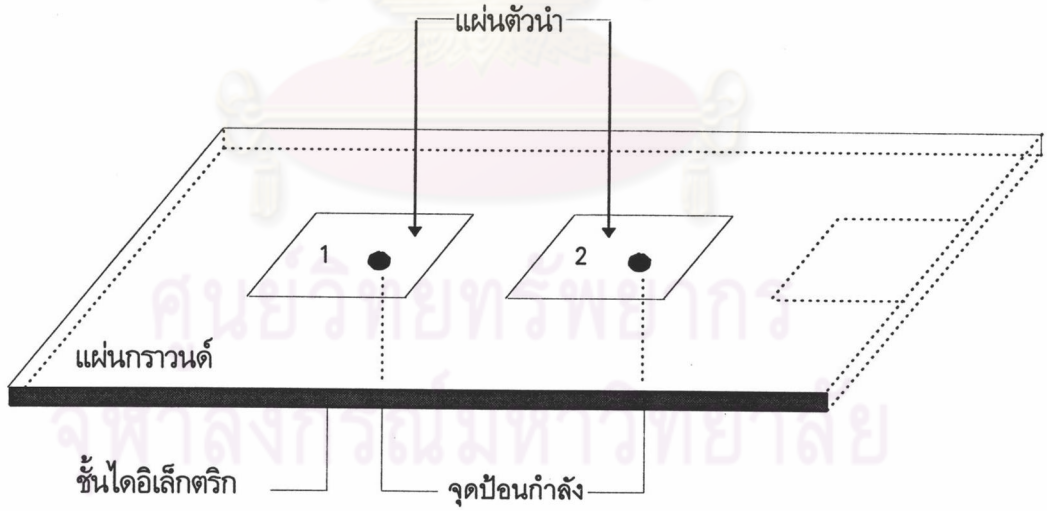
สมการ (1.14) แสดงถึงอิมพีแดนซ์ร่วม ในพจน์ของการอินทีกรัลในรูปผลคูณขององค์ประกอบของสนามไฟฟ้าที่ตกกระทบในแนวขนานกับสายอากาศ (E_{z21}) และการกระจายกระแสในสายอากาศ ($I_2(z')$) เมื่อพิจารณาเป็นสายอากาศส่ง และเช่นเดียวกันการวิเคราะห์ปรากฏการณ์มิวชวลคัปปลิงก็จะต้องพิจารณาหาสนามแม่เหล็กไฟฟ้าที่ตกระทบที่องค์ประกอบอื่น ๆ เพื่อที่จะหาผลกระทบจากสนามแม่เหล็กไฟฟ้าดังกล่าวในขั้นต่อไป

<u>มิวชวลคัปปลิงระหว่างองค์ประกอบของแผงสายอากาศไมโครสตริป</u>

ในการวิเคราะห์การเกิดปรากฏการณ์มิวชวลคัปปลิงในแผงสายอากาศไมโครสตริปนั้น ในงานส่วนมากจะเป็นการวิเคราะห์มิวชวลอิมพีแดนซ์ดังเช่นงานของ Pozar(1982),,Mohammadian, Martin and Griffin(1989),Benalla(1990),Bird,(1991),Perez and Encinar(1991) และ Huynh(1992) เป็นต้น แต่วิทยานิพนธ์นี้เป็นการวิเคราะห์ผลกระทบของปรากฏการณ์มิวชวลคัปปลิงที่เกิดขึ้นต่อแบบรูปการแผ่พลังงาน โดยที่จะต้องศึกษาและวิเคราะห์สายอากาศไมโครสตริปที่มีลักษณะเป็นองค์ประกอบเดียวก่อน เพื่อทำความ

เข้าใจถึงลักษณะสมบัติต่าง ๆ และเป็นพื้นฐานในการพิจารณากรณีที่เป็นแผงสายอากาศและปรากฏการณ์มิวชวลคัปปลิงที่เกิดขึ้นต่อไป และการวิเคราะห์สายอากาศแบบไมโครสตริปนั้นจำเป็นต้องเข้าใจถึงแบบจำลองทางกายภาพ (physical model) ของสายอากาศ ในวิทยานิพนธ์นี้จะใช้แบบจำลองทางกายภาพชนิดโพรง (ซึ่งจะกล่าวต่อไปในบทที่ 2) ช่วยในการวิเคราะห์สายอากาศไมโครสตริป

