

บทที่ 5

การทดสอบและวิเคราะห์ผล

5.1 กล่าวนำ

เนื้อหาในบทนี้จะเป็นการนำเสนอผลที่ได้ทดสอบอุปกรณ์ในการกำหนดทิศทางของจุดศูนย์ที่เราสร้างจริง ซึ่งเราได้ขนาดและรูปร่างของอุปกรณ์มาจากการออกแบบและจำลองผลในบทที่ 4 ในส่วนสุดท้ายเป็นการทดสอบประสิทธิภาพของระบบสายอากาศสวิตช์ลำคลื่นที่มีความสามารถในการกำหนดทิศทางของจุดศูนย์ ในพื้นที่ที่มีการจำลองขึ้นโดยนำผลที่ได้นั้นไปเปรียบเทียบกับระบบที่ใช้สายอากาศแบบรอบทิศทาง

5.2 การทดสอบอุปกรณ์ที่ใช้ในการกำหนดทิศทางของจุดศูนย์

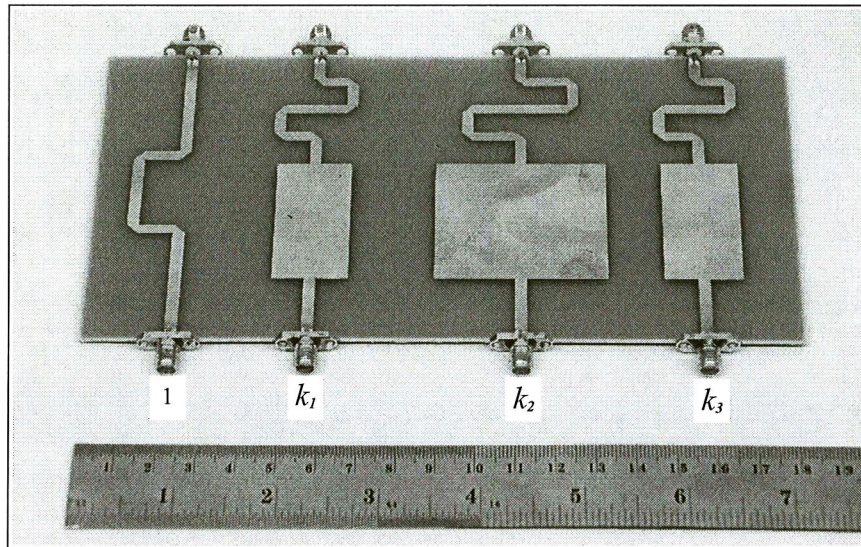
จากบทที่ 4 เราได้ทำการออกแบบและจำลองผลของชุดอุปกรณ์ที่ใช้ในการกำหนดทิศทางของจุดศูนย์ไว้ทั้งหมด 4 ชุด จะเห็นว่าในแต่ละชุดนั้นมีแอมพลิจูดและมุมเฟสที่แตกต่างกันออกไปตามทิศทางของสัญญาณที่เราต้องการและทิศทางของสัญญาณแทรกสอดที่เข้ามา หลังจากนั้น เรานำขนาดและรูปร่างที่ได้มาทำการสร้างอุปกรณ์จริงและทดสอบผลได้ดังนี้

5.2.1 ชุดอุปกรณ์ที่ใช้ในการหั่นลำคลื่นหลักไปยังทิศทางของสัญญาณที่ต้องการเข้ามาที่ 45° และกำหนดทิศทางของจุดศูนย์ที่มีสัญญาณแทรกสอดเข้ามาทาง 135° 225° และ 315°

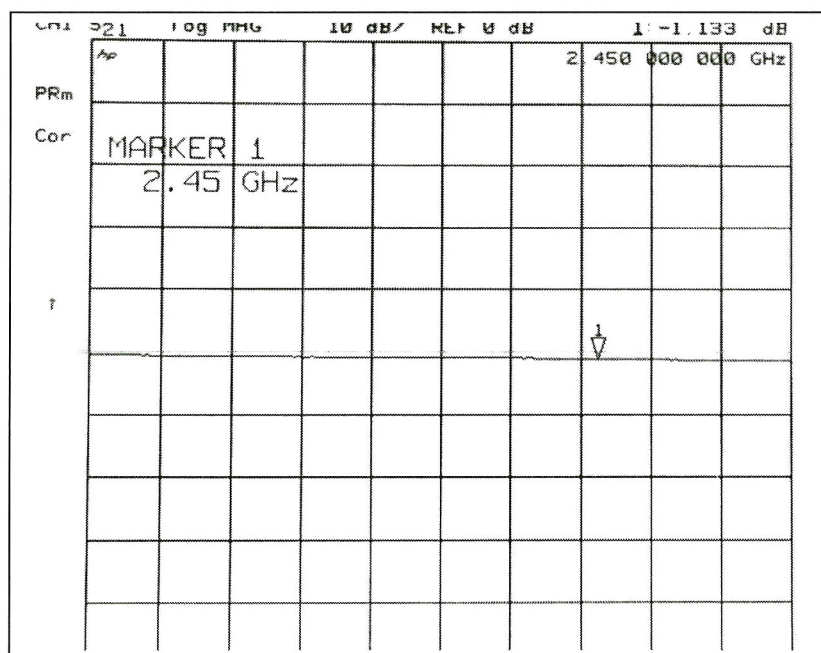
รูปที่ 5.1 แสดงลักษณะของชุดอุปกรณ์ที่สร้างขึ้นจริงเพื่อนำไปใช้ในการหั่นลำคลื่นหลักไปยังทิศทางที่เราต้องการที่ 45° และกำหนดทิศทางของจุดศูนย์ที่มีสัญญาณแทรกสอดเข้ามาทาง 135° 225° และ 315° ตามลำดับ โดยที่วงจรที่ 1 นั้นจะใช้ต่อกับพอร์ตขาออกของ modified Butler

matrix ที่ให้ทิศทางของลำคลื่นหลักไปยังทิศทางของสัญญาณที่ต้องการเข้ามาที่ 45° โดยที่วงจร k_1 คือ ค่าสัมประสิทธิ์ที่ใช้กำหนดทิศทางของจุดศูนย์ในทิศทางที่ 135° วงจร k_2 คือ ค่าสัมประสิทธิ์ที่ใช้กำหนดทิศทางของจุดศูนย์ในทิศทางที่ 225° วงจร k_3 คือ ค่าสัมประสิทธิ์ที่ใช้

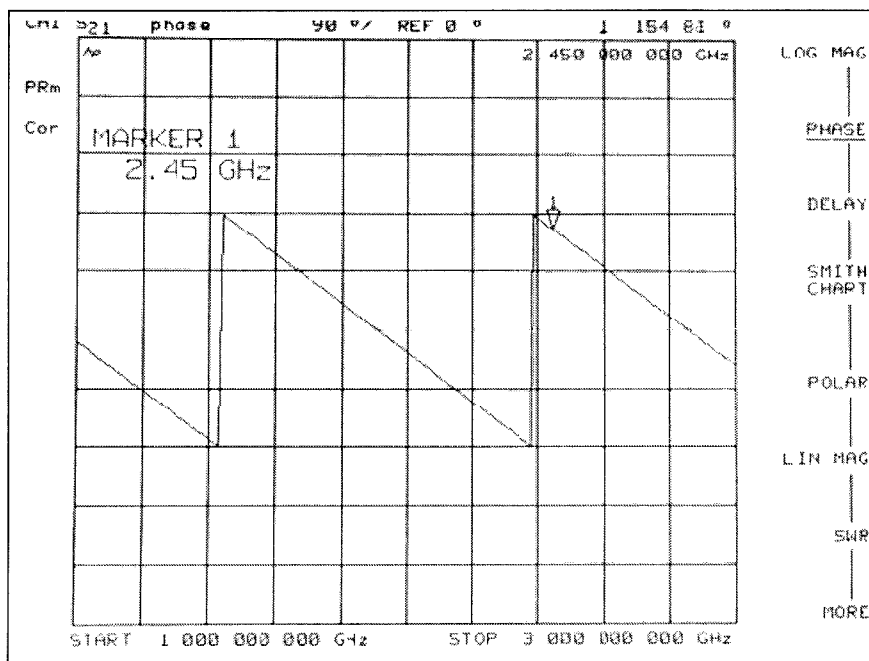
กำหนดทิศทางของจุดศูนย์ในทิศทางที่ 315° ตามลำดับ จากนั้นนำอุปกรณ์ที่สร้างไปวัดผลด้วยเครื่องวิเคราะห์วงจรขยายเพื่อดูแอมพลิจูดและมุมเฟสของอุปกรณ์ได้ดังรูปที่ 5.2 - 5.9



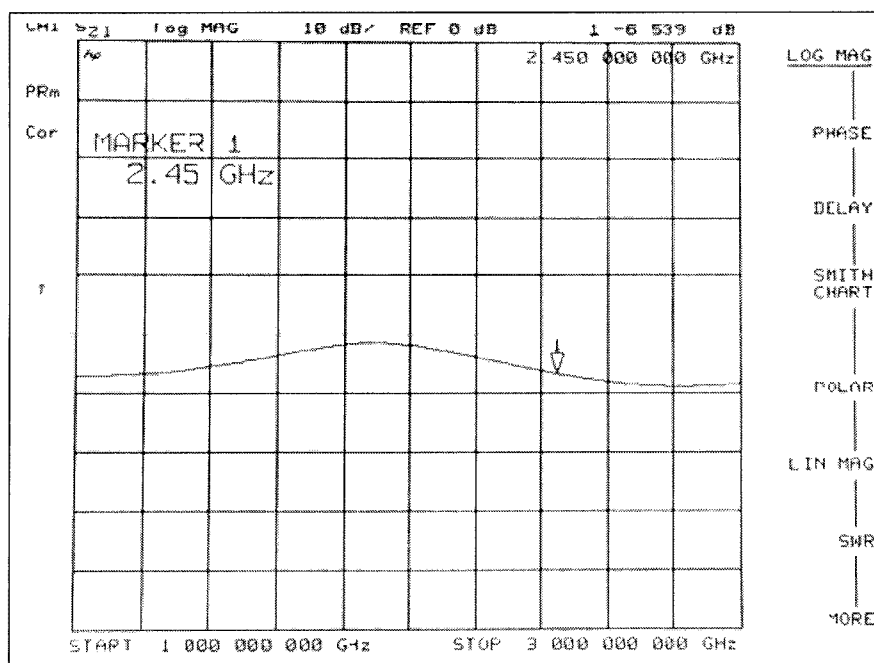
รูปที่ 5.1 ลักษณะของชุดอุปกรณ์ที่สร้างขึ้นจริงเพื่อนำไปใช้ในการหาลำคลื่นหลักไปยังทิศทางที่เราต้องการที่ 45° และมีสัญญาณแทรกสอดเข้ามาทาง 135° 225° และ 315°



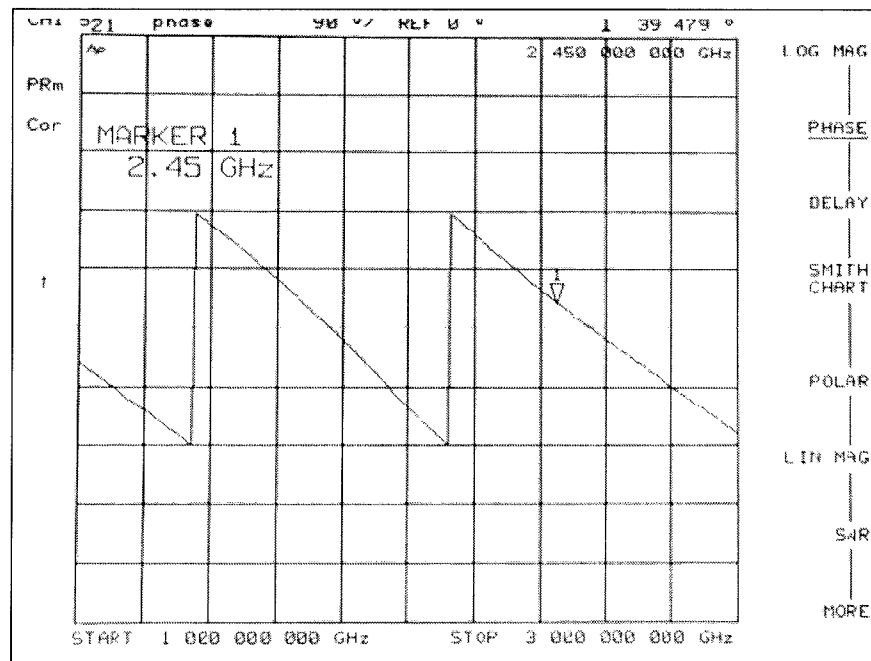
รูปที่ 5.2 แอมพลิจูดของวงจรที่ 1 ในชุดอุปกรณ์ที่ใช้ในการหาลำคลื่นหลักไปยังทิศทางที่เราต้องการที่ 45° และมีสัญญาณแทรกสอดเข้ามาทาง 135° 225° และ 315°



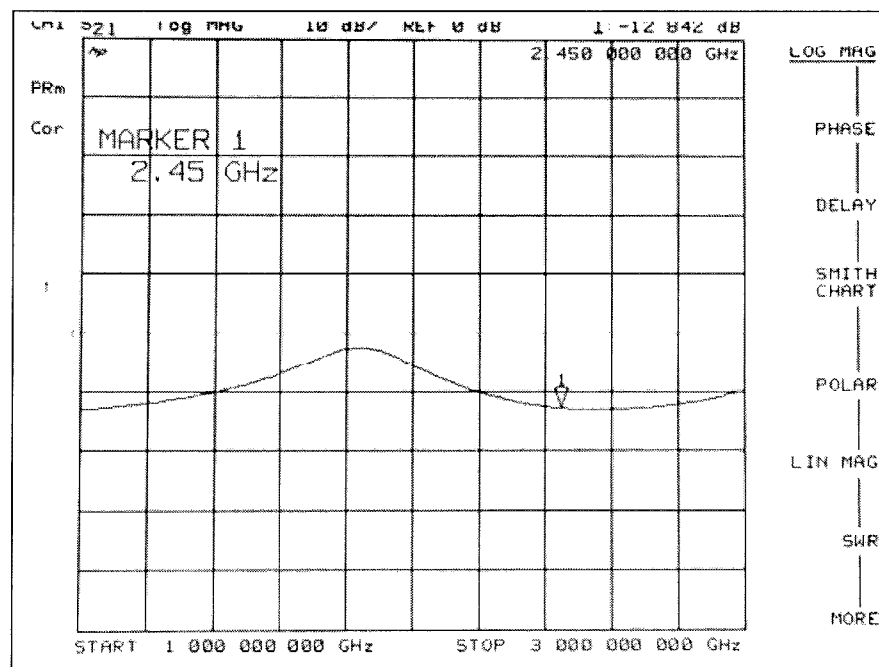
รูปที่ 5.3 มุมเฟสของวงจรที่ 1 ในชุดอุปกรณ์ที่ใช้ในการหาค่าคลื่นหลักไปยังทิศทางที่เราต้องการที่ 45° และมีสัญญาณแทรกสอดเข้ามาทาง 135° 225° และ 315°



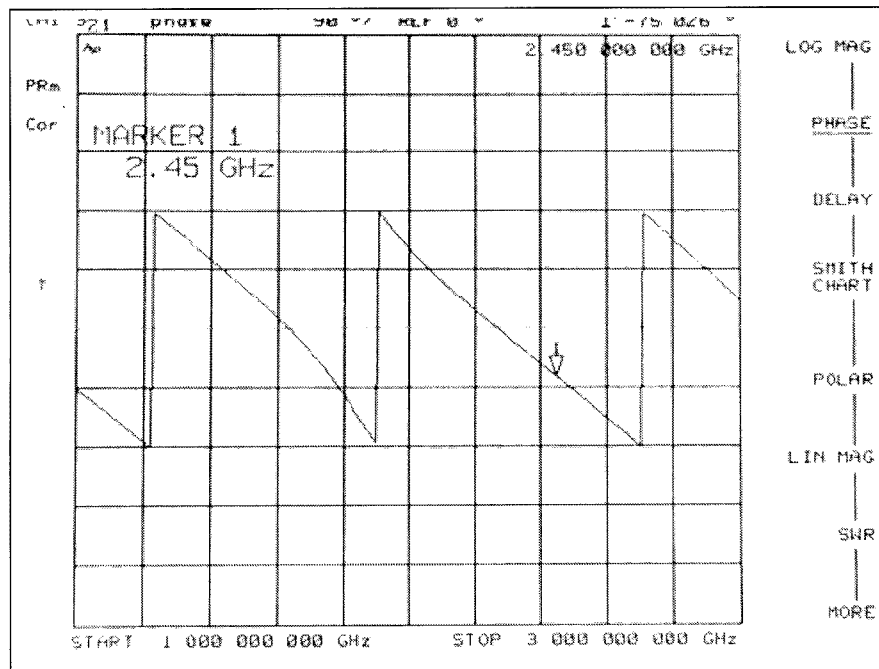
รูปที่ 5.4 แอมพลิจูดของวงจร k , ในชุดอุปกรณ์ที่ใช้ในการหาค่าคลื่นหลักไปยังทิศทางที่เราต้องการที่ 45° และมีสัญญาณแทรกสอดเข้ามาทาง 135° 225° และ 315°



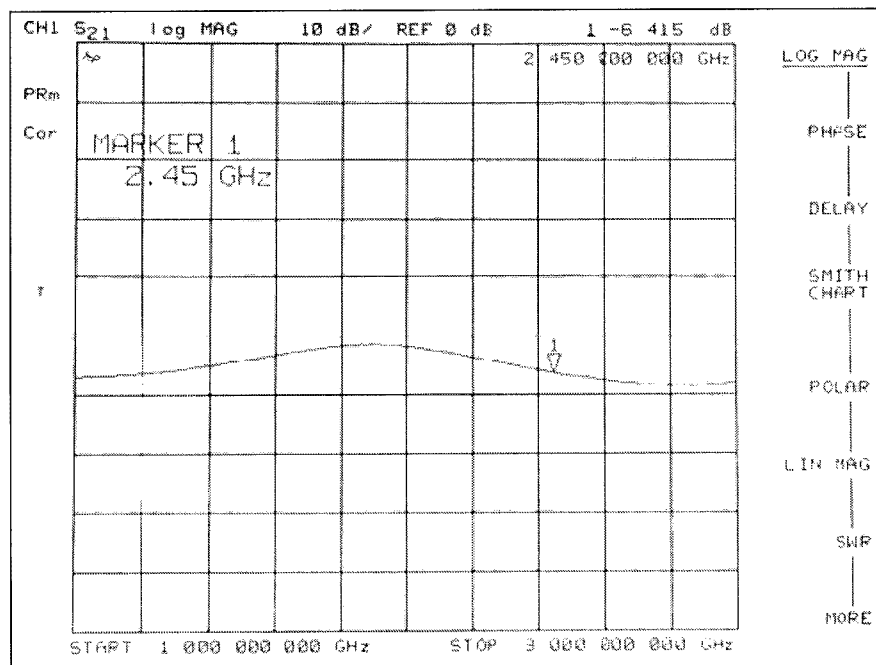
รูปที่ 5.5 มุมเฟสของวงจร k_1 ในชุดอุปกรณ์ที่ใช้ในการหั่นลำคลื่นหลักไปยังทิศทางที่เราต้องการที่ 45° และมีสัญญาณแทรกสอดเข้ามาทาง 135° 225° และ 315°



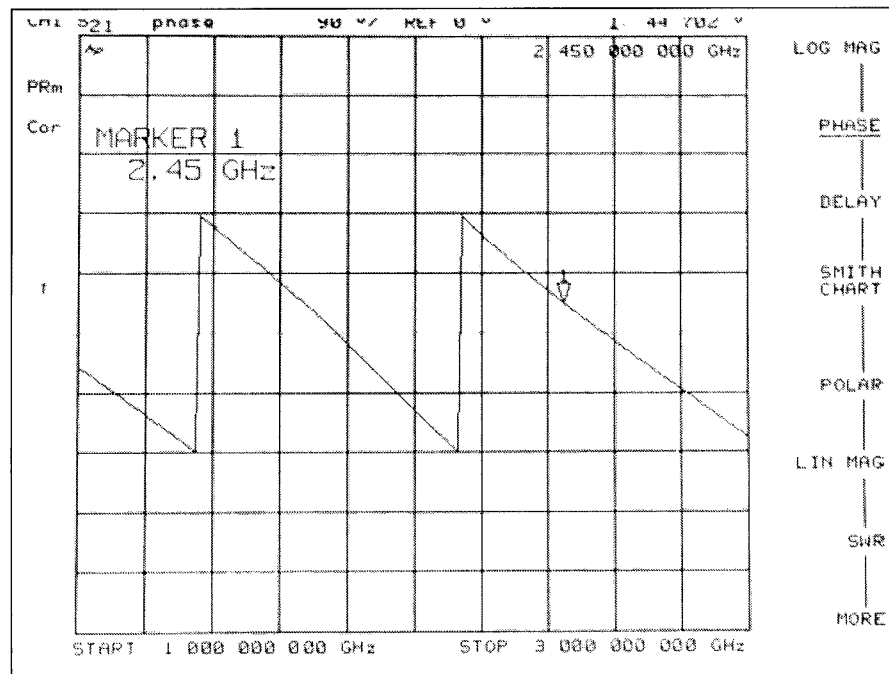
รูปที่ 5.6 แอมพลิจูดของวงจร k_2 ในชุดอุปกรณ์ที่ใช้ในการหั่นลำคลื่นหลักไปยังทิศทางที่เราต้องการที่ 45° และมีสัญญาณแทรกสอดเข้ามาทาง 135° 225° และ 315°



รูปที่ 5.7 มุมเฟสของวงจร k_2 ในชุดอุปกรณ์ที่ใช้ในการหั่นลำคลื่นหลักไปยังทิศทางที่เราต้องการ ที่ 45° และมีสัญญาณแทรกสอดเข้ามาทาง 135° 225° และ 315°



รูปที่ 5.8 แอมพลิจูดของวงจร k_3 ในชุดอุปกรณ์ที่ใช้ในการหั่นลำคลื่นหลักไปยังทิศทางที่เรา ต้องการที่ 45° และมีสัญญาณแทรกสอดเข้ามาทาง 135° 225° และ 315°



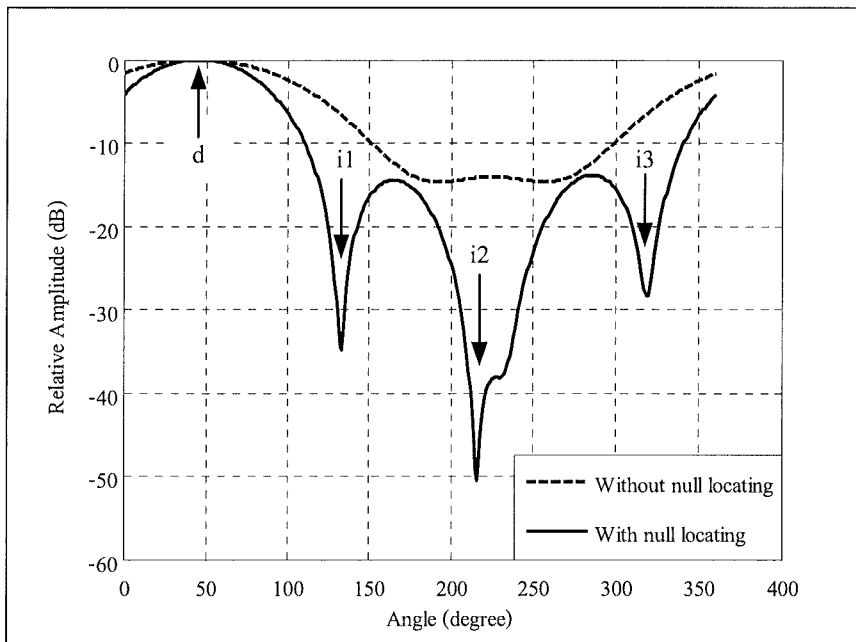
รูปที่ 5.9 มุมเฟสของวงจร k_3 ในชุดอุปกรณ์ที่ใช้ในการหั่นลำคลื่นหลักไปยังทิศทางที่เราต้องการที่ 45° และมีสัญญาณแทรกสอดเข้ามาทาง 135° 225° และ 315°

ตารางที่ 5.1 ค่าแอมพลิจูดและมุมเฟสที่ได้จากการวัดชุดอุปกรณ์ที่ใช้ในการหั่นลำคลื่นหลักไปยังทิศทางที่เราต้องการที่ 45° และมีสัญญาณแทรกสอดเข้ามาทาง 135° 225° และ 315°

อุปกรณ์	ค่าที่ได้จากการวัดอุปกรณ์		ค่าความต่างเฟส (องศา)	จำนวนเชิงซ้อน
	แอมพลิจูด (dB)	มุมเฟส (องศา)		
วงจรที่ 1	-1.133	154.860	0	0.8777+0.0000i
k_1	-6.593	39.479	-118.381	-0.2225-0.4118i
k_2	-12.842	-75.026	127.114	-0.1375+0.1817i
k_3	-6.415	44.702	-113.158	-0.1879-0.4393i

จากรูปที่ 5.2 – 5.9 คือกราฟแอมพลิจูดและมุมเฟสที่ได้จากการวัดชุดอุปกรณ์ทั้งหมด โดยการถ่ายภาพเนื่องจากสายที่ใช้เชื่อมต่อกันระหว่างเครื่องวิเคราะห์วงจรข่ายไปยังคอมพิวเตอร์นั้นเกิดการชำรุดจึงทำให้ไม่สามารถดึงรูปกราฟทั้งหมดออกมาจากเครื่องวิเคราะห์วงจรข่ายได้โดยตรง และสามารถสรุปค่าต่าง ๆ ที่วัดได้ดังตารางที่ 5.1 คือ ค่าแอมพลิจูดและมุมเฟสที่ได้จากการวัดชุดอุปกรณ์ที่ใช้ในการหั่นลำคลื่นหลักไปยังทิศทางที่เราต้องการที่ 45°

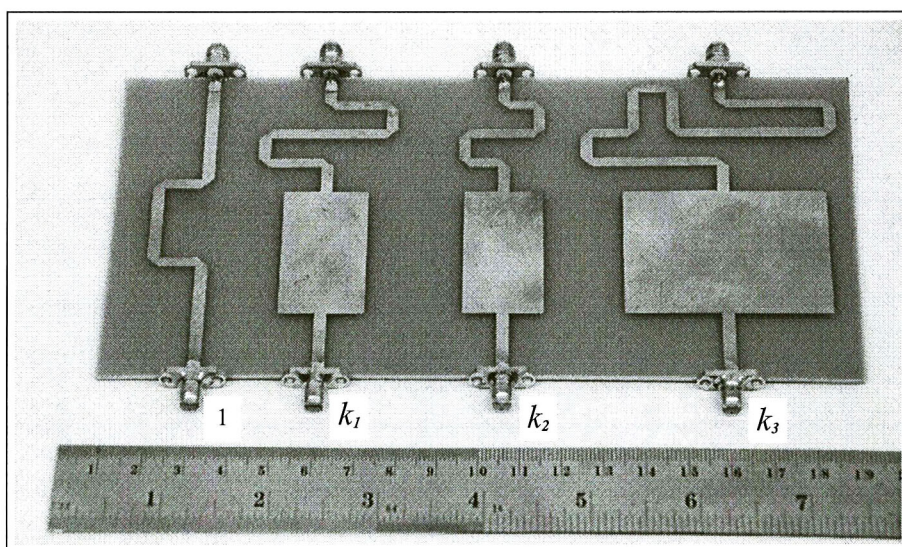
และมีสัญญาณแทรกสอดเข้ามาทาง 135° 225° และ 315° ตามลำดับ จากค่าที่ได้ในตารางที่ 5.1 พบว่าค่าแอมพลิจูดที่ได้มีค่าคลาดเคลื่อนไปจากการออกแบบด้วยโปรแกรม CST Microwave Studio เล็กน้อยและค่ามุมเฟสที่ได้จากการวัดนั้นมีค่าไม่ตรงกันกับค่าที่ได้จากการออกแบบ แต่เมื่อเรานำค่าที่ได้มาทำการคำนวณหาค่าต่างเฟสที่ได้นั้นพบว่าค่าความต่างเฟสที่ได้ในแต่ละวงจรมีความใกล้เคียงกับค่าความต่างเฟสที่ได้จากการจำลองผลในตารางที่ 4.4 จากนั้นเราต้องทำการแปลงค่าที่ได้ให้อยู่ในรูปของจำนวนเชิงซ้อนได้ดังตารางที่ 5.1 เพื่อใช้เป็นค่าสัมประสิทธิ์ในการกำหนดทิศทางของจุดศูนย์โดยการนำค่าสัมประสิทธิ์ที่ได้ไปย้อนกลับในการจำลองผลด้วยวิธีการกำหนดทิศทางของจุดศูนย์เพื่อดูแบบรูปการแผ่พลังงานและประสิทธิภาพของการกำหนดทิศทางของจุดศูนย์ เมื่อมีสัญญาณที่ต้องการเข้ามาในทิศทางที่ 45° และมีสัญญาณแทรกสอดเข้ามาทาง 135° 225° และ 315° จากผลที่ได้พบว่าชุดอุปกรณ์ที่เราได้ทำการสร้างนั้นสามารถนำมาใช้งานได้ เนื่องจากสามารถให้ค่าคลื่นหลักไปยังสัญญาณที่ต้องการ d เข้ามาในทิศทางที่ 45° และสามารถกำหนดทิศทางของจุดศูนย์ได้ในทิศทางของมีสัญญาณแทรกสอด i เข้ามาทาง 135° 225° และ 315° แสดงดังรูปที่ 5.10



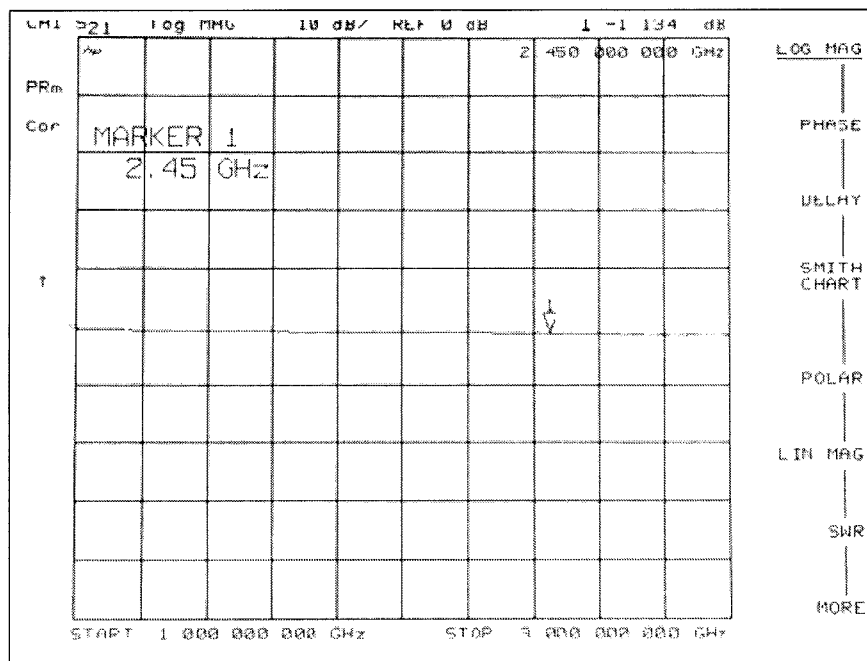
รูปที่ 5.10 แบบรูปการแผ่พลังงานที่ได้จากการวัดค่าสัมประสิทธิ์ของการกำหนดทิศทางของจุดศูนย์ และย้อนกลับในการจำลองแบบด้วยวิธีการกำหนดทิศทางของจุดศูนย์ เมื่อมีสัญญาณที่ต้องการเข้ามาในทิศทางที่ 45° และสัญญาณแทรกสอดมาจากทิศทางที่ 135° 225° และ 315°

5.2.2 ชุดอุปกรณ์ที่ใช้ในการหั่นลำคลื่นหลักไปยังทิศทางของสัญญาณที่ต้องการเข้ามาที่ 135° และกำหนดทิศทางของจุดศูนย์ที่มีสัญญาณแทรกสอดเข้ามาทาง 45° 225° และ 315°

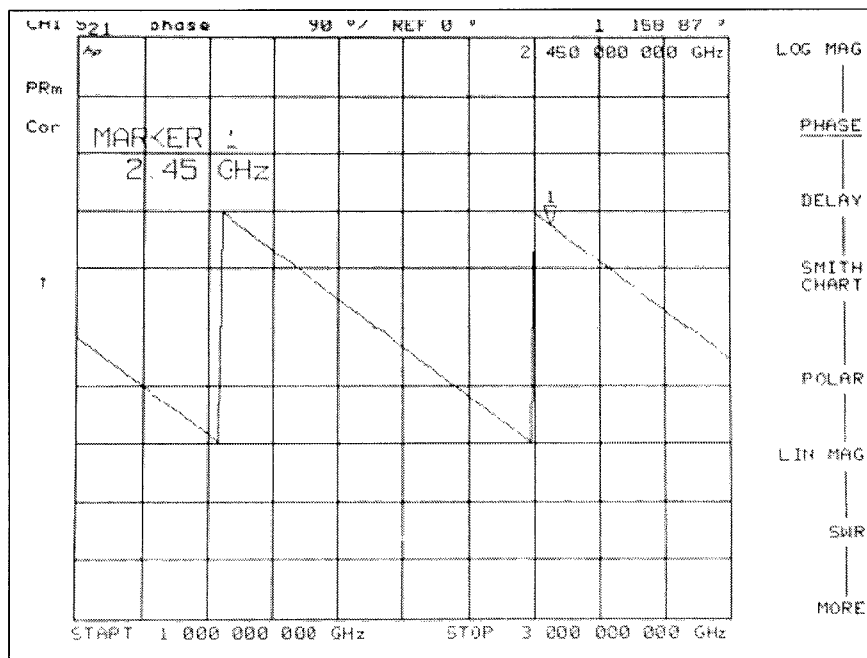
ในรูปที่ 5.11 คืออุปกรณ์ที่สร้างขึ้นมาจริงเพื่อใช้ในการหั่นลำคลื่นหลักไปยังทิศทางของสัญญาณที่ต้องการเข้ามาที่ 135° และมีความสามารถในการกำหนดทิศทางของจุดศูนย์ที่มีสัญญาณแทรกสอดเข้ามาทาง 45° 225° และ 315° จากรูปวงจรที่ 1 คือวงจรที่ใช้เชื่อมต่อกับพอร์ตขาออกของแบตเตอรี่เมตริกซ์ที่ถูกปรับปรุง ที่ให้ทิศทางของลำคลื่นหลักไปยังทิศทางของสัญญาณที่ต้องการเข้ามาที่ 135° โดยที่วงจร k_1 คือ ค่าสัมประสิทธิ์ที่ใช้กำหนดทิศทางของจุดศูนย์ในทิศทางที่ 45° วงจร k_2 คือ ค่าสัมประสิทธิ์ที่ใช้กำหนดทิศทางของจุดศูนย์ในทิศทางที่ 225° วงจร k_3 คือค่าสัมประสิทธิ์ที่ใช้กำหนดทิศทางของจุดศูนย์ในทิศทางที่ 315° ตามลำดับ จากนั้นนำอุปกรณ์ที่สร้างไปวัดผลด้วยเครื่องวิเคราะห์ห้วงจรข่าย เพื่อดูแอมพลิจูดและมุมเฟสของอุปกรณ์ได้ผลการวัดดังรูปที่ 5.12 - 5.19



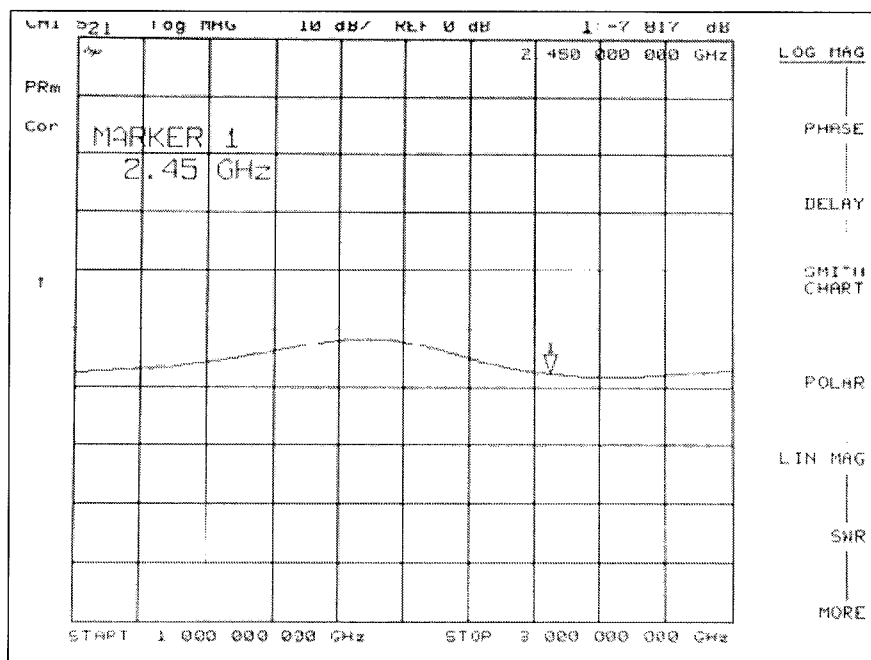
รูปที่ 5.11 ลักษณะของชุดอุปกรณ์ที่สร้างขึ้นจริงเพื่อนำไปใช้ในการหั่นลำคลื่นหลักไปยังทิศทางที่เราต้องการที่ 135° และมีสัญญาณแทรกสอดเข้ามาทาง 45° 225° และ 315°



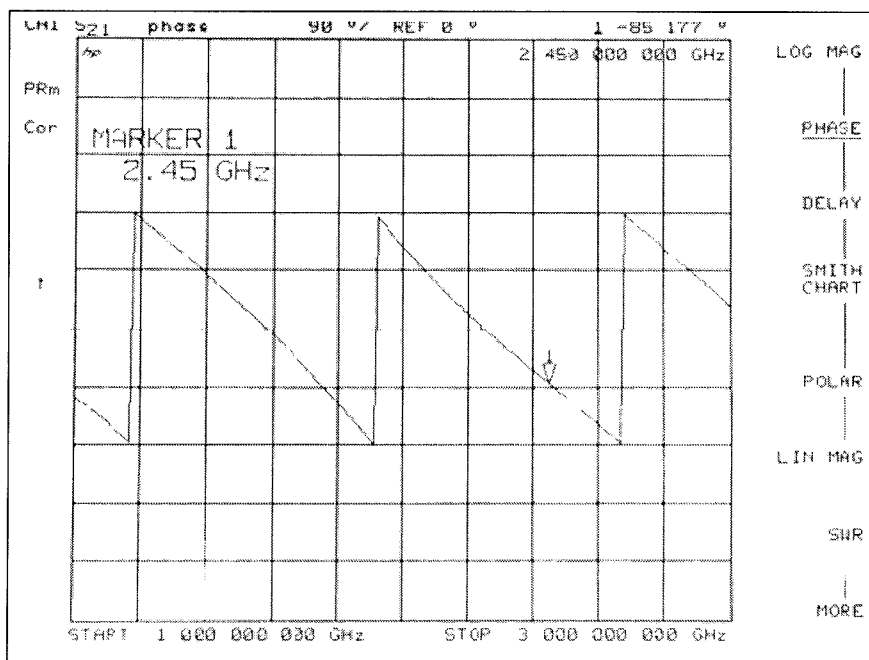
รูปที่ 5.12 แอมพลิจูดของวงจรที่ 1 ในชุดอุปกรณ์ที่ใช้ในการหั่นลำคลื่นหลักไปยังทิศทางที่เราต้องการที่ 135° และมีสัญญาณแทรกสอดเข้ามาทาง 45° 225° และ 315°



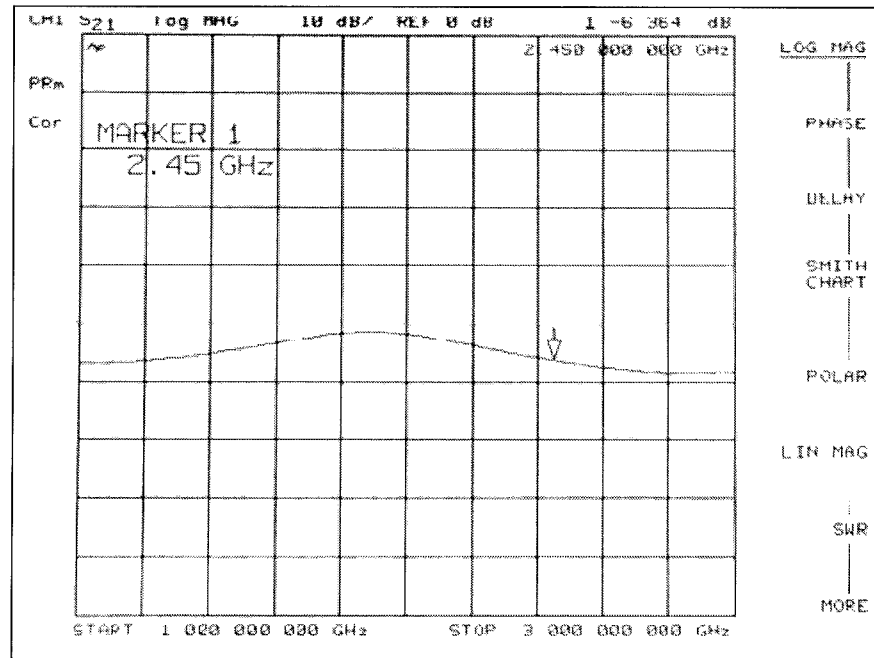
รูปที่ 5.13 มุมเฟสของวงจรที่ 1 ในชุดอุปกรณ์ที่ใช้ในการหั่นลำคลื่นหลักไปยังทิศทางที่เราต้องการที่ 135° และมีสัญญาณแทรกสอดเข้ามาทาง 45° 225° และ 315°



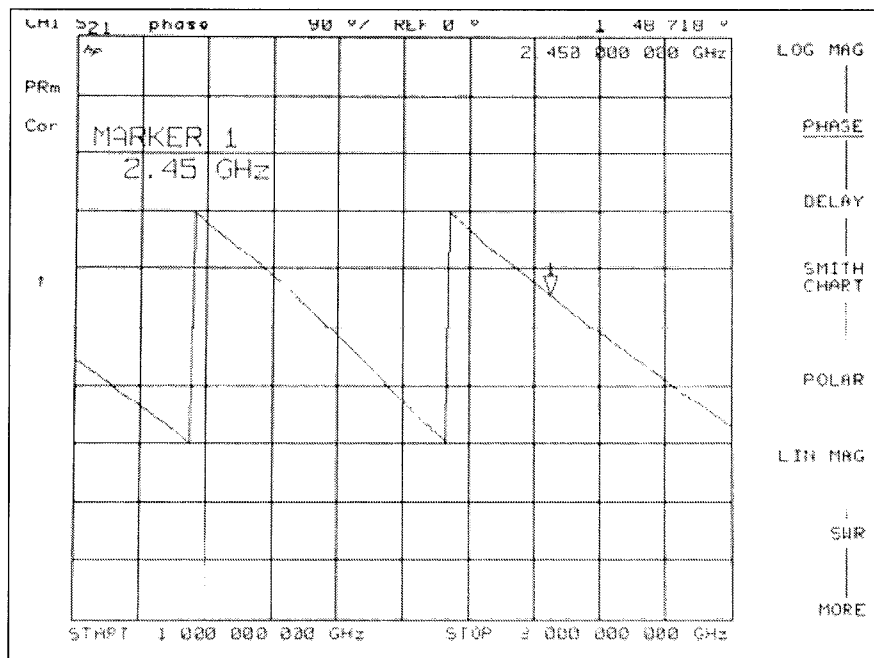
รูปที่ 5.14 แอมพลิจูดของวงจร k , ในชุดอุปกรณ์ที่ใช้ในการหาลำคลื่นหลักไปยังทิศทางที่เราต้องการที่ 135° และมีสัญญาณแทรกสอดเข้ามาทาง 45° 225° และ 315°



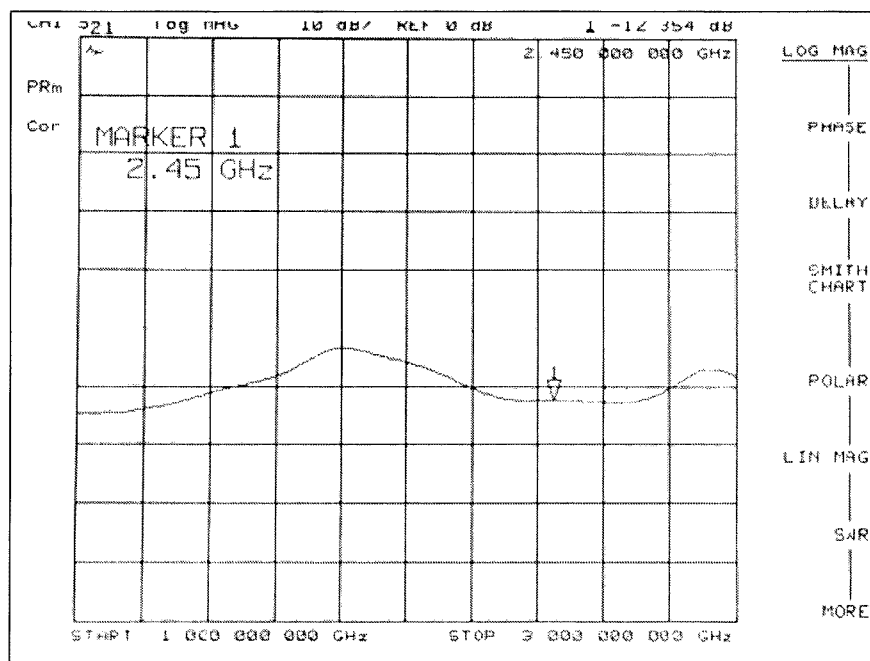
รูปที่ 5.15 มุมเฟสของวงจร k , ในชุดอุปกรณ์ที่ใช้ในการหาลำคลื่นหลักไปยังทิศทางที่เราต้องการที่ 135° และมีสัญญาณแทรกสอดเข้ามาทาง 45° 225° และ 315°



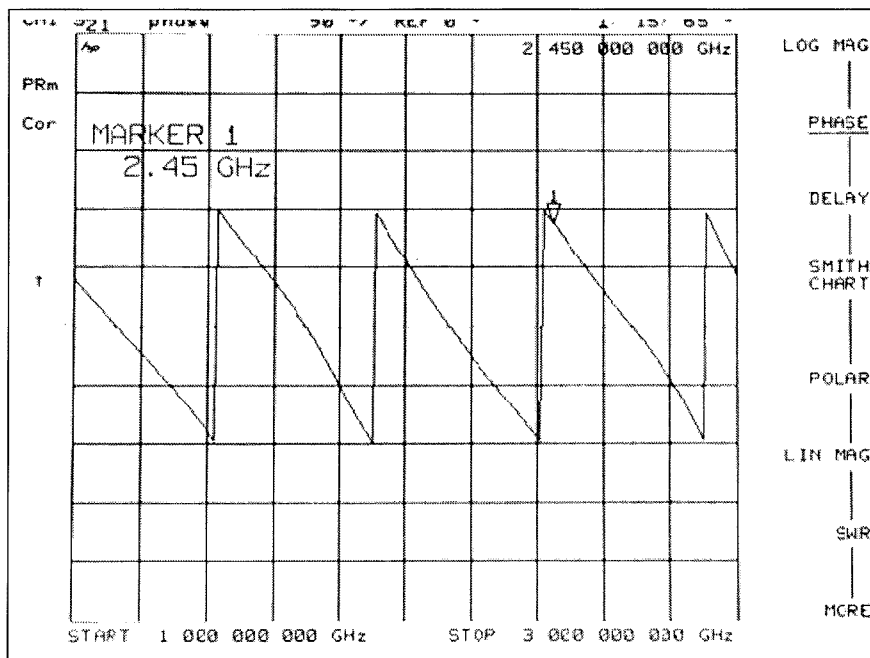
รูปที่ 5.16 แอมพลิจูดของวงจร k_2 ในชุดอุปกรณ์ที่ใช้ในการหั่นลำคลื่นหลักไปยังทิศทางที่เราต้องการที่ 135° และมีสัญญาณแทรกสอดเข้ามาทาง 45° 225° และ 315°



รูปที่ 5.17 มุมเฟสของวงจร k_2 ในชุดอุปกรณ์ที่ใช้ในการหั่นลำคลื่นหลักไปยังทิศทางที่เราต้องการที่ 135° และมีสัญญาณแทรกสอดเข้ามาทาง 45° 225° และ 315°



รูปที่ 5.18 แอมพลิจูดของวงจร k_3 ในชุดอุปกรณ์ที่ใช้ในการหาลำคลื่นหลักไปยังทิศทางที่เราต้องการที่ 135° และมีสัญญาณแทรกสอดเข้ามาทาง 45° 225° และ 315°

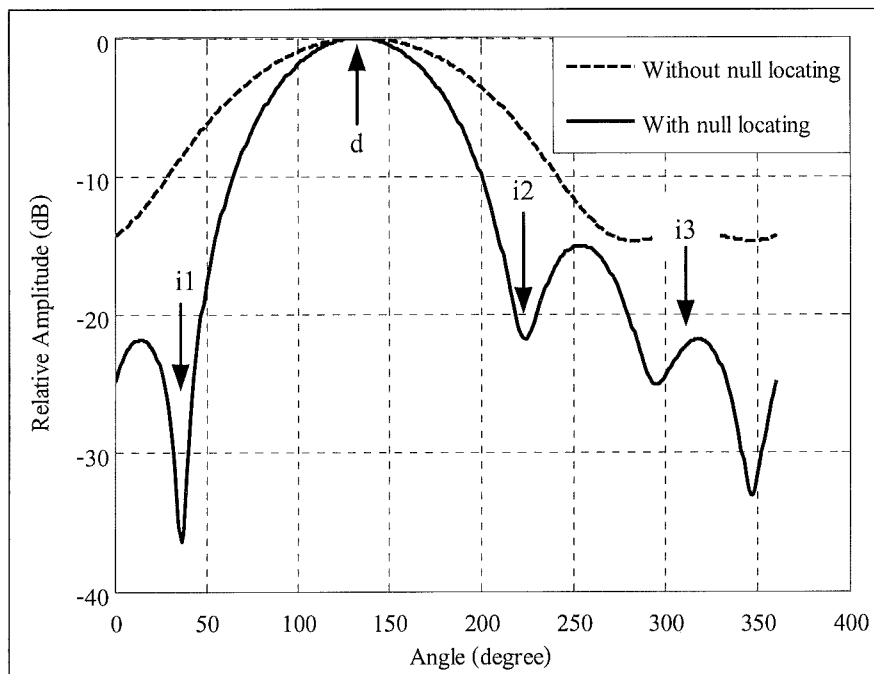


รูปที่ 5.19 มุมเฟสของวงจร k_3 ในชุดอุปกรณ์ที่ใช้ในการหาลำคลื่นหลักไปยังทิศทางที่เราต้องการที่ 135° และมีสัญญาณแทรกสอดเข้ามาทาง 45° 225° และ 315°

จากรูปที่ 5.12 – 5.19 คือกราฟแอมพลิจูดและมุมเฟสที่ได้จากการวัดชุดอุปกรณ์ทั้งหมด โดยการถ่ายภาพเนื่องจากสายที่ใช้เชื่อมต่อกันระหว่างเครื่องวิเคราะห์วงจรข่ายไปยังคอมพิวเตอร์นั้นเกิดการชำรุดจึงทำให้ไม่สามารถดึงรูปกราฟทั้งหมดออกมาจากเครื่องวิเคราะห์วงจรข่ายได้โดยตรง เราจึงได้สรุปค่าต่างๆที่วัดได้ดังตารางที่ 5.2 คือค่าแอมพลิจูดและมุมเฟสที่ได้จากการวัดชุดอุปกรณ์ที่ใช้ในการหาค่าคลื่นหลักไปยังทิศทางที่เราต้องการที่ 135° และสามารถกำหนดทิศทางของจุดศูนย์ในทิศทางของสัญญาณแทรกสอดเข้ามาทาง 45° 225° และ 315° ตามลำดับ จากค่าที่ได้ในตารางที่ 5.2 พบว่าค่าแอมพลิจูดที่ได้มีค่าคลาดเคลื่อนไปจากการออกแบบด้วยโปรแกรม CST Microwave Studio เล็กน้อย และค่ามุมเฟสที่ได้จากการวัดนั้นมีค่าไม่ตรงกันกับค่าที่ได้จากการออกแบบ แต่เมื่อเรานำค่าที่ได้มาทำการคำนวณหาค่าต่างเฟสที่ได้นั้นพบว่าค่าความต่างเฟสที่ได้ในแต่ละวงจรมีความใกล้เคียงกับค่าความต่างเฟสที่ได้จากการจำลองผลในตารางที่ 4.4 จากนั้นเราต้องทำการแปลงค่าที่ได้ให้อยู่ในรูปของจำนวนเชิงซ้อนได้ดังตารางที่ 5.2 เพื่อใช้เป็นค่าสัมประสิทธิ์ในการกำหนดทิศทางของจุดศูนย์โดยการนำค่าสัมประสิทธิ์ที่ได้ไปย้อนกลับในการจำลองผลด้วยวิธีการกำหนดทิศทางของจุดศูนย์ เพื่อดูแบบรูปการแผ่พลังงานและประสิทธิภาพของการกำหนดทิศทางของจุดศูนย์ เมื่อมีสัญญาณที่ต้องการเข้ามาในทิศทางที่ 135° และมีสัญญาณแทรกสอดเข้ามาทาง 45° 225° และ 315° จากผลที่ได้พบว่าชุดอุปกรณ์ที่เราได้ทำการสร้างนั้นสามารถนำมาใช้งานได้ เนื่องจากสามารถให้ค่าคลื่นหลักไปยังสัญญาณที่ต้องการเข้ามาในทิศทางที่ 135° และสามารถกำหนดทิศทางของจุดศูนย์ได้ในทิศทางของมีสัญญาณแทรกสอดเข้ามาทาง 45° 225° และ 315° แสดงดังรูปที่ 5.20

ตารางที่ 5.2 ค่าแอมพลิจูดและมุมเฟสที่ได้จากการวัดชุดอุปกรณ์ที่ใช้ในการหาค่าคลื่นหลักไปยังทิศทางที่เราต้องการที่ 135° และมีสัญญาณแทรกสอดเข้ามาทาง 45° 225° และ 315°

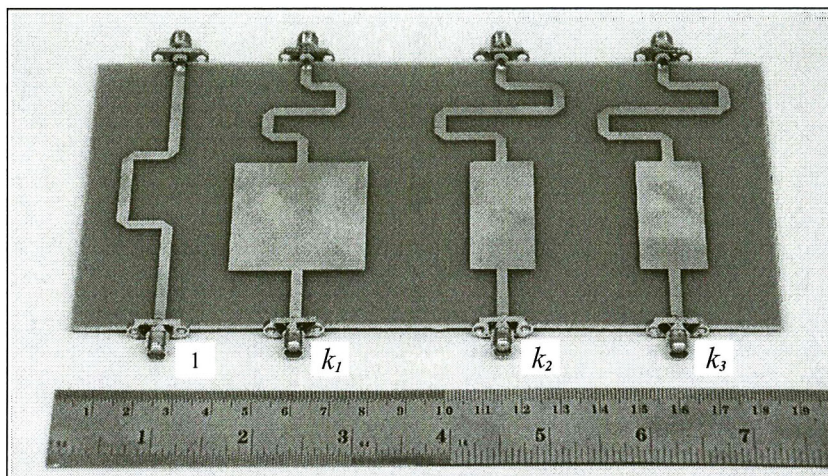
อุปกรณ์	ค่าที่ได้จากการวัดอุปกรณ์		ค่าความต่างเฟส (องศา)	จำนวนเชิงซ้อน
	แอมพลิจูด (dB)	มุมเฟส (องศา)		
วงจรที่ 1	-1.134	158.87	0	$0.8776+0.0000i$
k_1	-7.817	-85.177	115.953	$-0.1778+0.3655i$
k_2	-6.364	48.718	-110.152	$-0.1655-0.4511i$
k_3	-12.354	157.65	-1.22	$0.2410-0.0050i$



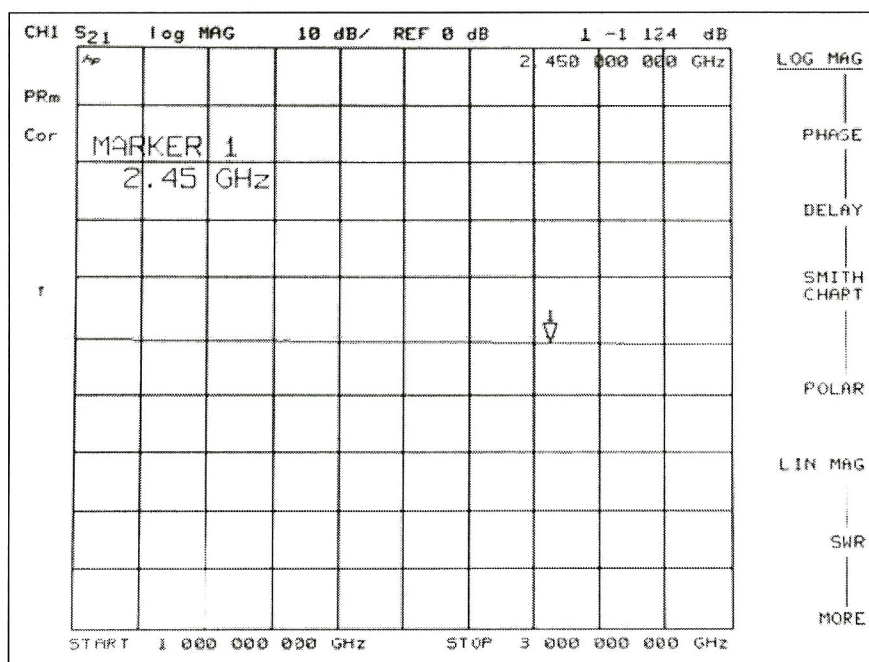
รูปที่ 5.20 แบบรูปการแผ่พลังงานที่ได้จากการวัด ค่าสัมประสิทธิ์ของการกำหนดทิศทางของจุดศูนย์ และป้อนกลับในการจำลองแบบด้วยวิธีการกำหนดทิศทางของจุดศูนย์ เมื่อมีสัญญาณที่ต้องการเข้ามาในทิศทางที่ 135° และสัญญาณแทรกสอดมาจากทิศทางที่ 45° 225° และ 315°

5.2.3 ชุดอุปกรณ์ที่ใช้ในการหาลำคลื่นหลักไปยังทิศทางของสัญญาณที่ต้องการเข้ามาที่ 225° และกำหนดทิศทางของจุดศูนย์ที่มีสัญญาณแทรกสอดเข้ามาทาง 45° 135° และ 315°

