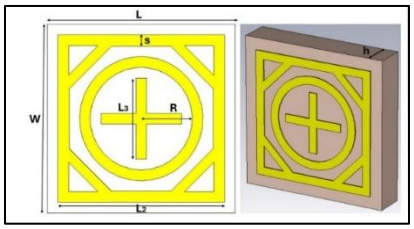
Structure Geometrical Parameters

โดยมีรายละเอียดดังนี้

1. โครงสร้างเดิม
2. การปรับโครงสร้างโดยใช้ Par. Sweep
3. การปรับโครงสร้างโดยใช้ Optimizer
4. สรุปเปรียบเทียบระหว่างการใช้ Par. Sweep หรือ Optimizer
5. การนำเครื่องมือทั้งสองมาใช้ร่วมกัน (Par. Sweep + Optimizer)

1. โครงสร้างเดิม



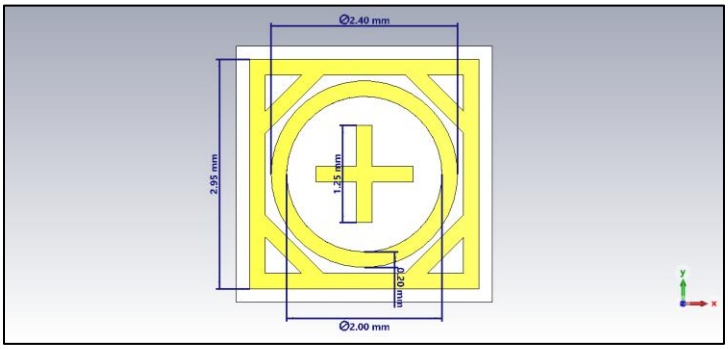
รูปที่ 1 Ref. Design (อ้างอิงจาก [1]) *ค่าRคือรัศมีวงนอก

1.1 ค่าพารามิเตอร์

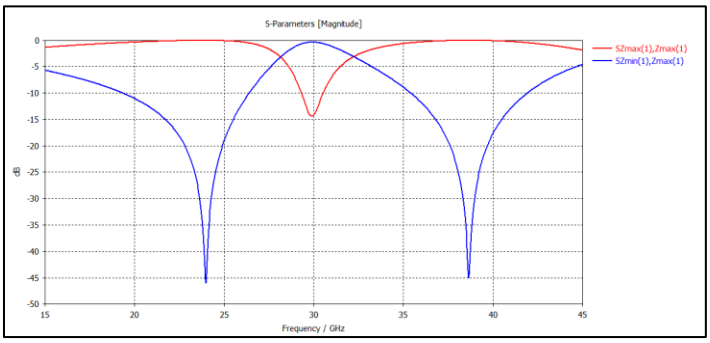
ตารางที่ 1

Parameter	Values(mm)
L	3.3
W	3.3
L2	2.95
L3	1.25
R*	1.2
s	0.2
d	0.2
h	0.76

1.2 ผลการจำลองที่ได้

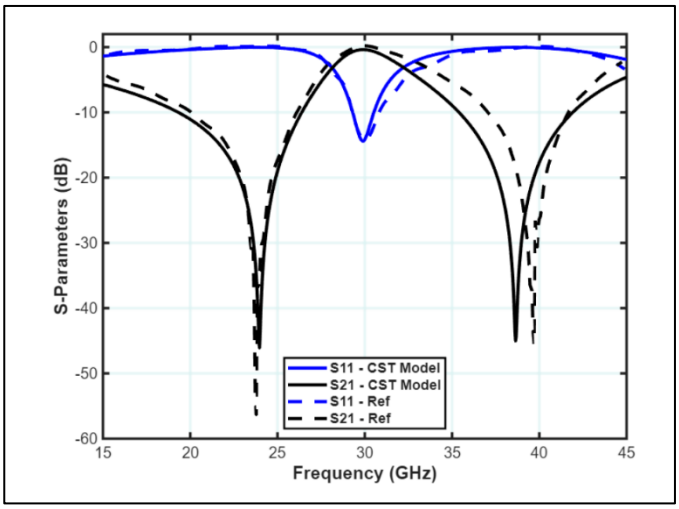


รูปที่ 2 โครงสร้างจากโปรแกรม CST



รูปที่ 3 กราฟ S11 และ S21 ในย่านความถี่ 15 – 45 GHz

1.3 การเทียบผลอ้างอิง



รูปที่ 4 กราฟ S11 และ S21 เทียบกับตัวอ้างอิง

2. การปรับโครงสร้างโดยใช้ Par. Sweep

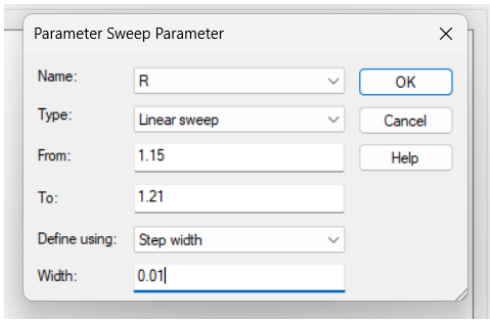
2.1 การตั้งค่าพารามิเตอร์

- กำหนดรายการพารามิเตอร์ (Parameter List) ที่ต้องการ Sweep หรือปรับค่า เช่น ความยาว ความกว้าง ความสูง ความหนา
- ระบุช่วงค่าที่ต้องการ (Min, Max) และความละเอียด (Step) สำหรับแต่ละพารามิเตอร์

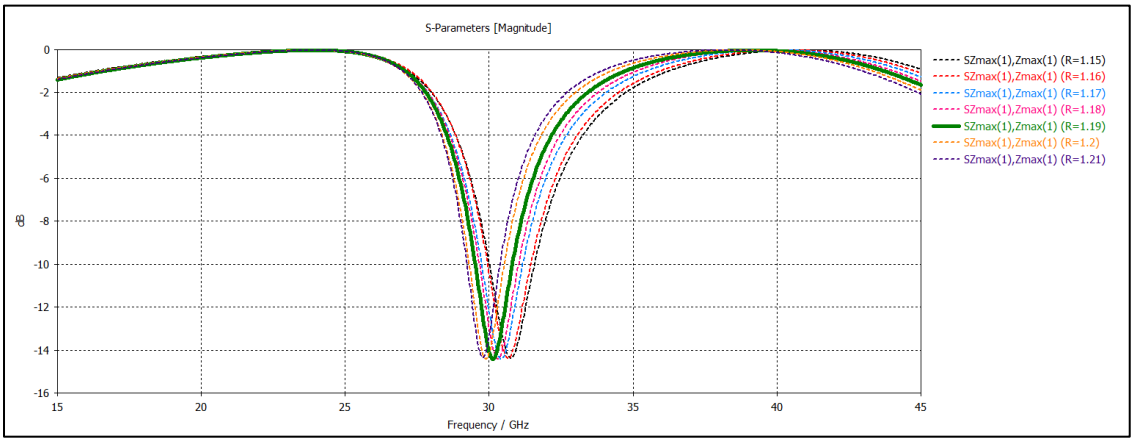
2.2 การวิเคราะห์และผลการจำลอง

2.2.1 Varies Parameter R

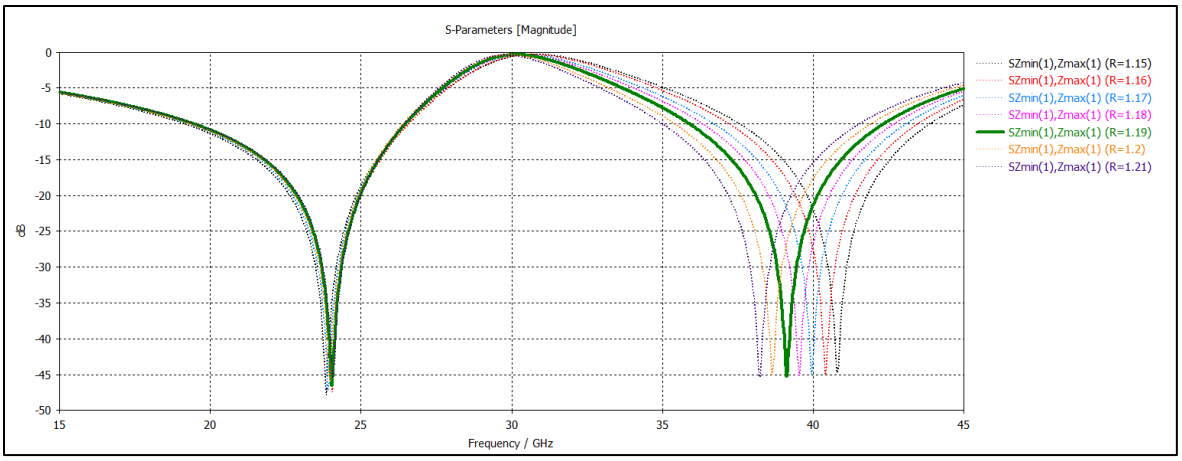
พารามิเตอร์ R มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของ upper reflection band (38 GHz) อีกทั้งยังส่งผลต่อ transmission band (30 GHz) โดยมีการกำหนดค่าการเปลี่ยนแปลงตั้งแต่ 1.15 ถึง 1.21 mm เพิ่มขึ้นทีละ 0.01 mm ซึ่งได้ผลดังรูปที่ 6



รูปที่ 5 การตั้งค่า Par. Sweep สำหรับ Parameter R



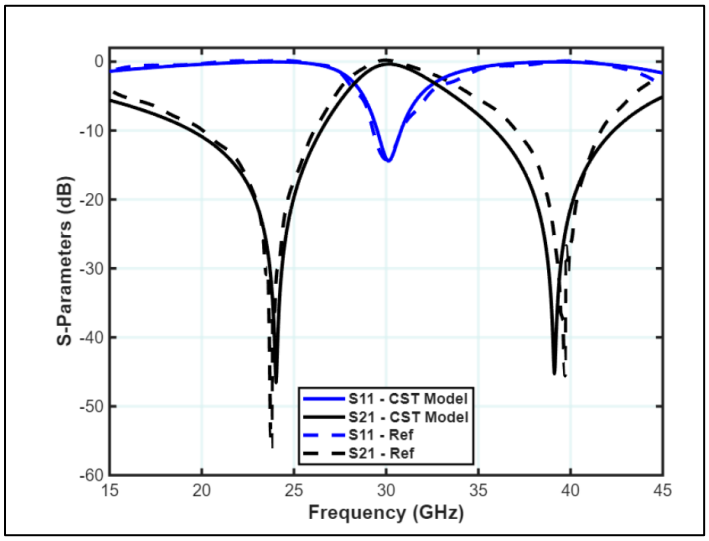
(a)



(b)

รูปที่ 6 Parametric R (1.15 – 1.21 mm) **(a)** S11 **(b)** S21

จากรูปที่ 6 พบว่าค่าพารามิเตอร์ R ที่ทำให้กราฟ S11 และ S21 เข้ามีแนวโน้มเข้าใกล้กราฟอ้างอิงมากที่สุดคือ R = 1.19 mm โดยที่ค่าพารามิเตอร์อื่นไม่ได้มีการเปลี่ยนแปลง ซึ่งทำการพล็อตเทียบกับกราฟอ้างอิงเมื่อเปลี่ยนค่าพารามิเตอร์ R = 1.19 mm ดังรูปที่ 7

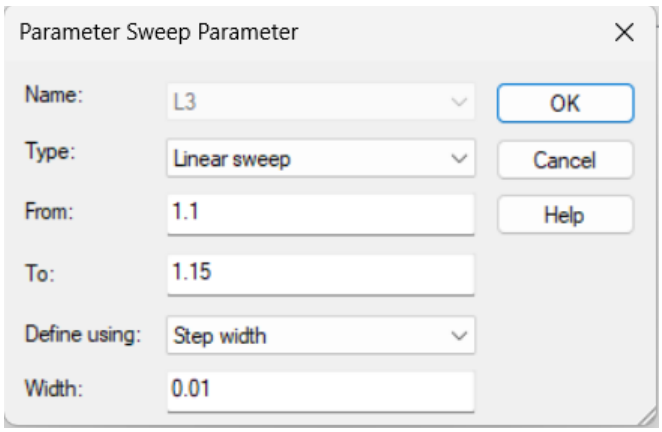


รูปที่ 7 กราฟ S11 และ S21 เทียบกับตัวอ้างอิง (R = 1.19 mm)

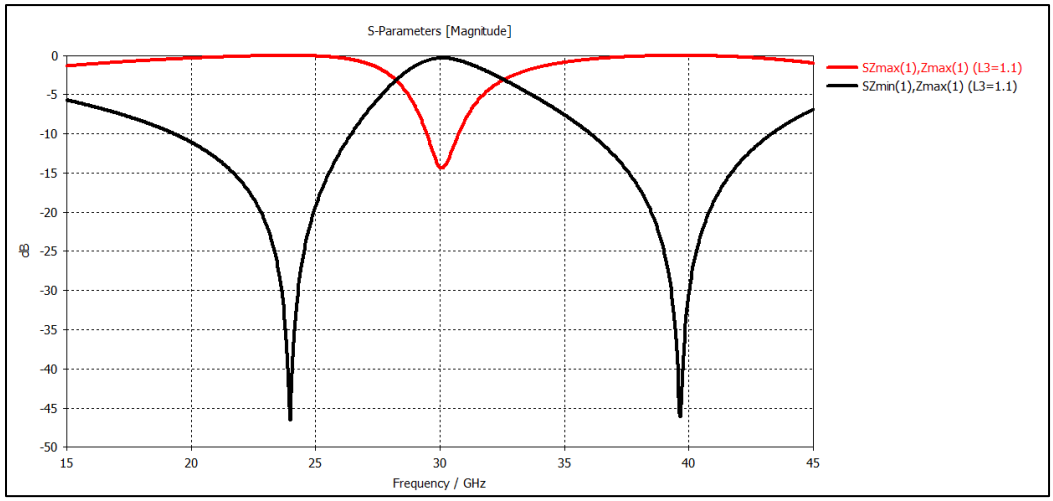
2.2.2 Varies Parameter L3

การเปลี่ยนแปลงของพารามิเตอร์ L3 ส่งผลเล็กน้อยต่อ upper reflection band (38 GHz) โดยมีการกำหนดค่าการเปลี่ยนแปลงตั้งแต่ 1.1 ถึง 1.25 mm เพิ่มขึ้นทีละ 0.01 mm (พล็อตทีละช่วง เช่น ช่วงที่ 1 คือ 1.10 – 1.15 mm โดยทำการดูแนวโน้มควบคู่ไปด้วย)

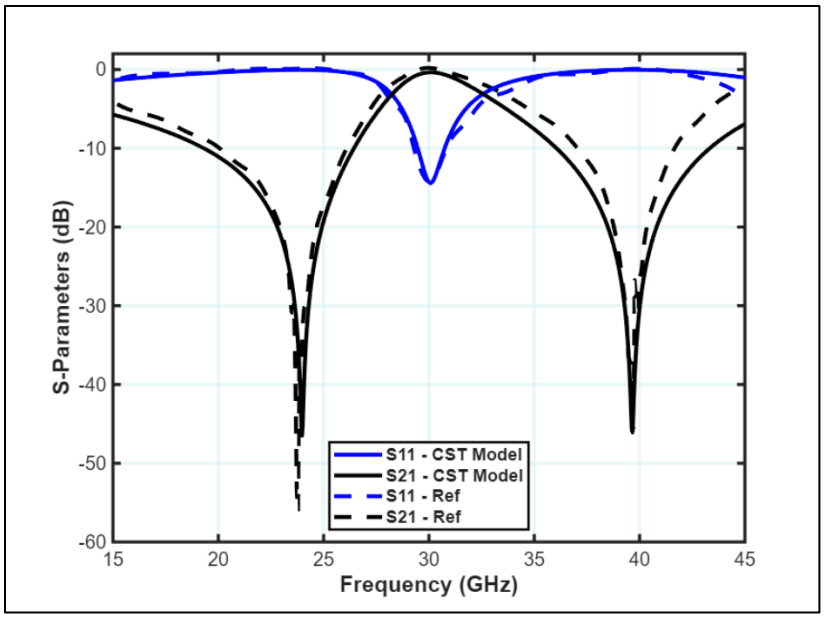
พบว่าค่าพารามิเตอร์ L3 ที่ทำให้กราฟ S11 และ S21 เข้ามีแนวโน้มเข้าใกล้กราฟอ้างอิงมากที่สุด คือ L3 = 1.11 mm แสดงดังรูปที่ 9 โดยที่ค่า R = 1.19 mm และพารามิเตอร์อื่นไม่ได้มีการเปลี่ยนแปลง ทำการพล็อตเทียบกับกราฟอ้างอิงเมื่อเปลี่ยนค่าพารามิเตอร์ L3 = 1.1 mm ดังรูปที่ 10



รูปที่ 8 การตั้งค่า Par. Sweep สำหรับ Parameter L3



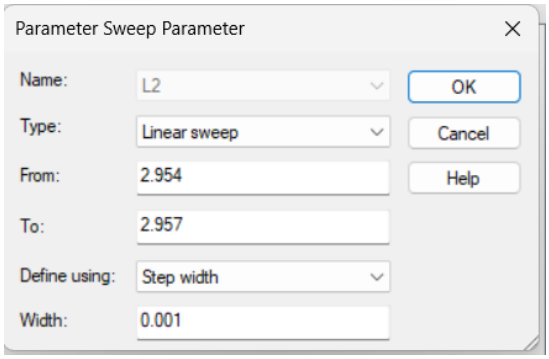
รูปที่ 9 กราฟ S11และ S21 ที่ L3 = 1.1 mm



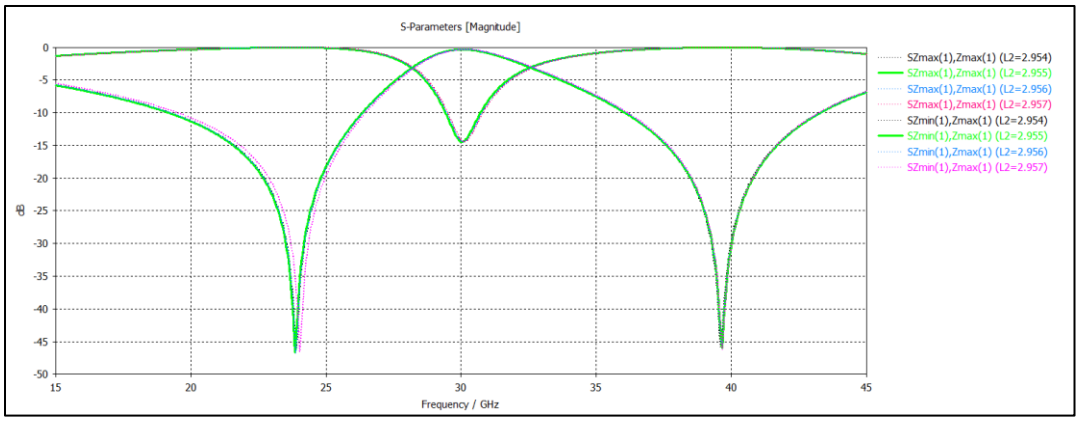
รูปที่ 10 กราฟ S11 และ S21 เทียบกับตัวอ้างอิง (L3 = mm)

2.2.3 Varies Parameter L2

พารามิเตอร์ L2 มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของ lower reflection band (24 GHz) อีกทั้งยังส่งผลต่อ transmission band (30 GHz) โดยมีการกำหนดค่าการเปลี่ยนแปลงตั้งแต่ 2.954 - 2.957mm เพิ่มขึ้นทีละ 0.001 mm ซึ่งมีค่า R = 1.19 mm, L3 = 1.1 mm และพารามิเตอร์อื่นไม่ได้มีการเปลี่ยนแปลง เมื่อทำการจำลองจะได้ผลดังรูปที่ 12

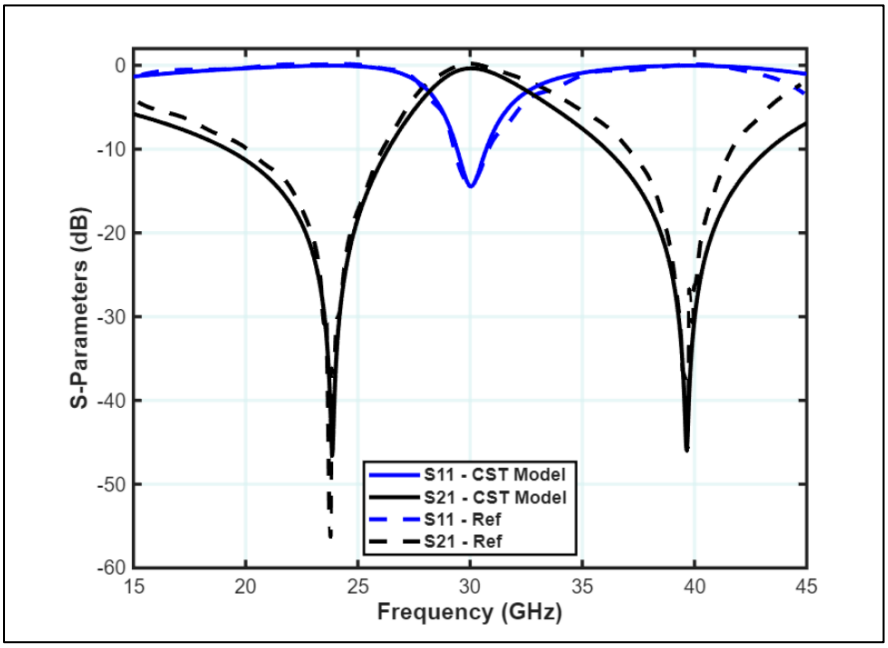


รูปที่ 11 การตั้งค่า Par. Sweep สำหรับ Parameter L2



รูปที่ 12 Parametric L2 (2.954 – 2.957 mmm)

จากรูปที่ 12 พบว่าค่าพารามิเตอร์ L2 ที่ทำให้กราฟ S11 และ S21 เข้ามีแนวโน้มเข้าใกล้กราฟอ้างอิงมากที่สุดคือ L2 = 2.955 mm โดยที่มีค่าพารามิเตอร์ R = 1.19 mm, L3 = 1.1 mm และพารามิเตอร์อื่นไม่ได้มีการเปลี่ยนแปลง ซึ่งทำการพล็อตเทียบกับกราฟอ้างอิงเมื่อเปลี่ยนค่าพารามิเตอร์ L2 = 2.955 mm ดังรูปที่ 13



รูปที่ 13 กราฟ S11 และ S21 เทียบกับตัวอ้างอิง (L2 = 2.955 mm)

3. การปรับโครงสร้างโดยใช้ Optimizer

3.1 การตั้งค่า Optimizer (Simulation type: Frequency Domain Solver)

3.1.1 Algorithm(ตัวเลือกช่วยคำนวณ) แบ่งตามลักษณะปัญหา ดังนี้

- Trust Region Framework: เหมาะสำหรับปัญหาที่ต้องการความแม่นยำสูง
- Genetic Algorithm/ Particle Swarm: เหมาะสำหรับปัญหาที่ซับซ้อน มีหลายตัวแปร (ป้องกัน Local minimum)
- Interpolated Quasi-Newton: เน้นความเร็วในการคำนวณโดยใช้การประมาณค่าทางคณิตศาสตร์

3.1.2 Parameter (ตัวแปรที่จะปรับ) เลือกพารามิเตอร์ที่ต้องการให้โปรแกรมเปลี่ยนแปลง

- ตั้งค่า Max/Min (Bounds): กำหนดขอบเขตที่ยอมรับได้ในทางปฏิบัติ เพื่อป้องกันไม่ให้โปรแกรมคำนวณค่าที่เป็นไปไม่ได้ในทางกายภาพ

3.1.3 Goals (เป้าหมาย) ระบุว่าต้องการให้ผลลัพธ์นั้นเป็นอย่างไร

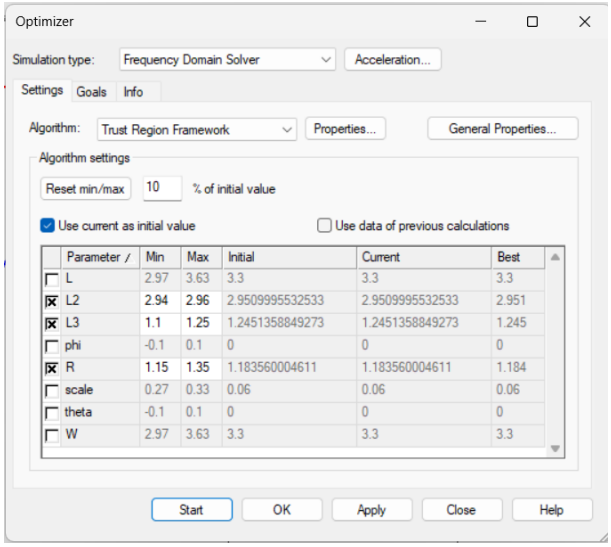
- Weight กำหนดค่าน้ำหนักความสำคัญ
- Target ผลลัพธ์ที่ต้องการ

3.2 ค่าที่พารามิเตอร์ใช้

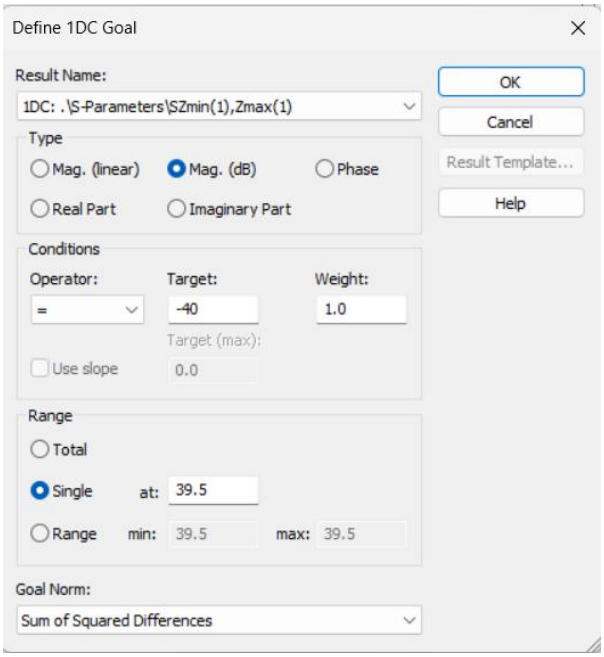
การกำหนดค่าพารามิเตอร์ในการปรับโครงสร้างนี้ ทั้งหมดเป็นการประมาณค่าจากกราฟอ้างอิง[1] โดยมีการกำหนดค่าดังนี้

1. การตั้งค่าในส่วนของพารามิเตอร์ที่มีผลต่อผลลัพธ์ (L2, L3 และ R) การกำหนดขอบเขต max/min นี้ได้มีดูแนวโน้มจากการปรับโครงสร้างด้วย Par. Sweep ในหัวข้อที่ผ่านมา แสดงในรูปที่ 14

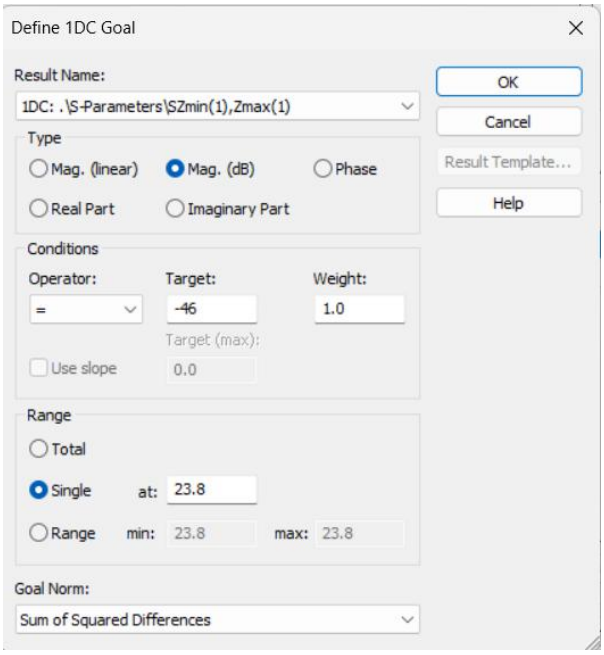
2. การตั้งค่าในส่วนของผลลัพธ์ที่ต้องการ ในส่วนนี้มีเป้าหมายหลักๆสามส่วน คือ upper reflection band (38 GHz), lower reflection band (24 GHz) และ transmission band (30 GHz) ดังที่แสดงในรูปที่ 15 (a), (b) และ (c) ตามลำดับ อีกทั้งยังมีการกำหนดน้ำหนักความสำคัญ โดยให้ transmission band (30 GHz) มีความสำคัญมากที่สุด



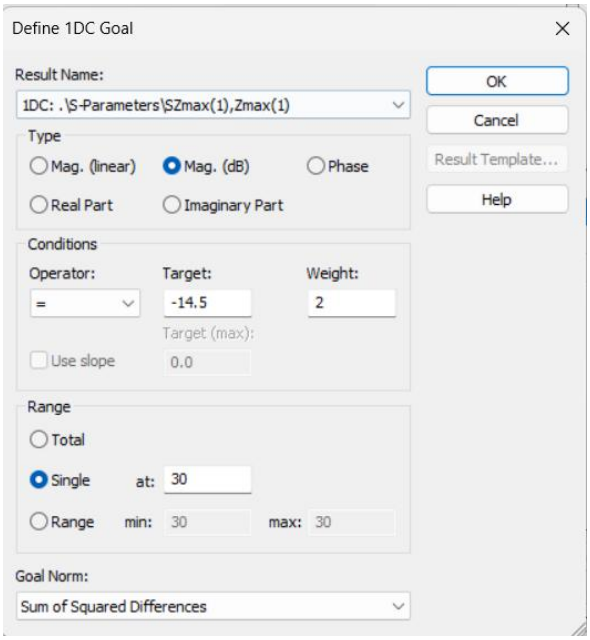
รูปที่ 14 การกำหนดขอบเขต max/min (L2, L3 และ R)



(a)



(b)

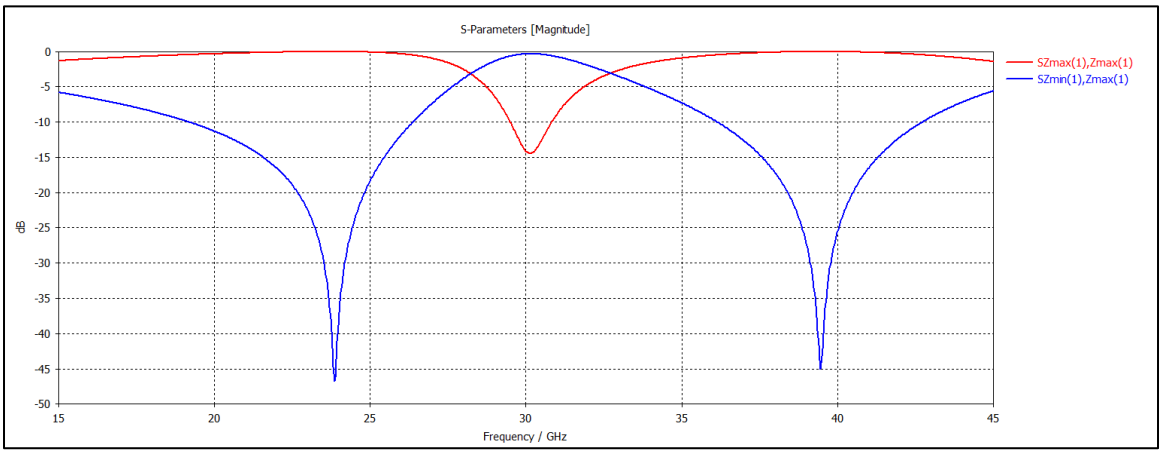


(c)

รูปที่ 15 การตั้งค่าในส่วนของผลลัพธ์

3.2 การวิเคราะห์และผลการจำลอง

หลังจากที่โปรแกรมดำเนินการเสร็จสิ้น จะได้กราฟที่แสดงในรูปที่ 16 โดยโปรแกรมจะมีการระบุค่าที่ใช้ในการพล็อตครั้งนี้ดังรูปที่ 17 ซึ่งเป็นค่าพารามิเตอร์ที่ดีที่สุดที่โปรแกรมสามารถSolveได้ในขอบเขตที่ได้กำหนดไว้ในข้างต้น

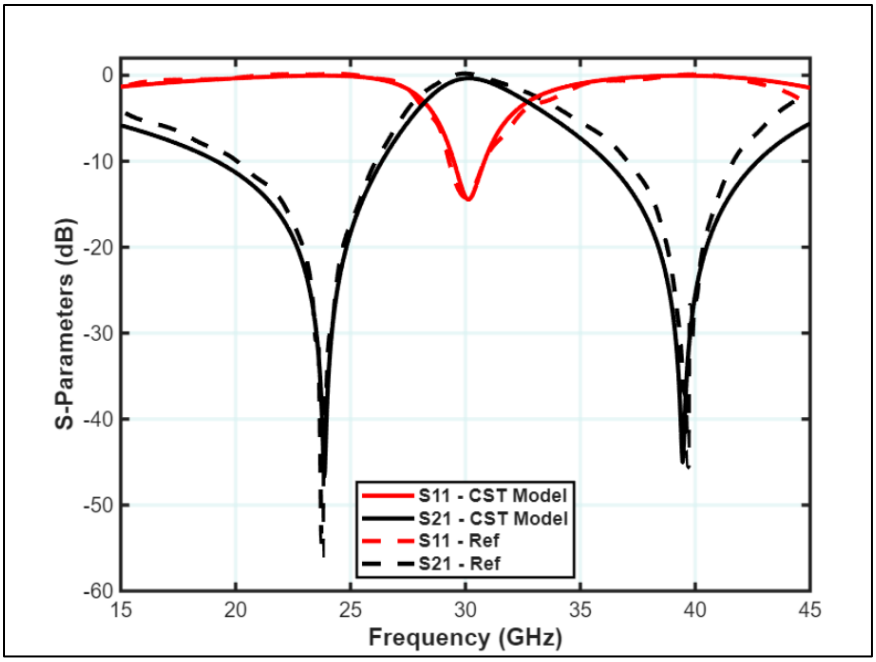


รูปที่ 16 กราฟ S11และ S21 ที่ปรับโครงสร้างด้วยการOptimizer

	Parameter /	Min	Max	Initial	Current	Best
☐	L	2.97	3.63	3.3	3.3	3.3
☒	L2	2.94	2.96	2.9509995532533	2.9509995532533	2.951
☒	L3	1.1	1.25	1.2451358849273	1.2451358849273	1.245
☐	phi	-0.1	0.1	0	0	0
☒	R	1.15	1.35	1.183560004611	1.183560004611	1.184

รูปที่ 17 ค่าพารามิเตอร์ใหม่ที่ผ่านการOptimizer

3.3 การเทียบผลอ้างอิง



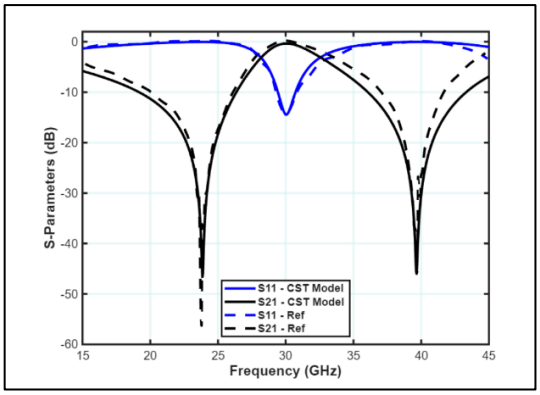
รูปที่ 18 กราฟ S11 และ S21 เทียบกับตัวอ้างอิง

4. สรุปเปรียบเทียบระหว่างการใช้ Par. Sweep หรือ Optimizer

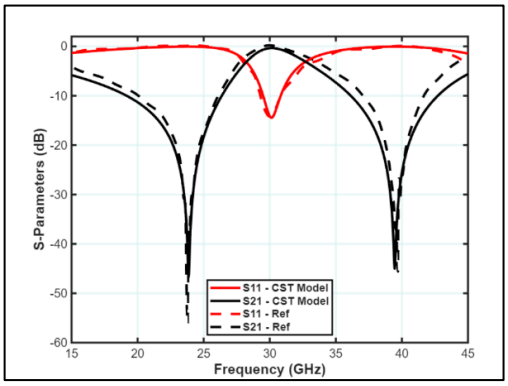
ค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากการปรับโครงสร้างด้วยการใช้ Par. Sweep หรือ Optimizer จะมีความแตกต่างกันเนื่องจาก การปรับโดยใช้ Par. Sweep ไม่สามารถกำหนดค่าในแกน Y ได้ จึงเน้นที่การปรับค่าในแกน X มากกว่า ซึ่งต่างจากการใช้ Optimizer ที่สามารถกำหนด Target ทั้งสองแกนได้ในครั้งเดียวได้ แต่จะใช้เวลาในการรันโปรแกรมมากกว่ามาก อีกทั้งยังได้ค่าที่ละเอียดมากกว่าการใช้ Par. Sweep ซึ่งค่าพารามิเตอร์และกราฟการเปรียบเทียบกับค่าอ้างอิงระหว่างการปรับโครงสร้างด้วยการใช้ Par. Sweep หรือ Optimizer ค่าพารามิเตอณีทั้งหมดมีหน่วยเป็น **(mm)** แสดงในตารางที่ 2 และในรูปที่ 19

ตารางที่ 2

Parameter	Par. Sweep	Optimizer
L	3.3	3.3
W	3.3	3.3
L2	2.955	2.951
L3	1.1	1.245
R*	1.19	1.184
s	0.2	0.2
d	0.2	0.2
h	0.76	0.76



(a)



(b)

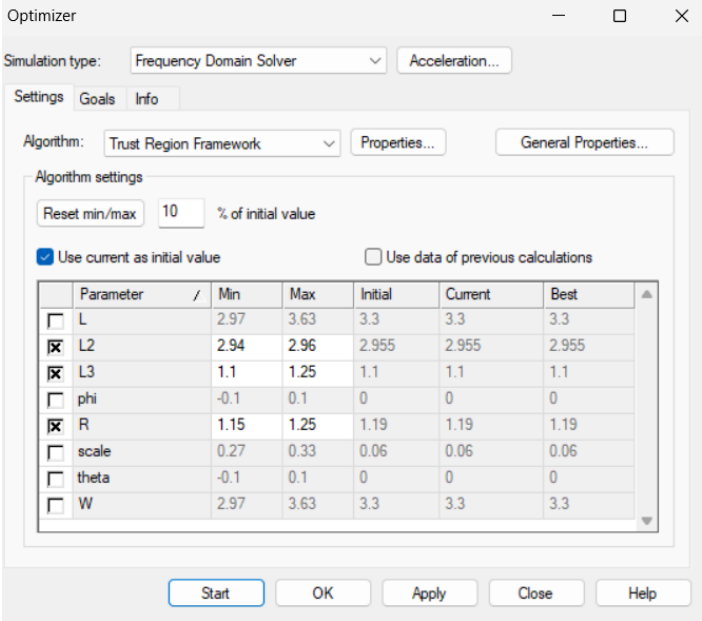
รูปที่ 19 กราฟ S11 และ S21 เทียบกับตัวอ้างอิง **(a)** Par. Sweep **(b)** Optimizer

5. การนำเครื่องมือทั้งสองมาใช้ร่วมกัน (Par. Sweep + Optimizer)

ในกระบวนการนี้จะเป็นการนำค่าที่ผ่านการ Par. Sweep แล้วจึงนำมาผ่านการปรับค่า Optimizer เพื่อหาค่าในช่วงที่ต้องการความละเอียดเพิ่มขึ้นอีก ซึ่งในกระบวนการนี้จะต้องรู้ว่าค่าพารามิเตอร์แต่ละตัวส่งผลยังไงต่อค่า S-Parameter จึงจะทำให้กราฟนั้นเข้าใกล้กราฟอ้างอิงได้

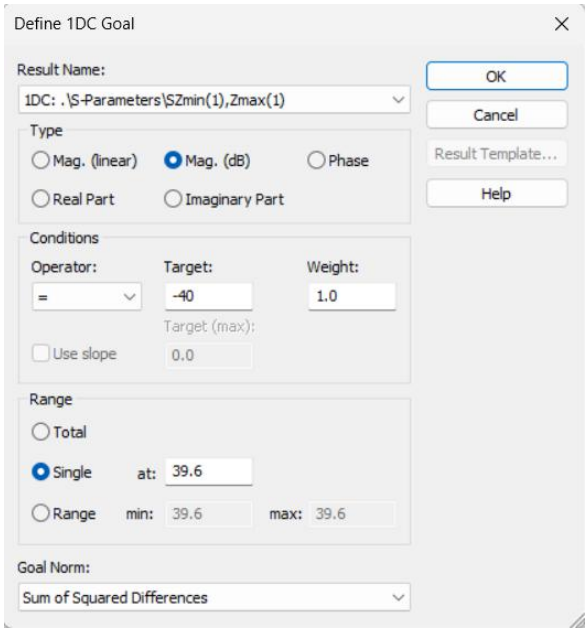
5.1 ค่าพารามิเตอร์ที่ใช้

ค่าพารามิเตอร์ในขั้นตอนปรับโครงสร้างด้วย Par. Sweep จะนำค่าในหัวข้อที่ 1 มาใช้ ซึ่งค่าที่ผ่านการ Par. Sweep มาแล้วนั้น มีค่าในแกน X ใกล้เคียงกับค่าอ้างอิงแล้ว ดังนั้นจึงนำมาผ่านการ Optimizer เพื่อปรับให้ค่าแกน Y มีค่าเข้าใกล้กราฟอ้างอิงมากขึ้น ได้มีการกำหนดค่าพารามิเตอร์ดังนี้

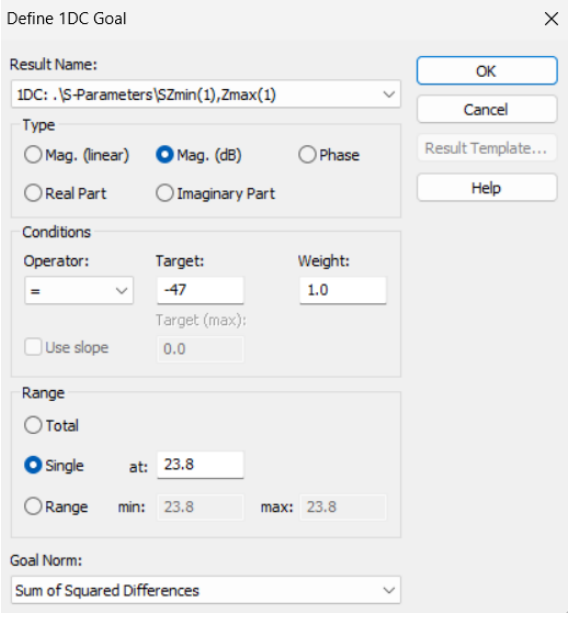


Parameter	Min	Max	Initial	Current	Best
L	2.97	3.63	3.3	3.3	3.3
L2	2.94	2.96	2.955	2.955	2.955
L3	1.1	1.25	1.1	1.1	1.1
phi	-0.1	0.1	0	0	0
R	1.15	1.25	1.19	1.19	1.19
scale	0.27	0.33	0.06	0.06	0.06
theta	-0.1	0.1	0	0	0
W	2.97	3.63	3.3	3.3	3.3

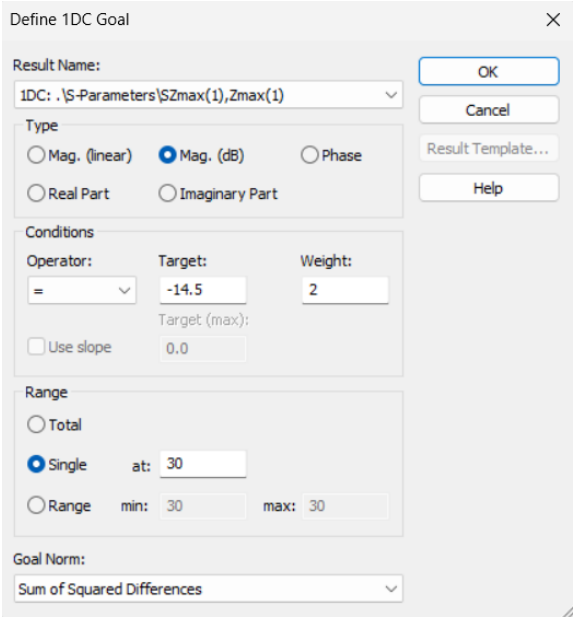
รูปที่ 20 การกำหนดขอบเขต max/min (L2, L3 และ R)



(a)



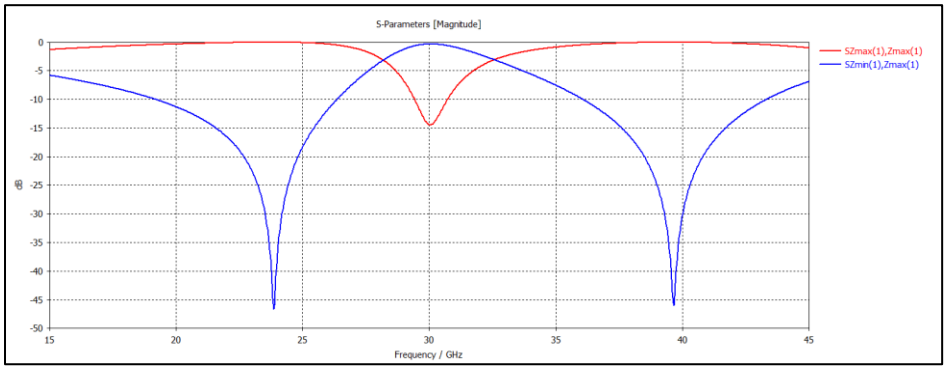
(b)



(c)

รูปที่ 21 การตั้งค่าในส่วนของผลลัพธ์ **(a)** upper reflection band (38 GHz) **(b)** lower reflection band (24 GHz) **(c)** transmission band (30 GHz)

5.2 ผลการจำลอง



รูปที่ 22 กราฟ S11และ S21 ที่ปรับโครงสร้างด้วยการใช้ Par. Sweep + Optimizer

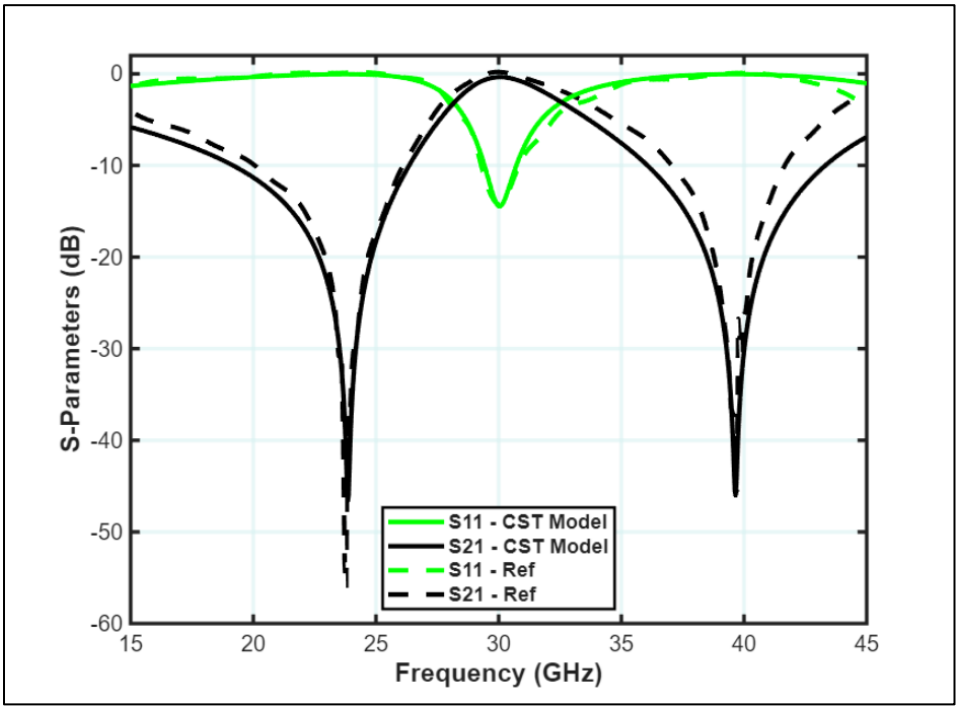
5.3 ค่าพารามิเตอร์

ค่าพารามิเตอร์หลังจากผ่านการปรับโครงสร้างด้วยการใช้ Par. Sweep + Optimizer ดังที่แสดงตามตารางที่ 3

ตารางที่ 3

Parameter	Values(mm)
L	3.3
W	3.3
L2	2.955
L3	1.1
R*	1.19
s	0.2
d	0.2
h	0.76

5.4 การเทียบผลอ้างอิง



รูปที่ 23 กราฟ S11 และ S21 เทียบกับตัวอ้างอิง

References

[1] Malik, B. T., Khan, S., & Koziel, S. (2024). Design and implementation of multi-band reflectarray metasurface for 5G millimeter wave coverage enhancement. *Scientific Reports*, *14*, 15286. https://doi.org/10.1038/s41598-024-66330-4