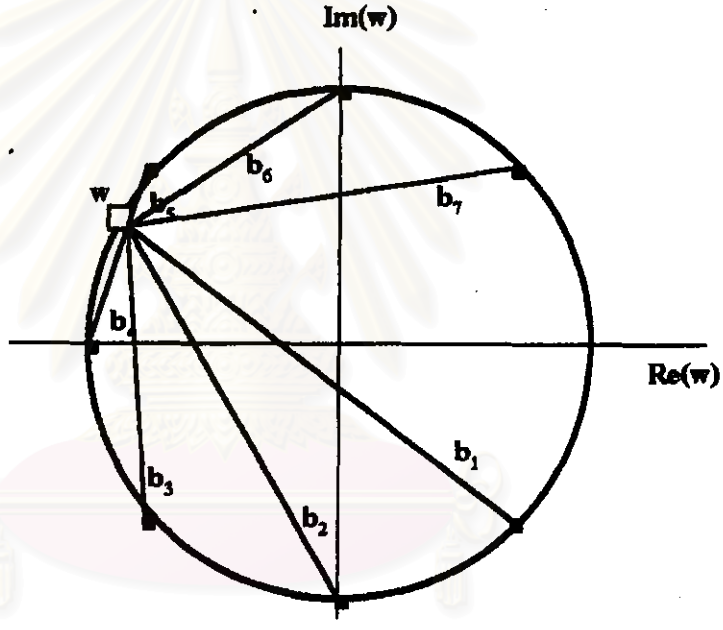
บทที่ 5

การลดริปเปิ้ลของไดเรกทิวิตี้ในไดเรกชันแนลคัปเปลอร์แบบเชบิเชฟ

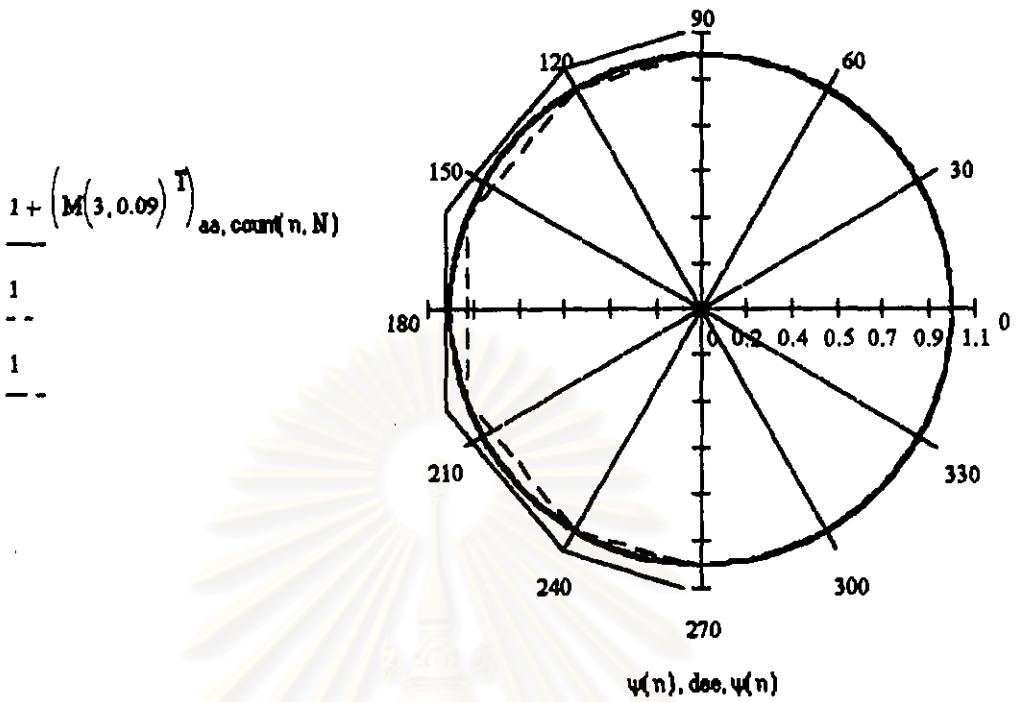
ในการออกแบบไดเรกชันแนลคัปเปลอร์โดยใช้การกระจายรากแบบเชบีเชฟที่ผ่านมานั้นจะเห็นว่ามีริปเปิ้ลที่ค่อนข้างสูงที่บางช่วงความถี่ ดังนั้นถ้าเราสามารถลดริปเปิ้ลลงมาได้ก็จะทำให้ค่าไดเรกทิวิตี้มีค่าที่เรียบขึ้นในช่วงความถี่ที่เราต้องการ ซึ่งอาจมีความจำเป็นสำหรับงานบางอย่างที่อาจจะต้องการไดเรกชันแนลคัปเปลอร์ที่มีคุณสมบัติเช่นนี้

ในไดเรกชันแนลคัปเปลอร์แบบเชบีเชฟ จากสมการ (4.30) พบว่า w_n ทั้งหลายจะอยู่ในวงกลมรัศมี 1 หน่วย ซึ่งมีจุดศูนย์กลางอยู่ที่จุดกำเนิดของระนาบเชิงซ้อนเสมอดังแสดงในรูป 5.1 ส่วน w ที่ความถี่ต่างๆ ซึ่งเท่ากับ $e^{-2j\theta}$ ก็จะอยู่บนวงกลมนี้เช่นกัน



รูปที่ 5.1 แสดงราก w_n ซึ่งอยู่บนเส้นรอบวงของวงกลมรัศมี 1 หน่วยในระนาบเชิงซ้อน

จะเห็นว่าเมื่อความถี่เปลี่ยนไป w จะเคลื่อนไป และเมื่อทับกับราก w_1 ถึง w_6 ที่กระจายอยู่บนวงกลมรัศมี 1 หน่วยนี้ ก็จะทำให้สมการ (4.17) เป็นศูนย์ซึ่งก็จะทำให้ไดเรกทิวิตี้ มีค่าเป็นอนันต์ด้วย ดังนั้นถ้าเราเลื่อนราก w_1 - w_6 โดยให้เลื่อนออกหรือเข้าจากเส้นรอบวงกลมนี้ก็จะทำให้ริปเปิ้ลของไดเรกทิวิตี้ลดลงได้ เนื่องจากรากของการกระจายแบบเชบีเชฟนั้นครึ่งหนึ่งของรากประกอบด้วยคำตอบที่เป็นคอนจูเกตกับอีกครึ่งหนึ่งเช่น ไดเรกชันแนลคัปเปลอร์ที่ออกแบบโดยให้มีจำนวน 7 รู w_1 - w_3 ก็จะเป็นคอนจูเกตกับ w_4 - w_6 ตามลำดับ ดังนั้นเมื่อให้รากทั้งหมดนี้เลื่อนเข้าหรือออกจากเส้นวงกลม 1 หน่วยโดยมีขนาดเท่าๆกันเราจะสามารถทำได้ 2^3 วิธี