ในการวิเคราะห์แบบรูปการแผ่พลังงานของแผงสายอากาศโดยทั่วไปนั้น อาจหาได้จากผลคูณแบบรูป (pattern multiplication) ซึ่งจะต้องพิจารณาหาตัวประกอบแถวลำดับ (array factor) แต่จะไม่ได้คำนึงถึงปรากฏการณ์มิวชวลคัปปลิงที่เกิดขึ้นระหว่างองค์ประกอบของสายอากาศ ซึ่งก่อให้เกิดความเปลี่ยนแปลงของการกระจายกระแสขึ้นที่องค์ประกอบใกล้เคียง และนำไปสู่แบบรูปการแผ่พลังงานที่เปลี่ยนไป เช่น ลำคลื่นหลัก (main beam) อาจผิดเพี้ยนไป อาจจะมีพูข้าง (side lobe) เกิดขึ้น เป็นต้น ซึ่งในการวิเคราะห์การเกิดปรากฏการณ์มิวชวลคัปปลิงนั้นจะมีลักษณะที่คล้ายกับการวิเคราะห์อิมพีแดนซ์ร่วมโดยวิธีการวิเคราะห์จะพิจารณาทีละองค์ประกอบ (element by element approach) โดยจะต้องวิเคราะห์หาสนามแม่เหล็กไฟฟ้าที่เกิดขึ้นภายในโพรงซึ่งสนามแม่เหล็กไฟฟ้าภายในโพรงนี้จะทำหน้าที่เป็นแหล่งกระแสไฟฟ้าเสมือนหรือแหล่งกระแสแม่เหล็กเสมือนที่ก่อให้เกิดสนามแม่เหล็กไฟฟ้าภายนอกโพรง ซึ่งนำไปสู่การเหนี่ยวนำให้เกิดกระแสขึ้นตามเงื่อนไขขอบเขตขององค์ประกอบข้างเคียง โดยรูป 1.3 เป็นลักษณะของแผงสายอากาศไมโครสตริปที่ใช้วิเคราะห์ปรากฏการณ์มิวชวลคัปปลิงที่เกิดขึ้นระหว่างองค์ประกอบ



รูป 1.3 แผงสายอากาศไมโครสตริปที่ใช้วิเคราะห์มิวชวลคัปปลิง

เค้าโครงของวิทยานิพนธ์

เมื่อพอจะเข้าใจถึงปัญหามิวชวลคัปปลิงที่เกิดขึ้นระหว่างองค์ประกอบของสายอากาศแล้ว ในบทต่อไปจะวิเคราะห์ถึงลักษณะสมบัติต่าง ๆ ของสายอากาศไมโครสตริป ที่มีลักษณะเป็นองค์ประกอบเดียวด้วยแบบจำลองชนิดโพรง เพื่อเป็นพื้นฐานในการพิจารณากรณีที่เป็นแผงสายอากาศไมโครสตริปและปรากฏการณ์มิวชวลคัปปลิงที่เกิดขึ้นต่อไป ส่วนในบทที่ 3 จะเป็นการวิเคราะห์ปรากฏการณ์มิวชวลคัปปลิงและผลกระทบที่มีต่อแบบรูปการแผ่พลังงานของแผงสายอากาศไมโครสตริปที่มีองค์ประกอบตั้งแต่ 2 องค์ประกอบ ในบทที่ 4 จะเป็นผลการวิเคราะห์ ส่วนในบทสุดท้ายจะเป็นบทสรุปและข้อเสนอแนะในการออกแบบแผงสายอากาศไมโครสตริปให้มีสมรรถนะสูง

วัตถุประสงค์

เพื่อศึกษา และวิเคราะห์การเกิดปรากฏการณ์ที่เรียกว่า มิวชวลคัปปลิงของสายอากาศไมโครสตริปและผลกระทบของมิวชวลคัปปลิงที่มีต่อแบบรูปการแผ่พลังงาน เพื่อที่จะรู้ถึงทิศทางการแผ่กระจายคลื่นที่แท้จริง และจะเป็นสิ่งหนึ่งในการออกแบบที่ทำให้สายอากาศมีประสิทธิภาพสูง

ขอบเขตของการวิจัย

1. ศึกษาสายอากาศแบบไมโครสตริป และลักษณะที่เป็นแผงสายอากาศไมโครสตริป
2. ศึกษาปรากฏการณ์มิวชวลคัปปลิงที่เกิดขึ้ นในแผงสายอากาศ โดยเฉพาะที่เป็นแผงสายอากาศแบบไมโครสตริป
3. หาผลกระทบที่เกิดจากปรากฏการณ์มิวชวลคัปปลิง ต่อแบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศไมโครสตริป

ขั้นตอนและวิธีการดำเนินการวิจัย

1. ค้นคว้า ศึกษาข้อมูลเกี่ยวกับโครงสร้างของสายอากาศไมโครสตริป
2. วิเคราะห์ลักษณะสมบัติของสายอากาศไมโครสตริปด้วยแบบจำลองชนิดโพรง
3. วิเคราะห์ปรากฏการณ์มิวชวลคัปปลิง และผลกระทบที่เกิดขึ้นต่อแบบรูปการแผ่พลังงาน
4. สรุปผลการวิจัย
5. เขียนและพิมพ์วิทยานิพนธ์

ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย

1. เรียนรู้วิธีการวิเคราะห์สายอากาศไมโครสตริปด้วยวิธีแบบจำลองชนิดโพรง
2. ทราบถึงปรากฏการณ์มิวชวลคัปปลิงที่เกิดขึ้น
3. ผลการศึกษาที่ได้จะสามารถทำให้ทราบถึงแบบรูปการแผ่พลังงานที่คำนึงถึงผลของมิวชวลคัปปลิงและด้วยเหตุนี้จะทำให้ใช้งานสายอากาศได้อย่างมีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น
4. สามารถนำโปรแกรมที่เขียนขึ้นเพื่อวิเคราะห์สายอากาศไปพัฒนาต่อเป็นโปรแกรมช่วยในการออกแบบแผงสายอากาศไมโครสตริปได้

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย