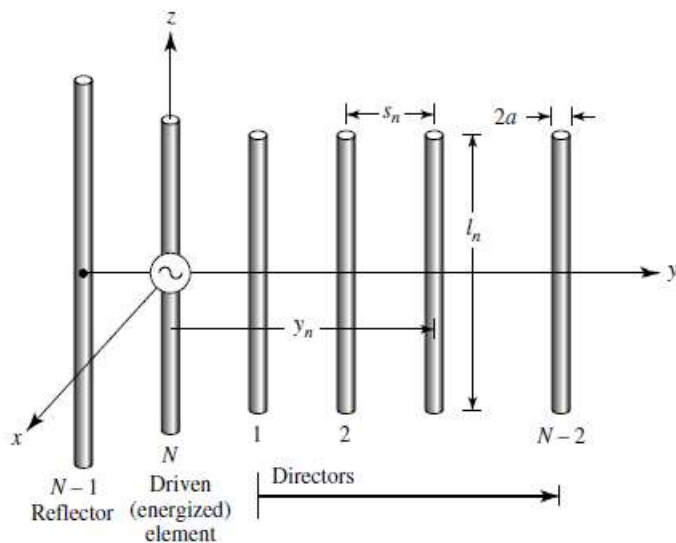


บทที่ 10 สายอากาศยาคิ-อูตะ

10.1 บทนำ

สายอากาศยาคิ-อูตะ (Yagi-Uda antenna) เป็นสายอากาศที่ได้รับความนิยมเป็นอย่างมากสำหรับนำมาใช้ในย่านความถี่ HF (3 – 30 MHz) VHF (30 – 300 MHz) และ UHF (300 – 3000 MHz) ซึ่งโครงสร้างของสายอากาศประเภทนี้ประกอบด้วยไดโพลหลายตัวมาต่อเรียงแบบอาร์เรย์เชิงเส้นดังแสดงในรูปที่ 10.1 จากรูปจะเห็นได้ว่ามีองค์ประกอบหนึ่งทำหน้าที่เป็นตัวขับสัญญาณ (Driven) โดยถูกป้อนสัญญาณผ่านทางสายนำสัญญาณ ซึ่งกระแสจากตัวขับจะถูกคัปปลิงให้กับองค์ประกอบพาราซิติก (Parasitic element) อื่น ๆ โดยที่องค์ประกอบพาราซิติกส่วนหนึ่งจะทำหน้าที่เป็นไดเรกเตอร์ (Director) เพื่อควบคุมลำคลื่นให้ชี้ทิศทางไปด้านหน้า และองค์ประกอบตัวหนึ่งทำหน้าที่เป็นตัวสะท้อน (Reflector) วางอยู่ด้านหลังของตัวขับเพื่อสะท้อนคลื่นให้ลำคลื่นไปด้านหน้าเช่นกัน

สายอากาศยาคิ-อูตะ มักถูกนำมาประยุกต์ใช้เป็นสายอากาศรับสัญญาณโทรทัศน์ในย่านความถี่ VHF และ UHF โดยที่โครงสร้างของสายอากาศจะถูกสร้างด้วยเส้นลวดตัวนำ แต่ถ้านำมาประยุกต์ใช้งานในย่านความถี่ไมโครเวฟ มักจะสร้างสายอากาศบนแผ่นวงจรพิมพ์ (Printed Circuit Board : PCB)



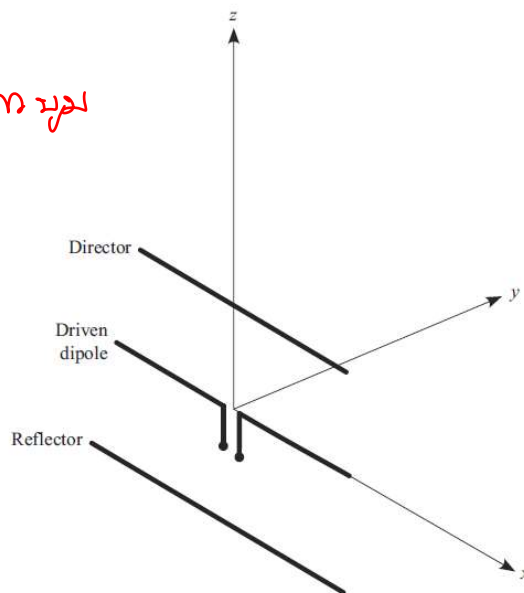
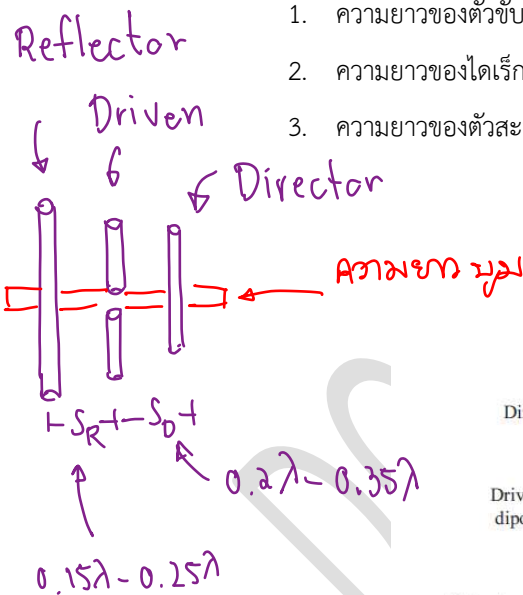
รูปที่ 10.1 โครงสร้างของสายอากาศยาคิ-อูตะ

10.2 องค์ประกอบของสายอากาศยาคี-อูตะ

สายอากาศยาคี-อูตะ 3 องค์ประกอบเป็นยาคีที่สั้นที่สุด ซึ่งประกอบด้วยตัวขับหนึ่งตัวและองค์ประกอบพาราซิติคสองตัวดังแสดงในรูปที่ 10.2 โดยองค์ประกอบพาราซิติคที่ยาวกว่าตัวขับจะทำหน้าที่เป็นตัวสะท้อน และองค์ประกอบพาราซิติคที่สั้นกว่าตัวขับจะทำหน้าที่เป็นไดเรกเตอร์ โดยทั่วไปแล้วตัวขับจะมีความยาวน้อยกว่า $\lambda / 2$ เล็กน้อย ($0.45\lambda - 0.49\lambda$) ในขณะที่ความยาวของไดเรกเตอร์จะอยู่ที่ประมาณ $0.4\lambda - 0.45\lambda$ อย่างไรก็ตามไดเรกเตอร์แต่ละองค์ประกอบไม่จำเป็นต้องมีความยาวและเส้นผ่าศูนย์กลางเท่ากัน โดยระยะห่างระหว่างไดเรกเตอร์แต่ละตัวจะอยู่ที่ประมาณ $0.3\lambda - 0.4\lambda$ สำหรับความยาวของตัวสะท้อนมักจะให้มีความยาวมากกว่าตัวขับ นอกจากนี้ระยะห่างระหว่างตัวขับและตัวสะท้อนจะให้มีความน้อยกว่าระยะห่างระหว่างไดเรกเตอร์และให้ใกล้กับตัวขับมากที่สุด

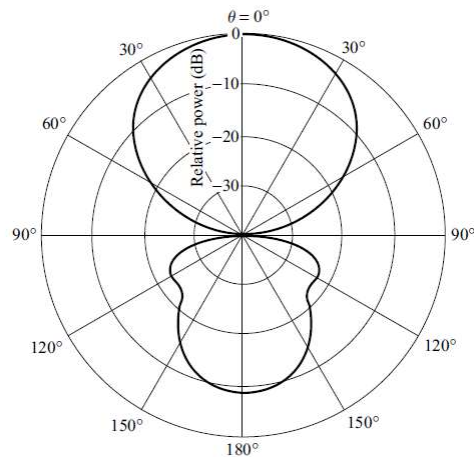
โดยปกติแล้วสำหรับสายอากาศยาคี-อูตะ 3 องค์ประกอบ จะกำหนดให้มีความยาวของแต่ละองค์ประกอบคือ

- | | |
|-------------------------|----------------|
| 1. ความยาวของตัวขับ | 0.47λ |
| 2. ความยาวของไดเรกเตอร์ | 0.442λ |
| 3. ความยาวของตัวสะท้อน | 0.482λ |

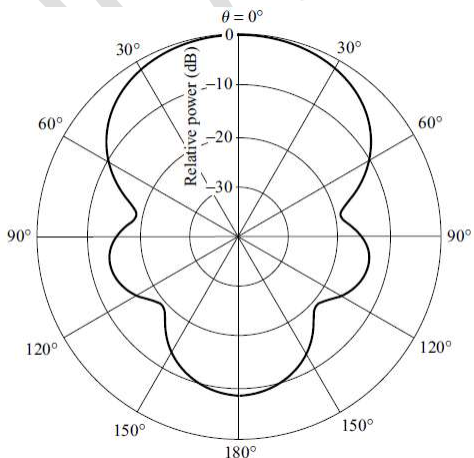


รูปที่ 10.2 โครงสร้างของสายอากาศยาคี-อูตะ 3 องค์ประกอบ

ระยะห่างระหว่างตัวสะท้อนกับตัวขับที่ดีที่สุด (กรณีที่ต้องการสภาพเจาะจงทิศทางสูงสุด) จะมีค่าอยู่ระหว่าง 0.15λ ถึง 0.25λ และระยะห่างระหว่างตัวขับกับไดเรกเตอร์จะมีค่าอยู่ระหว่าง 0.2λ ถึง 0.35λ โดยแบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศยาคี-ฮูตะในระนาบสนามไฟฟ้าและระนาบสนามแม่เหล็กเมื่อกำหนดให้ระยะห่างระหว่างตัวสะท้อนกับตัวขับ และระยะห่างระหว่างตัวขับกับไดเรกเตอร์มีค่าเท่ากับ 0.2λ แสดงในรูปที่ 10.3



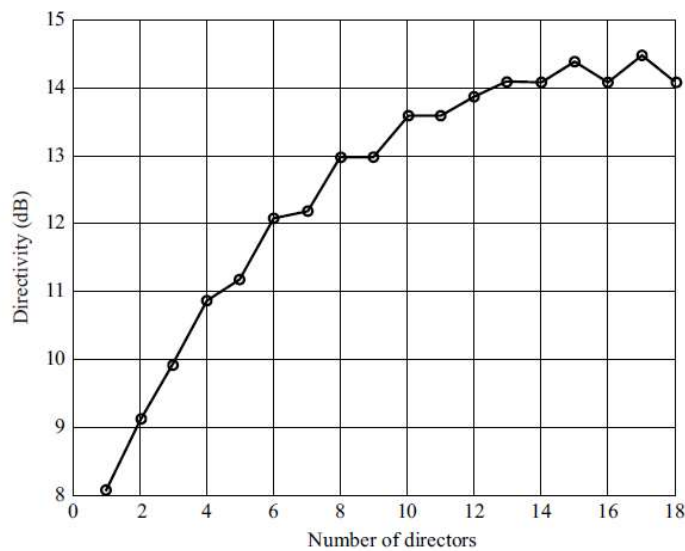
(ก) ระนาบสนามไฟฟ้า (ระนาบ $\phi = 0^\circ$)



(ก) ระนาบสนามแม่เหล็ก (ระนาบ $\phi = 90^\circ$)

รูปที่ 10.3 แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศยาคี-ฮูตะ 3 องค์ประกอบ

นอกจากนี้สภาพเจาะจงทิศทางของสายอากาศยาภิ-อูตะสามารถเพิ่มขึ้นได้ด้วยการเพิ่มจำนวนของไดเรกเตอร์ และสภาพเจาะจงทิศทางเป็นสัดส่วนโดยตรงกับความยาวรวมทั้งหมดของสายอากาศในเทอมของความยาวคลื่น รูปที่ 10.4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนของไดเรกเตอร์และสภาพเจาะจงทิศทางของสายอากาศยาภิ-อูตะ เมื่อพารามิเตอร์ต่าง ๆ ของสายอากาศแสดงในตารางที่ 10.1 จากรูปจะเห็นว่าเมื่อเพิ่มจำนวนของไดเรกเตอร์ขึ้นเพียงไม่กี่องค์ประกอบจะส่งผลให้สภาพเจาะจงทิศทางเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว นั่นคือเมื่อจำนวนไดเรกเตอร์เพิ่มก็ทำให้ความยาวรวมทั้งหมดของสายอากาศเพิ่มขึ้นจึงทำให้สภาพเจาะจงทิศทางเพิ่มขึ้นตาม



รูปที่ 10.4 สภาพเจาะจงทิศทางเทียบกับจำนวนของไดเรกเตอร์ของสายอากาศยาภิ-อูตะ
(ขนาดของสายอากาศแสดงในตารางที่ 10.1)

ตารางที่ 10.1 พารามิเตอร์ของสายอากาศยาภิ-อูตะ

ความยาวของตัวสะท้อน	0.482 λ
ความยาวของตัวขับ	0.45 λ
ความยาวของไดเรกเตอร์	0.40 λ
ระยะห่างระหว่างตัวขับกับตัวสะท้อน	0.2 λ
ระยะห่างระหว่างตัวขับกับไดเรกเตอร์ตัวแรก	0.2 λ
ระยะห่างระหว่างไดเรกเตอร์แต่ละตัว	0.2 λ

10.3 การออกแบบสายอากาศยาคี-อูตะ

พารามิเตอร์สำคัญสำหรับการออกแบบสายอากาศยาคี-อูตะที่ต้องการคือ สภาพเจาะจงทิศทาง ซึ่งตัวแปรที่ต้องพิจารณาสำหรับสภาพเจาะจงทิศทางของสายอากาศยาคี-อูตะ คือ

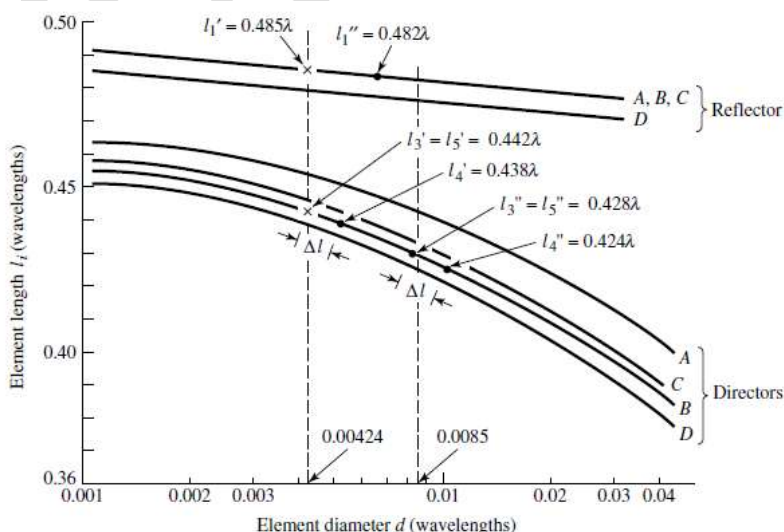
จำนวนองค์ประกอบ: โดยทั่วไปแล้วเมื่อจำนวนองค์ประกอบมากขึ้นจะส่งผลให้สายอากาศมีสภาพเจาะจงทิศทางที่มากกว่า เนื่องจากตัวขับและตัวสะท้อนจะมีอย่างละ 1 ตัว ดังนั้นการเพิ่มจำนวนองค์ประกอบคือการเพิ่มจำนวนไดเรกเตอร์นั่นเอง

ระยะห่างระหว่างองค์ประกอบ: โดยทั่วไปแล้วระยะห่างระหว่างองค์ประกอบที่มากกว่าจะทำให้สายอากาศมีสภาพเจาะจงทิศทางที่สูงกว่า ซึ่งระยะห่างที่ควรพิจารณาอย่างมากคือ ระยะห่างระหว่างตัวขับกับตัวสะท้อน และตัวขับกับไดเรกเตอร์ตัวแรก

ความยาวรวมของสายอากาศ: เมื่อคำนวณระยะห่างและจำนวนขององค์ประกอบที่เหมาะสมแล้ว สภาพเจาะจงทิศทางจะแปรผันตรงกับความยาวของสายอากาศ

สำหรับการออกแบบสายอากาศยาคีนั้นสามารถออกแบบได้หลายวิธี โดยในที่นี้จะใช้วิธีการออกแบบของ Viezbike ตามตารางที่ 10.2 ซึ่งมีพื้นฐานในการออกแบบคือ

1. ใช้ข้อมูลการออกแบบในตารางที่ 10.2 โดยที่ความยาวของบูม (ส่วนที่ใช้ในการจับยึดองค์ประกอบต่าง ๆ ของสายอากาศยาคี-อูตะ) อยู่ในช่วงความยาวระหว่าง 0.4λ ถึง 4.2λ และมีเส้นผ่าศูนย์กลางต่อความยาวคลื่นของแต่ละองค์ประกอบคือ $d / \lambda = 0.0085$
2. สามารถใช้รูปที่ 10.5 ช่วยในการออกแบบความยาวของไดเรกเตอร์และตัวสะท้อนสำหรับกรณี $0.001 \leq d / \lambda \leq 0.04$



รูปที่ 10.5 เส้นโค้งสำหรับใช้ในการออกแบบความยาวของไดเรกเตอร์และตัวสะท้อนตามตาราง 10.2

ตารางที่ 10.2 ขนาดความยาวของแต่ละองค์ประกอบ ความยาวขุม ระยะห่างระหว่างองค์ประกอบ และสภาพเจาะจงทิศทาง

$l_2 = 0.45\lambda - 0.49\lambda$
↑
Driven

เส้นผ่านศูนย์กลางของวงเส้น ลวดที่ขมออกแบบสายอากาศ

$d / \lambda = 0.0085$ $S_R = 0.2\lambda$	ความยาวขุมของยาภิ-อูตะ (λ)					
	0.4	0.8	1.2	2.2	3.2	4.2
ความยาวตัวสะท้อน (l_1 / λ)	0.482	0.482	0.482	0.482	0.482	0.475
l_3	0.442	0.428	0.428	0.432	0.428	0.424
l_4		0.424	0.420	0.415	0.420	0.424
l_5		0.428	0.420	0.407	0.407	0.420
l_6			0.428	0.398	0.398	0.407
l_7				0.390	0.394	0.403
l_8				0.390	0.390	0.398
l_9				0.390	0.386	0.394
l_{10}				0.390	0.386	0.390
l_{11}				0.398	0.386	0.390
l_{12}				0.407	0.386	0.390
l_{13}					0.386	0.390
l_{14}					0.386	0.390
l_{15}					0.386	0.390
l_{16}					0.386	
l_{17}					0.386	
ระยะห่างระหว่างไดเรกเตอร์ (S_D / λ)	0.20	0.20	0.25	0.20	0.20	0.308
สภาพเจาะจงทิศทางเทียบกับไดโพล (dBd)	7.1	9.2	10.2	12.25	13.4	14.2
ความโค้งที่ใช้ในการออกแบบ (ดูรูปที่ 10.5)	A	B	B	C	B	D

$$\text{dBd} = \text{dBi} - 2.15$$

ตัวอย่างที่ 10.1 จงออกแบบสายอากาศยาเก-อูตะ ให้มีสภาพเจาะจงทิศทางเท่ากับ 9.2 dBd ที่ความถี่ 50.1 MHz โดยที่เส้นผ่าศูนย์กลางขององค์ประกอบพาราซิติคที่ต้องการคือ 2.54 cm และเส้นผ่าศูนย์กลางของบูมเท่ากับ 5.1 cm จงหาความยาวของแต่ละองค์ประกอบ ระยะห่างระหว่างองค์ประกอบ และความยาวรวมทั้งหมดของสายอากาศ

วิธีทำ

วิธีการในการออกแบบสามารถทำได้คือ

1. ที่ความถี่ $f_0 = 50.1$ MHz ความยาวคลื่นมีค่าเท่ากับ $\lambda = 5.988 \text{ m} = 598.8 \text{ cm}$ ดังนั้น $d / \lambda = 2.54 / 598.8 = 4.24 \times 10^{-3}$ และ $D / \lambda = 5.1 / 598.8 = 8.52 \times 10^{-3}$
2. จากตาราง 10.2 ถ้าต้องการให้สายอากาศยาเก-อูตะ มีสภาพเจาะจงทิศทางเท่ากับ 9.2 dBd จะต้องมียอดประกอบทั้งหมดเท่ากับ 5 องค์ประกอบ (ไดเรกเตอร์ 3 ตัว ตัวสะท้อนและตัวขับอย่างละ 1 ตัว) จากตารางจะพบว่า สำหรับอัตราส่วน $d / \lambda = 0.0085$ ในคอลัมน์ที่ 2 จะได้ความยาวขององค์ประกอบต่าง ๆ คือ $l_3 = l_5 = 0.428\lambda$, $l_4 = 0.424\lambda$ และ $l_1 = 0.482\lambda$ ความยาวรวมของสายอากาศควรจะต้องมีค่าเท่ากับ $L = (0.6 + 0.2)\lambda = 0.8\lambda$ โดยที่ระยะห่างระหว่างไดเรกเตอร์เท่ากับ 0.2λ และระยะห่างของตัวสะท้อนเท่ากับ 0.2λ อย่างไรก็ตามจำเป็นที่จะต้องหาค่าที่เหมาะสมในกรณีที่ต้องการให้เส้นผ่าศูนย์กลางขององค์ประกอบพาราซิติคคือ $d / \lambda = 0.00424$
3. ดังนั้นจึงจำเป็นต้องใช้กราฟในรูปที่ 10.5 ช่วยในการออกแบบ โดยจะใส่ตำแหน่งของความยาว $l_3'' = l_5'' = 0.428\lambda$, $l_4'' = 0.424\lambda$ และ $l_1'' = 0.482\lambda$ ลงในเส้นโค้ง (B) กำหนดตำแหน่งด้วยสัญลักษณ์ (.)
4. ในรูปที่ 10.5 ลากเส้นในแนวตั้งผ่านตำแหน่ง $d / \lambda = 0.00424$ ตัดกับเส้นโค้ง (B) ซึ่งจะได้ความยาวของไดเรกเตอร์ใหม่คือ $l_3' = l_5' = 0.442\lambda$ และความยาวของตัวสะท้อนคือ $l_1' = 0.485\lambda$ กำหนดตำแหน่งด้วยสัญลักษณ์ (x)
5. วัดระยะทาง (Δl) บนเส้นโค้งไดเรกเตอร์ (B) ระหว่างจุด $l_3'' = l_5'' = 0.428\lambda$ และ $l_4'' = 0.424\lambda$ และวัดระยะทางจากตำแหน่ง $l_3' = l_5' = 0.442\lambda$ (ที่กำหนดจุดเป็น x) บนเส้นโค้ง (B) ลงมาด้วยระยะ Δl เช่นกัน ซึ่งจะได้ความยาว $l_4' = 0.438\lambda$ ดังนั้นความยาวขององค์ประกอบต่าง ๆ คือ

$$l'_3 = l'_5 = 0.442\lambda$$

$$l'_4 = 0.438\lambda$$

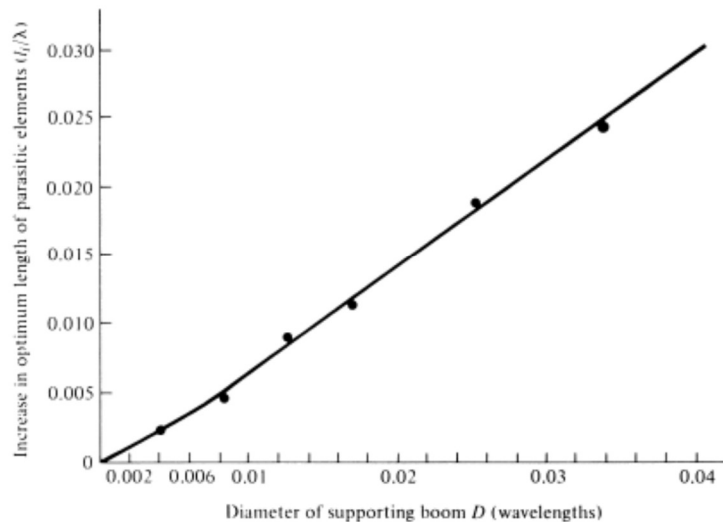
$$l'_1 = 0.485\lambda$$

6. หาความยาวของแต่ละองค์ประกอบที่สอดคล้องกับขนาดของบูม จากรูปที่ 10.6 อัตราส่วนระหว่างเส้นผ่าศูนย์กลางกลางของบูมต่อความยาวคลื่นคือ $D / \lambda = 5.1 / 598.8 = 8.52 \times 10^{-3}$ จะต้องทำการเพิ่มความยาวของแต่ละองค์ประกอบเท่ากับ 0.005λ ดังนั้นความยาวสุดท้ายของแต่ละองค์ประกอบจะมีค่าคือ

$$l_3 = l_5 = (0.442 + 0.005)\lambda = 0.447\lambda$$

$$l_4 = (0.438 + 0.005)\lambda = 0.443\lambda$$

$$l_1 = (0.485 + 0.005)\lambda = 0.490\lambda$$



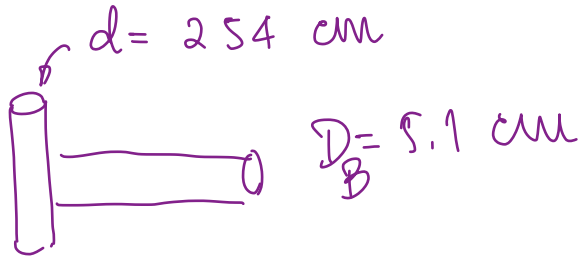
รูปที่ 10.6 การเพิ่มความยาวของแต่ละองค์ประกอบให้เหมาะสมกับเส้นผ่าศูนย์กลางของบูม

ตัวอย่างที่ 10.1 จงออกแบบสายอากาศยาگی-อูตะ ให้มีสภาพเจาะจงทิศทางเท่ากับ 9.2 dBd ที่ความถี่

50.1 MHz โดยที่เส้นผ่าศูนย์กลางขององค์ประกอบพาราซีติกที่ต้องการคือ 2.54 cm และ

เส้นผ่าศูนย์กลางของบูมเท่ากับ 5.1 cm จงหาความยาวของแต่ละองค์ประกอบ ระยะห่างระหว่าง

องค์ประกอบ และความยาวรวมทั้งหมดของสายอากาศ



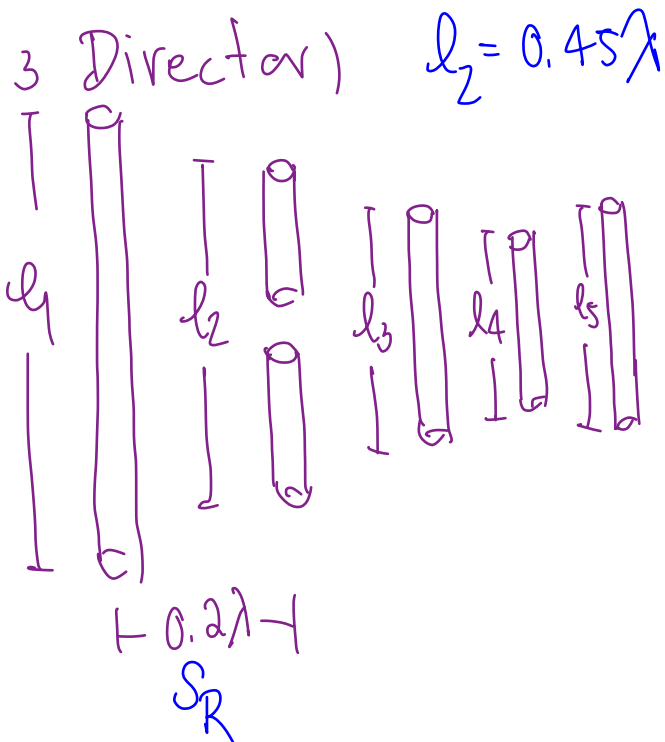
S_{12}

$$\lambda = \frac{c}{f} = \frac{3 \times 10^8}{50.1 \times 10^6} = 5.988 \text{ m}$$

$$\frac{d}{\lambda} = \frac{2.54 \text{ cm}}{5.988 \text{ m}} = 0.00424$$

$$\frac{D_B}{\lambda} = 5.1 / 598.8 = 0.00852$$

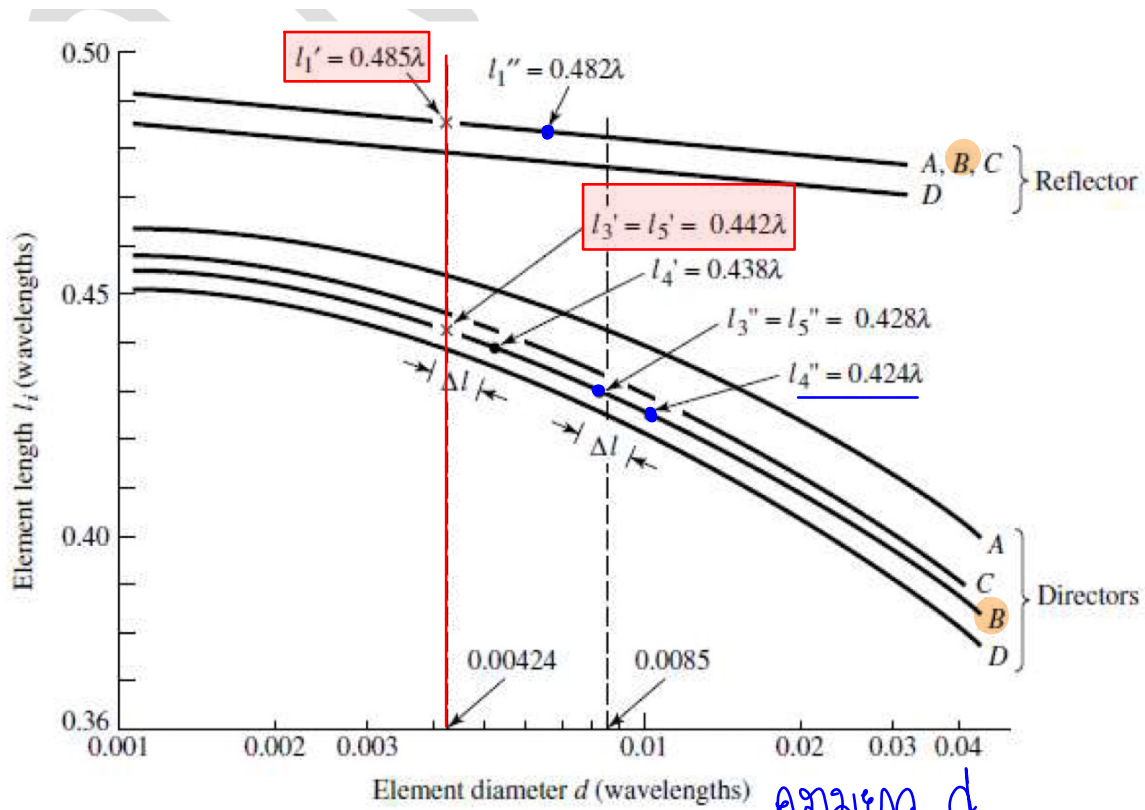
จากตัวอย่างที่ 10.2 ที่ Directivity 9.2 dBd จ.ส.
element 5 element (1-Reflector, 1-Driven,
3 Director)



$$\left. \begin{aligned} l_1'' &= 0.482\lambda \\ l_3'' &= l_5'' = 0.428\lambda \\ l_4'' &= 0.424\lambda \end{aligned} \right\} \begin{array}{l} \text{จากสมการ} \\ 10.2 \end{array}$$

$$\frac{d}{\lambda} = 0.0085$$

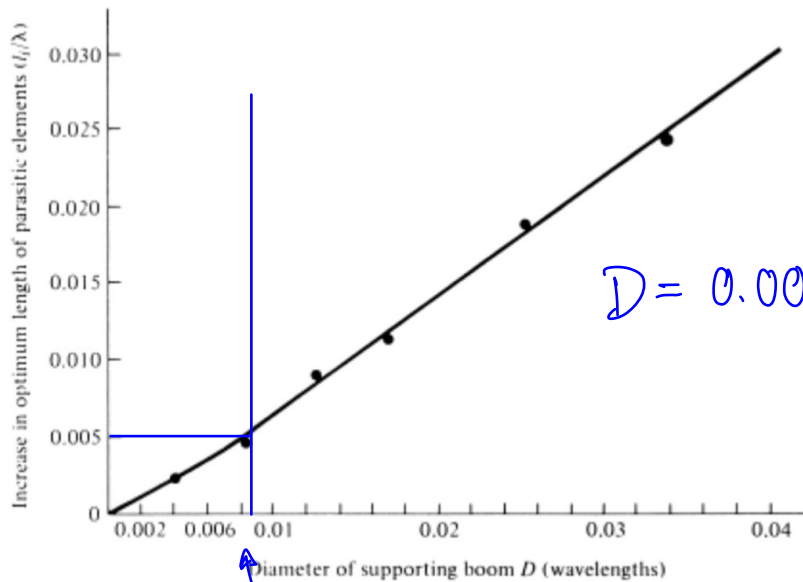
รูปที่ 10.5 สมการ
ที่คำนวณหาขนาด



ตามบท d

รูปที่ 10.5 เส้นโค้งสำหรับการออกแบบความยาวของไดเรกเตอร์และตัวสะท้อนตามตาราง 10.2

แล้วหาได้ l_1' , l_3' , l_4' และ l_5' แล้วให้หารจาก Boom Diameter.



$D = 0.00852\lambda$

≈ 0.0085λ

รูปที่ 10.6 การเพิ่มความยาวของแต่ละองค์ประกอบให้เหมาะสมกับเส้นผ่าศูนย์กลางของบูม

$$l_1 = 0.485\lambda + 0.005\lambda = 0.49\lambda$$

$$l_3 = l_5 = 0.442\lambda + 0.005\lambda = 0.447\lambda$$

$$l_4 = 0.438\lambda + 0.005\lambda = 0.443\lambda$$