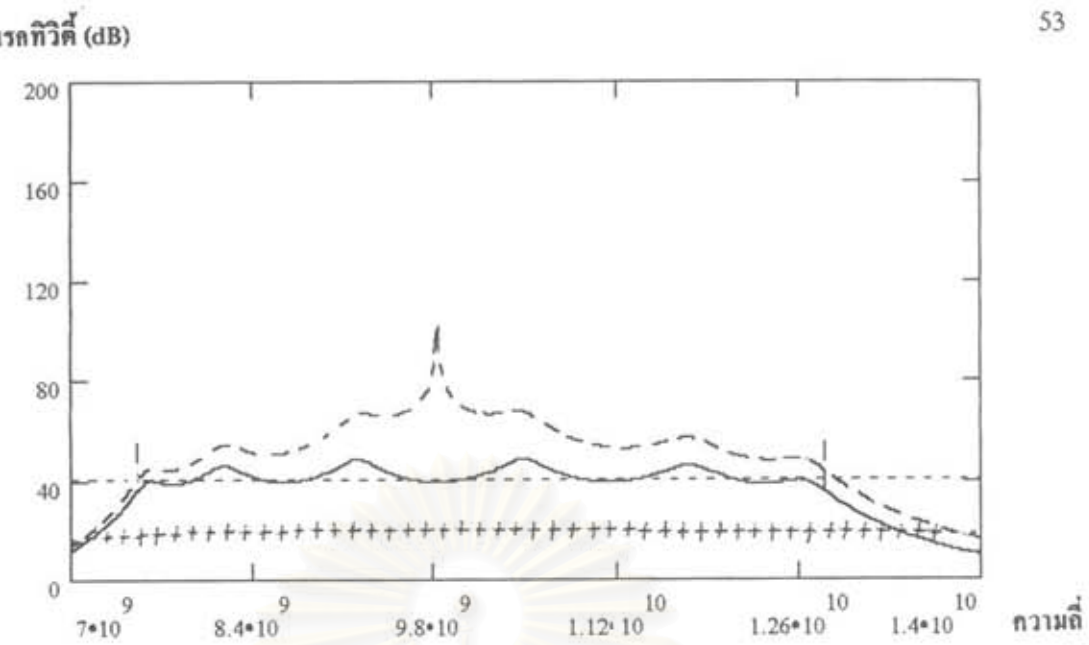
รูปที่ 5.2 แสดงถึงการเลื่อนออกของรากจากวงกลม 1 หน่วยด้วยขนาด(Magnitude) +0.09 เท่าๆกัน

แต่จากการให้ข้อมูลโดยการใช้การเลื่อนเข้าหรือออกของรากในแต่ละวิธีและค่อยๆเพิ่มขนาดของการเลื่อนโดยใช้คอมพิวเตอร์โดยให้เพิ่มหรือลดขนาดทีละ 0.01 พบว่าวิธีการเลื่อนเข้าหรือออกน้อยๆของรากไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของริปเปิ้ล แต่จะมีผลกับขนาดที่จะเลื่อนเข้าหรือออกเพียงอย่างเดียว ดังนั้นเมื่อเราได้รากที่มีขนาดตามที่เราได้เพิ่มหรือลดแล้ว ก็สามารถนำไปหารัศมีในแต่ละรูได้ดังที่ได้กล่าวไว้แล้วในบทที่ 4

5.1 ผลของรากที่เคลื่อนออกจากวงกลม 1 หน่วย

ต่อไปนี้เป็นการนำเอาการออกแบบโดยใช้การกระจายแบบเชบีเชฟที่ได้ทำผ่านมาแล้วมาเลื่อนรากออก ซึ่งจะได้ผลดังแสดงข้างล่าง ทั้งนี้ช่วงความถี่ของการใช้งาน ขนาดของท่อนำ ตำแหน่งของรู การคัปปลิ้ง และค่าต่ำสุดของไดเรกทิวิตี้ เหมือนกับที่วิเคราะห์มาแล้วในหัวข้อที่ 4.8 และ 4.9

ไดเรกชันแนลคัปเปลอร์แบบ เชบีเชฟ ที่มีจำนวนรู 7 รู และมีค่าไดเรกทิวิตี้ต่ำที่สุดเท่ากับ **40 dB** เมื่อลดริปเปิ้ล โดยใช้ขนาดที่เลื่อนเข้าออกเท่ากับ 0.09 จะได้ค่าไดเรกทิวิตี้ที่ความถี่ต่างๆ และขนาดของรูต่างๆ จะเปลี่ยนไปดังแสดงในรูปที่ 5.3 และตารางที่ 5.1 ข้างล่าง



รูปที่ 5.3 ไดเรคทิวิตี้ที่ความถี่ต่างๆของไดเรกชันแนลคัปเปลอร์แบบเชบีเชฟที่มีรู 7 รู และมีระยะเลื่อน 0.09

——— ค่าไดเรคทิวิตี้เมื่อไม่คิดผลเนื่องจากพจน์ log ($|T_d|/|T_b|$)

- - - ค่าไดเรคทิวิตี้เมื่อคิดผลเนื่องจากพจน์ log ($|T_d|/|T_b|$)

┼ ค่าคัปปลิ้ง C

ตารางที่ 5.1

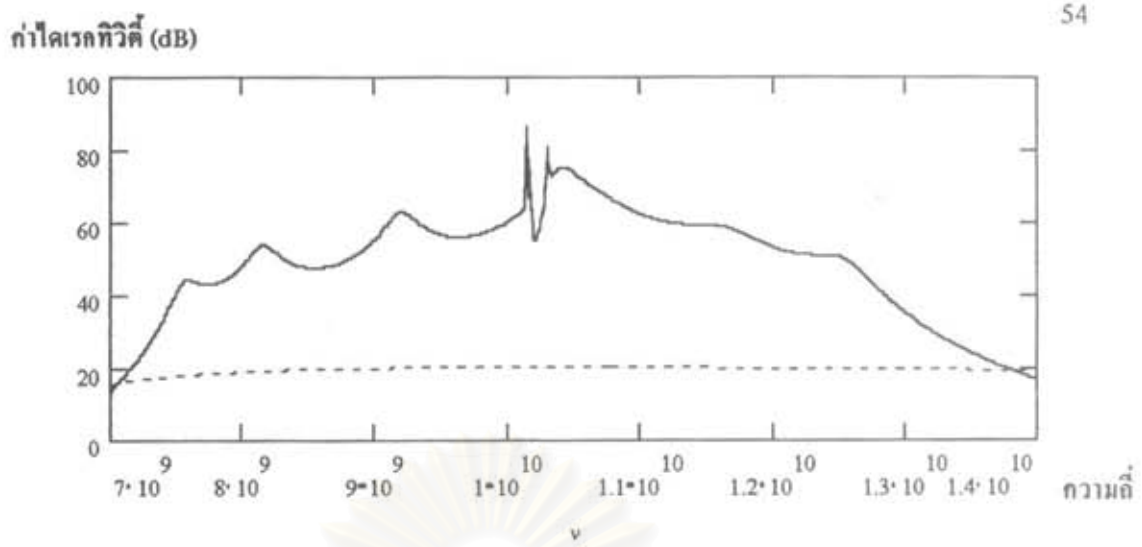
แสดงรัศมีของรูต่างๆเมื่อเลื่อน w_n ออกเป็นระยะ 0.09

รัศมีของแต่ละรู (mm)	
1	2.0263
2	2.9033
3	3.49596
4	3.654
5	3.39647
6	2.8042
7	1.92398

ในรูปกราฟเส้นบนเป็นกราฟที่คิดผลจาก $|T_d|$ และ $|T_b|$

เมื่อคิดความหนาของผนังที่อยู่ระหว่างท่อบนและท่อล่างสามารถนำไปเขียนกราฟได้ดังนี้

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 5.4 ไดเรคทิวิตี้ที่ความถี่ต่างๆของไดเรคชันแนลคัปเปลอร์แบบเชบีเชฟที่มีรู 7 รู และมีระยะเลื่อน 0.09 ที่ความหนาของผนังท่อ 1 mm (ปริมาณอื่นๆ เหมือนกับในรูป 5.3)

—— ค่าไดเรคทิวิตี้เมื่อคิดผลเนื่องจากพจน์ $\log(|T_p|/|T_b|)$

– – – ค่าคัปปลิ้ง C

ตารางที่ 5.2

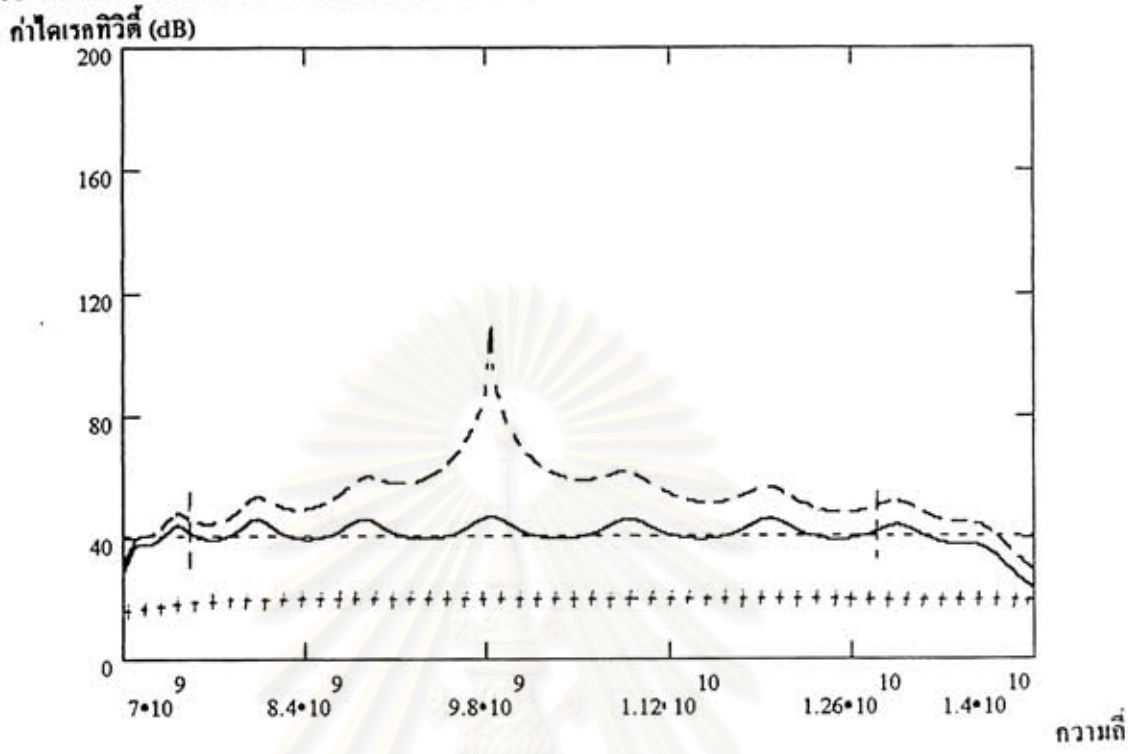
แสดงรัศมีของรูต่างๆเมื่อคำนึงถึงความหนาของท่อนำ

รัศมีของแต่ละรู (mm)	
1	2.409
2	3.3011
3	3.8983
4	4.15753
5	3.99847
6	3.40114
7	2.51313

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ไดเรกชันแนลลัปเปลอร์แบบ เชบีเชฟ ที่มีจำนวนรู 10 รู

เมื่อลดริปเปิ้ล โดยใช้ขนาดที่เลื่อนเข้าออกเท่ากับ 0.09 จะได้กราฟดังนี้



รูปที่ 5.5 ไดเรกทิวิตี้ที่ความถี่ต่างๆของไดเรกชันแนลลัปเปลอร์แบบเชบีเชฟที่มีรู 10 รู และมีระยะเลื่อน 0.09

—— ค่าไดเรกทิวิตี้เมื่อไม่คิดผลเนื่องจากพจน์ $\log(|T_a|/|T_b|)$

– – – ค่าไดเรกทิวิตี้เมื่อคิดผลเนื่องจากพจน์ $\log(|T_a|/|T_b|)$

+ ค่าคัปปลิ้ง C

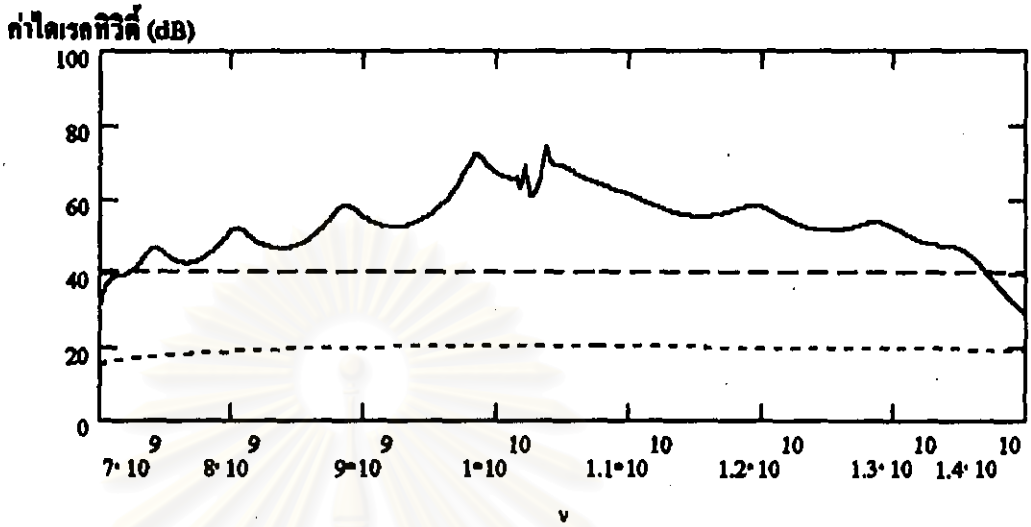
ตาราง 5.3

แสดงรัศมีของรูต่างๆเมื่อเลื่อน w_n ออกเป็นระยะ 0.09

รัศมีของแต่ละรู (mm)	
1	1.72328
2	2.37332
3	2.84551
4	3.13506
5	3.27126
6	3.17663
7	2.94423
8	2.54238
9	2.02151
10	1.50008

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

จากกราฟจะเห็นว่ากราฟเส้นบนเป็นกราฟที่คิดผลจาก $|T_f|$ และ $|T_b|$และเมื่อนำไปคิดความหนาของผนังที่อยู่ระหว่างท่อบนและท่อล่างสามารถนำไปเขียนกราฟได้ดังนี้



รูปที่ 5.6 ไดเรกทิวิตี้ที่ความถี่ต่างๆของไดเรคชันแนอลัปเปอร์แบบเชบีเชฟที่มีรู 10 รู และมีระยะเลื่อน 0.09 ที่ความหนาของผนังท่อ 1 mm

—— ค่าไดเรกทิวิตี้เมื่อคิดผลเนื่องจากเฟส $\log(|T_f|/|T_b|)$

- - - ค่าลัปปลิ้ง C

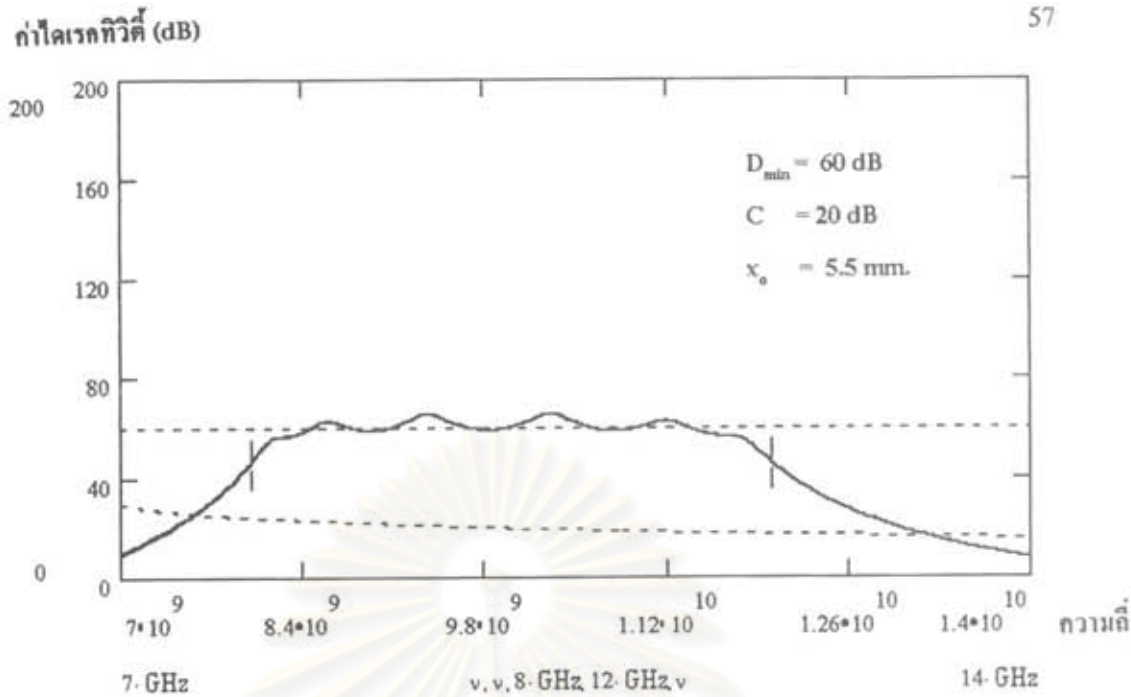
จะเห็นว่า ในการเลื่อน w_n ออกจากเส้นรอบวงของวงกลม 1 หน่วย จะทำให้ปลายแหลมของไดเรกทิวิตี้ลดลง

5.2 ผลของไดเรกทิวิตี้เนื่องจากการเปลี่ยนค่า x_0

จากการออกแบบที่ผ่านมาจะเห็นว่าเราสามารถลดริปเปิ้ลลงได้แต่จะเห็นได้ว่ายังมีปลายแหลม(peak) เนื่องจากผลของ $|T_f|$ และ $|T_b|$ ที่ความถี่กลางดังนั้นเมื่อเลื่อน x_0 ที่สัมพันธ์กับความถี่กลางออกเพื่อเลื่อนให้ปลายแหลมออกไปจากช่วงความถี่ที่เราสนใจเมื่อนำมาเขียนกราฟโดยมีพารามิเตอร์ที่ต้องการดังนี้

ไดเรคชันแนอลัปเปอร์แบบ เชบีเชฟ ที่มีจำนวนรู 7 รู

ต้องการให้ไดเรกทิวิตี้มีค่าใกล้เคียงที่ 60dB และมีค่าลัปปลิ้งที่ 20dB ระยะห่างของรูจากผนัง (x_0) = 5.5 mm และมีจำนวนรู 7 รูโดยใช้ท่อนำ x-band ขนาดเดิม เมื่อนำมาเขียนกราฟจะได้



