

บทที่ 3

วิธีการดำเนินงาน

ในการสร้างระบบตรวจสอบหาตำแหน่งโลหะในคอนกรีตด้วยคลื่นมีการวางแผนการดำเนินงานในส่วนต่างๆ ซึ่งได้กำหนดแผนการในการดำเนินงานดังนี้

3.1 แผนการดำเนินงาน

การวางแผนดำเนินงานสร้างระบบตรวจสอบหาตำแหน่งโลหะในคอนกรีตด้วยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า เริ่มจากการหาข้อมูลเบื้องต้น ศึกษาข้อมูลในส่วนของทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง จากนั้นทำการออกแบบวงจรโดยรวมของระบบฯ สั่งซื้อจัดหาวัสดุและอุปกรณ์ต่างๆ ที่ต้องนำมาใช้สำหรับสร้างวงจรจริง วัดและทดสอบอุปกรณ์ในส่วนต่างๆ เพื่อตรวจสอบการทำงานว่าตรงตามคุณสมบัติของอุปกรณ์นั้นๆ หรือไม่ นำอุปกรณ์ที่ทำการวัดและทดสอบแล้วมาประกอบเป็นตัวชิ้นงาน ทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องโดยนำไปตรวจหาโลหะในคอนกรีตที่มีขนาดต่างๆ กัน สุดท้ายคือวิเคราะห์ ปรับปรุงข้อผิดพลาดและสรุปการวิจัยครั้งนี้ แผนการดำเนินงานดังกล่าวแสดงดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 แผนการดำเนินงานการระบบตรวจสอบหาตำแหน่งโลหะในคอนกรีตด้วยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

กิจกรรม \ เดือน	1-3	4-6	7-8	9-12	13-17	18-19	20-21	22	23	24
ทำการทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง										
ออกแบบระบบเครื่องตรวจโลหะในโครงสร้างคอนกรีต										
ออกแบบส่วนเชื่อมต่อ (Interface)										
จัดซื้อวัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ในการสร้างเครื่องตรวจหาโลหะในโครงสร้างคอนกรีต										
สร้างเครื่องตรวจหาตำแหน่งโลหะฯ										
ทำการทดสอบประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องและปรับปรุงจุดบกพร่อง										
เก็บข้อมูลจากทดสอบเครื่องกับชิ้นที่สร้าง										
วิเคราะห์และสรุปผลการทดลอง										
เผยแพร่งานวิจัยและส่งรายงานฉบับสมบูรณ์										

..... แสดงแผนการดำเนินงาน

————— แสดงการดำเนินงานจริง

หมายเหตุ การดำเนินงานจริงล่าช้าจากแผนการดำเนินการที่วางไว้เนื่องจากสาเหตุปัญหาการสั่งซื้ออุปกรณ์จากต่างประเทศใช้เวลานานไม่สามารถควบคุมได้และในส่วนการสร้างเครื่องสาเหตุที่ล่าช้าเนื่องจากเกิดอุทกภัยที่มหาวิทยาลัยฯ ทำให้ไม่สามารถดำเนินการได้

3.2 หลักการออกแบบ

หลักการออกแบบระบบตรวจหาตำแหน่งโลหะในคอนกรีตมีแนวคิดการออกแบบโดยแบ่งส่วนประกอบของระบบเป็น 4 ส่วนใหญ่อธิบายได้ดังต่อไปนี้

3.2.1 ส่วนวงจรกำเนิดสัญญาณระบบตรวจหาตำแหน่งโลหะในคอนกรีตนั้น ส่วนที่สำคัญคือ วงจรสร้างความถี่ซึ่งมีการเลือกใช้งานจอร์อสซิลเลเตอร์แบบควบคุมด้วยแรงดัน (Voltage Controlled Oscillator) ซึ่งจะใช้งานที่ทำงานผลิตสัญญาณที่มีความถี่ประมาณ 4.2 กิกะเฮิรตซ์ อยู่ในช่วงความถี่ที่รองรับการใช้ระบบงานเรดาร์ทะลุผ่านพื้นดิน (Ground Penetrating Radar: GPR) ตามมาตรฐาน Federal Communication Commission (FCC)

3.2.2 ส่วนสายอากาศ ในระบบตรวจหาโลหะได้เลือกใช้สายอากาศชนิดปากแตรในการรับและส่งสัญญาณเพื่อตรวจหาตำแหน่งโลหะในคอนกรีตเนื่องจากสามารถกำหนดทิศทางของการส่งสัญญาณได้ โดยเลือกใช้สายอากาศที่รองรับการส่งสัญญาณที่มีความถี่กลางความถี่ 4.2 กิกะเฮิรตซ์ มีกำลังงานขยายไม่น้อยกว่า 10 dBi ซึ่งสายอากาศสามารถรองรับความถี่สัญญาณที่ผลิตได้จากวงจรกำเนิดสัญญาณ

3.2.3 ส่วนการวิเคราะห์และประเมินผลของระบบตรวจหาโลหะในคอนกรีต หลักการออกแบบในส่วนนี้อาศัยหลักการคุณสมบัติของการสะท้อนและดูดกลืนคลื่นของวัสดุแต่ละชนิดที่แตกต่างกันออกไป โดยพิจารณาจากค่าสภาพยอมสัมพัทธ์ซึ่งเป็นค่าเฉพาะตัวของวัสดุนั้นๆ วัสดุที่มีค่าสภาพยอมสัมพัทธ์สูงจะมีคุณสมบัติการสะท้อนคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้ามากกว่าวัสดุที่มีค่าสภาพยอมสัมพัทธ์ที่น้อยกว่า ซึ่งถ้าวัสดุชนิดไหนที่มีค่าสภาพยอมสัมพัทธ์น้อยมากๆ คลื่นสนามแม่เหล็กไฟฟ้าจะสามารถเดินทางผ่านวัสดุนั้นได้