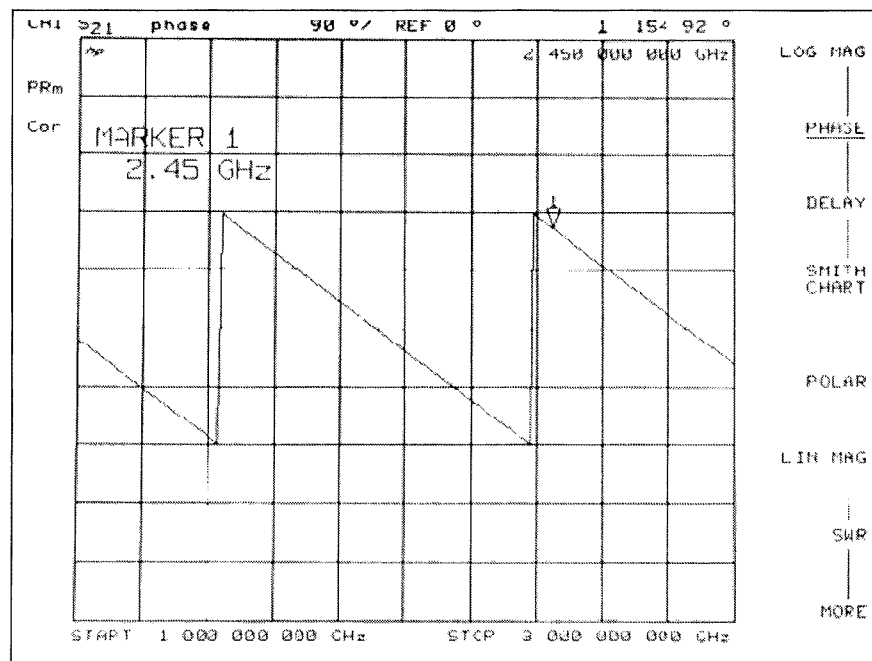
รูปที่ 5.21 คือลักษณะของอุปกรณ์ที่สร้างขึ้นมาจริงเพื่อใช้ในการหาลำคลื่นหลักไปยังทิศทางของสัญญาณที่ต้องการเข้ามาที่ 225° และมีความสามารถในการกำหนดทิศทางของจุดศูนย์ที่มีสัญญาณแทรกสอดเข้ามาทาง 45° 135° และ 315° จากรูปวงจรที่ 1 คือวงจรที่ใช้เชื่อมต่อกับพอร์ตขาออกของแบตเตอรี่เมตริกซ์ที่ถูกปรับปรุง ที่ให้ทิศทางของลำคลื่นหลักไปยังทิศทางของสัญญาณที่ต้องการเข้ามาที่ 225° โดยที่วงจร k_1 คือ ค่าสัมประสิทธิ์ที่ใช้กำหนดทิศทางของจุดศูนย์ในทิศทางที่ 45° วงจร k_2 คือ ค่าสัมประสิทธิ์ที่ใช้กำหนดทิศทางของจุดศูนย์ในทิศทางที่ 135° วงจร k_3 คือค่าสัมประสิทธิ์ที่ใช้กำหนดทิศทางของจุดศูนย์ในทิศทางที่ 315° ตามลำดับ จากนั้นนำอุปกรณ์ที่สร้างไปวัดผลด้วยเครื่องวิเคราะห์ห้วงจรข่าย เพื่อดูแอมพลิจูดและมุมเฟสของอุปกรณ์ได้ผลการวัดดังรูปที่ 5.21 – 5.29



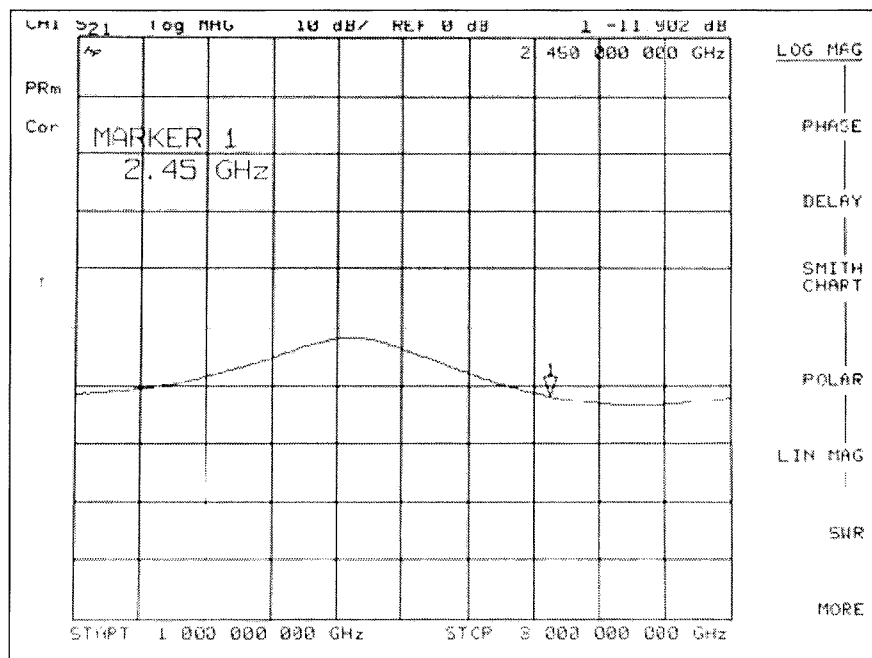
รูปที่ 5.21 ลักษณะของชุดอุปกรณ์ที่สร้างขึ้นจริงเพื่อนำไปใช้ในการหาค่าคลื่นหลักไปยังทิศทางที่เราต้องการที่ 225° และมีสัญญาณแทรกสอดเข้ามาทาง 45° 135° และ 315°



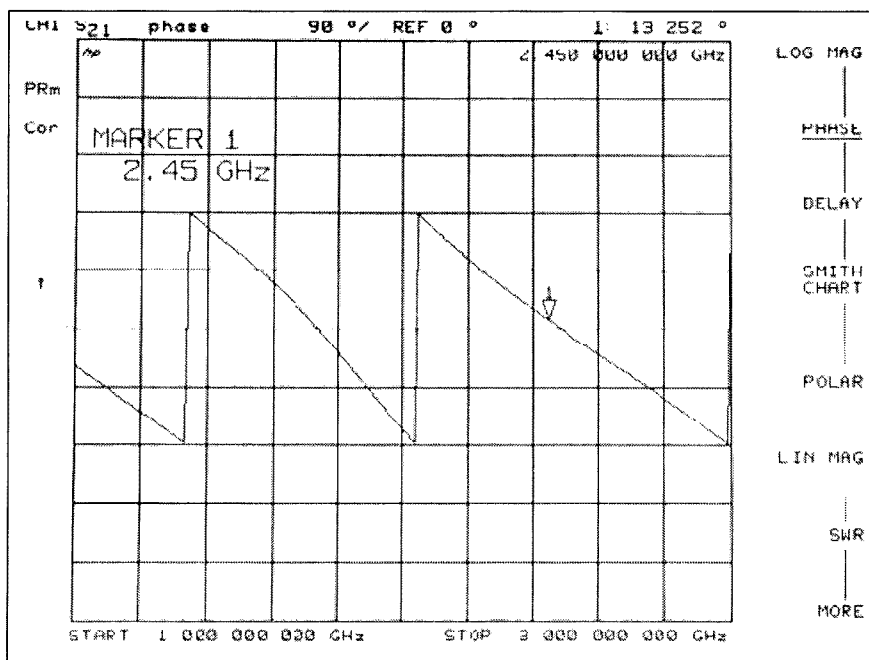
รูปที่ 5.22 แอมพลิจูดของวงจรที่ 1 ในชุดอุปกรณ์ที่ใช้ในการหาค่าคลื่นหลักไปยังทิศทางที่เราต้องการที่ 225° และมีสัญญาณแทรกสอดเข้ามาทาง 45° 135° และ 315°



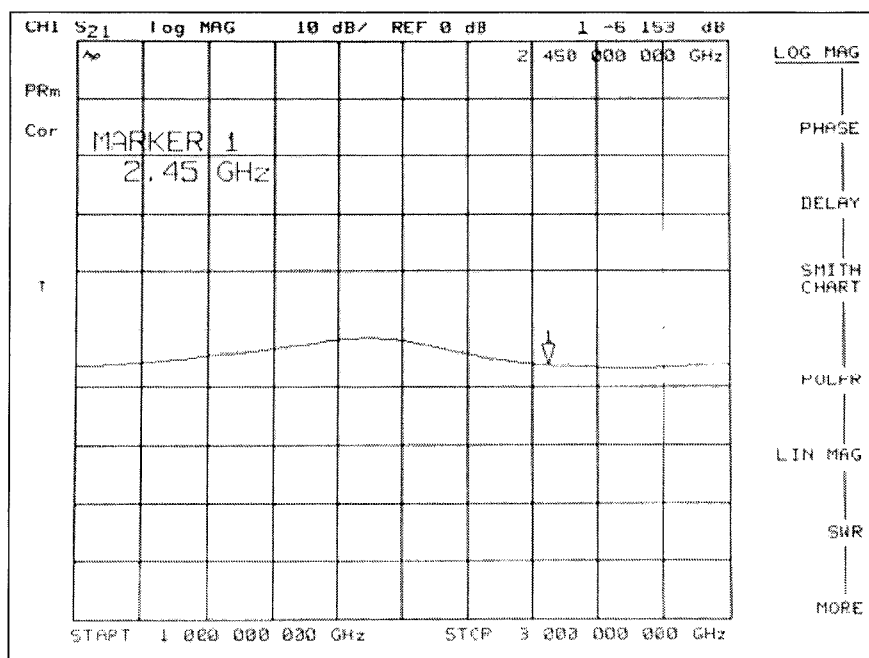
รูปที่ 5.23 มุมเฟสของวงจรที่ 1 ในชุดอุปกรณ์ที่ใช้ในการหาค่าคลื่นหลักไปยังทิศทางที่เราต้องการที่ 225° และมีสัญญาณแทรกสอดเข้ามาทาง 45° 135° และ 315°



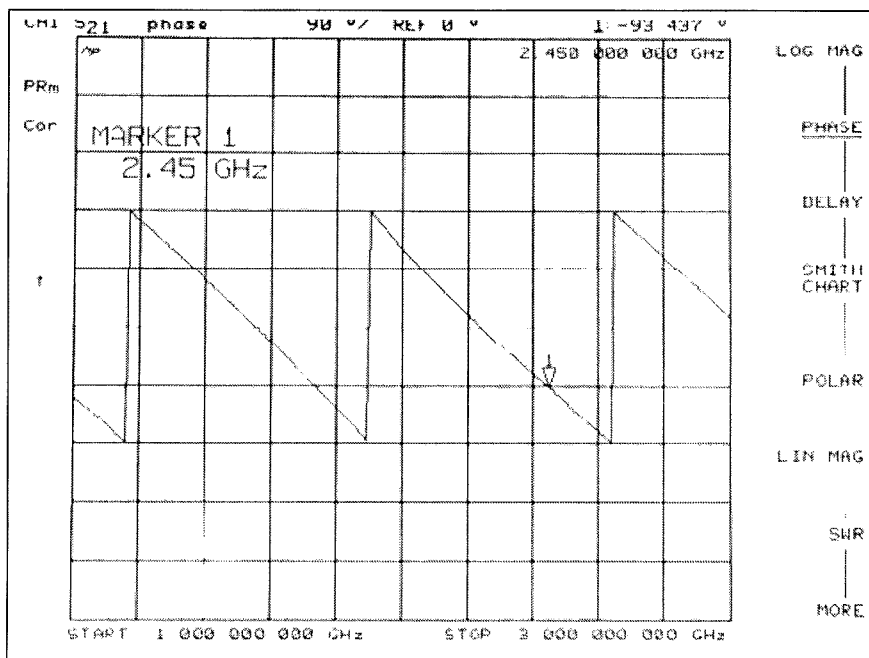
รูปที่ 5.24 แอมพลิจูดของวงจร k_1 ในชุดอุปกรณ์ที่ใช้ในการหาค่าคลื่นหลักไปยังทิศทางที่เราต้องการที่ 225° และมีสัญญาณแทรกสอดเข้ามาทาง 45° 135° และ 315°



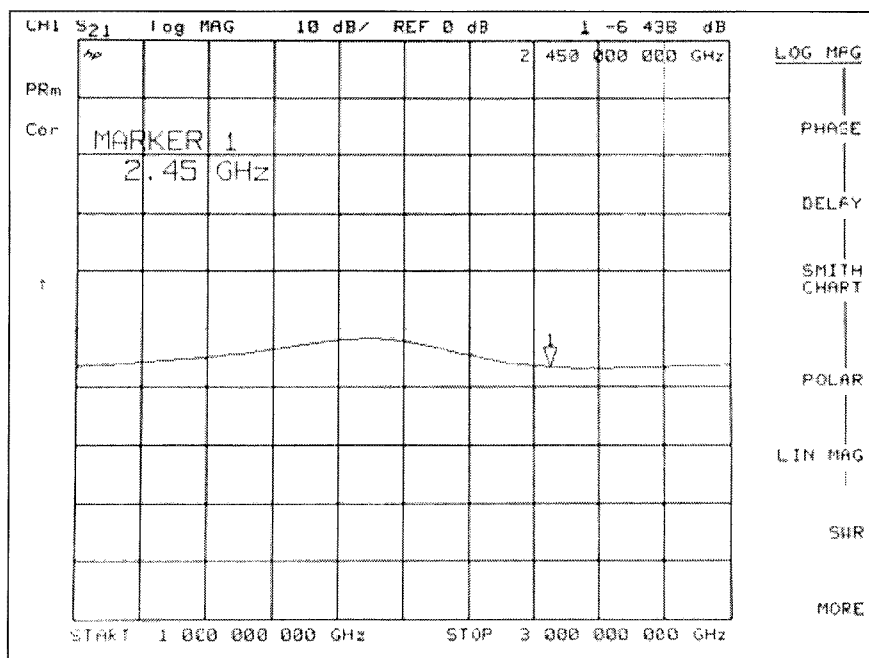
รูปที่ 5.25 มุมเฟสของวงจร k , ในชุดอุปกรณ์ที่ใช้ในการหาค่าคลื่นหลักไปยังทิศทางที่เราต้องการที่ 225° และมีสัญญาณแทรกสอดเข้ามาทาง 45° 135° และ 315°



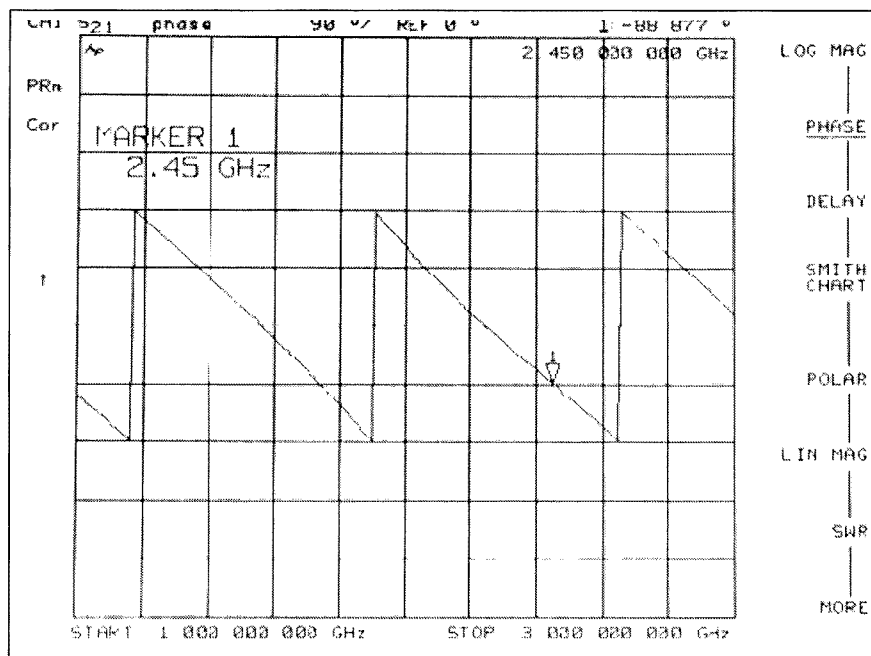
รูปที่ 5.26 แอมพลิจูดของวงจร k , ในชุดอุปกรณ์ที่ใช้ในการหาค่าคลื่นหลักไปยังทิศทางที่เราต้องการที่ 225° และมีสัญญาณแทรกสอดเข้ามาทาง 45° 135° และ 315°



รูปที่ 5.27 มุมเฟสของวงจร k_2 ในชุดอุปกรณ์ที่ใช้ในการหาค่าคลื่นหลักไปยังทิศทางที่เราต้องการที่ 225° และมีสัญญาณแทรกสอดเข้ามาทาง 45° 135° และ 315°



รูปที่ 5.28 แอมพลิจูดของวงจร k_3 ในชุดอุปกรณ์ที่ใช้ในการหาค่าคลื่นหลักไปยังทิศทางที่เราต้องการที่ 225° และมีสัญญาณแทรกสอดเข้ามาทาง 45° 135° และ 315°



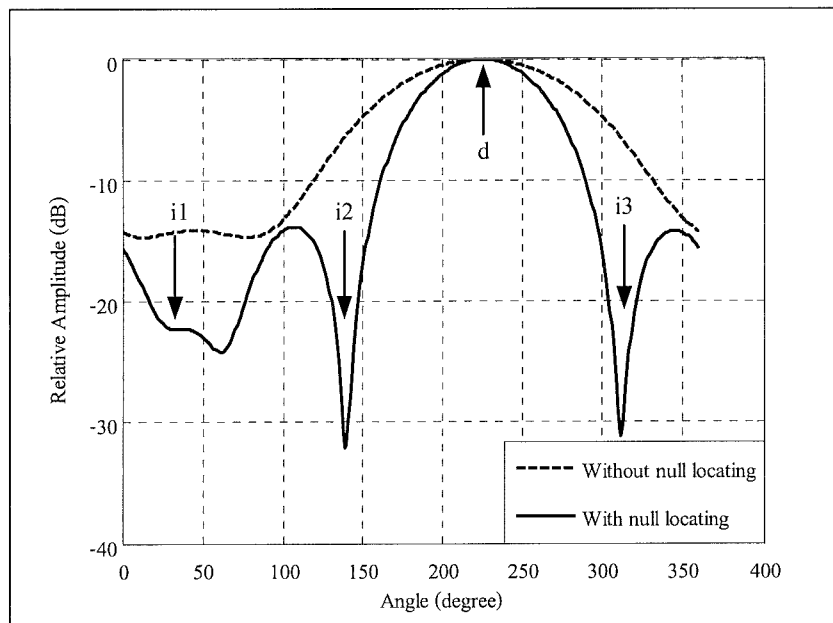
รูปที่ 5.29 มุมเฟสของวงจร k , ในชุดอุปกรณ์ที่ใช้ในการหาค่าคลื่นหลักไปยังทิศทางที่เราต้องการที่ 225° และมีสัญญาณแทรกสอดเข้ามาทาง 45° 135° และ 315°

จากรูปที่ 5.22 – 5.29 คือกราฟแอมพลิจูดและมุมเฟสที่ได้จากการวัดชุดอุปกรณ์ทั้งหมด โดยการถ่ายภาพเนื่องจากสายที่ใช้เชื่อมต่อกันระหว่างเครื่องวิเคราะห์วงจรไปยังคอมพิวเตอร์นั้นเกิดการชำรุดจึงทำให้ไม่สามารถดึงรูปกราฟทั้งหมดออกมาจากเครื่องวิเคราะห์วงจรขายได้โดยตรง เราจึงได้สรุปค่าต่าง ๆ ที่วัดได้ดังตารางที่ 5.3 คือค่าแอมพลิจูดและมุมเฟสที่ได้จากการวัดชุดอุปกรณ์ที่ใช้ในการหาค่าคลื่นหลักไปยังทิศทางที่เราต้องการที่ 225° และสามารถกำหนดทิศทางของจุดศูนย์ในทิศทางของสัญญาณแทรกสอดเข้ามาทาง 45° 225° และ 315° ตามลำดับ จากค่าที่ได้ในตารางที่ 5.3 พบว่าค่าแอมพลิจูดที่ได้มีค่าคลาดเคลื่อนไปจากการออกแบบด้วยโปรแกรม CST Microwave Studio เล็กน้อย และค่ามุมเฟสที่ได้จากการวัดนั้นมีค่าไม่ตรงกันกับค่าที่ได้จากการออกแบบ แต่เมื่อเรานำค่าที่ได้มาทำการคำนวณหาค่าต่างเฟสที่ได้นั้นพบว่าค่าความต่างเฟสที่ได้ในแต่ละวงจรมีความใกล้เคียงกับค่าความต่างเฟสที่ได้จากการจำลองผลในตารางที่ 4.4 จากนั้นเราต้องทำการแปลงค่าที่ได้ให้อยู่ในรูปของจำนวนเชิงซ้อนได้ดังตารางที่ 5.3 เพื่อใช้เป็น ค่าสัมประสิทธิ์ในการกำหนดทิศทางของจุดศูนย์โดยการนำค่าสัมประสิทธิ์ที่ได้ป้อนกลับในการจำลองผลด้วยวิธีการกำหนดทิศทางของจุดศูนย์ เพื่อดูแบบรูปการแผ่พลังงานและประสิทธิภาพของการกำหนดทิศทางของจุดศูนย์ เมื่อมีสัญญาณที่ต้องการเข้ามาในทิศทางที่ 225° และมีสัญญาณแทรกสอดเข้ามาทาง 45° 135° และ 315°

ดังรูปที่ 5.30 จะแสดงให้เห็นว่าชุดอุปกรณ์นี้สามารถให้ลำคลื่นหลักไปยังสัญญาณที่ต้องการเข้ามาในทิศทางที่ 225° และสามารถกำหนดทิศทางของจุดศูนย์ได้ในทิศทางของมีสัญญาณแทรกสอดเข้ามาทาง 45° 135° และ 315° นั้นหมายความว่าชุดอุปกรณ์ที่เราได้ทำการสร้างสามารถนำมาใช้งานได้

ตารางที่ 5.3 ค่าแอมพลิจูดและมุมเฟสที่ได้จากการวัดชุดอุปกรณ์ที่ใช้ในการหาลำคลื่นหลักไปยังทิศทางที่เราต้องการที่ 225° และมีสัญญาณแทรกสอดเข้ามาทาง 45° 135° และ 315°

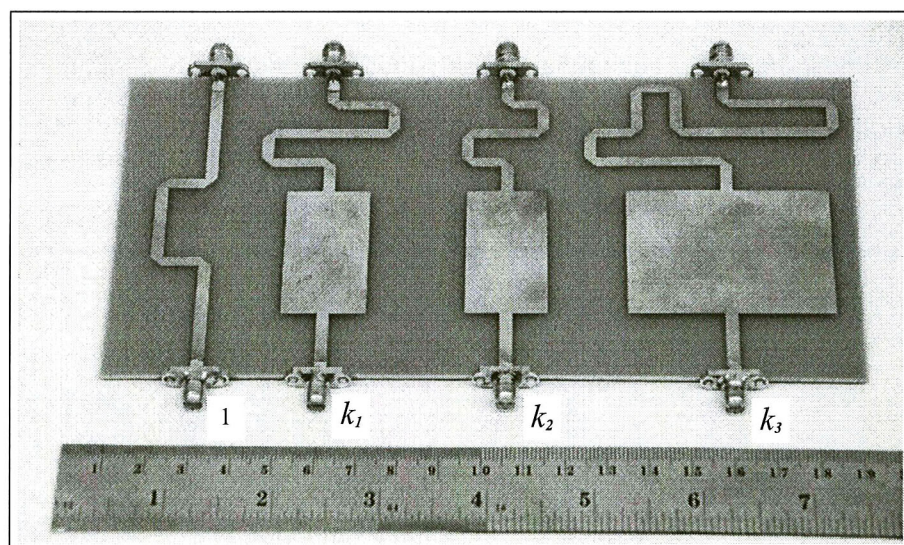
อุปกรณ์	ค่าที่ได้จากการวัดอุปกรณ์		ค่าความต่างเฟส (องศา)	จำนวนเชิงซ้อน
	แอมพลิจูด (dB)	มุมเฟส (องศา)		
วงจรที่ 1	-1.124	154.92	0	0.8786
k_1	-11.902	13.252	-141.668	-0.1992-0.1575i
k_2	-6.153	-93.437	111.643	-0.1816+0.4576i
k_3	-6.438	-88.877	116.203	-0.2103+0.4275i



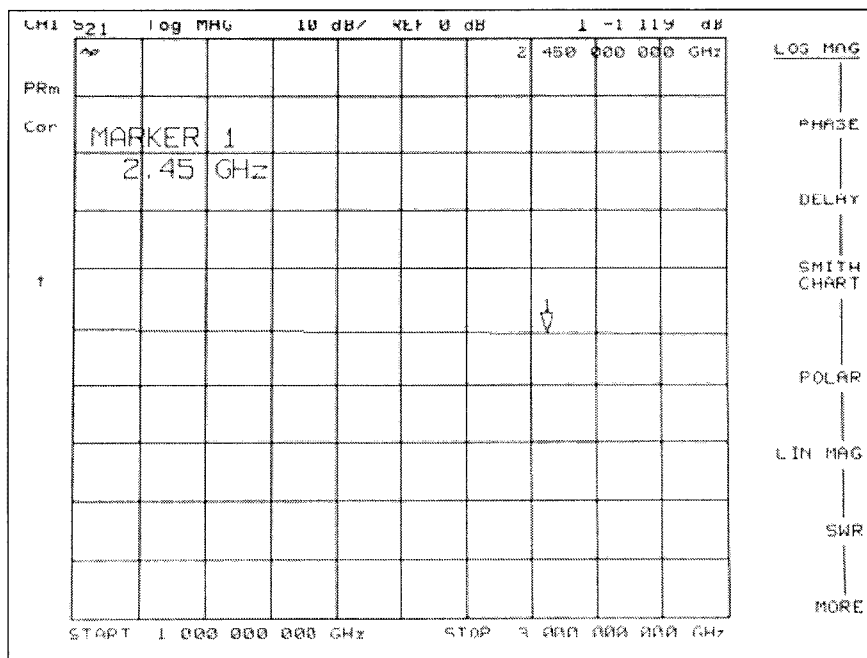
รูปที่ 5.30 แบบรูปการแผ่พลังงานที่ได้จากการวัดค่าสัมประสิทธิ์ของการกำหนดทิศทางของจุดศูนย์และป้อนกลับในการจำลองแบบด้วยวิธีการกำหนดทิศทางของจุดศูนย์ เมื่อมีสัญญาณที่ต้องการเข้ามาในทิศทางที่ 225° และสัญญาณแทรกสอดมาจากทิศทางที่ 45° 135° และ 315°

5.2.4 ชุดอุปกรณ์ที่ใช้ในการหั่นลำคลื่นหลักไปยังทิศทางของสัญญาณที่ต้องการเข้ามาที่ 315° และกำหนดทิศทางของจุดศูนย์ที่มีสัญญาณแทรกสอดเข้ามาทาง 45° 135° และ 225°

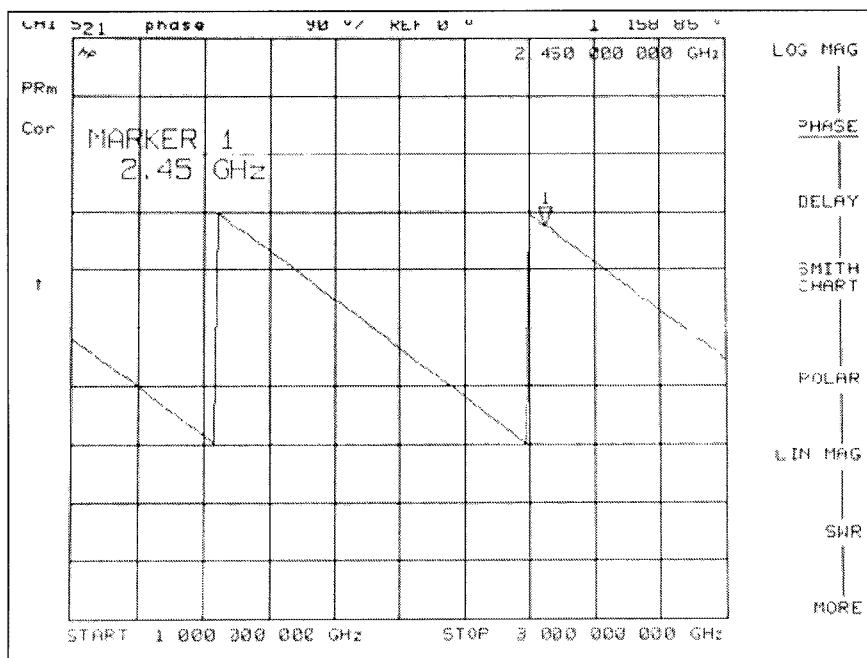
จากที่ได้กล่าวมาในบทที่ 4 ในการหั่นลำคลื่นหลักไปยังทิศทางที่ 315° นั้นสามารถใช้อุปกรณ์ที่ใช้กำหนดทิศทางของจุดศูนย์ชุดเดียวกันกับอุปกรณ์ที่ใช้ในการหั่นลำคลื่นหลักไปยังทิศทางที่ 135° โดยการสลับพอร์ตในการเชื่อมต่อ ดังรูปที่ 5.31 แสดงลักษณะของของอุปกรณ์ที่สร้างขึ้นมาจริงเพื่อใช้ในการหั่นลำคลื่นหลักไปยังทิศทางของสัญญาณที่ต้องการเข้ามาที่ 315° และมีความสามารถในการกำหนดทิศทางของจุดศูนย์ที่มีสัญญาณแทรกสอดเข้ามาทาง 45° 135° และ 225° จากรูปวงจรที่ 1 คือวงจรที่ใช้เชื่อมต่อกับพอร์ตขาออกของ modified Butler matrix ที่ให้ทิศทางของลำคลื่นหลักไปยังทิศทางของสัญญาณที่ต้องการเข้ามาที่ 315° โดยที่วงจร k_1 คือ ค่าสัมประสิทธิ์ที่ใช้กำหนดทิศทางของจุดศูนย์ในทิศทางที่ 45° วงจร k_2 คือ ค่าสัมประสิทธิ์ที่ใช้กำหนดทิศทางของจุดศูนย์ในทิศทางที่ 135° วงจร k_3 คือ ค่าสัมประสิทธิ์ที่ใช้กำหนดทิศทางของจุดศูนย์ในทิศทางที่ 225° ตามลำดับ จากนั้นนำอุปกรณ์ที่สร้างไปวัดผลด้วยเครื่องวิเคราะห์ห้วงจรข่าย เพื่อดูแอมพลิจูดและมุมเฟสของอุปกรณ์ได้ผลวัดดังรูปที่ 5.32 - 5.39



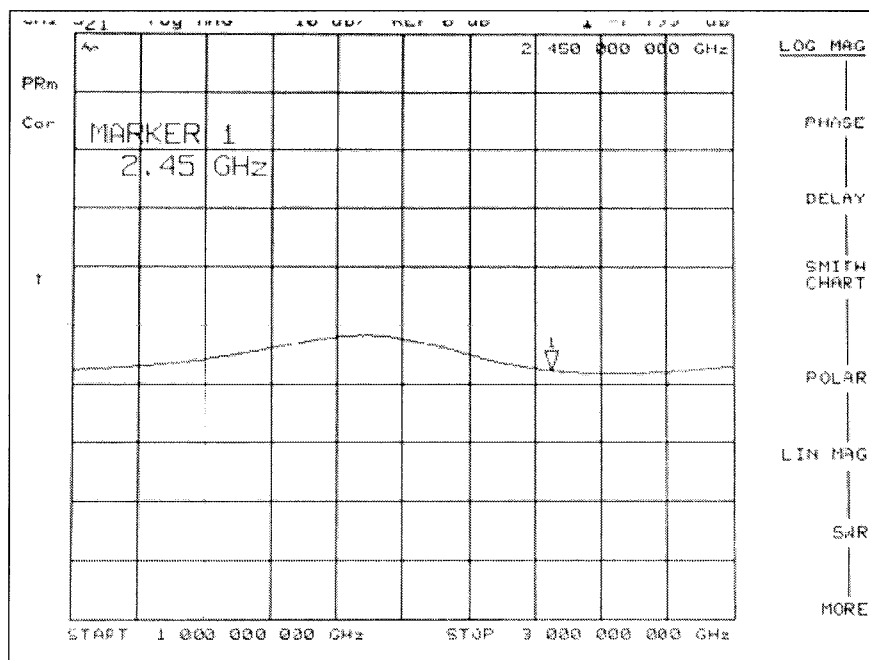
รูปที่ 5.31 ลักษณะของชุดอุปกรณ์ที่สร้างขึ้นจริงเพื่อนำไปใช้ในการหั่นลำคลื่นหลักไปยังทิศทางที่เราต้องการที่ 315° และมีสัญญาณแทรกสอดเข้ามาทาง 45° 135° และ 225°



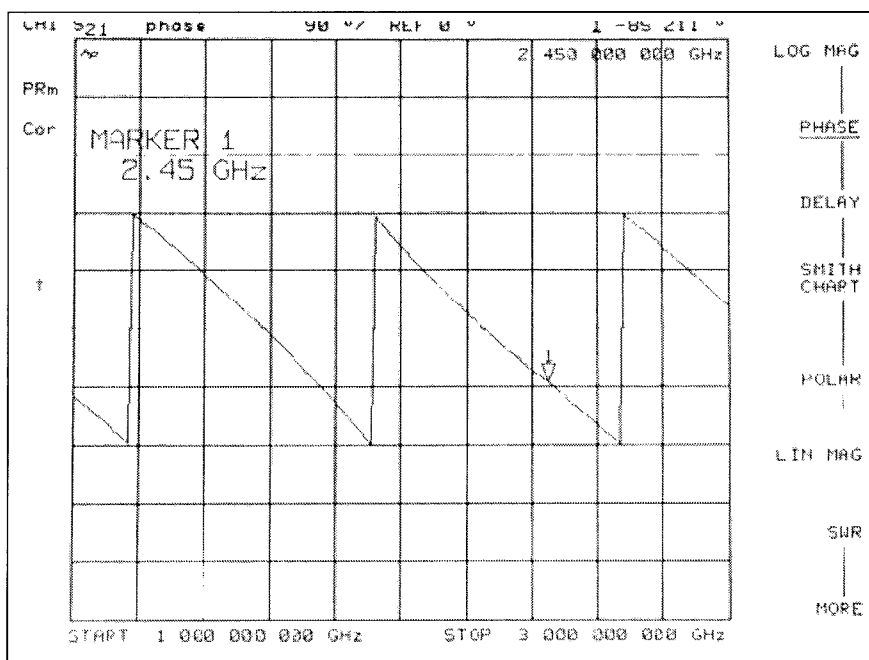
รูปที่ 5.32 แอมพลิจูดของวงจรที่ 1 ในชุดอุปกรณ์ที่ใช้ในการหาค่าคลื่นหลักไปยังทิศทางที่เราต้องการที่ 315° และมีสัญญาณแทรกสอดเข้ามาทาง 45° 135° และ 225°



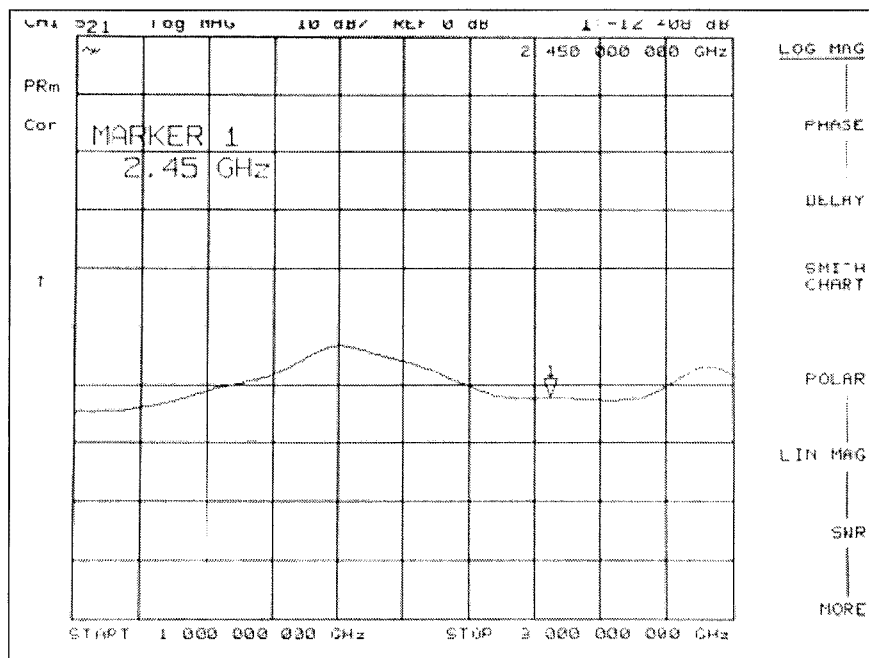
รูปที่ 5.33 มุมเฟสของวงจรที่ 1 ในชุดอุปกรณ์ที่ใช้ในการหาค่าคลื่นหลักไปยังทิศทางที่เราต้องการที่ 315° และมีสัญญาณแทรกสอดเข้ามาทาง 45° 135° และ 225°



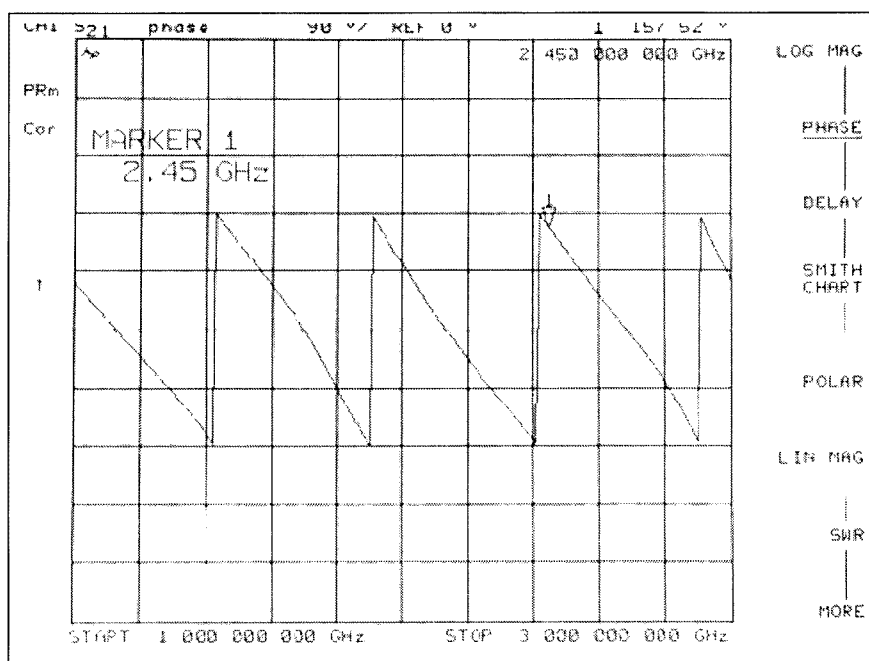
รูปที่ 5.34 แอมพลิจูดของวงจร k , ในชุดอุปกรณ์ที่ใช้ในการหาค่าคลื่นหลักไปยังทิศทางที่เรากำลังต้องการที่ 315° และมีสัญญาณแทรกสอดเข้ามาทาง 45° 135° และ 225°



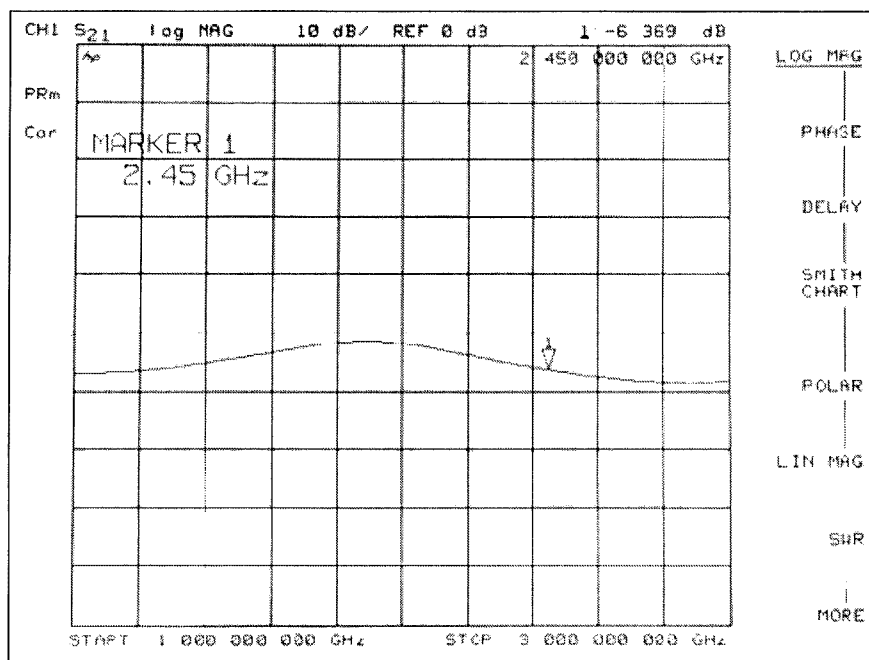
รูปที่ 5.35 มุมเฟสของวงจร k , ในชุดอุปกรณ์ที่ใช้ในการหาค่าคลื่นหลักไปยังทิศทางที่เรากำลังต้องการที่ 315° และมีสัญญาณแทรกสอดเข้ามาทาง 45° 135° และ 225°



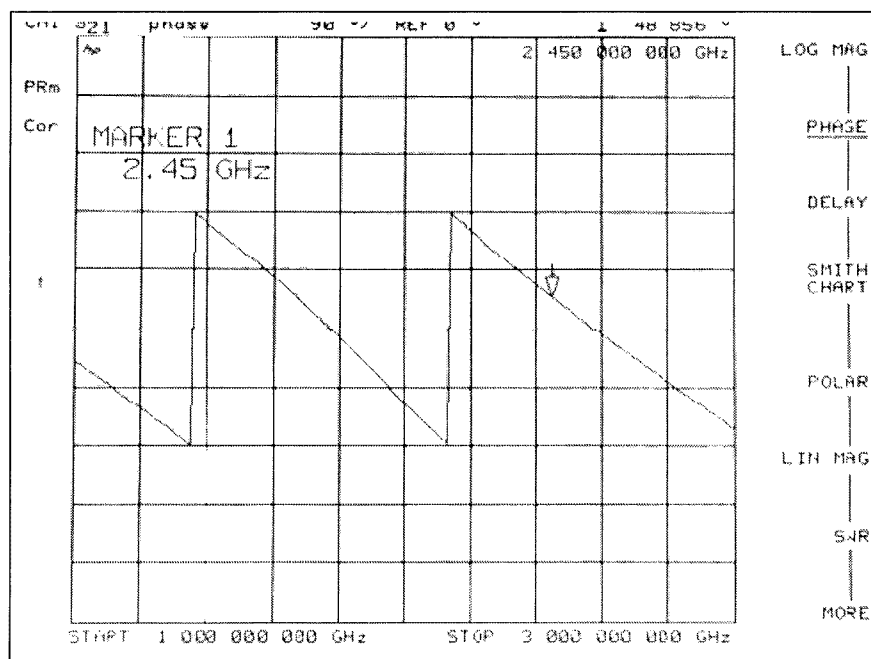
รูปที่ 5.36 แอมพลิจูดของวงจร k_2 ในชุดอุปกรณ์ที่ใช้ในการหั่นลำคลื่นหลักไปยังทิศทางที่เราต้องการที่ 315° และมีสัญญาณแทรกสอดเข้ามาทาง 45° 135° และ 225°



รูปที่ 5.37 มุมเฟสของวงจร k_2 ในชุดอุปกรณ์ที่ใช้ในการหั่นลำคลื่นหลักไปยังทิศทางที่เราต้องการที่ 315° และมีสัญญาณแทรกสอดเข้ามาทาง 45° 135° และ 225°



รูปที่ 5.38 แอมพลิจูดของวงจร k , ในชุดอุปกรณ์ที่ใช้ในการหั่นลำคลื่นหลักไปยังทิศทางที่เราต้องการที่ 315° และมีสัญญาณแทรกสอดเข้ามาทาง 45° 135° และ 225°

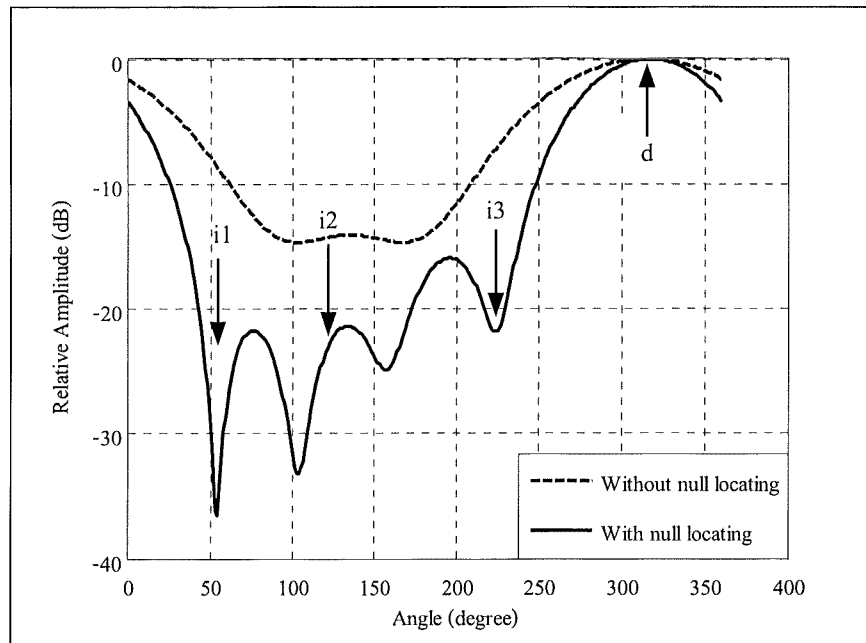


รูปที่ 5.39 มุมเฟสของวงจร k , ในชุดอุปกรณ์ที่ใช้ในการหั่นลำคลื่นหลักไปยังทิศทางที่เราต้องการที่ 315° และมีสัญญาณแทรกสอดเข้ามาทาง 45° 135° และ 225°

จากรูปที่ 5.32 – 5.39 คือกราฟแอมพลิจูดและมุมเฟสที่ได้จากการวัดชุดอุปกรณ์ทั้งหมด โดยการถ่ายภาพเนื่องจากสายที่ใช้เชื่อมต่อกันระหว่างเครื่องวิเคราะห์วงจรข่ายไปยังคอมพิวเตอร์นั้นเกิดการชำรุดจึงทำให้ไม่สามารถดึงรูปกราฟทั้งหมดออกมาจากเครื่องวิเคราะห์วงจรข่ายได้โดยตรง เราจึงได้สรุปค่าต่าง ๆ ที่วัดได้ดังตารางที่ 5.4 คือ ค่าแอมพลิจูดและมุมเฟสที่ได้จากการวัดชุดอุปกรณ์ที่ใช้ในการหาลำคลื่นหลักไปยังทิศทางที่เราต้องการที่ 315° และสามารถกำหนดทิศทางของจุดศูนย์ในทิศทางของสัญญาณแทรกสอดเข้ามาทาง 45° 135° และ 225° ตามลำดับ จากค่าที่ได้ในตารางที่ 5.4 พบว่าค่าแอมพลิจูดที่ได้มีค่าคลาดเคลื่อนไปจากการออกแบบด้วยโปรแกรม CST Microwave Studio เล็กน้อย และค่ามุมเฟสที่ได้จากการวัดนั้นมีค่าไม่ตรงกันกับค่าที่ได้จากการออกแบบ แต่เมื่อเรานำค่าที่ได้มาทำการคำนวณหาค่าต่างเฟสที่ได้นั้นพบว่าค่าความต่างเฟสที่ได้ในแต่ละวงจรมีความใกล้เคียงกับค่าความต่างเฟสที่ได้จากการจำลองผลในตารางที่ 4.4 จากนั้นเราต้องทำการแปลงค่าที่ได้ให้อยู่ในรูปของจำนวนเชิงซ้อนได้ดังตารางที่ 5.4 เพื่อใช้เป็นค่าสัมประสิทธิ์ในการกำหนดทิศทางของจุดศูนย์โดยการนำค่าสัมประสิทธิ์ที่ได้ป้อนกลับในการจำลองผลด้วยวิธีการกำหนดทิศทางของจุดศูนย์ เพื่อดูแบบรูปการแผ่พลังงานและประสิทธิภาพของการกำหนดทิศทางของจุดศูนย์ เมื่อมีสัญญาณที่ต้องการเข้ามาในทิศทางที่ 315° และมีสัญญาณแทรกสอดเข้ามาทาง 45° 135° และ 225° ดังรูปที่ 5.40 จะแสดงให้เห็นว่าชุดอุปกรณ์นี้สามารถให้ลำคลื่นหลักไปยังสัญญาณที่ต้องการเข้ามาในทิศทางที่ 315° และสามารถกำหนดทิศทางของจุดศูนย์ได้ในทิศทางของมีสัญญาณแทรกสอดเข้ามาทาง 45° 135° และ 225° ถึงแม้ว่าทิศทางของการกำหนดจุดศูนย์นั้นมีมุมที่คลาดเคลื่อนอยู่บ้างเล็กน้อย ซึ่งอาจจะเกิดจากความผิดพลาดในขั้นตอนการสร้างแต่ชุดอุปกรณ์ที่เราได้ทำการสร้างนั้นก็ยังสามารถนำมาใช้งานได้

ตารางที่ 5.4 ค่าแอมพลิจูดและมุมเฟสที่ได้จากการวัดชุดอุปกรณ์ที่ใช้ในการหาลำคลื่นหลักไปยังทิศทางที่เราต้องการที่ 315° และมีสัญญาณแทรกสอดเข้ามาทาง 45° 135° และ 225°

อุปกรณ์	ค่าที่ได้จากการวัดอุปกรณ์		ค่าความต่างเฟส (องศา)	จำนวนเชิงซ้อน
	แอมพลิจูด (dB)	มุมเฟส (องศา)		
วงจรที่ 1	-1.119	158.85	0	$0.8791+0.0000i$
k_1	-7.755	-85.211	115.939	$-0.1790+0.3681i$
k_2	-12.408	157.52	-1.33	$0.2395-0.0050i$
k_3	-6.639	48.856	-109.994	$-0.1591-0.4375i$

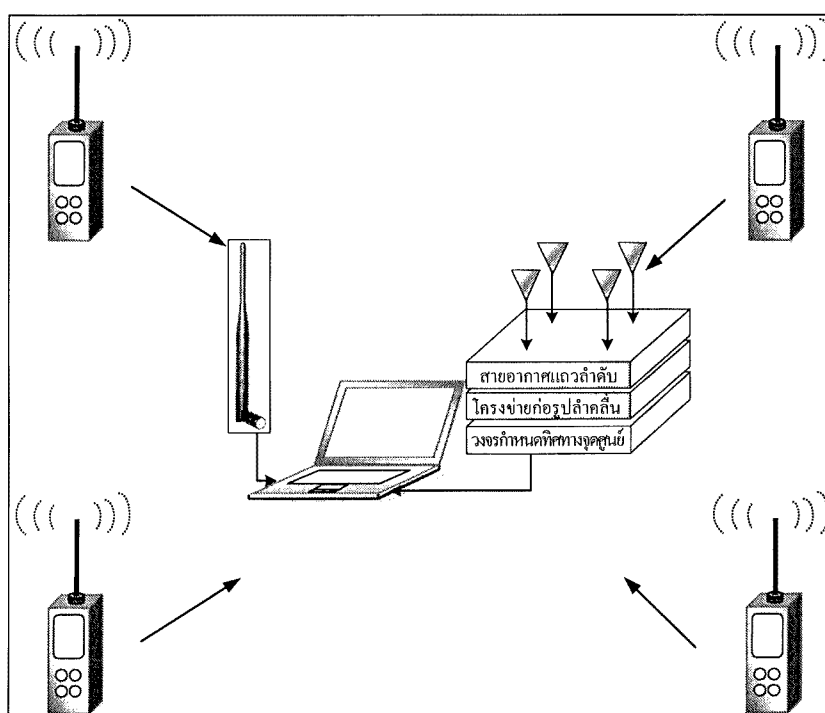


รูปที่ 5.40 แบบรูปการแผ่พลังงานที่ได้จากการวัดค่าสัมประสิทธิ์ของการกำหนดทิศทางของจุดศูนย์และป้อนกลับในการจำลองแบบด้วยวิธีการกำหนดทิศทางของจุดศูนย์ เมื่อมีสัญญาณที่ต้องการเข้าในทิศทางที่ 315° และสัญญาณแทรกสอดมาจากทิศทางที่ 45° 135° และ 225°

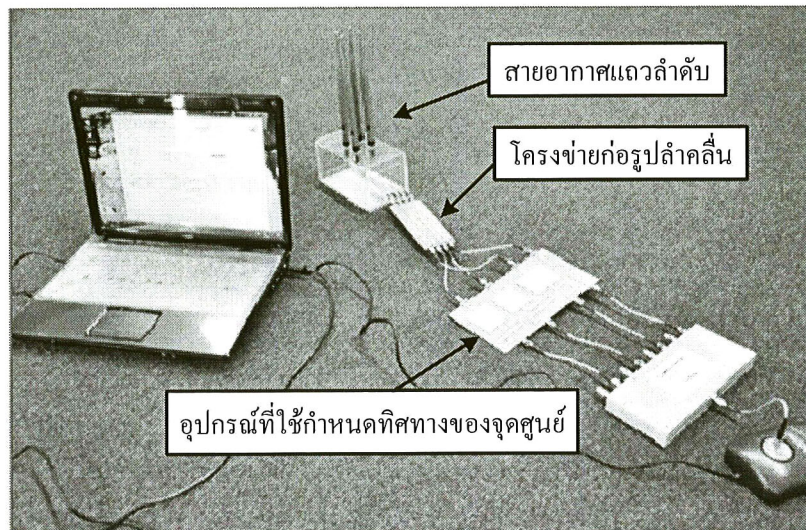
จากการวัดทดสอบอุปกรณ์จริงที่เราใช้กำหนดทิศทางของศูนย์ที่แสดงมาทั้งหมดนั้นพบว่าอุปกรณ์ทั้งหมดสามารถกำหนดทิศทางของจุดศูนย์ในทิศทางของสัญญาณแทรกสอดที่เข้ามายังระบบได้ ถึงแม้ว่าจะมีในบางชุดอุปกรณ์มีแอมพลิจูดคลาดเคลื่อนไป 0.4 - 2.2 dB และมีมุมในการกำหนดทิศทางของจุดศูนย์คลาดเคลื่อนไป 0.15 - 14.39 องศา ซึ่งถือว่ามีความคลาดเคลื่อนเพียงเล็กน้อยนอกจากนี้ระบบยังสามารถหั่นลำคลื่นหลักไปยังทิศทางของสัญญาณที่ต้องการได้อีกด้วย ในหัวข้อถัดไปจะเป็นการนำเสนอการทดสอบระบบสายอากาศสวิตช์ลำคลื่นที่สามารถกำหนดทิศทางของจุดศูนย์ในพื้นที่ที่เราจำลองขึ้นมา เพื่อดูประสิทธิภาพการทำงานของระบบที่นำเสนอในงานวิจัยนี้เทียบกับระบบที่ใช้สายอากาศแบบรอบทิศทาง

5.3 การทดสอบระบบสายอากาศสวิตช์ล้าคั่นอย่างง่ายที่มีความสามารถในการกำหนดทิศทางของจุดศูนย์

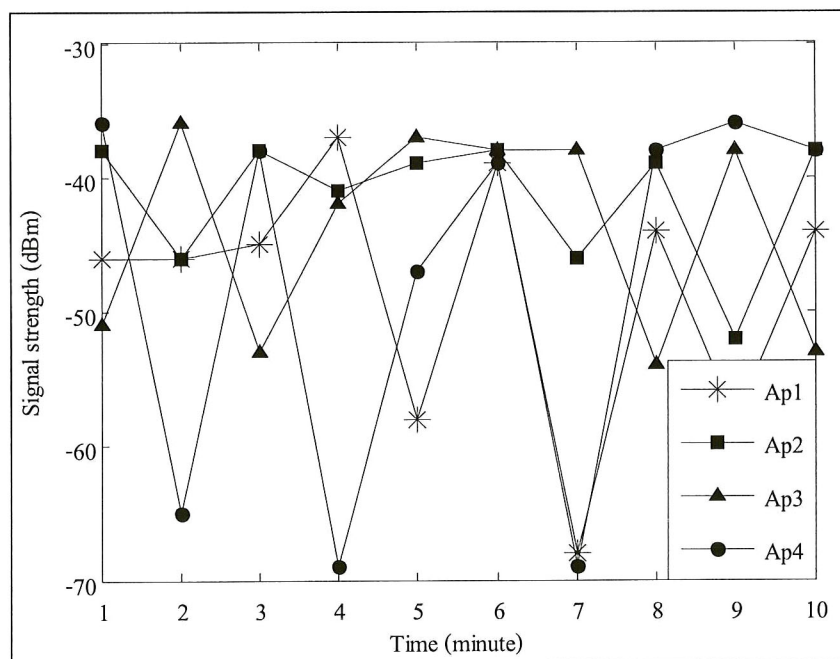
ระบบสายอากาศสวิตช์ล้าคั่นมีความสามารถในการกำหนดทิศทางของจุดศูนย์ที่เราได้ทำการสร้างขึ้นมานั้นเราจะนำมาทดสอบประสิทธิภาพของระบบ โดยเราจะทำการวัดความแรงของสัญญาณ (signal strength) เวลาที่ใช้ในการดาวน์โหลดข้อมูล (delay) และค่าวิสัยสามารถ (throughput) ซึ่งสามารถวัดได้จากเว็บไซต์ <http://www.markab.it/meter/> ซึ่งจะนำผลที่ได้ทั้งหมดมาเปรียบเทียบกับระบบที่ใช้สายอากาศแบบรอบทิศทาง ในการทดสอบผลนั้นเราจะทำการทดสอบโดยใช้โครงสร้างพื้นฐานของเครือข่ายเมฆไร้สายแสดงดังรูปที่ 5.41 จากรูปประกอบไปด้วยอุปกรณ์ทั้งหมด 5 ตัว ที่เป็นเครือข่ายเมฆของอุปกรณ์จัดเส้นทางซึ่งมีการติดตั้งจุดเข้าถึงสัญญาณไว้ที่มุมทั้ง 4 มุม ของรูปที่ 5.41 ซึ่งจุดเข้าถึงถึงสัญญาณแต่ละตัวนั้นถูกติดตั้งอยู่ห่างจากคอมพิวเตอร์ที่อยู่ตรงกลาง 2.33 เมตร และใช้กำลังในการส่งสัญญาณ 24 dBm โดยใช้คอมพิวเตอร์ที่อยู่ตรงกลางเป็นตัวที่ใช้ในการวัดทดสอบผล ในลำดับแรกเราจะใช้สายอากาศโมโนโพล ในการวัดผลก่อนแล้วจึงเปลี่ยนมาทำการวัดผลของระบบในงานวิจัยฉบับนี้ แสดงดังรูปที่ 5.42 สุดท้ายคือการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการทำงานของทั้ง 2 ระบบนี้ ซึ่งจะนำเสนอในส่วนถัดไป



รูปที่ 5.41 โครงสร้างพื้นฐานของเครือข่ายเมฆไร้สายที่ใช้ในการทำการทดสอบจริง



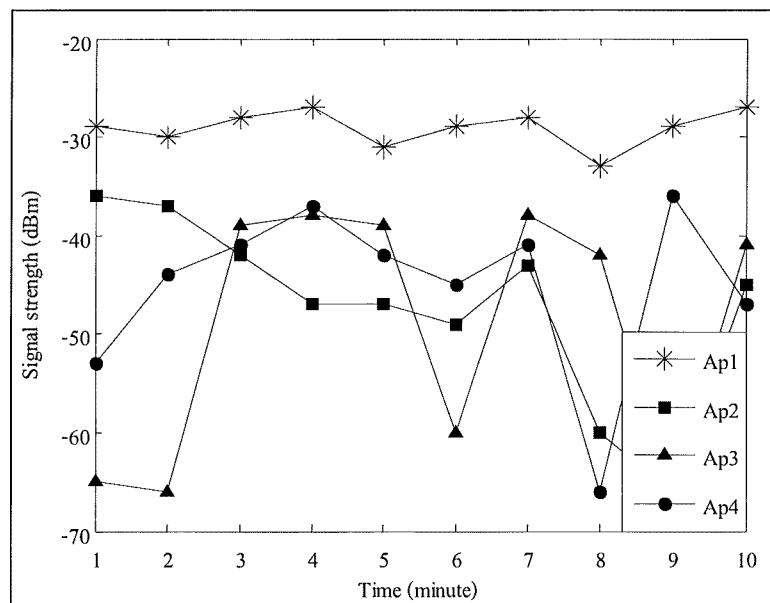
รูปที่ 5.42 อุปกรณ์ที่ถูกติดตั้งตรงกลางในเครือข่ายเมชไร้สายที่ใช้ในการทดสอบผลในงานวิจัยฉบับนี้



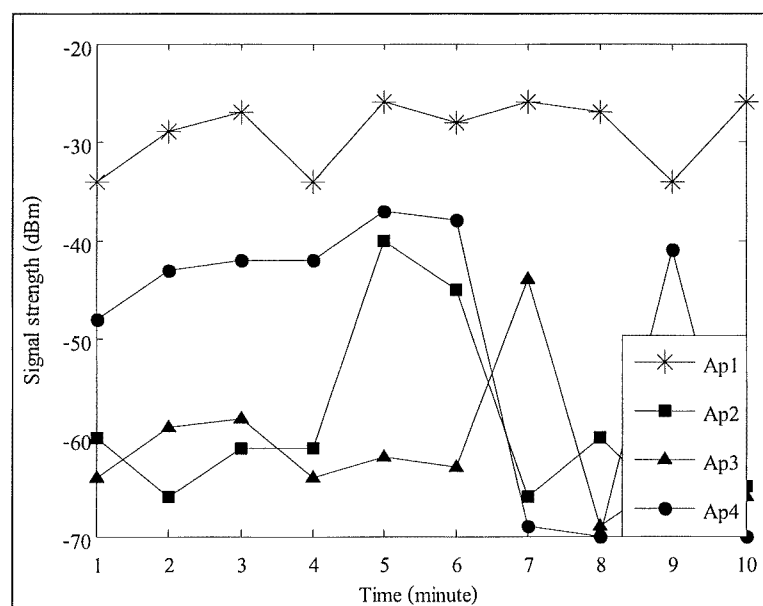
รูปที่ 5.43 ความแรงของสัญญาณที่รับได้จากจุดเข้าถึงสัญญาณทั้ง 4 ตัว โดยใช้สายอากาศแบบรอบทิศทาง

ในการวัดความแรงของสัญญาณนั้น เราจะไม่มีการชดเชยพลังงานที่สูญเสียจากหัวต่อสายส่งสัญญาณและอุปกรณ์รวมสัญญาณ ดังนั้นจึงช่วยให้แน่ใจว่าระบบที่นำเสนอได้รับการทดสอบในทางปฏิบัติสำหรับการประยุกต์ใช้จริงและสามารถนำไปใช้งานในเครือข่ายเมฆไร้สายได้รูปที่ 5.43 แสดงกราฟความแรงของสัญญาณที่รับได้จากจุดเข้าถึงสัญญาณทั้ง 4 ตัว เทียบกับเวลาสำหรับระบบที่ใช้สายอากาศแบบรอบทิศทางในการวัดทดสอบ ซึ่งในการวัดแต่ละครั้งนั้นเป็นระยะเวลา 1 นาทีที่ติดต่อกัน จากรูปที่ 5.43 จะเห็นว่าค่าความแรงของสัญญาณที่สายอากาศแบบรอบทิศทางรับได้จากจุดเข้าถึงสัญญาณทั้ง 4 ตัวนั้นมีค่าที่แตกต่างกันไปจาก -36 ถึง -60 dBm และมีความแรงของสัญญาณที่รับได้จากจุดเข้าถึงสัญญาณทั้ง 4 ตัวเกือบจะเท่า ๆ กัน ในทางกลับกันผลวัดค่าความแรงของสัญญาณที่ได้จากการเปลี่ยนมาใช้สายอากาศสวิตซ์ลำคลื่นที่นำเสนอในงานวิจัยนี้แสดงดังรูปที่ 5.44 – 5.47 จากผลที่ได้พบว่าค่าความแรงของสัญญาณนั้นแบ่งออกเป็น 2 กลุ่มด้วยกัน ซึ่งจุดเข้าถึงสัญญาณในทิศทางของสัญญาณที่ต้องการคือ Ap1 และทิศทางของจุดศูนย์ คือ Ap2 Ap3 และ Ap4 และจุดเข้าถึงสัญญาณในทิศทางสัญญาณที่ต้องการนั้น สามารถรับความแรงของสัญญาณได้มากกว่าจุดเข้าถึงสัญญาณที่เป็นทิศทางของจุดศูนย์ และเป็นที่น่าสนใจว่าความแรงของสัญญาณที่ต้องการที่รับได้ในทุกกรณีนั้นมีค่าความแรงของสัญญาณที่สูงกว่าความแรงของสัญญาณที่ดีที่สุดของระบบที่ใช้สายอากาศแบบรอบทิศทาง แสดงดังรูปที่ 5.48 – 5.51 จากผลที่ได้สามารถยืนยันได้ว่าการใช้สายอากาศสวิตซ์ลำคลื่นที่มีความสามารถในการกำหนดทิศทางของจุดศูนย์นี้ สามารถเพิ่มความแรงของสัญญาณได้และในขณะเดียวกันก็สามารถลดความแรงของสัญญาณแทรกสอดได้เช่นกัน แต่ความแรงสัญญาณที่ได้นำเสนอทั้งหมดยังไม่สามารถยืนยันประสิทธิภาพของการทำงานของเครือข่ายเมฆไร้สายได้

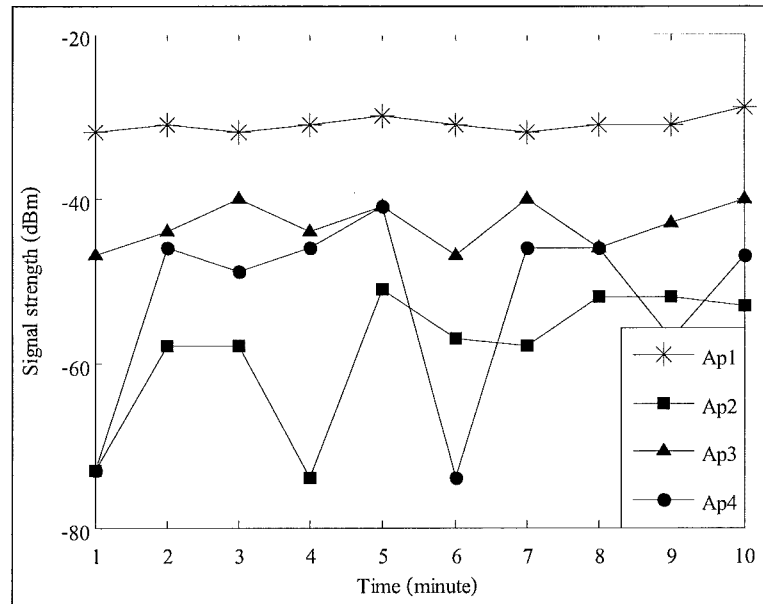
ดังนั้นเราจึงต้องทำการวัดทดสอบผลพารามิเตอร์อื่น ๆ เพื่อใช้ในการยืนยันประสิทธิภาพของการทำงานของระบบ โดยเราจะทำการวัดทดสอบเวลาที่ใช้ในการดาวน์โหลดข้อมูลและค่าวิสัยสามารถ รูปที่ 5.52 แสดงเวลาเฉลี่ยเทียบกับขนาดของไฟล์เมื่อทำการดาวน์โหลดจากรูปจะเห็นว่าสายอากาศสวิตซ์ลำคลื่นของงานวิจัยนี้ ช่วยให้ระบบทำการดาวน์โหลดไฟล์ขนาด 2 Mbps และ 6 Mbps ได้เร็วกว่าสายอากาศแบบรอบทิศทาง เนื่องจากระบบสามารถรับความแรงของสัญญาณได้มากจึงทำให้ความน่าจะเป็นที่เกิดสัญญาณขาดหายมีน้อยไปด้วย นอกจากนี้สัญญาณที่มาจากจุดเข้าถึงสัญญาณที่เราต้องการยังมีสัญญาณที่เข้ามารบกวนน้อยเนื่องมาจากจุดเข้าถึงสัญญาณอื่น



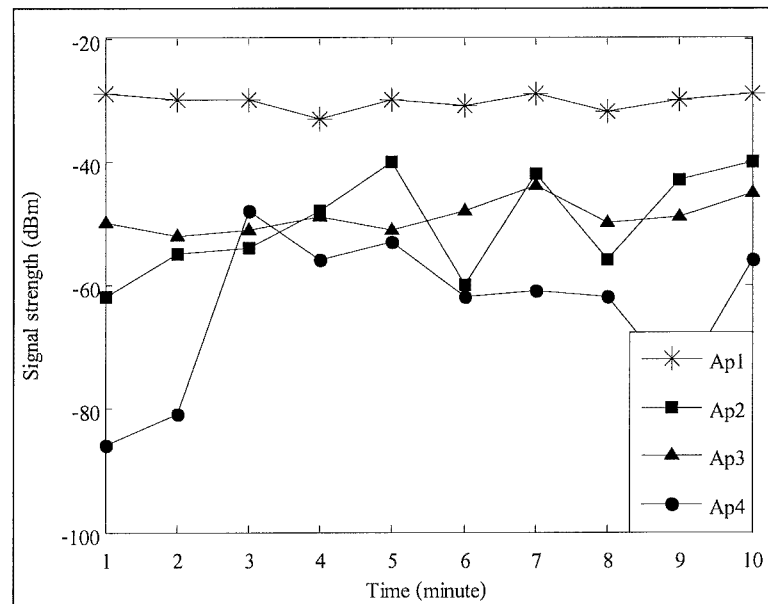
รูปที่ 5.44 ความแรงของสัญญาณที่รับได้จากจุดเข้าถึงสัญญาณทั้ง 4 ตัว โดยใช้สายอากาศสวิตซ์ลำคลื่นในทิศทางของลำคลื่นหลักที่ 45° และกำหนดทิศทางของจุดศูนย์ในทิศทางของสัญญาณแทรกสอดที่ 135° 225° และ 315°



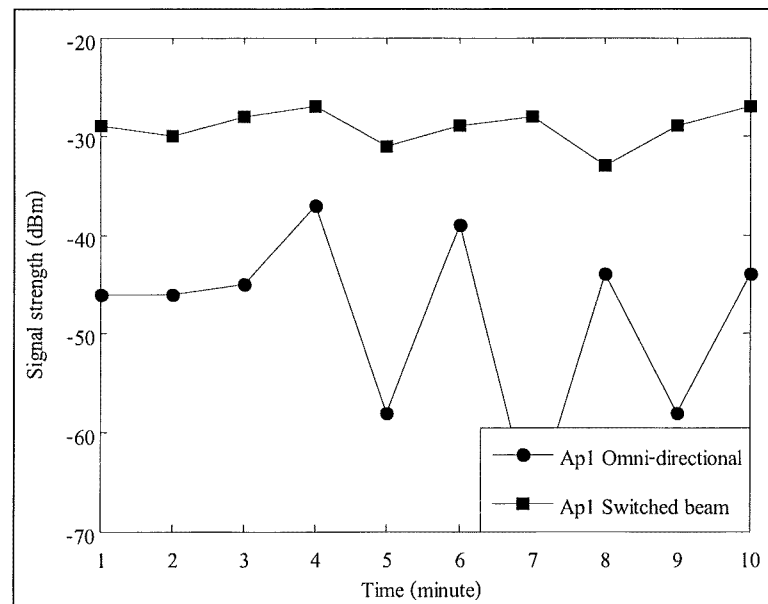
รูปที่ 5.45 ความแรงของสัญญาณที่รับได้จากจุดเข้าถึงสัญญาณทั้ง 4 ตัว โดยใช้สายอากาศสวิตซ์ลำคลื่นในทิศทางของลำคลื่นหลักที่ 135° และกำหนดทิศทางของจุดศูนย์ในทิศทางของสัญญาณแทรกสอดที่ 45° 225° และ 315°



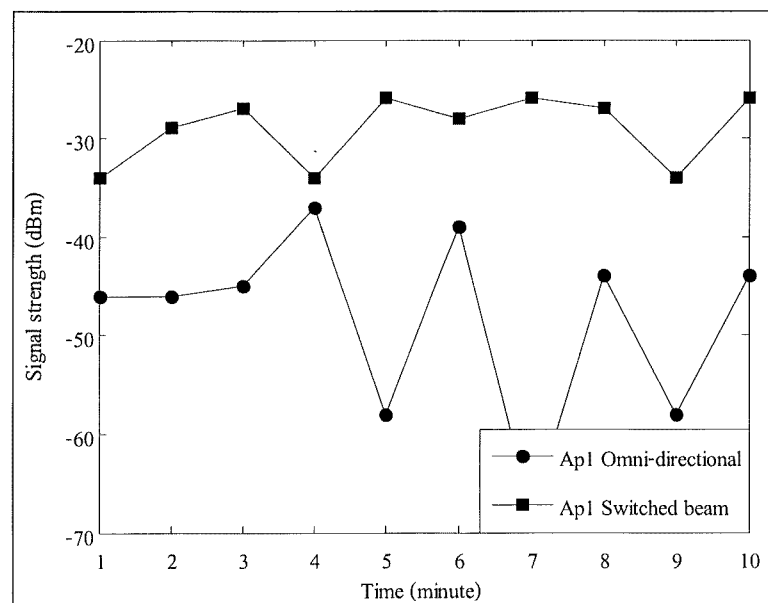
รูปที่ 5.46 ความแรงของสัญญาณที่รับได้จากจุดเข้าถึงสัญญาณทั้ง 4 ตัว โดยใช้สายอากาศสวิตซ์ลำคลื่นในทิศทางของลำคลื่นหลักที่ 225° และกำหนดทิศทางของจุดศูนย์ในทิศทางของสัญญาณแทรกสอดที่ 45° 135° และ 315°



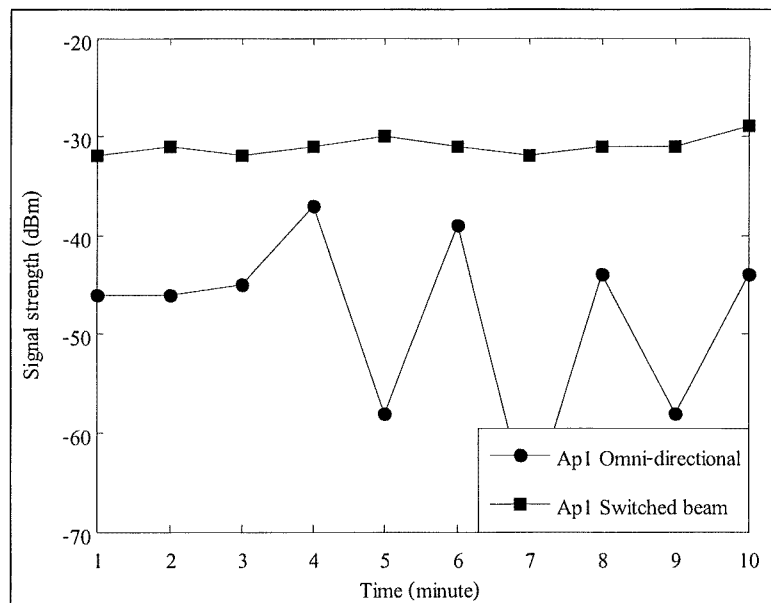
รูปที่ 5.47 ความแรงของสัญญาณที่รับได้จากจุดเข้าถึงสัญญาณทั้ง 4 ตัว โดยใช้สายอากาศสวิตซ์ลำคลื่นในทิศทางของลำคลื่นหลักที่ 315° และกำหนดทิศทางของจุดศูนย์ในทิศทางของสัญญาณแทรกสอดที่ 45° 135° และ 225°



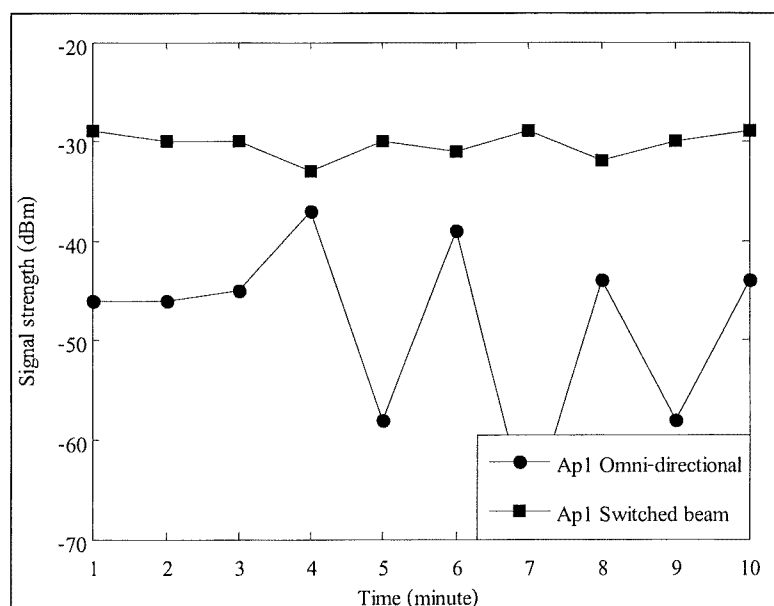
รูปที่ 5.48 ความแรงของสัญญาณที่ได้รับจากจุดเข้าถึงสัญญาณ Ap1 ที่ใช้สายอากาศแบบรอบทิศทางเทียบกับความแรงของสัญญาณที่ได้รับจากจุดเข้าถึงสัญญาณ Ap1 ที่ใช้สายอากาศสวิตซ์ลำคลื่นในทิศทางของลำคลื่นหลักที่ 45°



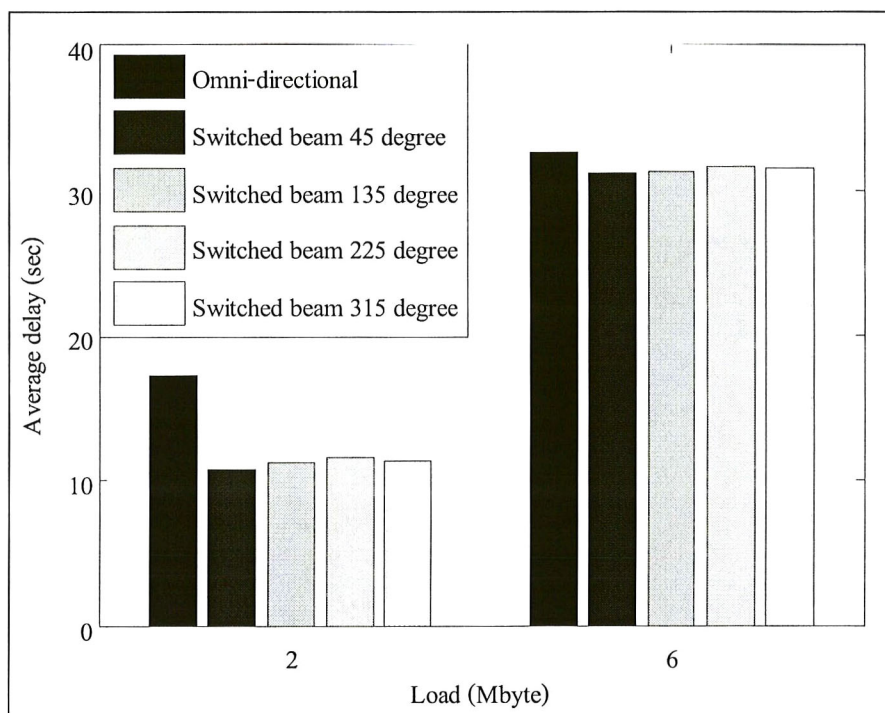
รูปที่ 5.49 ความแรงของสัญญาณที่ได้รับจากจุดเข้าถึงสัญญาณ Ap1 ที่ใช้สายอากาศแบบรอบทิศทางเทียบกับความแรงของสัญญาณที่ได้รับจากจุดเข้าถึงสัญญาณ Ap1 ที่ใช้สายอากาศสวิตซ์ลำคลื่นในทิศทางของลำคลื่นหลักที่ 135°



รูปที่ 5.50 ความแรงของสัญญาณที่ได้รับจากจุดเข้าถึงสัญญาณ Ap1 ที่ใช้สายอากาศแบบรอบทิศทางเทียบกับความแรงของสัญญาณที่ได้รับจากจุดเข้าถึงสัญญาณ Ap1 ที่ใช้สายอากาศสวิตซ์ลำคลื่นในทิศทางของลำคลื่นหลักที่ 225°

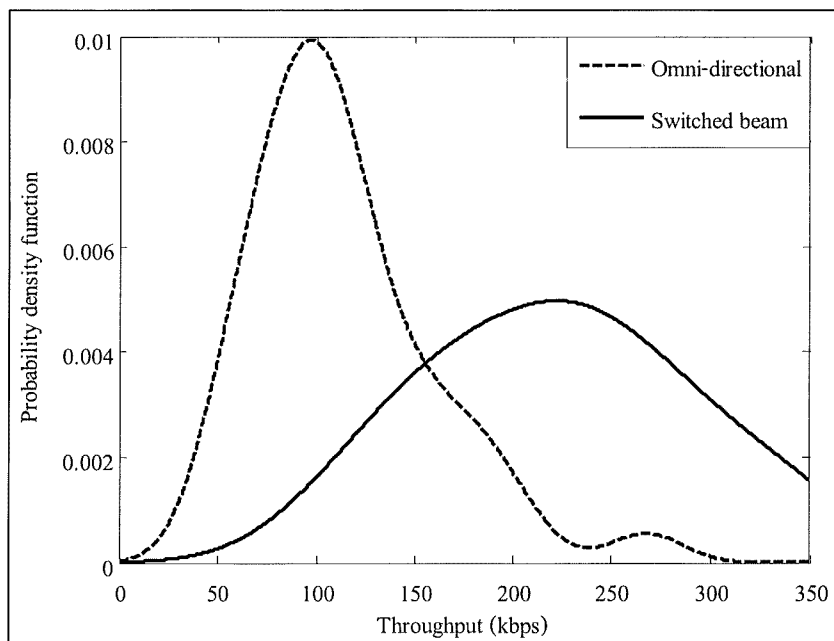


รูปที่ 5.51 ความแรงของสัญญาณที่ได้รับจากจุดเข้าถึงสัญญาณ Ap1 ที่ใช้สายอากาศแบบรอบทิศทางเทียบกับความแรงของสัญญาณที่ได้รับจากจุดเข้าถึงสัญญาณ Ap1 ที่ใช้สายอากาศสวิตซ์ลำคลื่นในทิศทางของลำคลื่นหลักที่ 315°

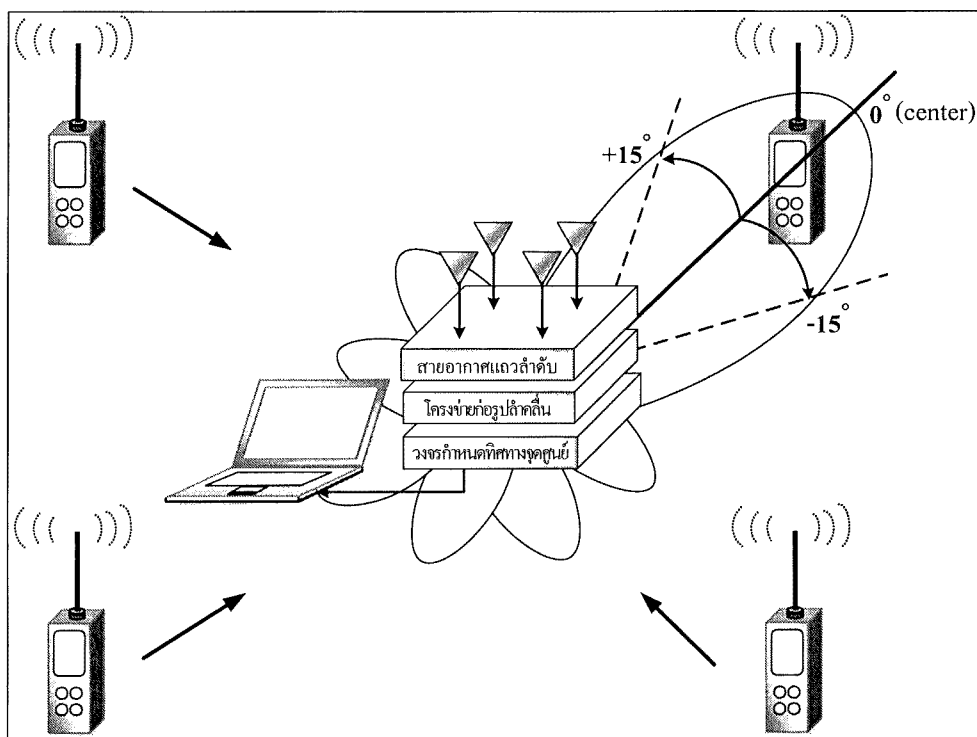


รูปที่ 5.52 เวลาเฉลี่ยที่ใช้ในการดาวน์โหลดข้อมูล โดยใช้สายอากาศแบบรอบทิศทางและสายอากาศสวิตซ์ลำคลื่นที่มีความสามารถในการกำหนดทิศทางของจุดศูนย์

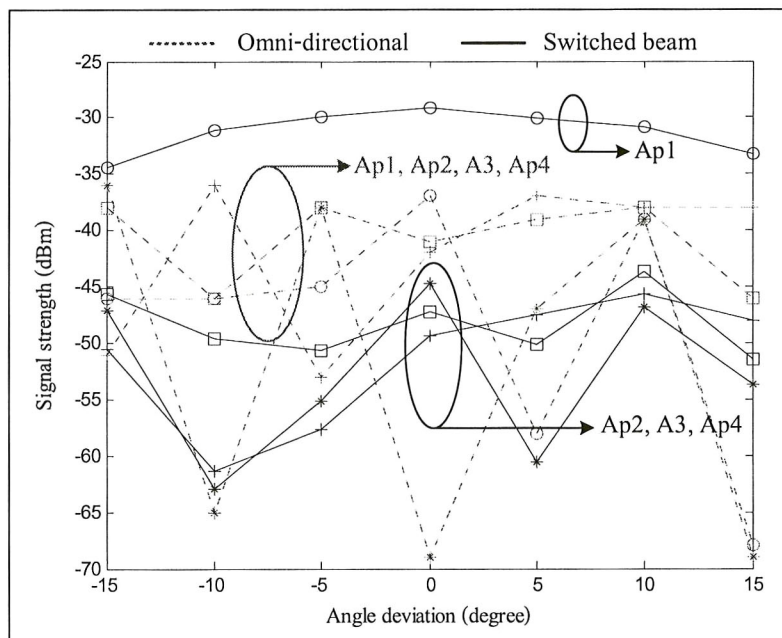
รูปที่ 5.53 แสดงฟังก์ชันความหนาแน่นความน่าจะเป็นของการวัดค่าวิสัยสามารถของสายอากาศแบบรอบทิศทางและระบบที่ใช้สายอากาศสวิตซ์ของงานวิจัยนี้ โดยทำการวัดค่าวิสัยสามารถที่ใช้สายอากาศแบบรอบทิศทางเป็นจำนวน 40 ครั้ง ครั้งละ 1 นาที ติดต่อกัน หลังจากนั้นจะทำการวัดค่าวิสัยสามารถของระบบสายอากาศสวิตซ์ลำคลื่นของงานวิจัยนี้ โดยทำการวัดค่าจำนวน 10 ครั้ง ครั้งละ 1 นาที ติดต่อกัน ซึ่งเราวัดค่าวิสัยสามารถทั้ง 4 ทิศทางของการก่อรูปลำคลื่นหลักและนำค่าที่ได้ทั้งหมดไปพล็อตกราฟความน่าจะเป็นของการใช้งานระบบ จะเห็นว่าระบบที่ใช้สายอากาศสวิตซ์ลำคลื่นที่มีความสามารถในการกำหนดทิศทางของจุดศูนย์นั้นมีค่าเฉลี่ยของความน่าจะเป็นในการใช้งานระบบเท่ากับ 200 - 250 kbps ซึ่งดีกว่าสายอากาศแบบรอบทิศทางถึง 150 kbps เนื่องจากสายอากาศแบบรอบทิศทางนั้นมีค่าเฉลี่ยของความน่าจะเป็นในการใช้งานระบบเท่ากับ 80 - 100 kbps จากผลการทดสอบจริงได้ชี้ให้เห็นว่าประสิทธิภาพของเครือข่ายเมฆไร้สายดีขึ้นเมื่อใช้งานระบบสายอากาศสวิตซ์ลำคลื่นของงานวิจัยฉบับนี้ แต่ในทางปฏิบัติตำแหน่งของเครือข่ายเมฆของจุดเข้าถึงสัญญาณอาจจะไม่ได้ติดตั้งอยู่ในตำแหน่งของลำคลื่นหลักเสมอไป ดังนั้นเราจึงต้องทำการวัดทดสอบผลโดยจะใช้โครงสร้างพื้นฐานของเครือข่ายเมฆไร้สายในขณะที่ตำแหน่งของจุดเข้าถึงสัญญาณเปลี่ยนไป ดังรูปที่ 5.54



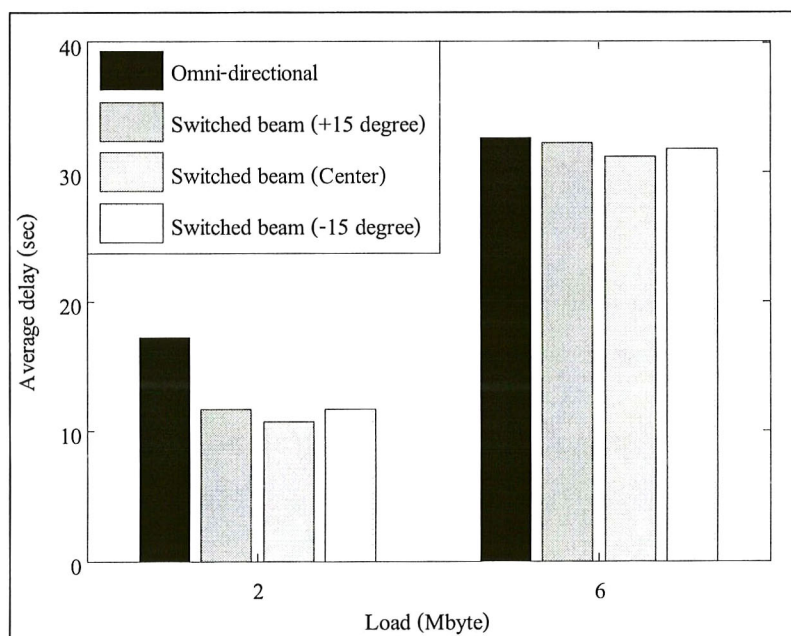
รูปที่ 5.53 ฟังก์ชันความหนาแน่นความน่าจะเป็นของการวัดค่าวิสัยสามารถ เมื่อใช้สายอากาศแบบรอบทิศทางและใช้ระบบสายอากาศสวิตซ์ลำคลื่นในงานวิจัยนี้



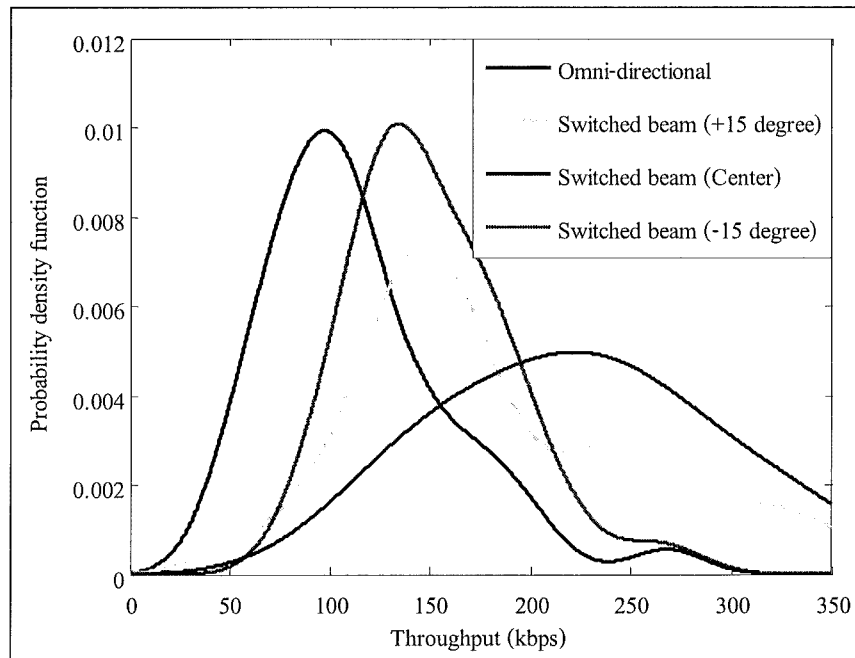
รูปที่ 5.54 รูปแบบของการทดสอบขณะที่จุดเข้าถึงสัญญาณมีการเปลี่ยนตำแหน่ง



รูปที่ 5.55 ความแรงของสัญญาณที่รับได้เทียบกับมุมที่เปลี่ยนไปของจุดเข้าถึงสัญญาณ โดยใช้สายอากาศแบบรอบทิศทางและสายอากาศสวิตช์ลำคลื่นของงานวิจัย



รูปที่ 5.56 เวลาเฉลี่ยที่ใช้ในการดาวน์โหลดไฟล์ในขณะที่มีการเปลี่ยนตำแหน่งของจุดเข้าถึงสัญญาณ โดยใช้สายอากาศแบบรอบทิศทางและสายอากาศสวิตช์ลำคลื่นของงานวิจัย



รูปที่ 5.57 ฟังก์ชันความหนาแน่นความน่าจะเป็นของการวัดค่าวิสัยสามารถ ในขณะที่มีการเปลี่ยนตำแหน่งของจุดเข้าถึงสัญญาณ โดยใช้สายอากาศแบบรอบทิศทาง และสายอากาศสวิตช์ลำคลื่นของงานวิจัย

รูปที่ 5.55 แสดงความแรงของสัญญาณที่รับได้เทียบกับมุมที่มีการเปลี่ยนไปของจุดเข้าถึงสัญญาณเมื่อใช้สายอากาศแบบรอบทิศทางและระบบสายอากาศสวิตช์ลำคลื่นที่มีความสามารถในการกำหนดทิศทางของจุดศูนย์ จากรูปเราจะเห็นว่าในขณะที่มุมเปลี่ยนไป $+15^\circ$ และ -15° ระบบสายอากาศสวิตช์ลำคลื่นก็ยังคงให้ความแรงของสัญญาณที่จุดเข้าถึงสัญญาณที่รับได้มากกว่าสายอากาศแบบรอบทิศทาง เพื่อยืนยันประสิทธิภาพเราจึงต้องทำการวัดทดสอบผลเวลาที่ใช้ในการดาวน์โหลดไฟล์ แสดงดังรูปที่ 5.56 คือ เวลาเฉลี่ยที่ใช้ในการดาวน์โหลดเทียบกับขนาดของไฟล์ จากรูปพบว่าระบบสายอากาศสวิตช์ลำคลื่นของงานวิจัยสามารถดาวน์โหลดไฟล์ได้เร็วกว่าสายอากาศแบบรอบทิศทางสำหรับการดาวน์โหลดไฟล์ขนาด 2 Mbps และ 6 Mbps สุดท้ายคือการวัดทดสอบค่าวิสัยสามารถของระบบได้ผลดังรูปที่ 5.57 แสดงฟังก์ชันความหนาแน่นความน่าจะเป็นของการวัดค่าวิสัยสามารถ จากผลที่ได้พบว่าสายอากาศแบบรอบทิศทางนั้นมีค่าเฉลี่ยของความน่าจะเป็นในการเข้าใช้งานระบบ 80 - 100 kbps ซึ่งจะมีค่าที่ต่ำกว่าระบบที่ใช้สายอากาศสวิตช์ลำคลื่นของงานวิจัยนี้ในขณะที่มุมของจุดเข้าถึงสัญญาณมีการเปลี่ยนแปลงไป $+15^\circ$ มีค่าเฉลี่ยของความน่าจะเป็นในการเข้าใช้ระบบ 120 - 150 kbps เมื่อจุดเข้าถึงสัญญาณที่มีการเปลี่ยนแปลงไป -15° นั้นมีค่าเฉลี่ยของความน่าจะเป็นในการเข้าใช้ระบบที่ 140 - 160 kbps

และมีค่าเฉลี่ยของความน่าจะเป็นในการเข้าใช้ระบบ 200 - 250 kbps เมื่อจุดเข้าถึงสัญญาณ อยู่ตรงตำแหน่งของลำคลื่นหลัก จากผลการทดสอบเหล่านี้แสดงให้เห็นว่าระบบสายอากาศสวิตช์ ลำคลื่นของงานวิจัย ยังสามารถทำงานได้ดีในขณะที่จุดเข้าถึงสัญญาณไม่ได้ติดตั้งอยู่ตรงตำแหน่ง ของลำคลื่นหลัก

5.4 กล่าวสรุป

จากการที่ได้นำเสนอผลการทดสอบจริงของชุดอุปกรณ์ที่ใช้สำหรับกำหนดทิศทางของ จุดศูนย์ จากผลที่ได้พบว่าอุปกรณ์ทั้ง 4 ชุด สามารถกำหนดทิศทางของจุดศูนย์ได้ หลังจากนั้น จึงนำไปประกอบรวมกับสายอากาศแถวลำดับและโครงข่ายก่อรูปลำคลื่นเพื่อนำไปทดสอบ ประสิทธิภาพของระบบด้วยการวัดความแรงของสัญญาณ เวลาเฉลี่ยในการดาวน์โหลดข้อมูล และค่าวิสัยสามารถโดยนำไปเปรียบเทียบผลการทดสอบในระบบที่ใช้สายอากาศแบบ รอบทิศทาง ซึ่งผลที่ได้นั้นแสดงให้เห็นว่าระบบที่ใช้สายอากาศสวิตช์ลำคลื่นของงานวิจัยนี้ สามารถรับความแรงของสัญญาณได้ดีกว่าสายอากาศแบบรอบทิศทางรวมไปถึงเวลาเฉลี่ย ในการดาวน์โหลดข้อมูลได้เร็วกว่า และยังมีค่าวิสัยสามารถที่ดีกว่าอีกด้วย เพื่อเป็นการยืนยัน ประสิทธิภาพของระบบในงานวิจัยนี้ เราจึงได้คำนึงถึงความเป็นจริงที่ตำแหน่งของจุดเข้าถึงสัญญาณ นั้นอาจจะถูกติดตั้งอยู่ในตำแหน่งที่ไม่ตรงกับทิศทางของคลื่นหลัก เราจึงได้ทำการทดสอบผล พบว่าเมื่อจุดเข้าถึงสัญญาณมีการเปลี่ยนตำแหน่งไป $+15^{\circ}$ และ -15° ระบบที่ใช้สายอากาศสวิตช์ ลำคลื่นของงานวิจัยนี้ก็ยังสามารถรับความแรงของสัญญาณได้ดีเวลาเฉลี่ยในการดาวน์โหลดไฟล์และ ค่าวิสัยสามารถที่ดีกว่าระบบที่ใช้สายอากาศแบบรอบทิศทางซึ่งนั้นแสดงให้เห็นว่าระบบ ในงานวิจัยนี้สามารถนำไปใช้งานกับเครือข่ายเมชไร้สายได้เป็นอย่างดี