รูปที่ 5.7 ไดเรกทิวิตี้ที่ความถี่ต่างๆของไดเรกชันแนลคัปเปลอร์แบบเชบีเชฟที่มีรู 7 รู

—— ค่าไดเรกทิวิตี้เมื่อคิดผลเนื่องจากพจน์ $\log(|T_f|/|T_b|)$

– – – ค่าคัปปลิ้ง C

จะเห็นว่าผลจาก $|T_f|$ และ $|T_b|$ ลดลงอย่างมากจนกราฟทั้งสองซ้อนทับกันและจะได้รัศมีดังนี้

ตารางที่ 5.4

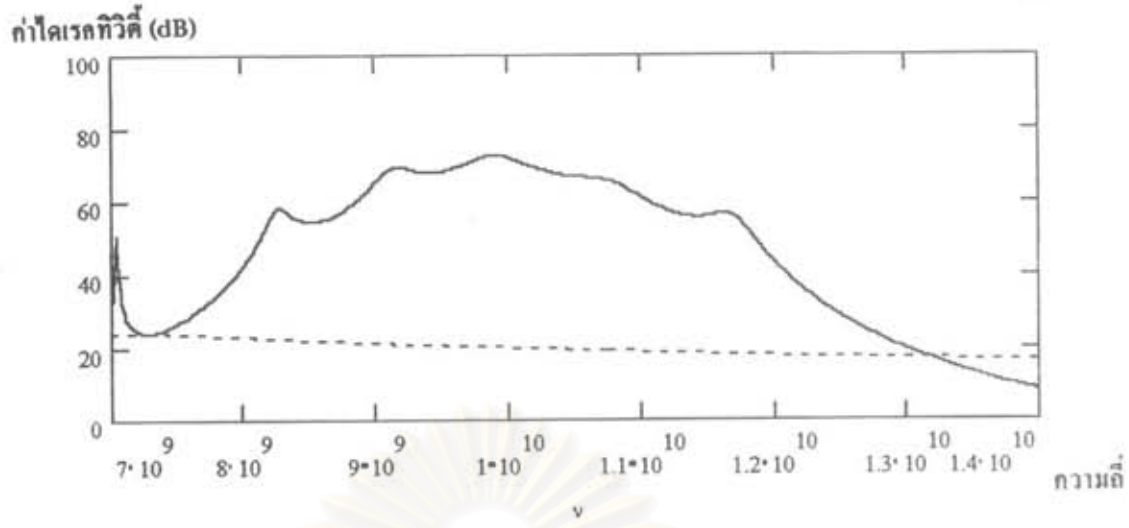
แสดงรัศมีของรูต่างๆของไดเรกชันแนลคัปเปลอร์

รัศมีของแต่ละรู (mm)	
1	1.85784
2	3.01377
3	3.82918
4	4.096
5	3.7564
6	2.91208
7	1.7648

ตัวแปรอื่นๆเหมือนในรูปที่ 5.7

เมื่อนำมาคิดความหนาจะนำมาเขียนกราฟได้ดังในรูป 5.8

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 5.8 ไดเรคทิวิตี้ที่ความถี่ต่างๆของไดเรคชันแนลคัปเปลอร์แบบเชบีเชฟที่มีรู 7 รู และมีระยะเลื่อน 0.09 ที่ความหนาของผนังท่อ 1 mm (ตัวแปรอื่นๆเหมือนในรูปที่ 5.7)

—— ค่าไดเรคทิวิตี้เมื่อคิดผลเนื่องจากพจน์ log ($|T_g|/|T_b|$)

– – – ค่าคัปปลิ้ง C

จะได้รัศมีเมื่อคิดความหนาจะได้ดังในตารางข้างล่าง

ตารางที่ 5.5

แสดงรัศมีต่างๆของไดเรกชันแนลคัปเปลอร์

รัศมีของแต่ละรู (mm)	
1	2.28874
2	3.45142
3	4.26897
4	4.53627
5	4.19604
6	3.34938
7	2.19475

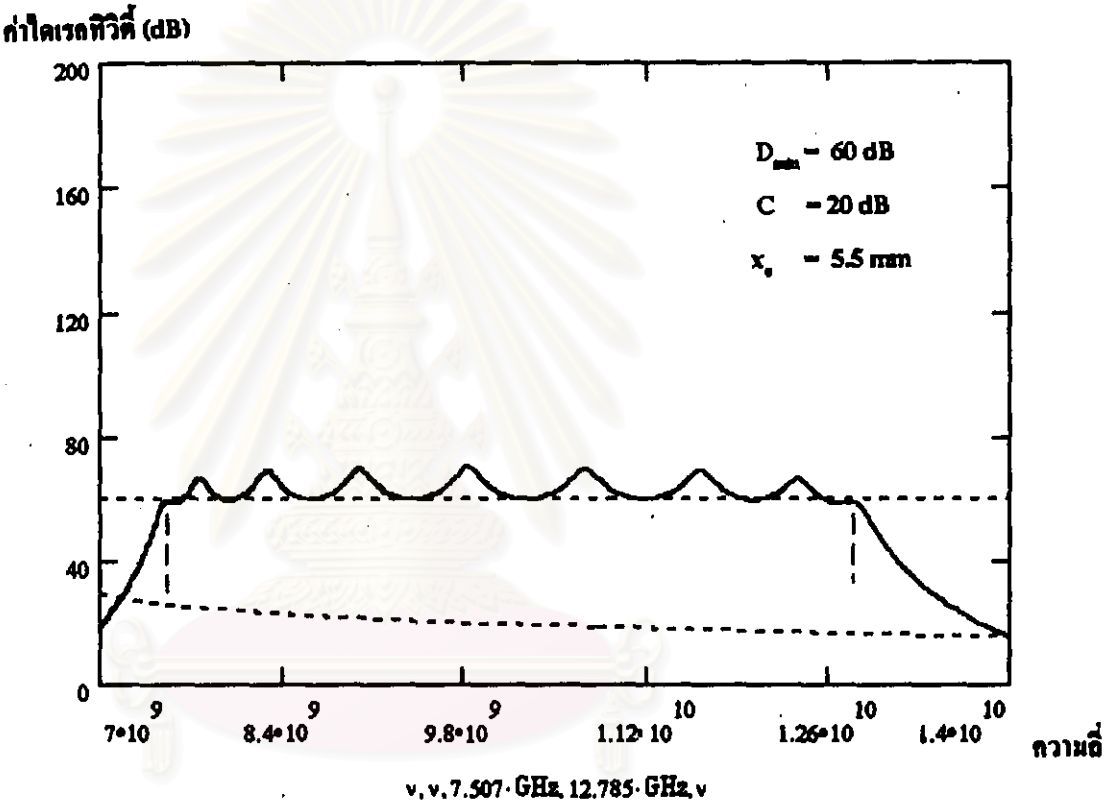
ตัวแปรต่างๆ เหมือนกับในรูปที่ 5.7

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

จะเห็นได้ว่าเมื่อนำมาคิดความหนาจะพบว่าค่าไดเรกทิวิตี้ที่เราต้องการอยู่ในช่วงประมาณ 8.9 Ghz - 11.2 Ghz ซึ่งมีช่วงใช้งานแคบกว่าที่เราต้องการดังนั้นเราจึงต้องเพิ่มจำนวนรูของไดเรกชันแนลคัปเปลอร์เพื่อให้มีช่วงความถี่ที่เพิ่มขึ้นดังต่อไปนี้

ไดเรกชันแนลคัปเปลอร์แบบ เชบีเชฟ ที่มีจำนวนรู 10 รู

ต้องการให้ไดเรกทิวิตี้มีค่าใกล้เคียงที่ 60dB และมีค่าคัปปลิ้งที่ 20dB ระยะห่างของรูจากผนัง (x_o) = 5.5 mm และมีจำนวนรู 10 รูเมื่อนำมาเขียนกราฟจะได้



รูปที่ 5.9 ไดเรกทิวิตี้ที่ความถี่ต่างๆของไดเรกชันแนลคัปเปอร์แบบเชบีเชฟที่มีรู 10 รู

—— ค่าไดเรกทิวิตี้เมื่อคิดผลเนื่องจากพจน์ log ($|\Gamma_e|/|\Gamma_o|$)

– – – ค่าคัปปลิ้ง C

รัศมีแต่ละรูดังแสดงในตารางที่ 5.6

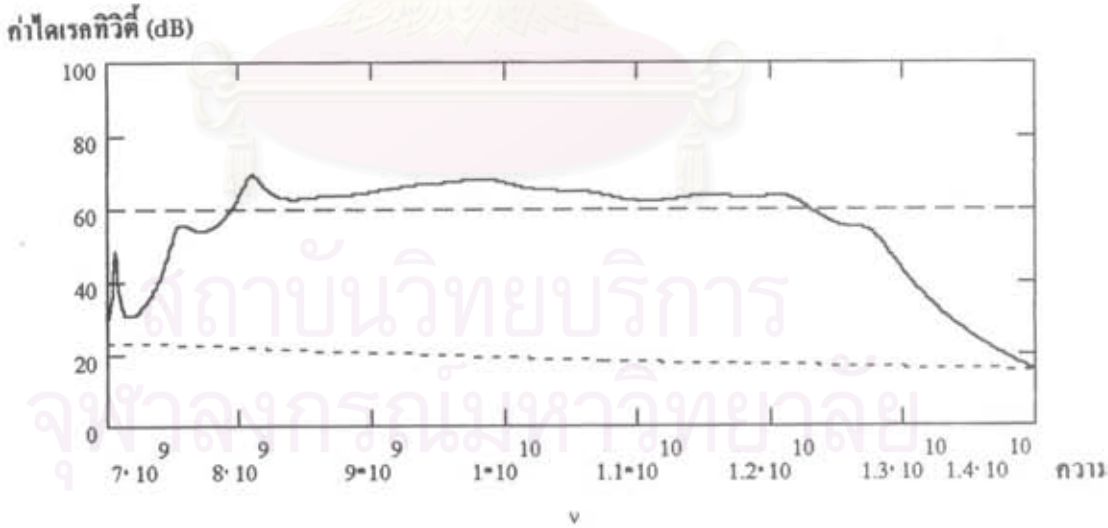
ตารางที่ 5.6

แสดงรัศมีต่างๆของไดเรกชันแนลคัปเปลอร์

รัศมีของแต่ละรู (mm)	
1	1.42821
2	2.30932
3	3.05402
4	3.57575
5	3.81476
6	3.73599
7	3.36862
8	2.76802
9	2.02643
10	1.24329

ตัวแปรต่างๆเหมือนกับในรูปที่ 5.9

และเมื่อนำมาคิดความหนาของผนังระหว่างท่อบนและล่างจะได้กราฟดังนี้



รูปที่ 5.10 ไดเรกทิวิตี้ที่ความถี่ต่างๆของไดเรกชันแนลคัปเปลอร์แบบเซบีเชฟที่มีรู 10 รู และมีระยะเลื่อน 0.(
ที่ความหนาของผนังท่อ 1 mm (ตัวแปรอื่นๆเหมือนในรูปที่ 5.9)

—— ค่าไดเรกทิวิตี้เมื่อคิดผลเนื่องจากพจน์ log ($|T_a|/|T_b|$)

– – – ค่าคัปปลิ้ง C

รัศมีเมื่อคิดความหนาของผนังระหว่างท่อบนและล่างแสดงในตารางที่ 5.7

ตารางที่ 5.7

แสดงรัศมีต่างๆของไดเรกชันแนลคัปเปลอร์

รัศมีของแต่ละรู (mm)	
1	1.66525
2	2.45883
3	3.20475
4	3.80735
5	4.17558
6	4.25452
7	4.015
8	3.49182
9	2.74373
10	1.85365

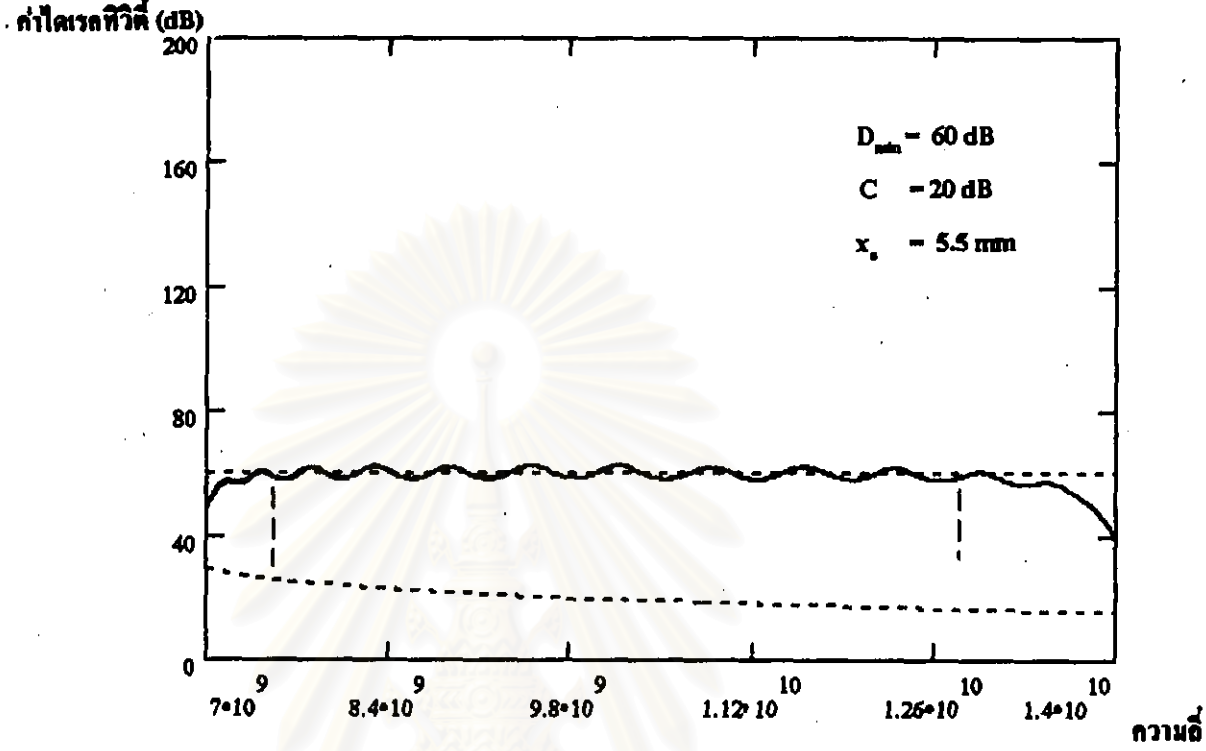
ตัวแปรต่างๆ เหมือนกับในรูปที่ 5.9

ซึ่งจะเห็นว่าเราได้ช่วงความถี่กว้างขึ้นและครอบคลุมความถี่ที่เราต้องการ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ไดเรกชันแนลคัปเปลอร์แบบ เชบีเชฟ ที่มีจำนวนรู 15 รู

ต้องการให้ไดเรกทิวิตี้มีค่าใกล้เคียงที่ 60dB และมีค่าคัปปลิ้งที่ 20dB ระยะห่างของรูจากผนัง (x_o) = 5.5 mm และมีจำนวนรู 15 รูเมื่อนำมาเขียนกราฟจะได้



รูปที่ 5.11 ไดเรกทิวิตี้ที่ความถี่ต่างๆของไดเรกชันแนลคัปเปลอร์แบบเชบีเชฟที่มีรู 15 รู

____ ค่าไดเรกทิวิตี้เมื่อคิดผลเนื่องจากหลอน์ log ($|T_f|/|T_b|$)

\- - - - ค่าคัปปลิ้ง C

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รัศมีแต่ละรูและในตารางที่ 5.8

ตารางที่ 5.8

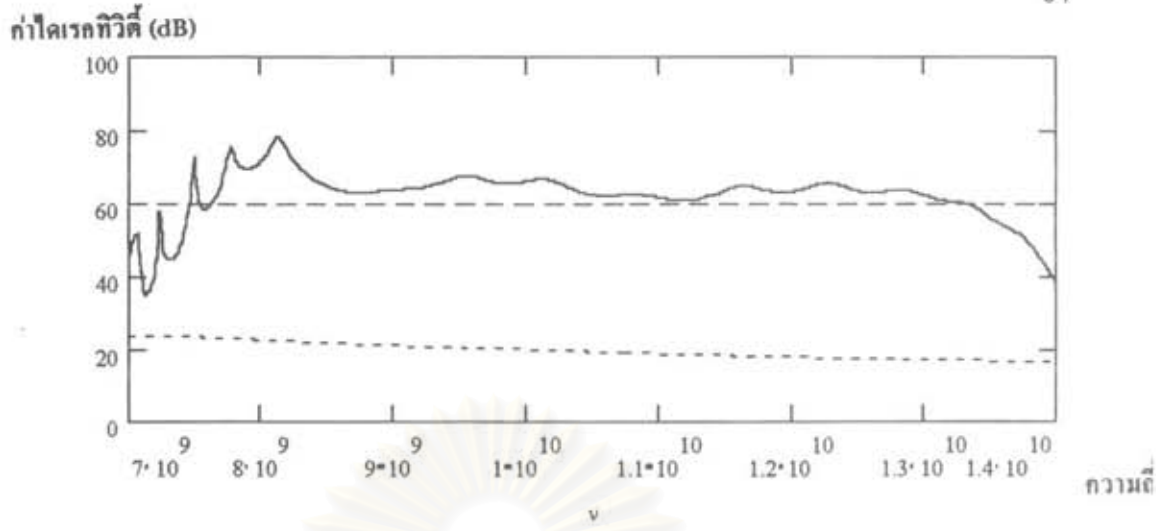
แสดงรัศมีต่างๆของไดเรกชันแนลคัปเปลอร์

รัศมีของแต่ละรู (mm)	
1	1.08846
2	2.57143
3	2.14402
4	2.57143
5	2.9169
6	3.14365
7	3.25359
8	3.23478
9	3.09444
10	2.85009
11	2.51295
12	2.1194
13	1.68508
14	1.23971
15	0.82113

ตัวแปรต่างๆ เหมือนกับในรูปที่ 5.11

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

และเมื่อนำมาคิดความหนาของผนังระหว่างท่อบนและล่างจะได้กราฟดังนี้



รูปที่ 5.12 ไดเรคทิวิตี้ที่ความถี่ต่างๆของไดเรคชันแนลคัปเปลอร์แบบเชบีเชฟที่มีรู 15 รู และมีระยะเลื่อน 0.09 ที่ความหนาของผนังท่อ 1 mm (ตัวแปรอื่นๆเหมือนในรูปที่ 5.11)

—— ค่าไดเรคทิวิตี้เมื่อคิดผลเนื่องจากพจน์ $\log(|T_f|/|T_b|)$

– – – ค่ากัปปลิ้ง C

รัศมีเมื่อคิดความหนาของผนังระหว่างท่อบนและล่างแสดงในตาราง 5.9

ตารางที่ 5.9

แสดงรัศมีต่างๆของไดเรคชันแนลคัปเปลอร์

รัศมีของแต่ละรู (mm)	
1	1.50665
2	2.07369
3	2.57732
4	3.00788
5	3.35422
6	3.58178
7	3.692
8	3.67313
9	3.53236
10	3.28715
11	2.94851
12	2.55253