3.2.4 ส่วนแสดงผล ในส่วนของการแสดงผลนั้นจะแบ่งการทำงานออกเป็นสองส่วนด้วยกัน

- ส่วนทำการวัดผล สำหรับงานวิจัยนี้ได้เลือกใช้เครื่องมือวัดคือ สเปกตรัมอานาไลเซอร์ ทำหน้าที่ตรวจรู้สัญญาณที่ได้รับจากตัวสายอากาศ ซึ่งเป็นสัญญาณที่สายอากาศรับได้เนื่องจากการสะท้อนเมื่อคลื่นไปกระทบเจอโลหะในคอนกรีต

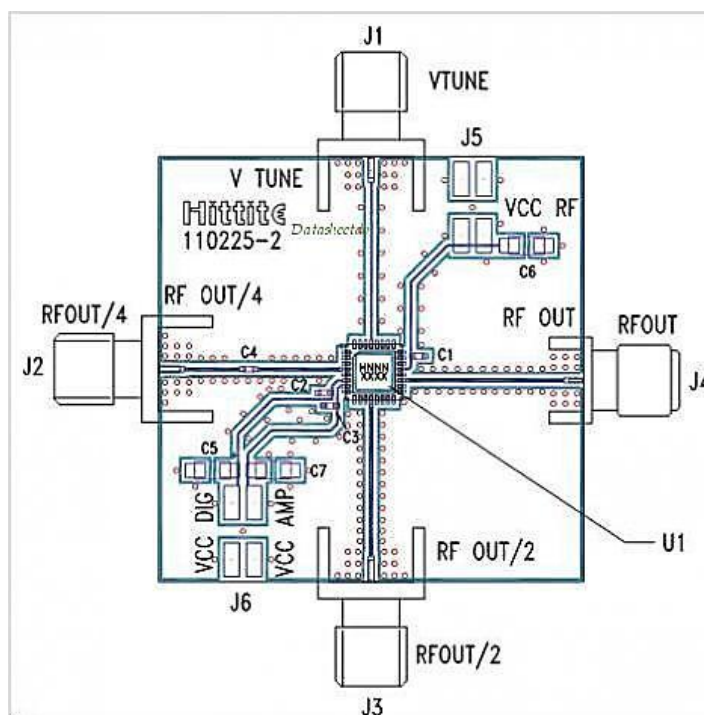
- ส่วนโปรแกรม MATLAB เป็นโปรแกรมเพื่อใช้สำหรับการแสดงผลออกส่วนสุดท้ายโดยจะกำหนดให้แสดงผลทางจอคอมพิวเตอร์ โดยอินพุตของโปรแกรมจะผลการวัดสัญญาณที่ได้จากเครื่องสเปกตรัมอานาไลเซอร์ (spectrum analyzer) นำมาประมวลผล

3.3 ขั้นตอนการสร้าง

3.3.1 วงจรสร้างความถี่ (Oscillator)

วงจรกำเนิดสัญญาณที่ใช้สำหรับงานวิจัยนี้เลือกใช้ IC เบอร์ HMC510LP อุปกรณ์หลักซึ่งทำหน้าที่กำเนิดสัญญาณ การกำเนิดสัญญาณที่ได้ทางด้านเอาต์พุตของวงจรสามารถทำได้ทั้งหมดสาม

ช่วงความถี่คือ $F_0 = 8.45\text{--}9.55$ กิกะเฮิรตซ์, $F/2 = 3.7\text{--}4.9$ กิกะเฮิรตซ์ และ $F/4 = 1.85\text{--}2.45$ กิกะเฮิรตซ์ การทำงานของวงจรจะอาศัยหลักการของออสซิลเลเตอร์ควบคุมด้วยแรงดัน (Voltage Controlled Oscillator : VCO) อัตราขยายของสัญญาณที่เอาต์พุตเท่ากับ +13 dBm วงจรออสซิลเลเตอร์ควบคุมด้วยแรงดันสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 วงจรออสซิลเลเตอร์แบบควบคุมด้วยแรงดัน (Voltage Controlled Oscillator)

งานวิจัยนี้เลือกกำหนดให้วงจรออสซิลเลเตอร์กำเนิดสัญญาณที่เอาต์พุตมีช่วงความถี่คือ $F/2 = 3.7\text{--}4.9$ กิกะเฮิรตซ์ เลือกใช้ความถี่กลางที่ 4.2 กิกะเฮิรตซ์ สัญญาณเอาต์พุตจะปรากฏที่พอร์ต J3 (RFOUT/2) การควบคุมสามารถทำได้โดยการป้อนแรงดันไฟกระแสตรงขนาด 2.4 V ที่พอร์ต J1 (VTUNE) ของวงจร VCO เพื่อควบคุมการกำเนิดสัญญาณให้ได้ตามที่ต้องการ หน้าที่ส่วนของ VTUNE เป็นตัวควบคุมความถี่เอาต์พุตของวงจรออสซิลเลต ตามหลักการของ VCO ดังนั้นค่าความถี่ของสัญญาณที่ผลิตได้จะเปลี่ยนแปลงตามแรงดันไฟฟ้าที่ป้อนมาควบคุม โดยแรงดันไฟฟ้าที่ใช้ในการควบคุมความถี่ ได้มาจากการเปรียบเทียบความถี่ที่ต้องการกับฐานความถี่อ้างอิง ตัวอย่างการควบคุมเช่นถ้าความถี่ที่ผลิตได้ทางด้านเอาต์พุต VCO มีค่าสูงเกินความถี่ที่ต้องการ การลดค่าความถี่ของสัญญาณจะทำได้โดยการปรับลดค่าแรงดันไฟฟ้าที่ใช้ควบคุม หรือถ้าถ้าความถี่ที่ผลิตจาก VCO มีค่าน้อยกว่าความถี่ที่ต้องการ การเพิ่มค่าความถี่สามารถทำได้โดยการปรับแรงดันไฟฟ้าที่ใช้ควบคุมที่ขา VTUNE

ให้สูงขึ้น และเมื่อค่าความถี่ที่ได้มีค่าตรงกับค่าความถี่ที่ต้องการใช้งานค่าแรงดันไฟฟ้าที่ควบคุมจะถูก ล็อคไว้ให้มีค่าคงที่

3.3.2 สายอากาศปากแตร

การออกแบบสายอากาศปากแตรสำหรับระบบตรวจหาตำแหน่งโลหะในคอนกรีตแบ่งออกเป็น 2 ขั้นตอนคือ

1) ส่วนท่อนำคลื่น การออกแบบท่อนำคลื่นใช้ค่าตามมาตรฐานขนาดของท่อนำคลื่นโดย มีขนาดช่องกว้างและยาวเท่ากับ 28x59 มิลลิเมตร โดยมีการปิดปลายท่อด้านหนึ่งและทำการกำหนด จุดป้อนสัญญาณ (Feed point) ที่ระยะวัดจากทางด้านท้ายท่อนำคลื่น โดยมีความยาวแนวลิขของท่อ เท่ากับ 65 มิลลิเมตร ทำให้ท่อนำคลื่นมีการส่งแบบ TM โหมด (Transverse Magnetic mode)

2) ส่วนปลายปากแตร การออกแบบในขั้นตอนนี้ทำการคำนวณเพื่อหาค่าพารามิเตอร์ ต่างๆ ของโครงสร้างปากแตร ณ ความถี่กลาง 4 กิกะเฮิรตซ์ มีการต่อส่วนปากแตรเข้ากับส่วนท่อนำ คลื่นที่ได้ออกแบบในขั้นตอนก่อนหน้านี้ สำหรับความยาวในส่วนปากแตรมีความยาวแนวลิข เท่ากับ 160 มิลลิเมตรและกำหนดให้สายอากาศมีอัตราขยายประมาณ 10 dBi ดังนี้

คำนวณหาความยาวคลื่นจาก

$$\begin{aligned}\lambda &= \frac{C}{f} \\ &= \frac{3 \times 10^8}{4 \times 10^9} \\ &= 75 \text{ mm}\end{aligned}\tag{3.1}$$

หาอัตราขยายได้จาก

$$G_0(\text{dB}) = 10 \log_{10} G_0\tag{3.2}$$

$$10(\text{dB}) = 10 \log_{10} G_0$$

$$G_0 = 10$$

$$X_{(\text{trial})} = X_1 = \frac{G_0}{2\pi\sqrt{2\pi}}\tag{3.5}$$

$$= \frac{10}{2\pi\sqrt{2\pi}}$$

$$= 0.63493$$

$$\rho_e = x\lambda = 47.197 \quad (3.6)$$

$$\rho_h = \frac{G_0^2}{8\pi^3} \left(\frac{1}{x} \right) \lambda = 47.6207 \quad (3.7)$$

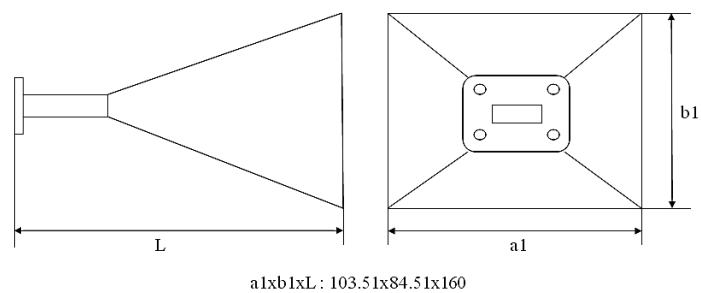
คำนวณหาความยาวของช่องปลายปากแตรส่วนปลายได้จาก

$$a_1 = \sqrt{3\lambda\rho_h} = 103.51 \text{ mm} \quad (3.8)$$

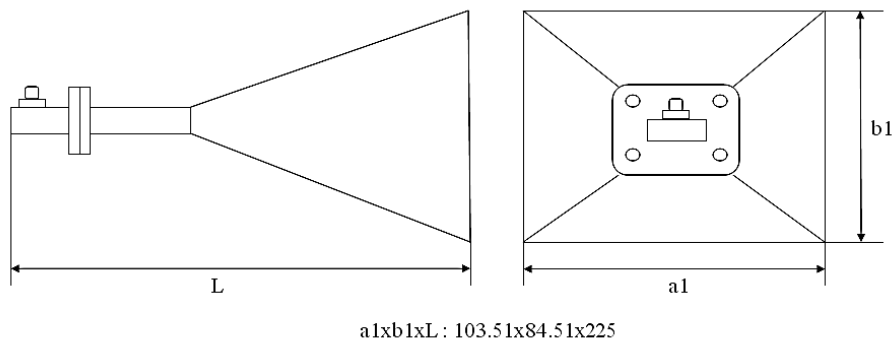
คำนวณหาความกว้างของช่องปลายปากแตรส่วนปลายได้จาก

$$b_1 = \sqrt{2\lambda\rho_e} = 84.51 \text{ mm} \quad (3.9)$$

$$P_e = P_h = 1.6\lambda = 120 \text{ mm} \quad (3.10)$$

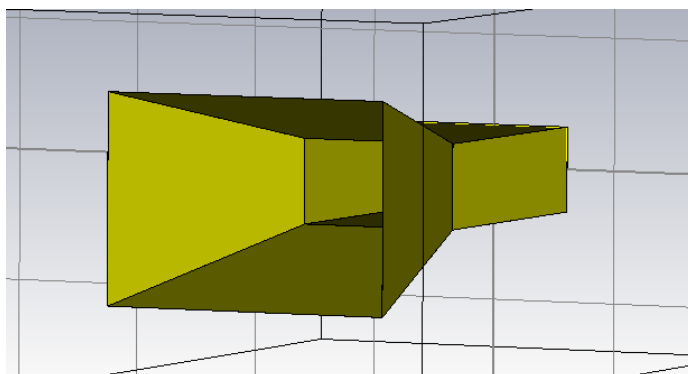


รูปที่ 3.2 ขนาดของสายอากาศในส่วนปลายปากแตรที่ได้จากการคำนวณ



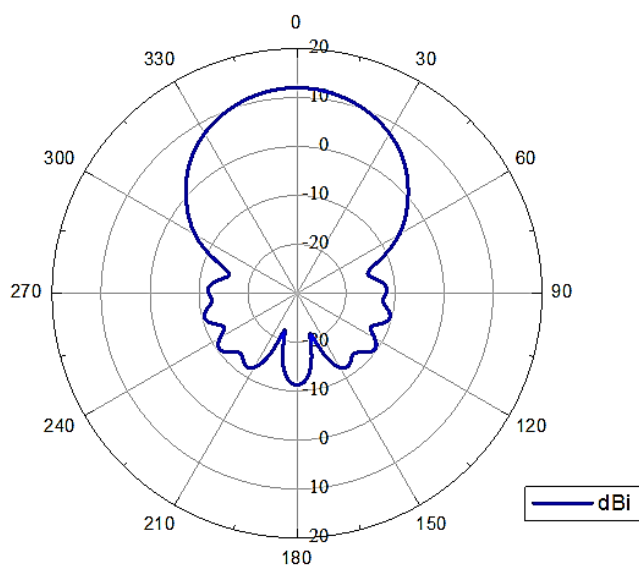
รูปที่ 3.3 ขนาดของสายอากาศในส่วนปลายปากแตรและส่วนท่อนำคลื่นที่ได้จากการคำนวณ

3.3.3 การจำลองแบบ (Simulation) สายอากาศ หลังจากทำการออกแบบสายอากาศด้วยการคำนวณตามทฤษฎีในส่วนก่อนหน้านี้ ในส่วนนี้ทำการจำลองแบบสายอากาศเพื่อทดสอบการทำงานของสายอากาศที่ออกแบบว่าสายอากาศมีคุณสมบัติตรงตามที่ต้องการหรือไม่ด้วยโปรแกรม CST ก่อนนำพารามิเตอร์ต่างๆ ของสายอากาศที่ได้ไปสร้างจริง ขั้นตอนเริ่มจากการนำผลการคำนวณหาขนาดในส่วนก่อนหน้านี้ วาดโครงสร้างสายอากาศโดยใช้โปรแกรม Antenna Magus จากนั้นนำโครงสร้างสายอากาศที่ได้ตามขนาดที่ออกแบบนำเสนอไปยังโปรแกรม CST เพื่อทำการจำลองแบบผลการทำงานของสายอากาศต้นแบบแสดงได้ดังรูปที่ 3.4



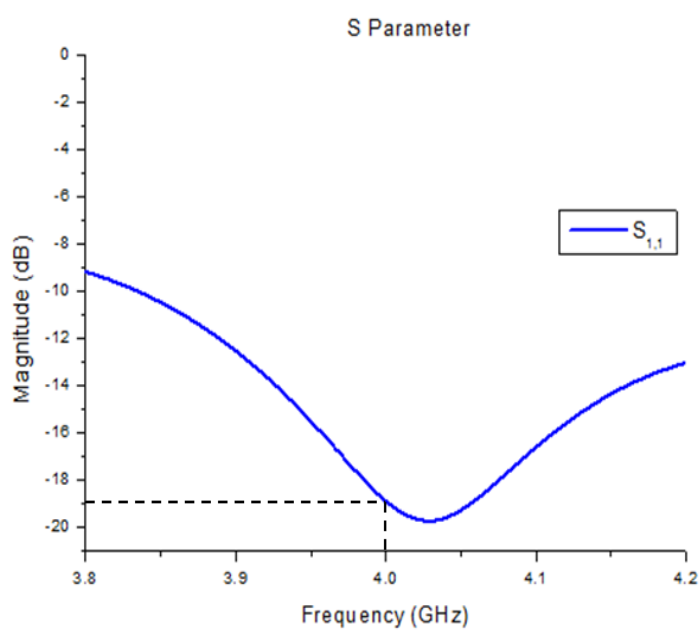
รูปที่ 3.4 สายอากาศปากแตรที่จำลองในโปรแกรม CST

หลังจากทำการจำลองแบบทำให้ทราบว่าสายอากาศปากแตรต้นแบบจากรูปที่ 3.2 มีลักษณะของแบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศรูปปากแตรแสดงได้ดังรูปที่ 3.5

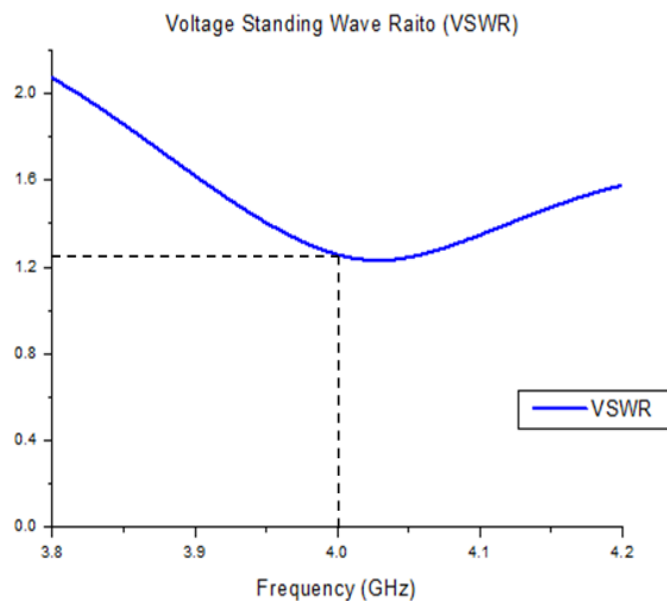


รูปที่ 3.5 แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศรูปปากแตรต้นแบบ

จากรูปที่ 3.5 จะแสดงให้เห็นว่าลักษณะของแบบรูปการแผ่พลังงานที่ได้จากการจำลองแบบมีลักษณะเป็นแบบมีทิศทาง (Directional pattern) ที่ความถี่ใช้งานที่ 4 GHz และมีอัตราขยายของสายอากาศด้านหน้าของสายอากาศปากแตรสูงสุดเท่ากับ 12 dBi



รูปที่ 3.6 ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับ (S_{11}) ของสายอากาศ



รูปที่ 3.7 ค่า VSWR ของสายอากาศรูปปากแตร

ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับของสายอากาศรูปปากแตรสำหรับความถี่ใช้งาน 4 GHz แสดงได้ดังรูปที่ 3.6 โดยจากรูปทำให้ทราบค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับ (S_{11}) เท่ากับ -19 dB สำหรับในส่วนรูปที่ 3.7 เป็นการแสดงค่าอัตราส่วนคลื่นนิ่งแรงดัน (Voltage standing wave ratio) ของสายอากาศรูปปากแตรสำหรับความถี่ใช้งาน 4 GHz โดยที่ความถี่ 4 GHz มีค่าอัตราส่วนคลื่นนิ่งแรงดันเท่ากับ 1.26

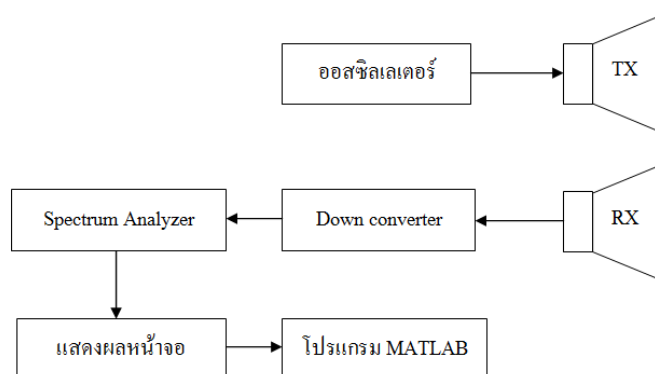
ตารางที่ 3.2 ค่าคุณลักษณะจากการจำลองของสายอากาศรูปปากแตรต้นแบบที่ความถี่ 4 GHz

พารามิเตอร์ที่ใช้ทดสอบ	ค่าจากการจำลอง
ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับ (dB)	-19
อัตราส่วนแรงดันคลื่นนิ่ง	1.26
อัตราการขยาย (dBi)	12

3.3.4 หลักการทำงานของระบบตรวจหาตำแหน่งโลหะในคอนกรีต

หลังจากออกแบบในแต่ละส่วนของระบบแล้วทำการนำแต่ละส่วนประกอบรวมกันเป็นระบบเรดาร์ทะลุพื้นดินแบบทวิสถิต (Bi-static) ซึ่งหลักการทำงานสามารถอธิบายโดยสังเขปได้โดยเริ่มจาก

ส่วนออสซิลเลเตอร์ทำหน้าที่ผลิตสัญญาณไฟฟ้าแบบต่อเนื่องปรากฏที่ด้านเอาต์พุตโดยมีค่าความถี่ประมาณ 4.2 กิกะเฮิรตซ์ สัญญาณดังกล่าวถูกส่งส่งผ่านไปยังสายอากาศรูปปากแตรตัวส่งเพื่อแปลงเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าและส่งออกไปยังอวกาศว่าง คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจะเคลื่อนที่ตรงไปยังชิ้นงานทดสอบที่เป็นคอนกรีตเพื่อตรวจหาโลหะที่ฝังอยู่ในเนื้อคอนกรีต กรณีที่มีโลหะฝังอยู่ในเนื้อคอนกรีต สัญญาณคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจะไปตกกระทบสะท้อนกลับมายังสายอากาศรูปปากแตรอีกครั้ง (สำหรับกรณีที่ไม่มีโลหะฝังในเนื้อคอนกรีตจะ不会有การสะท้อนคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า) สายอากาศตัวรับจะทำหน้าที่แปลงคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าให้เป็นสัญญาณไฟฟ้าแบบต่อเนื่องความถี่ 4 กิกะเฮิรตซ์ ผ่านเข้าสู่วงจร Down converter เพื่อแปลงความถี่ของสัญญาณที่รับมาจากสายอากาศ จาก 4 กิกะเฮิรตซ์ ให้ลดลงเหลือประมาณ 900 เมกะเฮิรตซ์ เพื่อป้องกันการสูญเสียภายในสายนำสัญญาณ สัญญาณที่ด้านเอาต์พุตของวงจร Down converter จะถูกตรวจวัดโดยเครื่อง Spectrum analyzer ค่าที่วัดได้จะถูกส่งไปประมวลผลและแสดงผลโดยโปรแกรม MATLAB โดยผลลัพธ์ที่ได้จะแสดงเป็นกราฟผลการตรวจหาโลหะในระนาบ 2 มิติ โดยระบบตรวจหาตำแหน่งโลหะในคอนกรีตมีบล็อกไดอะแกรมการทำงานแสดงดังรูปที่ 3.8



รูปที่ 3.8 บล็อกไดอะแกรมการทำงานของระบบตรวจหาโลหะในคอนกรีต

3.4 การทดสอบ

การทดสอบระบบเพื่อตรวจหาประสิทธิภาพและข้อบกพร่องของระบบในงานวิจัยนี้แบ่งเป็น 3 กรณีด้วยกันโดยรายละเอียดผลการทดสอบจะแสดงไว้ในบทที่ 4

3.4.1 การทดสอบสายอากาศปากแตร

การทดสอบสายอากาศปากแตรเพื่อทดสอบหาคุณสมบัติของสายอากาศปากแตรว่ามีคุณสมบัติตรงตามที่ได้คำนวณค่าและจำลองแบบในส่วนก่อนหน้านี้นี้หรือไม่โดยทำการวัดทดสอบในห้องทดสอบสายอากาศ



รูปที่ 3.9 ระบบตรวจหาโลหะในคอนกรีต

3.4.2 การทดสอบระบบด้วยแผ่นคอนกรีตที่ไม่มีโลหะ

การทดสอบเป็นการนำแผ่นคอนกรีตที่ไม่มีโลหะฝังอยู่ด้านในมาทำการทดสอบกับระบบตรวจหาตำแหน่งโลหะในคอนกรีต การทดสอบเริ่มโดยให้ระบบทำงานส่งสัญญาณคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าผ่านสายอากาศตัวส่งที่มีความถี่ 4.2 GHz ไปที่แผ่นคอนกรีต จากนั้นสังเกตที่เอาต์พุตของระบบคือที่ส่วนแสดงผลว่ามีการแจ้งเตือนมีคลื่นสะท้อนกลับมายังสายอากาศภาครับหรือไม่ ซึ่งแนวทางที่ถูกต้องคือไม่มีการสะท้อนของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้ากลับมายังสายอากาศภาครับเนื่องจากไม่มีโลหะฝังในคอนกรีต

3.4.3 ทดสอบระบบโดยใช้แผ่นคอนกรีตที่มีโลหะ

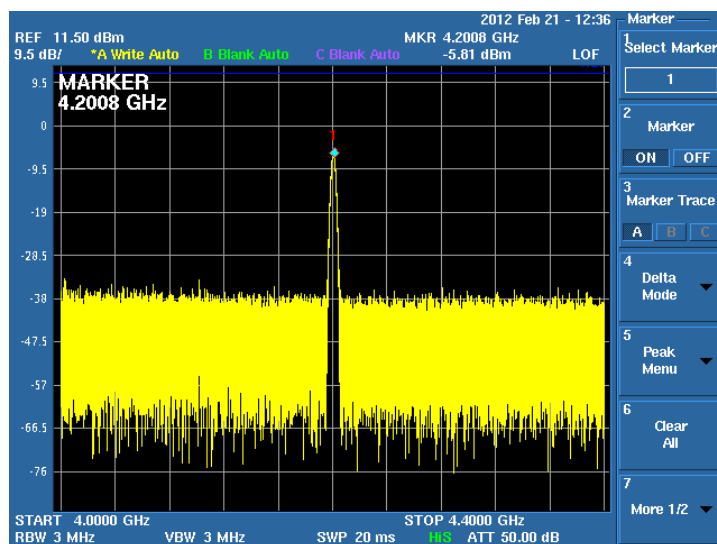
การทดสอบกรณีนี้จะใช้แผ่นคอนกรีตที่มีโลหะขนาดต่างๆ และฝังแทรกลงไปในคอนกรีตที่ความลึกแตกต่างกันมาทำการทดสอบกับระบบตรวจหาโลหะในคอนกรีต โดยทำการส่งสัญญาณคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่ความถี่ 4.2 GHz จากสายอากาศตัวส่งไปยังแผ่นคอนกรีตที่ใช้ทดสอบซึ่งตามหลักการของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจะเกิดการสะท้อนวัสดุที่เป็นโลหะ คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจะสะท้อนกลับมายังสายอากาศตัวรับ จากนั้นนำผลที่ได้ไปทำการประมวลผลในโปรแกรม MATLAB

3.5 การวัดสัญญาณ

3.5.1 การวัดสัญญาณในระบบตรวจหาโลหะในคอนกรีต

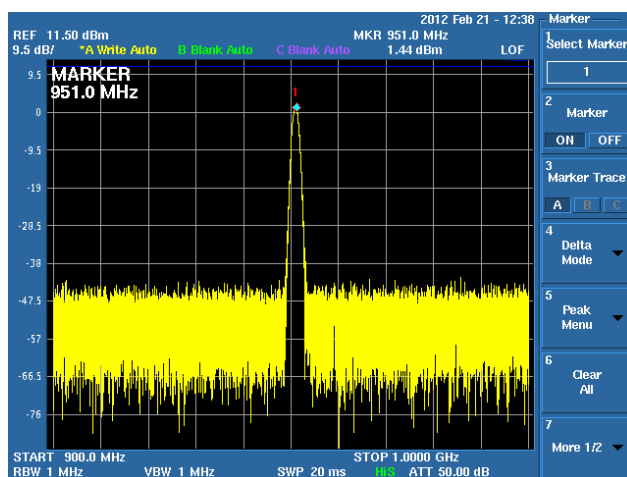
การวัดสัญญาณในระบบตรวจหาโลหะในคอนกรีตนั้นจะวัดทดสอบในลักษณะต่างๆ โดยใช้เครื่องมือวัดรูปสัญญาณเป็นหลักโดยจะวัดสัญญาณในส่วนของอินพุตและเอาต์พุตของระบบตรวจหาโลหะในคอนกรีต ทั้งที่มีโลหะและไม่มีโลหะในคอนกรีต

3.5.2 วัดสัญญาณอินพุตจากอุปกรณ์กำเนิดความถี่



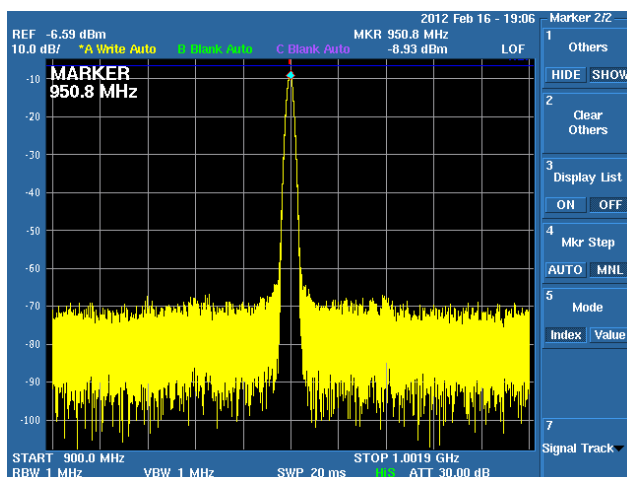
รูปที่ 3.10 สัญญาณที่เอาต์พุตของวงจร Voltage Controlled Oscillator

สัญญาณเอาต์พุตจากวงจรกำเนิดความถี่ของออสซิลเลเตอร์แบบ Voltage Controlled Oscillator แสดงได้ดังรูปที่ 3.10 จากรูปสังเกตเห็นได้ว่าสัญญาณทางด้านเอาต์พุตของ วงจร Voltage Controlled Oscillator มีความถี่เท่ากับ 4.2 GHz และอัตราขยาย -5.81 dBm



รูปที่ 3.11 สัญญาณที่เอาต์พุตของวงจร Down Converter ภาคส่ง

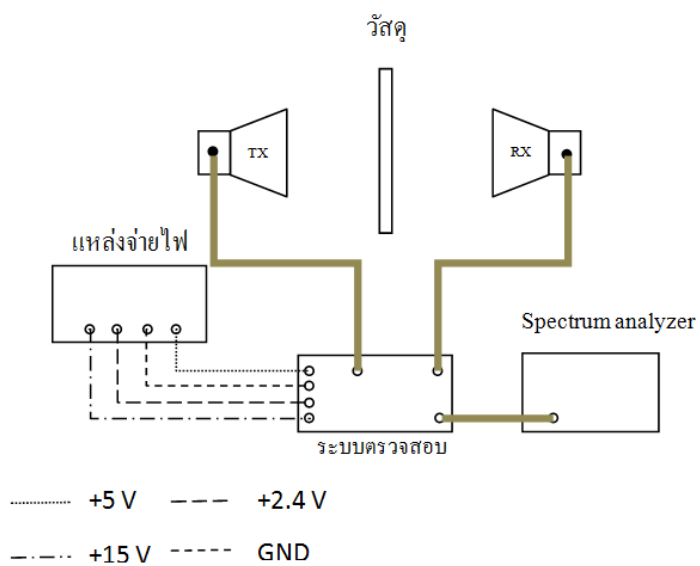
สัญญาณที่แสดงในรูปที่ 3.11 คือสัญญาณที่วัดได้ที่เอาต์พุตของวงจร Down Converter โดยสัญญาณอินพุตของวงจรถูกส่งมาจากจาก Voltage Controlled Oscillator ผ่านสายส่งโคแอกเซียล ค่าสัญญาณที่ปรากฏด้านเอาต์พุตของวงจร Down converter มีความถี่ที่เท่ากับ 951 MHz และมีอัตราขยาย 1.44 dBm



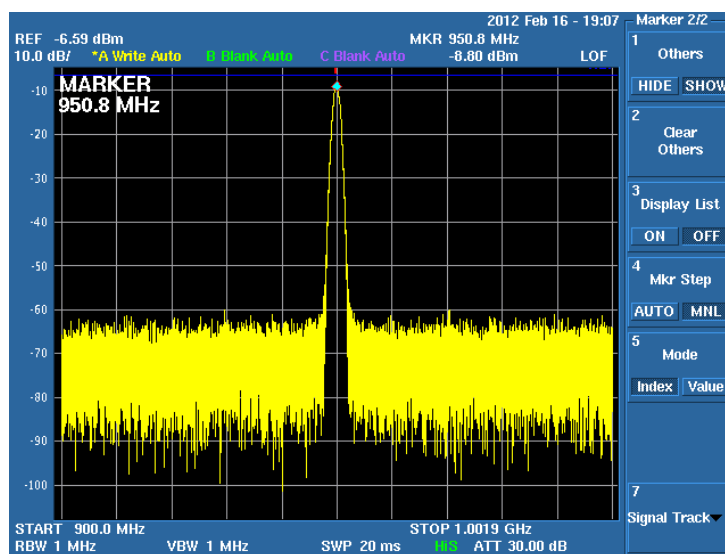
รูปที่ 3.12 สัญญาณเอาต์พุตจากวงจร Down Converter ภาครับ

สัญญาณที่แสดงในรูปที่ 3.12 เป็นสัญญาณจากเอาต์พุตของระบบตรวจหาโลหะในคอนกรีตที่ได้รับสัญญาณสะท้อนเนื่องจากการตรวจพบโลหะผ่านทางสายอากาศปากแตรตัวรับและส่งสัญญาณดังกล่าวผ่านไปยังวงจร Down Converter ภาครับ สัญญาณที่ได้มีความถี่ 950 MHz แรงดัน 79.96 mV และอัตราขยาย -8.93 dBm

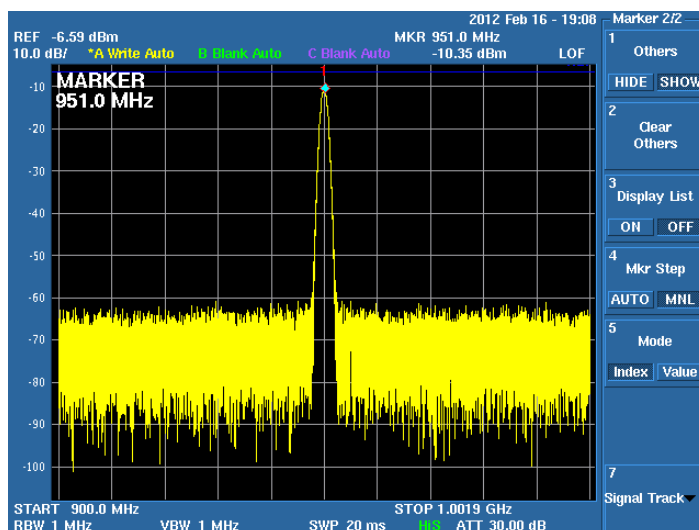
3.5.3 การวัดการทะลุผ่านสัญญาณ การทดสอบเป็นทดสอบเพื่อหาคุณสมบัติการทะลุของสัญญาณคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าผ่านวัสดุขวางกัน หลักการทดสอบคือนำวัสดุคอนกรีตมาวางกั้นระหว่างกลางของสายอากาศตัวรับและตัวส่งที่ระยะ 30 ซม. ดังรูปที่ 3.13



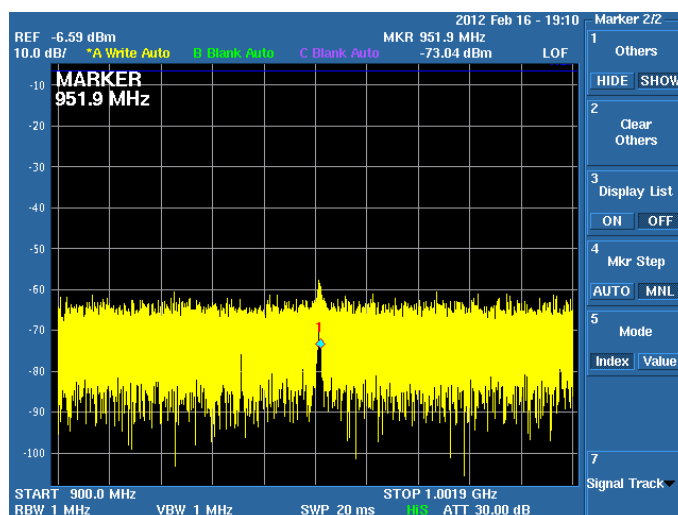
รูปที่ 3.13 การวัดทดสอบระบบเพื่อหาคุณสมบัติการทะลุของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าผ่านวัสดุคอนกรีต



รูปที่ 3.14 สัญญาณเอาร์ทพุตของระบบที่มีแผ่นโคมกั้นระหว่างสายอากาศสองตัว



รูปที่ 3.15 สัญญาณเอ๊าต์พุตของระบบที่มีแผ่นไม้กั้นระหว่างสายอากาศสองตัว



รูปที่ 3.16 สัญญาณเอ๊าต์พุตของระบบที่มีแผ่นโลหะกั้นระหว่างสายอากาศสองตัว

จากรูปที่ 3.14 เป็นสัญญาณที่ได้จากการทดสอบโดยใช้สายอากาศสองตัวรับ-ส่ง ที่มีระยะห่างระหว่างสายอากาศเท่ากับ 30 ซม. และนำแผ่นโฟมความหนา 4 ซม. วางกั้นระหว่างสายอากาศตัวรับและตัวส่งซึ่งได้ค่าแรงดันเอ๊าต์พุตเท่ากับ 81.188 mV และอัตราขยาย -8.80 dBm สำหรับสัญญาณในรูปที่ 3.15 เป็นการเปลี่ยนวัสดุจากแผ่นโฟมมาเป็นแผ่นไม้ความหนา 2.4 ซม. ผลการวัดสัญญาณพบว่ามีความแรงดันที่ 67.921 mV และอัตราขยาย -10.35 dBm ส่วนในรูปที่ 3.16 เป็นสัญญาณที่ได้จากการวัดโดยใช้แผ่นโลหะกั้นระหว่างสายอากาศตัวรับ-ส่งซึ่งผลลัพธ์ที่ได้จากการวัดพบว่าสัญญาณคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าไม่สามารถส่งผ่านจากสายอากาศตัวส่งไปยังสายอากาศตัวรับได้

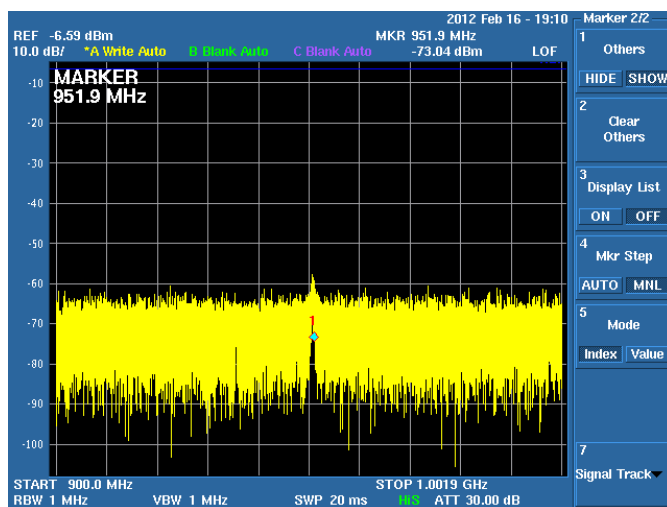
3.5.4 การวัดสัญญาณของระบบของตรวจหาโลหะในคอนกรีต

เป็นการวัดทดสอบระบบโดยจัดรูปแบบของระบบเป็นแบบทวิสถิต (Bi-static) โดยลักษณะการวางสายอากาศแสดงได้ดังรูปที่ 3.17 โดยปลายสายอากาศจะวางสัมผัสกับแผ่นคอนกรีตพอดีเพื่อวัดหาผลการสะท้อนของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความหนาของคอนกรีตแตกต่างกัน



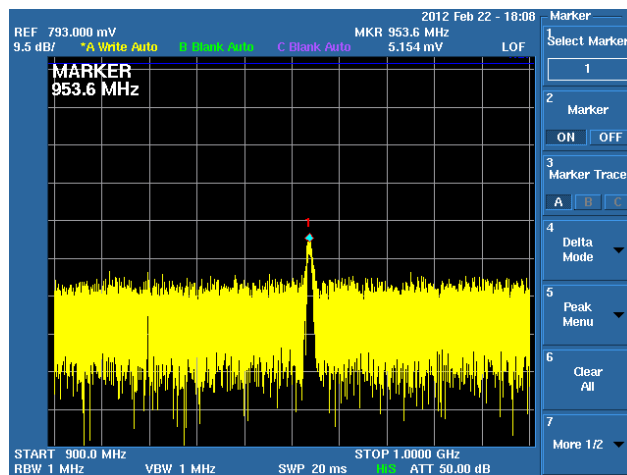
รูปที่ 3.17 การทดสอบระบบตรวจหาโลหะในคอนกรีต

1) วัดการสะท้อนของคลื่นกับแผ่นคอนกรีตที่มีความหนาของคอนกรีตตั้งแต่ 5-20 ซม. ผลที่ออกมาคือไม่เกิดการสะท้อนของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้ากลับมาที่ระบบเลยเมื่อทดสอบกับแผ่นคอนกรีต โดยมีการปรับเปลี่ยนความหนาตั้งแต่ 5 ถึง 20 ซม. สัญญาณที่วัดได้ที่เอาต์พุตของระบบแสดงได้ดังรูปที่ 3.18



รูปที่ 3.18 สัญญาณที่เอาต์พุตของระบบตรวจหาโลหะเมื่อไม่พบโลหะภายในคอนกรีต

2) วัดสัญญาณของระบบตรวจหาโลหะในคอนกรีตโดยที่มีโลหะแทรกอยู่ในคอนกรีตที่ระยะความหนาแทรกโลหะในคอนกรีตในระยะตั้งแต่ 5-20 ซม. ซึ่งได้ผลการวัดสัญญาณแสดงได้ดังรูปที่ 3.19



รูปที่ 3.19 สัญญาณที่เอาต์พุตของระบบตรวจหาโลหะเมื่อตรวจพบโลหะภายในคอนกรีต

รายละเอียดเนื้อหาในบทที่ 3 สำหรับส่วนของการวัดสัญญาณทดสอบแบบต่างและที่จุดต่างๆ ของระบบตรวจหาตำแหน่งโลหะในคอนกรีตได้ถูกแสดงไว้ ในบทที่ 4