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 5.9 (ต่อ)

13	2.11412
14	1.66159
15	1.22995

ตัวแปรต่างๆ เหมือนกับในรูปที่ 5.11

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สรุปผลการวิจัย

จากที่ผ่านมาเราได้ใช้วิธีการกระจายรากเพื่อทำให้ไดเรกชันแนลคัปเปลอร์ใช้งานได้ดีในช่วงความถี่กว้างคือ

-วิธีการกระจายรากแบบ Chebyshev

-วิธีการกระจายรากแบบ Binomial

การทั้ง 2 วิธีกระจายรากทั้ง 2 วิธีมีข้อแตกต่างซึ่งเห็นได้ชัดดังต่อไปนี้

1. เมื่อไม่คิดความหนาของผนังท่อระหว่างท่อด้านล่างและด้านบนพบว่าการกระจายรากแบบ Binomail จะทำให้ค่าไดเรกทิวิตี้มีค่าสูงตลอดช่วงความถี่ส่วนการกระจายรากแบบ Chebyshev นั้นจะทำให้ค่าไดเรกทิวิตี้เป็นยอดแหลมในบางความถี่ที่อยู่ในช่วงใช้งานและมีค่าไดเรกทิวิตี้ต่ำสุดเท่ากับค่าไดเรกทิวตี้ที่เรายอมรับได้

2. เมื่อจำนวนรูเท่ากันการกระจายรากแบบ Chebyshev จะทำให้ไดเรกชันแนลคัปเปลอร์มีช่วงความถี่กว้างกว่าว่าการกระจายรากแบบ Binomail

3. เมื่อคิดความหนาของผนังท่อระหว่างท่อด้านล่างและด้านบนพบว่าการกระจายรากแบบ Binomail มีค่าไดเรกทิวิตี้ลดลงอย่างมากแต่มีค่าสูงพอที่จะยอมรับได้ ส่วนการกระจายรากแบบ Chebyshev มีการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย

4. การกระจายทั้ง 2 วิธี จะทำให้มีช่วงความถี่กว้างขึ้นเมื่อเพิ่มจำนวนรูในไดเรกชัน - แนลคัปเปลอร์

5. การกระจายทั้ง 2 วิธี เมื่อคิดเทอม $\log(|T_f|/|T_b|)$ จะทำให้ไดเรกทิวิตี้มีค่าสูงขึ้นอีกเล็กน้อย

การกระจายรากแบบ Chebyshev นั้นจะมียอดแหลมในบางความถี่ซึ่งเราสามารถลดความสูงของยอดแหลมเหล่านั้นลงได้โดยการเลื่อนรากที่กระจายอยู่บนวงกลมหนึ่งหน่วยซึ่งอยู่บนระนาบเชิงซ้อนที่มีจุดศูนย์กลางที่จุดกำเนิดให้ออกไปหรือเข้ามาจากวงกลมหนึ่งหน่วยนี้ การเลื่อนรากจะต้องเลื่อนรากที่เป็นคู่คอนจูเกตเข้าหรือออกด้วยขนาดเท่าๆกันซึ่งพบว่าจะมีวิธีเลื่อนรากเข้าหรือออกจากวงกลม 1 หน่วยนี้เท่ากับ $2^{\frac{N}{2}}$ เมื่อ N เป็นเลขคู่และเท่ากับ จำนวนรูลบด้วย 1 หรือเท่ากับ $2^{\frac{N+1}{2}}$ เมื่อ N เป็นเลขคี่แต่จากการคำนวณโดยให้คอมพิวเตอร์ค่อยๆเลื่อนรากออกโดยใช้วิธีการเลื่อนรากแต่ละวิธีพบว่าวิธีการเลื่อนเข้าหรือออกนั้นไม่มีผลต่อการลดลงของปลายแหลมของค่าไดเรกทิวิตี้ การลดลงของไดเรกทิวิตี้ขึ้นกับขนาดที่เลื่อนเข้าหรือออกเพียงอย่างเดียวเท่านั้น การเลื่อนเข้าหรือออกจากวงกลม 1 หน่วย สามารถลดยอดแหลมของไดเรกทิวิตี้ได้ และจากกราฟพบว่าการเลื่อนรากด้วยขนาดที่เหมาะสมจะทำให้ไดเรกทิวิตี้มีค่าค่อนข้างคงที่ใกล้เคียงกับค่าไดเรกทิวิตี้ต่ำสุดที่เรายอมรับได้ และเมื่อคิดผลจากเทอม $\log(|T_f|/|T_b|)$ เราสังเกตุเห็นว่ามียอดแหลมที่ความถี่กลางที่คิดได้จาก β_o ซึ่งเป็นผลที่ Bethe ได้คำนวณเมื่อเราคิดความหนาของผนังท่อพบว่าค่าไดเรกทิวิตี้ของไดเรกชันแนลคัปเปลอร์แบบเชบีเชฟ เมื่อลดปลายแหลมนั้นจะมีลักษณะเรียบขึ้นมากและจะสังเกตุเห็นผลเนื่องจากเทอม T_f และ T_b ได้ เมื่อเราเพิ่มจำนวนรูให้มากขึ้นก็เป็นผลให้ช่วงความถี่กว้างขึ้นด้วย เพื่อที่จะลดผลของการหักล้างของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเนื่องจากไดโพลไฟฟ้าและไดโพลแม่เหล็กดังที่ Bethe ได้คำนวณไว้ จึงได้ทำการเปลี่ยนให้ $x_0 = 5.5$ mm และพบว่ากราฟไดเรกทิวิตี้เมื่อคิดผลของ $\log(|T_f|/|T_b|)$ เลื่อนลงมาซ้อนทับกับ กราฟไดเรกทิวิตี้เมื่อไม่คิดผลของ $\log(|T_f|/|T_b|)$ และเมื่อคิดความหนาพบว่าไดเรกทิวิตี้มีค่าค่อนข้างเรียบและใกล้เคียงกับค่าไดเรกทิวิตี้ต่ำสุดที่เราต้องการ ซึ่งผลที่เกิดขึ้นนี้เราสามารถนำไปออกแบบไดเรกชันแนลคัปเปลอร์ที่มีค่าไดเรกทิวิตี้ที่คงที่ที่เราต้องการได้

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย