

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การปรับตำแหน่งสนามไฟฟ้าของสายอากาศแบบสล롯อาร์เรย์ POSITION ADJUSTMENT OF ELECTRIC FIELD ON SLOT ARRAY ANTENNA

โดย

นายพิตติพงษ์ โพธิ์รัตน์ 36014032

นายสันต์ อุดมวีระเกษม 36014475

อาจารย์ที่ปรึกษา

รศ.ดร. ไมโนย ไกรฤกษ์

ปริญญาานิพนธ์สำหรับปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2539

เลขหมู่.....

เลขทะเบียน..... 27888

วัน, เดือน, ปี 2๖ ส.ย. 2540

เอกสารนี้จัดทำขึ้นเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาโทปีการศึกษา 2539

ภาควิชาโทรคมนาคม

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง การปรับตำแหน่งสนามไฟฟ้าของสายอากาศแบบสล롯อาร์เรย์

POSITION ADJUSTMENT OF ELECTRIC FIELD ON SLOT ARRAY ANTENNA

ผู้จัดทำ

1. นายกิตติพงษ์ โพธิ์รัตน์ 36014032
2. นายสันต์ อุดมวีระเกษม 36014475



.....อาจารย์ที่ปรึกษา
(รศ.ดร. ไมโนย ไกรฤกษ์)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การปรับตำแหน่งสนามไฟฟ้าของสายอากาศแบบสล롯อาร์เรย์
POSITION ADJUSTMENT OF ELECTRIC FIELD ON SLOT ARRAY ANTENNA

โดย นายกิตติพงษ์ โพธิ์รัตน์ 36014032
นายสันต์ อุดมวีระเกษม 36014475

อาจารย์ที่ปรึกษา รศ.ดร. ไม่นาย ไกรฤกษ์

บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้นำเสนอการปรับเฟสของสายอากาศสล롯อาร์เรย์แบบทรงกลมโดยใช้สารเฟอร์ไรท์ ทำได้โดยการไบอัสสนามแม่เหล็ก เนื่องจากในการประยุกต์ใช้สายอากาศในการรักษาโรคมะเร็งมีความจำเป็นที่จะต้องปรับตำแหน่งสนามไฟฟ้าของสายอากาศไปยังจุดต่าง ๆ เพื่อที่จะไม่ต้องเลื่อนสายอากาศในขณะที่ทำการรักษา ทำได้โดยการไบอัสสนามแม่เหล็กให้แก่ชิ้นเฟอร์ไรท์ที่วางวางทิศทางที่คลื่นแพร่กระจาย

ABSTRACT

This project presents the phase adjustment of electric field on spherical slot array antenna by using ferrite component. The Application of this antenna for cancer healing is necessary to adapt the beam of antenna to each point all around the cell. Thus, to bias the ferrite medium by magnetic field for controlling tensor permeability value is necessary.

สารบัญ

	หน้า
บทที่ 1 บทนำ	1
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการปรับเฟสของเฟอร์ไรท์	2
บทที่ 3 การสร้างอุปกรณ์กำเนิดสนามแม่เหล็ก	14
บทที่ 4 การทดลองและผลการทดลอง	17
บทที่ 5 สรุปและวิจารณ์	46



บทที่ 1

บทนำ

สายอากาศอาร์เรย์มีหลายชนิด แต่มีสายอากาศชนิดหนึ่งที่สามารถปรับแพทเทิร์นได้คือ สายอากาศเฟสอาร์เรย์ และสำหรับโครงการนี้เราจะทดลองปรับแพทเทิร์นของสายอากาศโดยใช้สายอากาศเฟสอาร์เรย์แบบทรงกลมที่แพร่กระจายคลื่นด้านนอก เพื่อเป็นต้นแบบในการนำไปพัฒนาต่อเป็นสายอากาศสำหรับใช้รักษาโรคมะเร็ง

สำหรับวิธีการปรับเฟสนั้นเราสามารถทำได้โดยใช้สารเฟอร์ไรท์ ซึ่งมีคุณสมบัติในการเปลี่ยนเฟสของคลื่นที่ผ่านตัวมัน การที่เฟสจะปรับไปมากหรือน้อยนั้นขึ้นอยู่กับสนามแม่เหล็กที่เราไบแอสให้มัน

ในทางปฏิบัตินั้นจะทำการใส่แท่งเฟอร์ไรท์เข้าไปภายในปากสล็อตของแต่ละสล็อต ด้านในของสายอากาศจะมีแท่งเหล็กที่ถูกพันด้วยขดลวดโดยด้านหัวของแท่งเหล็กจะถูกจัดตำแหน่งให้ตรงกับชิ้นเฟอร์ไรท์ซึ่งอยู่ภายในสายอากาศ



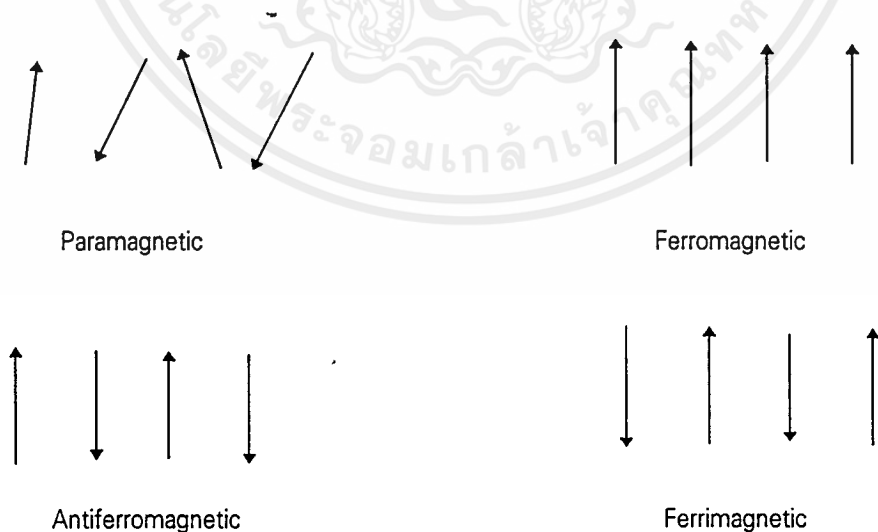
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีและหลักการปรับเฟสของเฟอร์ไรท์

สารเฟอร์ไรท์ซึ่งมีสูตรเคมีเป็น MeFe_2O_4 นั้น โดยทั่วไปจะมีคุณสมบัติเป็นสารเฟอร์ริแมกเนติก ในขณะที่ก็เป็นสารกึ่งตัวนำ M ในสูตรข้างต้นนั้นจะเป็นธาตุโลหะประเภทไดวาเลนต์ (Divalent) ซึ่งได้แก่ Mg, Mn, Fe, Co, Ni และ Cu เป็นต้น ความเป็นสารเฟอร์ริแมกเนติกของสารเฟอร์ไรท์นั้น โดยพื้นฐานแล้ว ไม่ได้แตกต่างจากธาตุแม่เหล็ก หรือนิกเกิล แต่การที่สารเฟอร์ไรท์มีคุณสมบัติพิเศษที่ย่านความถี่ไมโครเวฟ เป็นเพราะสารเฟอร์ไรท์มีความต้านทานจำเพาะสูงคือประมาณ $10^6 - 10^8 \Omega \cdot \text{cm}$ ในย่านความถี่นี้ ดังนั้นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจะสามารถเคลื่อนที่เข้าสู่สารเฟอร์ไรท์และส่งผ่านไปตามสารเฟอร์ไรท์ได้ ซึ่งแตกต่างจากกรณีที่เป็นโลหะเพราะคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจะสะท้อนออกมาเกือบทั้งหมด และในระหว่างที่คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเคลื่อนที่ไปตามสารเฟอร์ไรท์ได้นั้น ก็จะได้รับอิทธิพลจากการหมุนรอบตัวของอิเล็กตรอน (Spin Motion) ซึ่งเกิดขึ้นโดยทั่วไปในสารเฟอร์ริแมกเนติก ในบทนี้จะกล่าวถึงคุณสมบัติพิเศษของสารเฟอร์ไรท์ และการใช้ประโยชน์จากคุณสมบัติเหล่านี้ในการสร้างชิ้นส่วนไมโครเวฟแบบต่าง ๆ

สารเฟอร์ริแมกเนติก ซึ่งพิจารณาตามลักษณะของความเป็นแม่เหล็กในรูปแบบต่าง ๆ ของวัสดุแม่เหล็กจะได้ว่า พวกที่เป็นพาราแมกเนติก (Paramagnetic) จะมีการเรียงตัวของแมกเนติกโมเมนต์อย่างไม่เป็นระเบียบ ซึ่งต่างจากพวกเฟอร์โรแมกเนติก (Ferromagnetic) ที่มีการเรียงตัวของแมกเนติกโมเมนต์อย่างเป็นระเบียบ ได้แก่พวก แม่เหล็กถาวรทั่วไป เฟอร์ริแมกเนติกจะมีการเรียงตัวของแมกเนติกโมเมนต์ที่หักล้างกันไม่เท่ากับศูนย์ ซึ่งเฟอร์ไรท์ก็จัดอยู่ในประเภทนี้ ส่วนพวกแอนติเฟอร์โรแมกเนติก จะมีการหักล้างกันของแมกเนติกโมเมนต์เท่ากับศูนย์ดังภาพประกอบ



รูปที่ 2.1 แมกเนติกโมเมนต์ในวัสดุงานชนิดต่าง ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การหมุนรอบตัวเองของอิเล็กตรอนกับคุณสมบัติทางแม่เหล็กของสารเฟอร์ไรท์

การที่สารเฟอร์ริแมกเนติกมีคุณสมบัติทางแม่เหล็กสูงนั้นเป็นเพราะในสารประกอบประเภทนี้จะมีอิเล็กตรอนอยู่ในสภาพที่ค่อนข้างตื่นตัว คือมีการหมุนรอบตัวเอง เมื่อพิจารณาถึงทฤษฎีพื้นฐานทางแม่เหล็กไฟฟ้าที่ระบุไว้ว่าสนามไฟฟ้านั้น มีแหล่งกำเนิดมาจากประจุไฟฟ้า และสนามแม่เหล็กจะมีแหล่งกำเนิดมาจากกระแสแบบต่าง ๆ การหมุนรอบตัวเองของอิเล็กตรอนก็เป็นการกำเนิดกระแสแบบหนึ่ง ดังนั้นสารเฟอร์ริแมกเนติกจึงอยู่ในเงื่อนไขที่สามารถสร้างสนามแม่เหล็กได้ เพื่อให้สามารถเข้าใจได้ง่าย จะขออธิบายโดยใช้โมเดลดังแสดงไว้ในรูปที่ 2.2-1 การหมุนรอบตัวเองของอิเล็กตรอนจะทำให้เกิดโมเมนต์เชิงมุม ซึ่งเวกเตอร์ที่แสดงโมเมนต์เชิงมุมนี้จะชี้ในแนวแกนของการหมุนโดยเป็นไปตามกฎมือขวา ในขณะที่เดียวกัน การหมุนรอบตัวเองของอิเล็กตรอนนี้ก็จะทำให้เกิดกระแสวงกลมเล็กๆ ใหญ่ในทิศทางตรงข้ามกับการหมุน กระแสวงกลมเล็ก ๆ นี้ จะเป็นต้นกำเนิดของสนามแม่เหล็กในลักษณะที่มีไดโพลแม่เหล็กอยู่ในแนวแกนของการหมุนตัว โดยที่เวกเตอร์ของไดโพลแม่เหล็กจะชี้ตรงข้ามกับเวกเตอร์ของโมเมนต์เชิงมุม ดังแสดงไว้ในรูปที่ 2.2-1 ในสภาวะปกตินั้น เนื่องจากการวางตัวของอิเล็กตรอนเป็นไปอย่างไม่มีระเบียบ จึงไม่แสดงผลของสนามแม่เหล็กออกมา ต่อเมื่อมีสนามแม่เหล็กจากภายนอกกระทำ ไดโพลแม่เหล็กก็จะพยายามเรียงตัวตามแนวของสนามแม่เหล็กจากภายนอก ซึ่งก็จะทำให้สารเฟอร์ริแมกเนติกนั้นแสดงอำนาจแม่เหล็กออกมา



(1) กรณีที่ไม่มีสนามแม่เหล็กสถิตจากภายนอก

(2) กรณีที่มีสนามแม่เหล็กสถิตจากภายนอก

รูปที่ 2.2 การหมุนรอบตัวเองของอิเล็กตรอน

โมเมนต์เชิงมุม และ ไดโพลแม่เหล็กที่เกิดขึ้นจากการหมุนรอบตัวเองของอิเล็กตรอนนี้ จะมีค่าดังนี้

$$p = 1/2 \eta \quad (2.1)$$

$$m = e\eta / 2w \quad (2.2)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในขณะที่ \hbar เป็นค่าคงตัวของพลังค์ (Plank ' s constant) หารด้วย 2π , e เป็นประจุของอิเล็กตรอน และ w เป็นมวลของอิเล็กตรอนอัตราส่วนระหว่างไดโพลแม่เหล็กกับกับโมเมนตัมเชิงมุมจะถูกเรียกว่า gyromagnetic ratio ซึ่งจะมีค่าประมาณ 2.8 MHz / Oersted และใช้ตัว γ เป็นสัญลักษณ์ เมื่อเขียนความสัมพันธ์ระหว่าง m กับ p โดยใช้ γ ก็จะเขียนได้ดังนี้

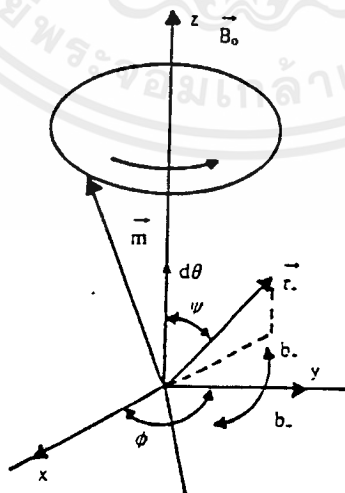
$$m = \gamma p \quad (2.3)$$

และเนื่องจากกรณีของการหมุนรอบตัวเองของอิเล็กตรอนนี้ เวกเตอร์ m และ p มีทิศตรงกันข้าม เพราะฉะนั้น γ จะมีค่าเป็นลบ

รูปที่ 2.2-2 แสดงภาพที่มีสนามแม่เหล็กสถิตจากภายนอกกระทำอยู่ และแกนการหมุนรอบตัวเองของอิเล็กตรอนไม่ตรงกับทิศทางของสนามแม่เหล็กสถิตนั้น ในสภาพเช่นนี้จะมีแรงบิด (torque) กระทำบนไดโพลแม่เหล็กทำให้ไดโพลแม่เหล็กทำให้ไดโพลแม่เหล็กมีการหมุนรอบแกนของสนามแม่เหล็กสถิต ในลักษณะเดียวกับลูกข่างที่หมุนรอบแกนตั้งในขณะที่ลูกข่างนั้นเอนตัวอยู่โดยมีทิศทางตามที่แสดงในรูป การหมุนรอบแกนตั้งนี้ ถ้าไม่มีการสูญเสียในเฟอร์ไรท์อิเล็กตรอนก็จะหมุนรอบตัวเองและหมุนรอบสนามแม่เหล็กไปได้เรื่อย ๆ แต่เนื่องจากปกติการสูญเสียในตัวกลางโดยเฉพาะในเฟอร์ไรท์ซึ่งมีสูง จะทำให้การหมุนรอบสนามแม่เหล็กเป็นรูปทรงกรวยที่มีมุมยอดแคบลงแคบลง จนในที่สุดแกนของการหมุนรอบตัวเองจะซ้อนทับทิศทางของสนามแม่เหล็ก การหมุนรอบแกนสนามแม่เหล็กสถิตนี้เรียกว่า Free precession และมีความเร็วเชิงมุมของการหมุน ω_0 เขียนได้ดังนี้

$$\omega_0 = | \gamma B_0 | \quad (2.4)$$

ในขั้นต่อไปจะพิจารณกรณีที่มีสนามแม่เหล็กความถี่สูงที่มีโพลาริเซชันแบบเส้นตรงกระทำในทิศ y ดังแสดงในรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 การหมุนของอิเล็กตรอนในกรณีที่มีสนามแม่เหล็กสถิตในแกน z

และสนามแม่เหล็กความถี่สูง H_{ac} ในแกน y

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เนื่องจากสนามแม่เหล็กที่มีโพลาไรเซชันแบบเส้นตรงนี้สามารถแยกออกเป็นสนามแม่เหล็กที่มีโพลาไรเซชันวงกลมแบบหมุนขวาและหมุนซ้ายเสมอ ดังนั้นจะเห็นได้ว่าสนามแม่เหล็กส่วนที่มีโพลาไรเซชันแบบหมุนขวา จะหมุนอยู่ในทิศเดียวกับการหมุนรอบแกนสนามแม่เหล็กสถิตของอิเล็กตรอน ω และเมื่อความเร็วเชิงมุมของการหมุนสนามแม่เหล็ก เท่ากับความเร็วเชิงมุมที่อิเล็กตรอนหมุนรอบแกนสนามแม่เหล็กสถิตคือ ω_0 ก็จะทำให้เกิดสภาพเรโซแนนซ์ขึ้น แต่สำหรับสนามแม่เหล็กส่วนที่มีโพลาไรเซชันวงกลมแบบหมุนซ้ายนั้น ถึงแม้ ω จะเท่ากับ ω_0 ก็ไม่ทำให้เกิดสภาพเรโซแนนซ์ขึ้นเพราะหมุนคนละทิศ

เมื่อพิจารณากรณีที่สนามแม่เหล็กหมุนขวาตามรูปที่ 2.3 สมมติว่า ในช่วงหนึ่งสนามแม่เหล็กที่หมุนขวานี้ชี้ในทิศ y และไดโพลแม่เหล็กอยู่ในระนาบ $X-Z$ จะเกิดแรงบิด τ_+ จากสนามที่หมุนในทิศหมุนขวาดังนี้

$$\tau_+ = m b_+ \quad (2.5)$$

ซึ่งจะชี้อยู่ในทิศตั้งฉากกับระนาบที่ทำระหว่าง m และ y ในกรณีของเรโซแนนซ์ดังกล่าวข้างต้น ในการหมุนรอบแกน z เป็นมุม $d\theta$ เล็ก ๆ หนึ่ง พลังงานที่อิเล็กตรอนจะได้รับจากสนามแม่เหล็ก b_+ นั้นจะเป็นผลคูณทางสเกลาร์ระหว่างแรงบิดกับ $d\theta$ นั่นคือ

$$dW = \tau_+ d\theta = |\tau_+| |d\theta| \cos \psi \quad (2.6)$$

และพลังงานที่อิเล็กตรอนจะรับมาในการหมุน 1 รอบแกน z จะหาได้ดังนี้

$$W = f_0^{2\pi} |\tau_+| |d\theta| \cos \psi = 2\pi \tau_+ \cos \psi \quad (2.7)$$

พลังงานที่อิเล็กตรอนได้รับมานี้จะทำให้ทิศของ m เอนออกไปจากแกน z มากขึ้น ซึ่งจะทำให้สูญเสียพลังงานไปในเฟอร์ไรท์มากขึ้น นั่นคือพลังงานของสนามแม่เหล็กที่หมุนขวาจะถูกดูดกลืนในสารเฟอร์ไรท์โดยการหมุนของอิเล็กตรอนดังกล่าวนี้

สำหรับสนามแม่เหล็กที่หมุนซ้ายนั้น เนื่องมาจากในการหมุนหนึ่งรอบแกน z จะมีอยู่ 2 ครั้งที่ทิศของแรงบิดอยู่ตรงข้ามกันพอดี ซึ่งจะส่งผลให้พลังงานที่อิเล็กตรอนรับจากสนามและพลังงานที่สนามรับจากอิเล็กตรอนมีขนาดเท่ากันพอดี ทำให้ในสนามแม่เหล็กหมุนซ้ายนี้ไม่สูญเสียพลังงานให้กับอิเล็กตรอน

ซึ่งในคำอธิบายข้างต้นนี้ไม่ได้กล่าวถึงสนามไฟฟ้า แต่เป็นที่เข้าใจกันว่า สำหรับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีการส่งผ่านไปในตัวกลาง (ในกรณีนี้คือสารเฟอร์ไรท์) สนามไฟฟ้าจะมีความคู่กับสนามแม่เหล็กเสมอ และผลกระทบที่มีต่อสนามแม่เหล็กก็จะมีต่อสนามไฟฟ้าที่เกี่ยวข้องด้วยพร้อมกันไป

จากที่อธิบายมาแล้วข้างต้นนี้พอสรุปได้ว่า สารเฟอร์ไรท์จะมีการตอบสนองต่อคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีโพลาไรเซชันแบบวงกลมหมุนซ้ายและหมุนขวาไม่เหมือนกัน โดยที่แบบหมุนขวาจะต้องประสบกับการสูญเสียพลังงานคลื่นในขณะที่ยังผ่านสารเฟอร์ไรท์มากกว่าแบบหมุนซ้ายซึ่งเกือบจะไม่มีการสูญเสียเลย

เทนเซอร์เพอร์มิอิตี (Tensor Permeability)

จะเห็นว่า ในการปรับตัวให้เป็นแม่เหล็กของเฟอร์ไรท์ จะมีการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนเป็นวงแหวน โดย $e = 1.602 \times 10^{-16}$ คูโลมบ์ และมีมวล $m = 9.106 \times 10^{-31}$ กิโลกรัม

$$m = e\eta / 4\pi \quad (2.8)$$

จากนั้นการหมุนจะทำให้เกิดการเคลื่อนที่เชิงมุม จะได้ความสัมพันธ์ระหว่างการหมุนของอิเล็กตรอน และในการเคลื่อนที่เชิงมุม ซึ่งแสดงดังสมการที่ (3) แล้ว

เมื่อป้อนสนามแม่เหล็ก H_0 เข้าไปใบบัลในแนวแกน z จะเห็นว่า H_0 จะทำให้ความถี่เชิงมุม (Angular frequency) เกิดขึ้น ซึ่งค่านี้มีการเปลี่ยนแปลงตาม H_0 จะได้ว่า $\omega = \gamma H_0$ ซึ่งความถี่ที่เกิดขึ้นนี้เรียกว่า ความถี่เรโซแนนซ์ไฮโรแมกเนติก (Gyromagnetic resonance frequency) เมื่อนำค่านี้มาคูณกับค่าการเคลื่อนที่เชิงมุม จะทำให้เกิดแรงบิด จะได้ว่า

$$\vec{T} = \vec{\omega}_0 \times \vec{P} = \frac{d\vec{P}}{dt} \quad (2.9)$$

เขียน T ใหม่

$$\vec{T} = \frac{1}{\gamma} \frac{d\vec{m}}{dt} \quad (2.10)$$

ถ้าให้ H เป็นความเข้มของสนามแม่เหล็กรวมจะประกอบด้วยสนามแม่เหล็กที่ไม่เคลื่อนที่ และการรบกวนของสนามที่เป็นลักษณะที่มีการเปลี่ยนแปลง(ac) ถ้า M คือค่าความเป็นแม่เหล็ก ซึ่งทั้งหมดทำให้เกิดแรงบิดขึ้นในอิเล็กตรอน จะได้สมการคือ

$$\vec{T} = \vec{m} \times \left(\vec{H} + \frac{\vec{M}}{\mu_0} \right) \quad (2.11)$$

เขียนสมการที่มีค่า M เทียบกับเวลา

$$\frac{d\vec{M}}{dt} = \gamma (\vec{M} \times \vec{H}) - \frac{\alpha}{|\vec{M}|} \vec{M} \times \frac{d\vec{M}}{dt} \quad (2.12)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เราสมมติให้สนามแม่เหล็กที่เป็น AC ให้เป็นสัญญาณทางความถี่ไมโครเวฟที่ผ่านไปในแท่งเฟอร์ไรต์ ในขณะที่เราปล่อยสนามแม่เหล็กเข้าไปในไบอัส (Bias) ในแกน z M_s คือค่าอิมิตัวของความเป็นแม่เหล็ก สัญญาณที่ป้อนเข้าไปแปรผันตามเวลา (t) จะทำให้สนามของ H เปลี่ยนแปลงด้วย $(\hat{z}H_0 + \bar{M})$ และค่าความเป็นแม่เหล็กก็เปลี่ยนแปลงด้วย $(\hat{z}M_s + \bar{M})$ นำไปแทนในสมการที่ (2.12) จะได้

$$\frac{d\bar{M}}{dt} = \gamma[\hat{z}M_s \times \bar{H} - \hat{z}H_0 \times \bar{M} + \bar{M} \times \bar{H}] \quad (2.13)$$

ให้สัญญาณที่ป้อนเข้าไปมีขนาดเล็ก โดยกำหนดเงื่อนไข $|\bar{M}| \ll |\bar{M}_0|$ และในเทอมของสมการลำดับที่สอง มันจะไม่ใช่เชิงเส้นซึ่งแทน $e^{j\omega t}$ ในสมการที่ (2.13)

$$j\omega\bar{M} = \gamma[M_s\hat{z} \times \bar{H} - H_0\hat{z} \times \bar{M}] \quad (2.14)$$

ส่วนประกอบของสมการนำมาเขียนแยกใหม่ (x, y, z)

$$j\omega M_x = \omega_0 M_x - \mu_s \omega_m H_x \quad (2.15)$$

$$j\omega M_y = -\omega_0 M_y + \mu_s \omega_m H_y \quad (2.16)$$

$$j\omega M_z = 0 \quad (2.17)$$

โดยที่

$$\omega_0 = \gamma H_0 \quad (2.18)$$

$$\omega_m = \gamma M_s / \mu_s \quad (2.19)$$

ω , ω_0 และ ω_m เป็นความถี่เชิงมุม (angular frequency) ในการใช้งานของสัญญาณ จะเรียกว่า Precession radians frequency magnetization มันมีความเกี่ยวข้องกับ M และ H

$$\bar{M} = [\chi] \bar{H} \quad (2.20)$$

[χ] เรียกว่า Susceptibility tensor

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$[x] = \begin{bmatrix} x & -jk & 0 \\ jk & x & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (2.21)$$

โดยกำหนดองค์ประกอบต่าง ๆ คือ

$$x = \frac{\mu_0 \omega_0 \omega_m}{(\omega_0^2 - \omega^2)} \quad (2.22)$$

$$k = \frac{\mu_0 \omega \omega_m}{(\omega_0^2 - \omega^2)} \quad (2.23)$$

ในสมการที่ (2.20) จะเห็นได้ว่า H คูณกับ Susceptibility tensor ของเฟอร์ไรท์ ซึ่งผลรวมของความหนาแน่นสนามแม่เหล็กที่กลับหัวไปมา (ac) ค่า $\bar{B} = \mu_0 \bar{H} + \bar{M}$ ซึ่งกำหนดอยู่นอกตำแหน่งพื้นที่ของสมการที่ (2.20) นำมาจัดรูปสมการใหม่

$$\bar{B} = [\mu] \bar{H} \quad (2.24)$$

สมการที่ (2.24) $[\mu]$ คือ Permeability tensor ที่มีพลังงานต่ำของค่าความเป็นแม่เหล็กถึงจุดอิ่มตัวของเฟอร์ไรท์ ในแกน z

$$[\mu] = \begin{bmatrix} \mu & -jk & 0 \\ jk & \mu & 0 \\ 0 & 0 & \mu_0 \end{bmatrix} \quad (2.25)$$

โดยที่

$$k = (\mu_0 \omega \omega_m) / (\omega_0^2 - \omega^2) \quad (2.26)$$

$$\mu = \mu_0 \{ 1 + [\omega \omega_m / (\omega_0^2 - \omega^2)] \} \quad (2.27)$$

เมื่อ $\omega = \omega_0$ ค่าของ μ และ k เป็นอนันต์ซึ่งให้เห็นการดูดกลืนสัญญาณในวัสดุ ซึ่ง ω_0 เรียกว่า resonance frequency ถ้าเป็นวัสดุที่มีการสูญเสียต่ำจะแทนด้วยในสมการของ $\omega + j \omega \alpha$ ในสมการ μ และ k ซึ่งแยกส่วนประกอบของสมการ (Complex values) ได้

$$\mu = \mu' + j\mu'' = \mu' + (x' - jx'') = \mu' - j\mu'' \quad (2.28)$$

ด้วยเหตุนี้

$$\mu' = \mu_0 + x', \mu'' = x'' \quad (2.29)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$k' = k' - j \quad (2.30)$$

หาค่าออกมาได้

$$x' = \frac{\mu_o \left(\frac{\omega_m}{\omega} \right) \left(\frac{\omega_o}{\omega} \right) \left[\left(\frac{\omega_o}{\omega} \right)^2 - (1 - \alpha^2) \right]}{\left\{ \left[\left(\frac{\omega_o}{\omega} \right)^2 - (1 + \alpha^2) \right]^2 + 4 \left(\frac{\omega_o}{\omega} \right)^2 \alpha \right\}} \quad (2.31)$$

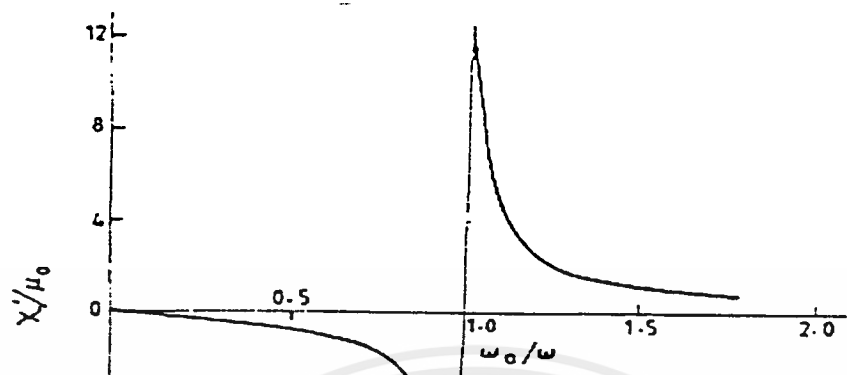
$$x'' = \frac{\mu_o \left(\frac{\omega_m}{\omega} \right) \alpha \left[\left(\frac{\omega_o}{\omega} \right)^2 - (1 + \alpha^2) \right]}{\left\{ \left[\left(\frac{\omega_o}{\omega} \right)^2 - (1 + \alpha^2) \right]^2 + 4 \left(\frac{\omega_o}{\omega} \right)^2 \alpha \right\}} \quad (2.32)$$

$$k' = \frac{\mu_o \left(\frac{\omega_m}{\omega} \right) \left[\left(\frac{\omega_o}{\omega} \right)^2 - (1 + \alpha^2) \right]}{\left\{ \left[\left(\frac{\omega_o}{\omega} \right)^2 - (1 + \alpha^2) \right]^2 + 4 \left(\frac{\omega_o}{\omega} \right)^2 \alpha \right\}} \quad (2.33)$$

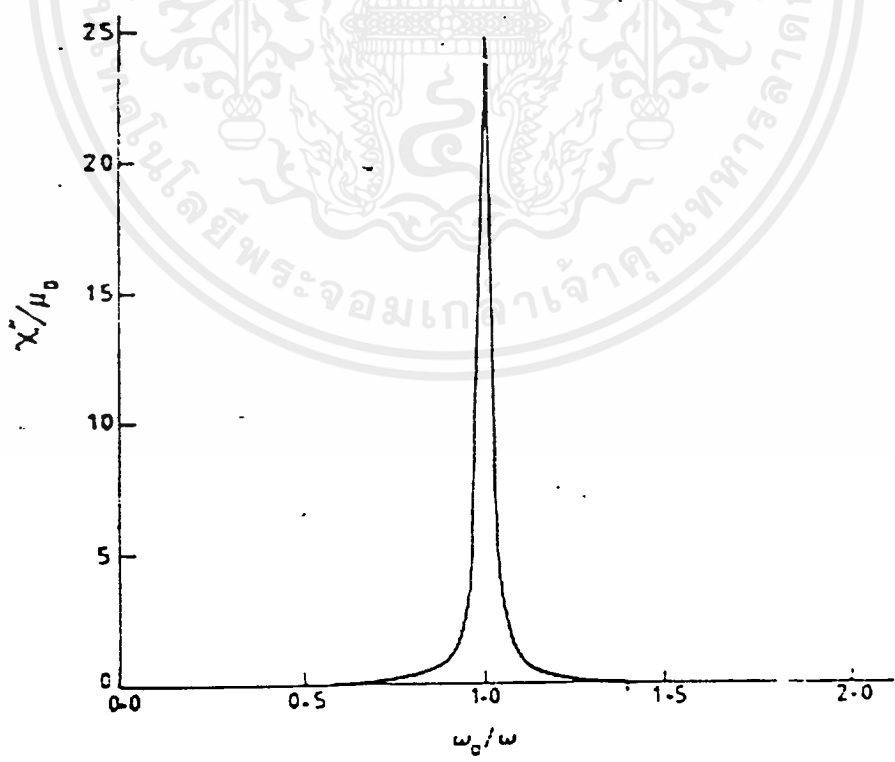
$$k'' = \frac{2 \mu_o \left(\frac{\omega_m}{\omega} \right) \left(\frac{\omega_o}{\omega} \right) \alpha}{\left\{ \left[\left(\frac{\omega_o}{\omega} \right)^2 - (1 + \alpha^2) \right]^2 + 4 \left(\frac{\omega_o}{\omega} \right)^2 \alpha \right\}} \quad (2.34)$$

จากภาพประกอบที่ 2.5-1 แสดงให้เห็นว่ากราฟของ x' / μ จะมีการเปลี่ยนแปลงเหมือนกับกราฟของ x' / μ ใน imaginary ได้ค่าในการดูดกลืน สัญญาณของเฟอร์ไรท์โดยกราฟ k' / μ โดยเกิดขึ้นกับ ω แสดงในภาพ 2.5-2 ซึ่งลักษณะกราฟของ x'' / μ จะเหมือนกับกราฟของ k' / μ ปรากฏการณ์เกิด resonance absorption จะมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงโพลาริซชันของความถี่วิทยุ (สัญญาณไมโครเวฟ) ซึ่งปรากฏการณ์ดังกล่าวใช้มาทำ Circulator, Isolator และ Phase Shifter

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.5-1 กราฟแสดงค่า susceptibility $\chi' \cdot \omega_0$



รูปที่ 2.5-2 กราฟแสดงค่า susceptibility $\chi'' \cdot \omega_0$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการทำงานของวงจรถ่ายเฟส (Phase Shifter) สิ่งที่สำคัญจะต้องเข้าใจคือ ค่า Tensor Permeability ของเฟอร์ไรท์ สำหรับในเฟอร์ไรท์ประกอบด้วยค่าของ M เขียนได้ดังนี้

$$k = \frac{\omega}{\omega_0} \quad (2.35)$$

$$\mu = \mu_d + (1 - \mu_d) \left(\frac{1}{M_s} \right) \quad (2.36)$$



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การแพร่กระจายคลื่นในตัวกลางเฟอโรไรต์ความยาวไม่จำกัด (Propagation in infinite medium)

ในการทำการเคลื่อนเฟสโดยทั่วไปแล้วค่าเฟอโรไรต์ตั้งจากกับทิศทางของการเคลื่อนที่ของคลื่น แล้ว ไบอัสสนามแม่เหล็กเข้าตรงกลางของเฟอโรไรต์ ซึ่งอธิบายได้ด้วยสมการ Maxwell ' s

$$\nabla \times \vec{E} = -j\omega [\mu] \vec{H} \quad (2.37)$$

$$\nabla \times \vec{H} = -j\omega \epsilon \vec{E} \quad (2.38)$$

$$\nabla \cdot \vec{D} = 0 \quad (2.39)$$

$$\nabla \cdot \vec{B} = 0 \quad (2.40)$$

[μ] คือค่า Permeability tensor

[ϵ] คือค่า Dielectric constant

มาพิจารณาสนามที่กระทำในแกน y โดยที่เราไบอัส H_0 จะได้ tensor permeability

$$[\mu] = \begin{bmatrix} \mu & 0 & -jk \\ 0 & \mu_0 & 0 \\ jk & 0 & \mu \end{bmatrix} \quad (2.41)$$

ค่า μ และ k ได้จากสมการที่ 2.26 และ 2.27 การแพร่กระจายของสนามในแกน y แทนด้วย จากสมการ Maxwell ' s

$$-\omega \mu H_x + j\omega k H_z = \beta E_y \quad (2.42)$$

$$\mu_0 \omega H_z = \beta E_x \quad (2.43)$$

$$-j\omega k H_x - \omega \mu H_z = 0 \quad (2.44)$$

จากสมการ 2.38 จะได้

$$\omega \epsilon E_x = \beta H_y \quad (2.45)$$

$$-\omega \epsilon E_y = \beta H_x \quad (2.46)$$

และจากสมการ 2.42 และ 2.46 ทั้งสองสมการมีความสัมพันธ์กันจะได้

$$\beta^2 H_y = \omega^2 \mu_0 \epsilon H_x \quad (2.47)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\beta_z H_y = \frac{\omega^2 \epsilon (\mu^2 - k^2) H_x}{\mu} \quad (2.48)$$

ลัঘณยานวิทย์ (RF) มีการแพร่กระจายขนานกับทิศทางสนามคงที่ (Perpendicular wave) จะได้

$$\beta_z = \omega \sqrt{\mu_0 \epsilon} \quad (2.49)$$

ในกรณีนี้ที่สนามทั้งสองตั้งฉากกันจะได้

$$\beta_{\perp} = \omega \left(\frac{\epsilon (\mu^2 - k^2)}{\mu} \right)^{1/2} \quad (2.50)$$

จะหาค่า Permeability ได้จากสมการ

$$\mu_{\parallel} = \mu_0 \quad (2.51)$$

$$\mu_{\perp} = (\mu^2 - \epsilon^2) / \mu \quad (2.52)$$

แทนสมการ μ และ k ในสมการที่ 2.26 และ 2.27

$$\mu_{\perp} = \frac{(\omega_0 + \omega_m)^2 - \omega^2}{(\omega_0^2 + \omega_m \omega_0 - \omega^2)} \quad (2.53)$$

จะเห็นว่า μ หาได้จาก

$$\omega^2 = \omega_0 (\omega_0 + \omega_m) \quad (2.54)$$

บทที่ 3

การสร้างอุปกรณ์กำเนิดสนามแม่เหล็ก

เนื่องด้วยในโครงการนี้ต้องการที่จะปรับเฟสของคลื่นที่ออกจากสายอากาศแบบสล็อตอาร์เรย์ด้วยการไบอัสสนามแม่เหล็กให้แก่ชิ้นเฟอร์ไรท์ที่อยู่ในสายอากาศ จึงได้ทำสร้างอุปกรณ์กำเนิดสนามแม่เหล็กโดยใช้หลักการทางแม่เหล็กไฟฟ้า คือ เมื่อทำการให้กระแสไฟฟ้าแก่ขดลวดที่พันอยู่รอบแกนเหล็กแล้ว จะเกิดสนามแม่เหล็กพุ่งจากปลายแกนเหล็กที่เป็นขั้วเหนือ ไปยังปลายแกนเหล็กที่เป็นขั้วใต้ ซึ่งในการสร้างอุปกรณ์กำเนิดสนามแม่เหล็กในโครงการนี้ ได้ใช้แกนเหล็กที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางยาว 1.3 เซนติเมตร มีความยาว 4 เซนติเมตร และใช้เส้นลวดที่มีขนาด SWG 30

จากที่ได้ทำการวัดค่าความเข้มสนามแม่เหล็กเทียบกับขนาดของความต่างศักย์ไฟฟ้าที่ใส่ให้กับขดลวด โดยใช้เกาส์มิเตอร์ (Gauss Meter) ในการความเข้มวัดสนามแม่เหล็ก จะพบว่ามีส่วนดังนี้

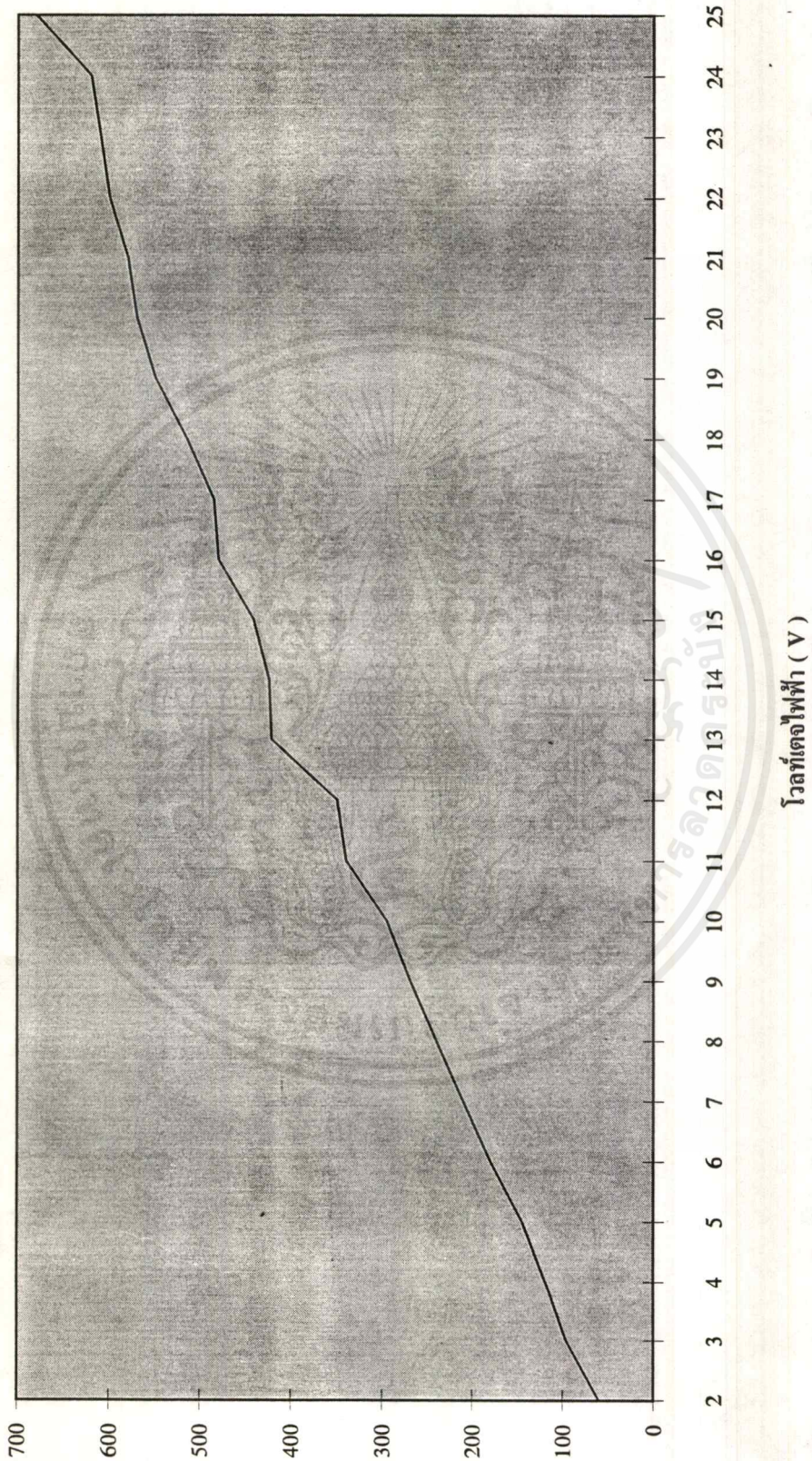


ขนาดโวลต์เตจไฟฟ้า (V)	ความเข้มสนามแม่เหล็ก (G)
1	25
2	60
3	96
4	119
5	145
6	180
7	210
8	250
9	269
10	295
11	341
12	350
13	422
14	425
15	442
16	480
17	485
18	515
19	550
20	570
21	580
22	600
23	610
24	620
25	680

ตารางที่ 3.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างขนาดของโวลต์เตจไฟฟ้า กับ ความเข้มสนามแม่เหล็ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การแสดงความสัมพันธ์ระหว่างโวลต์ที่ตกที่ไฟฟ้ากับความเข้มสนามแม่เหล็ก



(๑) ความเข้มสนามแม่เหล็ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

การทดลองและผลการทดลอง

การทดลองที่ 1 การวัดการเปลี่ยนแปลงเฟสของคลื่นเมื่อไบอัสสนามแม่เหล็กให้แก่ซินเฟอร์ไรท์ที่อยู่ในสล็อต

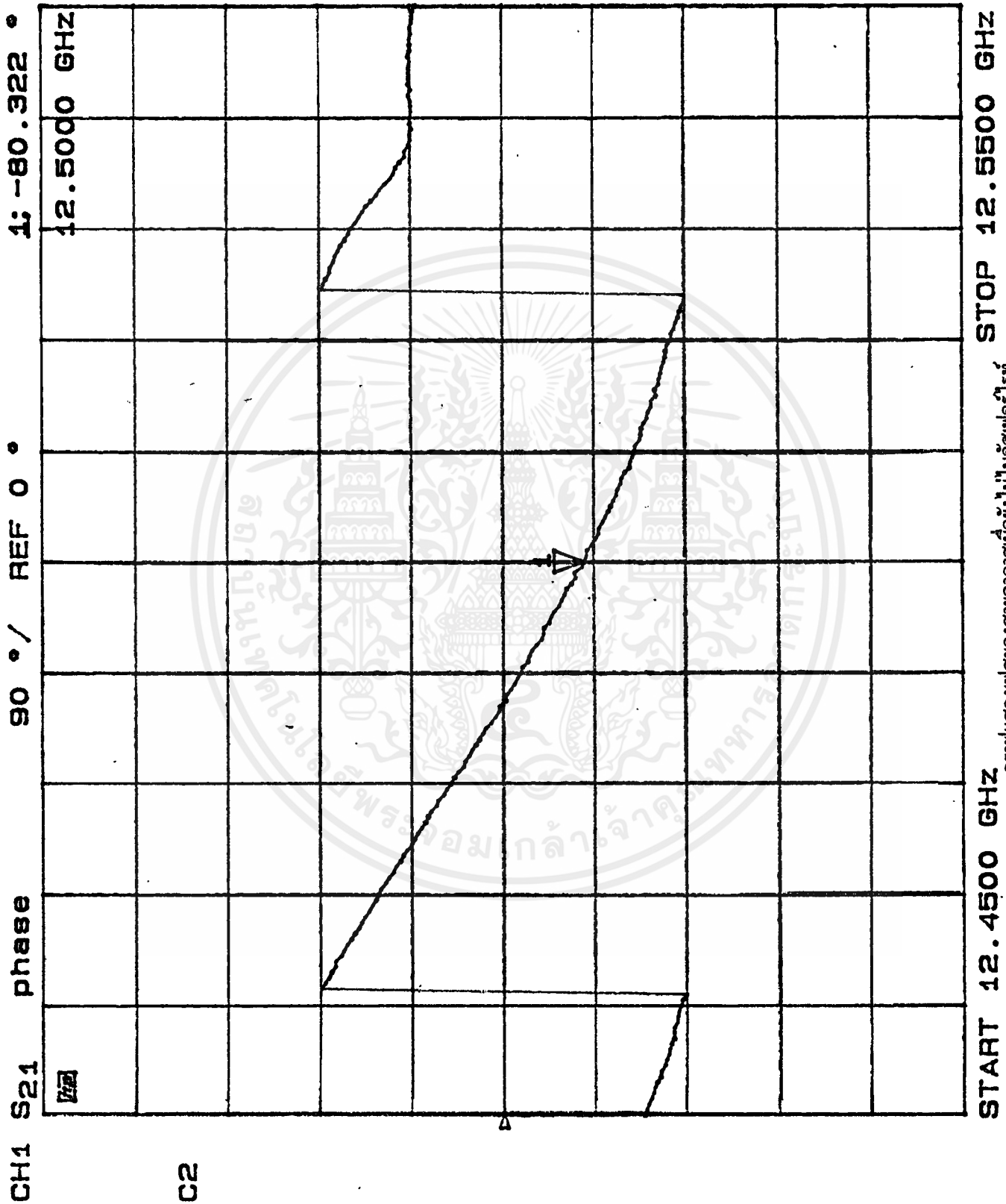
- อุปกรณ์
1. สายอากาศแบบสล็อตอาร์เรย์
 2. ซินเฟอร์ไรท์
 3. อุปกรณ์กำเนิดสนามแม่เหล็ก ในที่นี้คือแกนเหล็กพันขดลวด
 4. สติกเกอร์ฟรอย
 5. อุปกรณ์กำเนิดกระแส
 6. เนทเวอร์คอนาไลเซอร์
 7. พล็อตเตอร์

วิธีการทดลอง

1. นำสติกเกอร์ฟรอยมาปิดรูสล็อตของสายอากาศให้เหลือเพียงสล็อตเดียว
2. นำซินเฟอร์ไรท์ที่เตรียมเอาไว้ใส่คร่อมขวางรูสล็อตที่ไม่ได้ปิดฟรอยไว้ โดยใส่ไว้ด้านในของสายอากาศ
3. อุปกรณ์กำเนิดสนามแม่เหล็กมาใส่ไว้ด้านใต้ของสายอากาศ โดยตั้งให้สนามแม่เหล็กตรงกันกับซินเฟอร์ไรท์ที่ใส่เอาไว้ แล้วต่อเข้ากับอุปกรณ์กำเนิดกระแส
4. ทำการคาลิเบรทเครื่องเนทเวอร์คอนาไลเซอร์ แล้วนำสายอากาศมาต่อเข้าทางพอร์ต 1 ของเครื่องเนทเวอร์คอนาไลเซอร์
5. ปรับค่าโวลต์เดจทีละ 2.5 โวลต์ เพื่อปรับกระแสไฟฟ้าที่เข้าไปยังขดลวด ทำให้สามารถเปลี่ยนค่าสนามแม่เหล็ก
6. บันทึกผลการทดลองลงในตาราง และทำการพล็อตกราฟโดยใช้พล็อตเตอร์

ขนาดโวลต์เตจไฟฟ้า (V)	ความเข้มสนามแม่เหล็ก (G)	เฟสของคลื่นที่ออกจากสล็อต (องศา)
0	0	-80.322
2.5	75	-114.48
5	145	-127.11
7.5	230	-177.03
10	295	165.25
12.5	397	123.78
15	442	104.63
17.5	500	89.107
20	570	66.658
22.5	605	6.368
25	680	-34.225

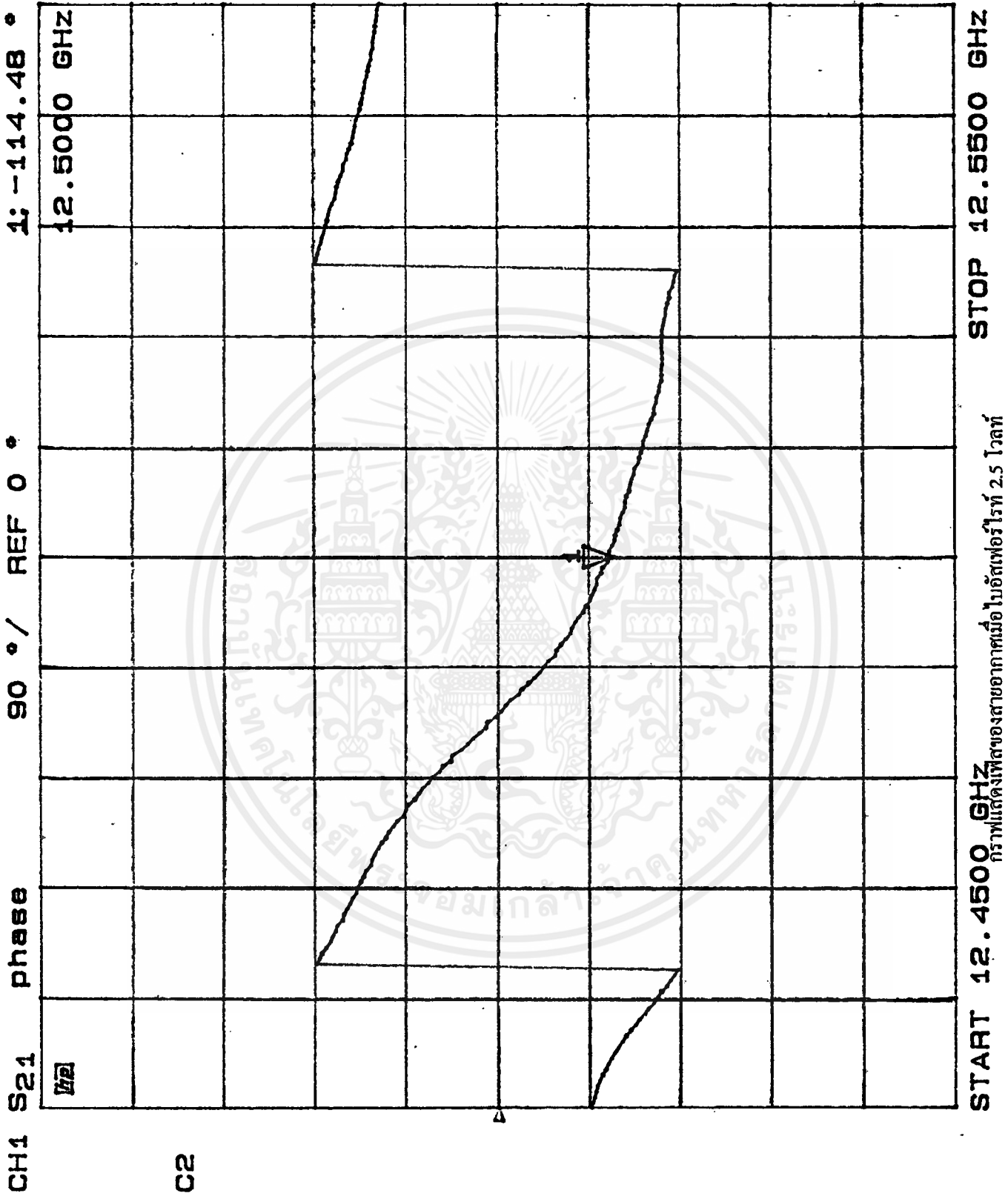
ตารางที่ 4.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างขนาดของโวลต์เตจ ความเข้มสนามแม่เหล็ก และ ค่าเฟสของคลื่นที่ออกจากสล็อตของสายอากาศแบบสล็อตอาร์เรย์



กราฟแสดงเฟสของสายอากาศยังไม่บัดเฟอไรท์

V=0V

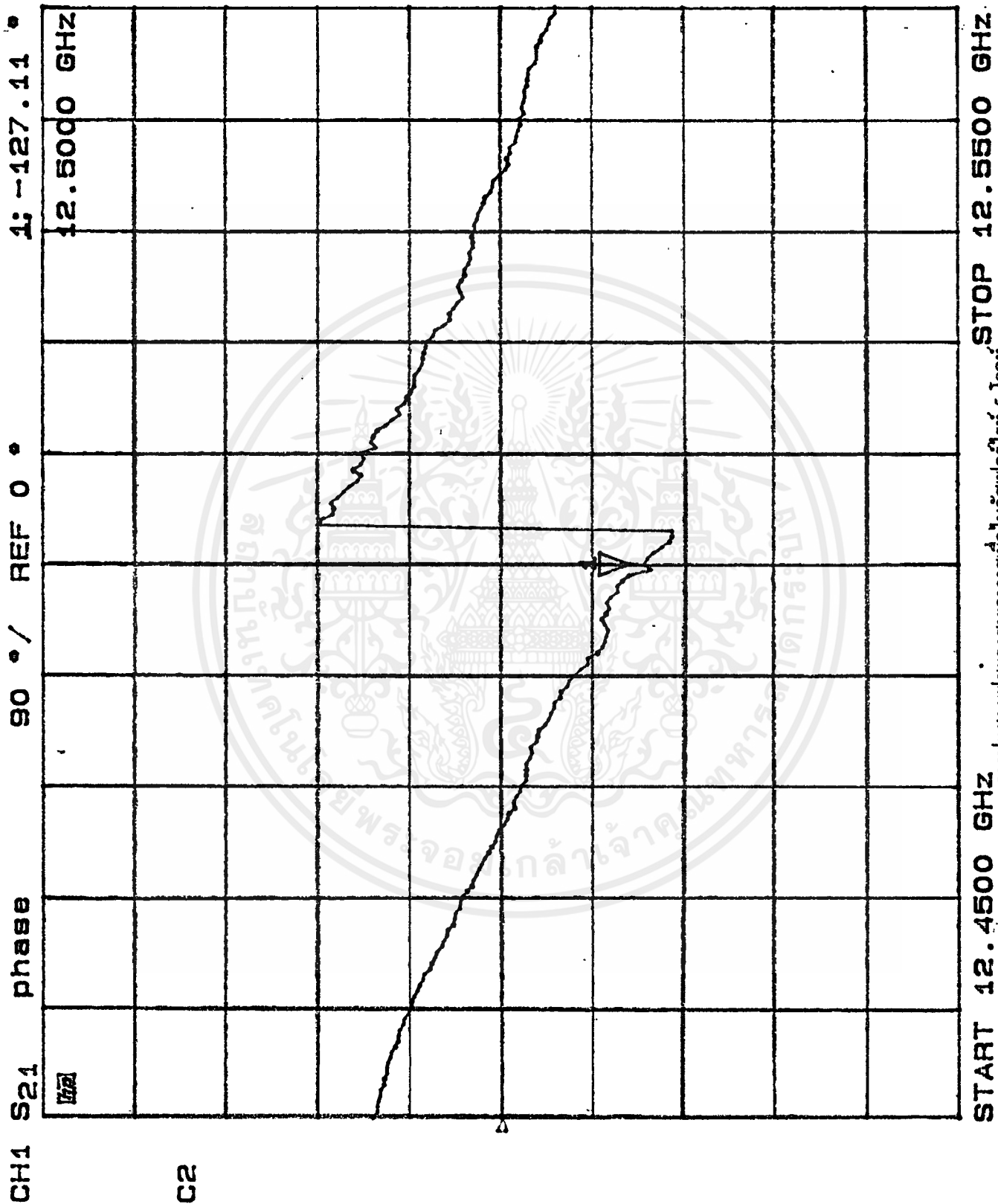
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
แม้กรรมใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



กราฟแสดงเฟสของสายอากาศเมื่อ โมดเฟอไรไรท์ 2.5 โวลท์

V = 2.5 V

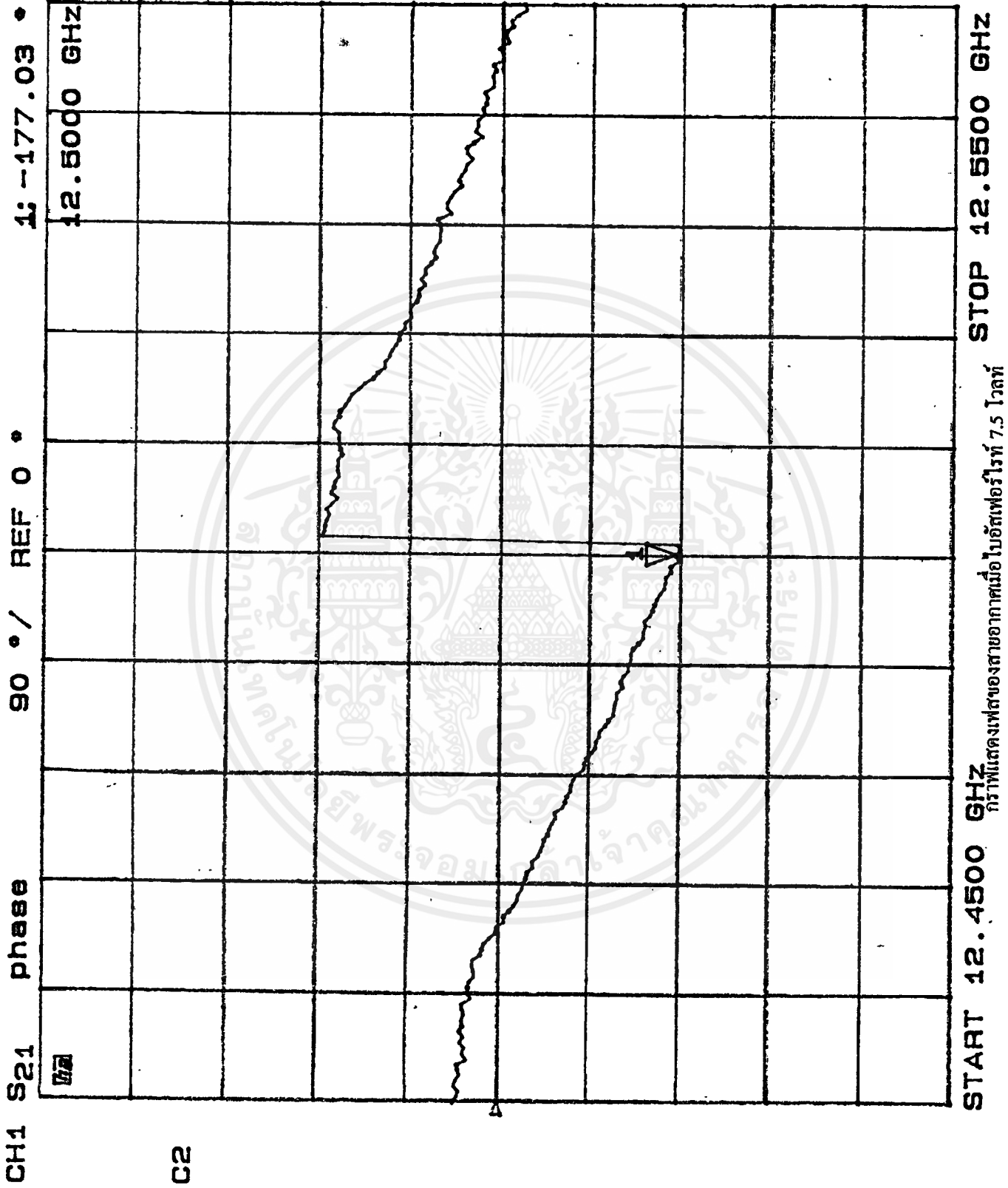
สารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
หรือกิจกรรมใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



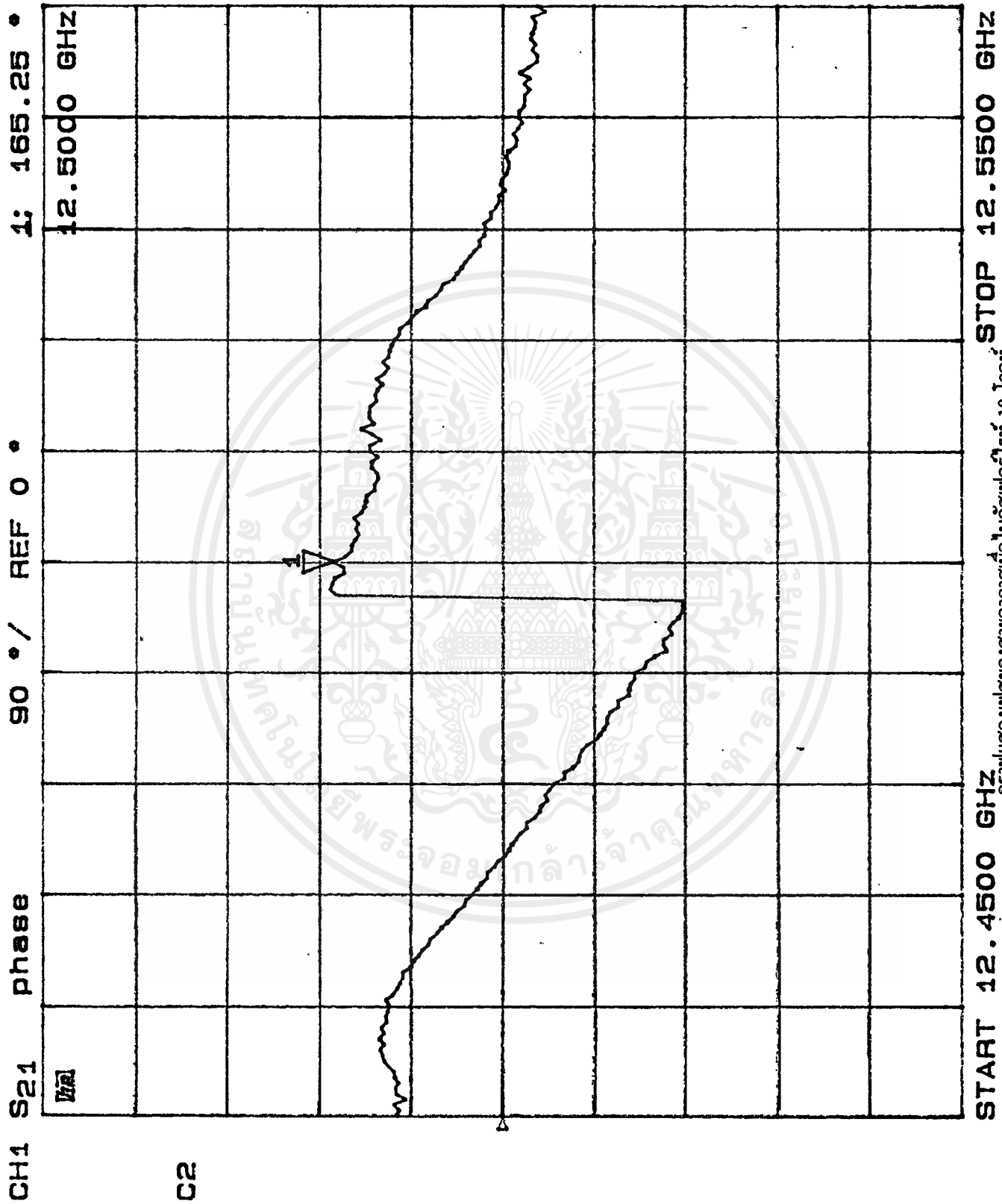
กราฟแสดงเฟสของสายอากาศเมื่อ โมดูลเฟรียท์ 5 ไวลท์

V = 5 V

การนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

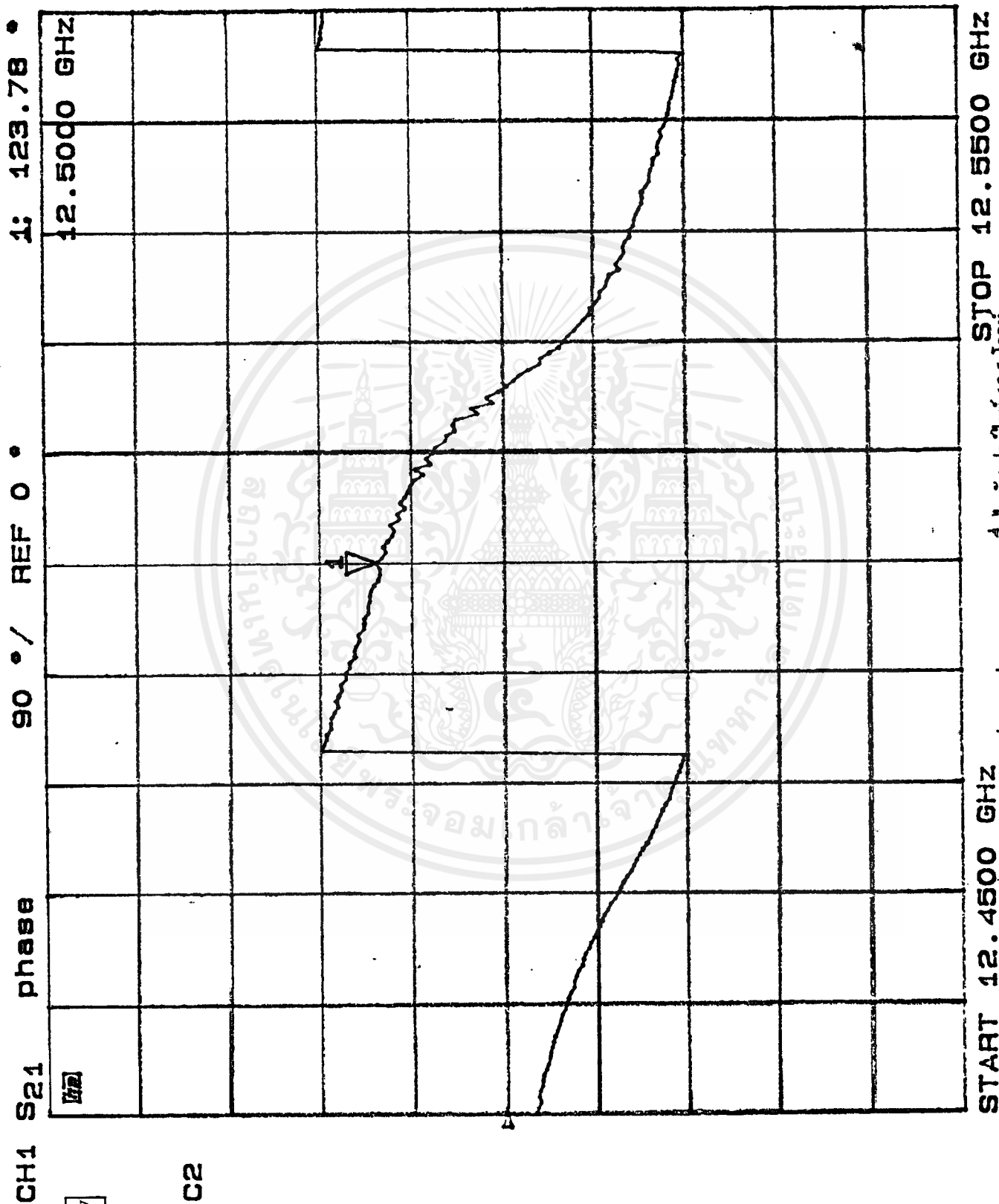


กราฟแสดงเฟสของสายอากาศเมื่อ โมดเฟอริท 10 โกลท์

V = 10 V

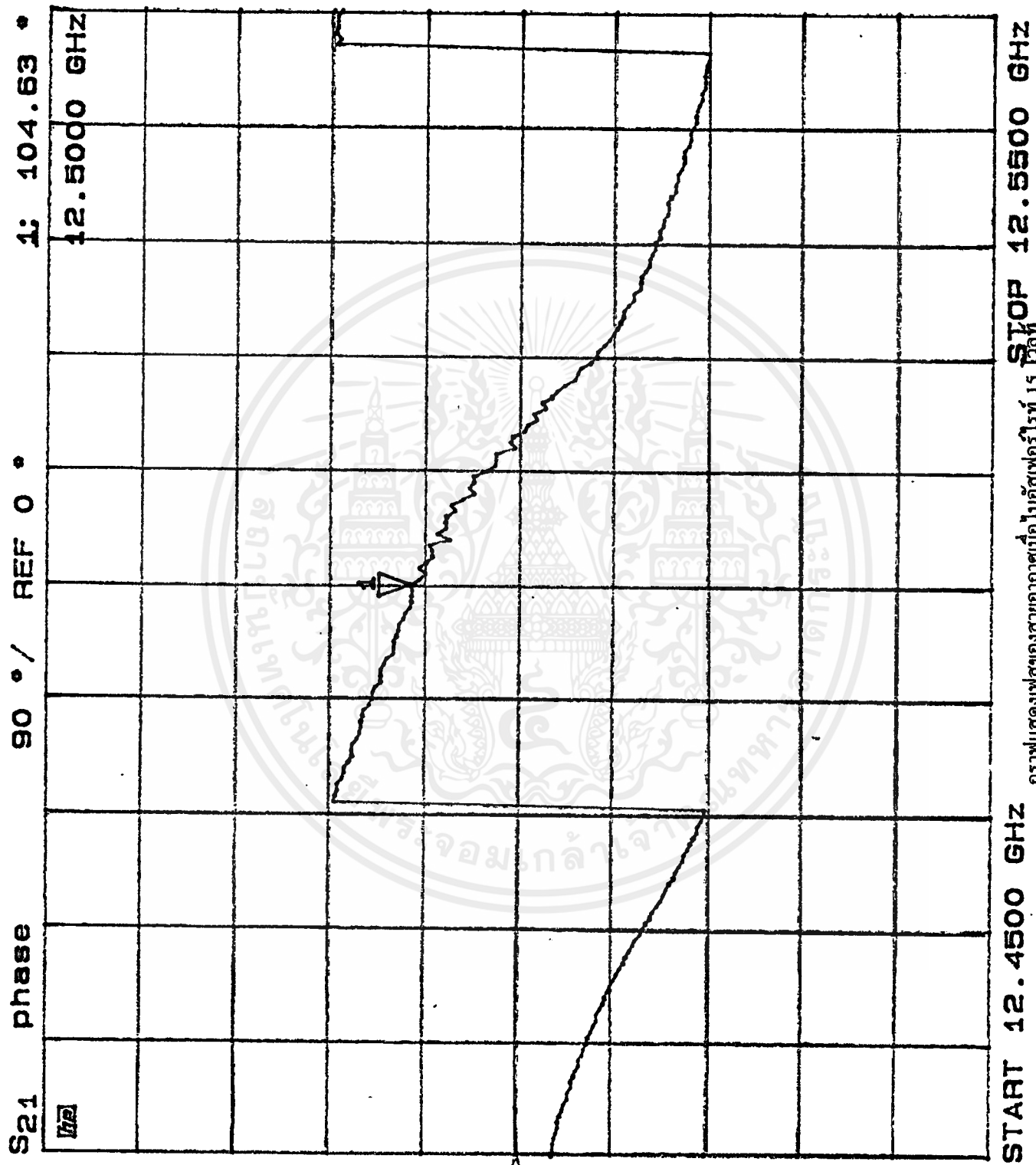
C2

นี่เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



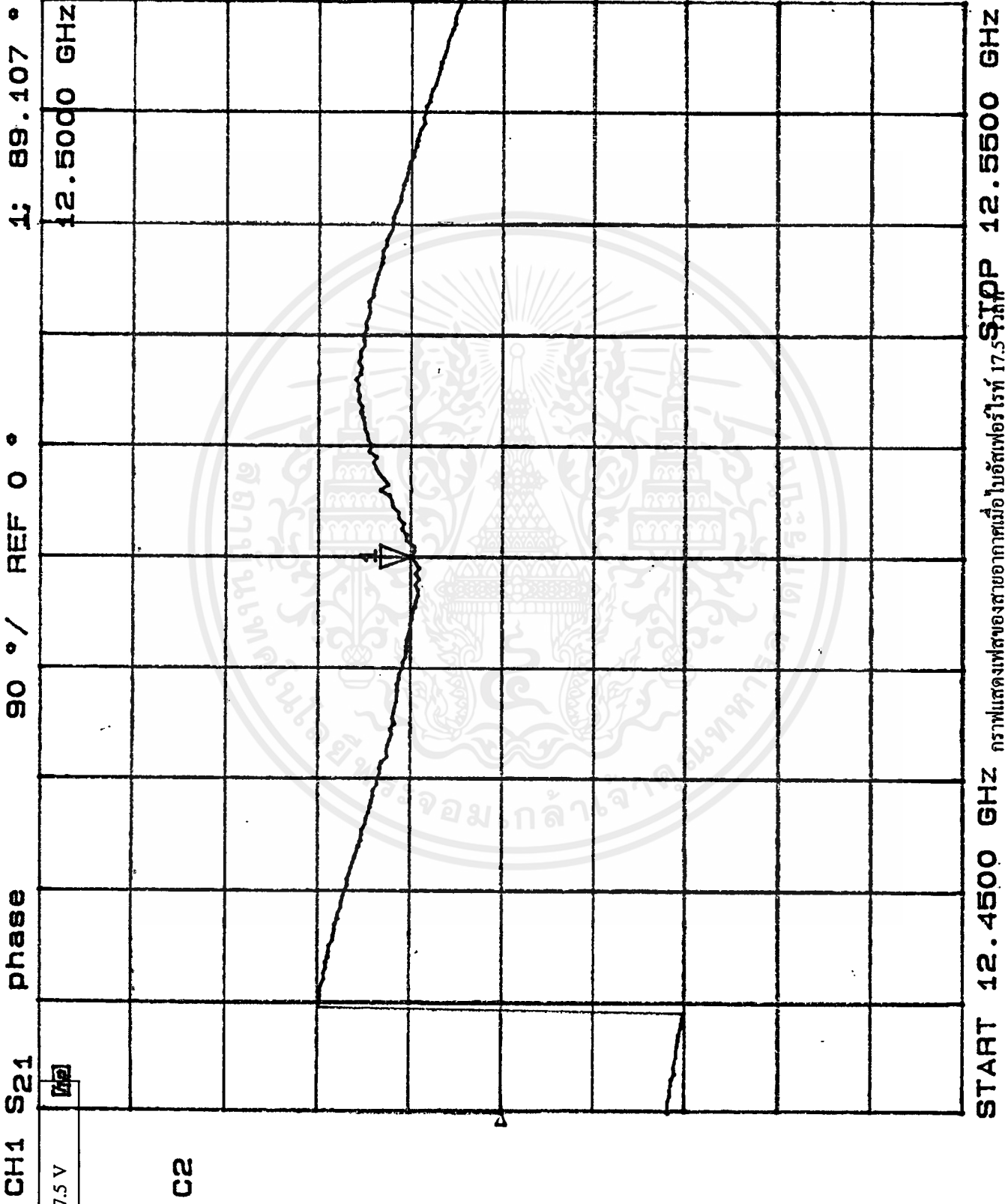
กราฟแสดงเฟสของสายอากาศเมื่อไบอัสเฟอริต์ 12.5 วัตต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



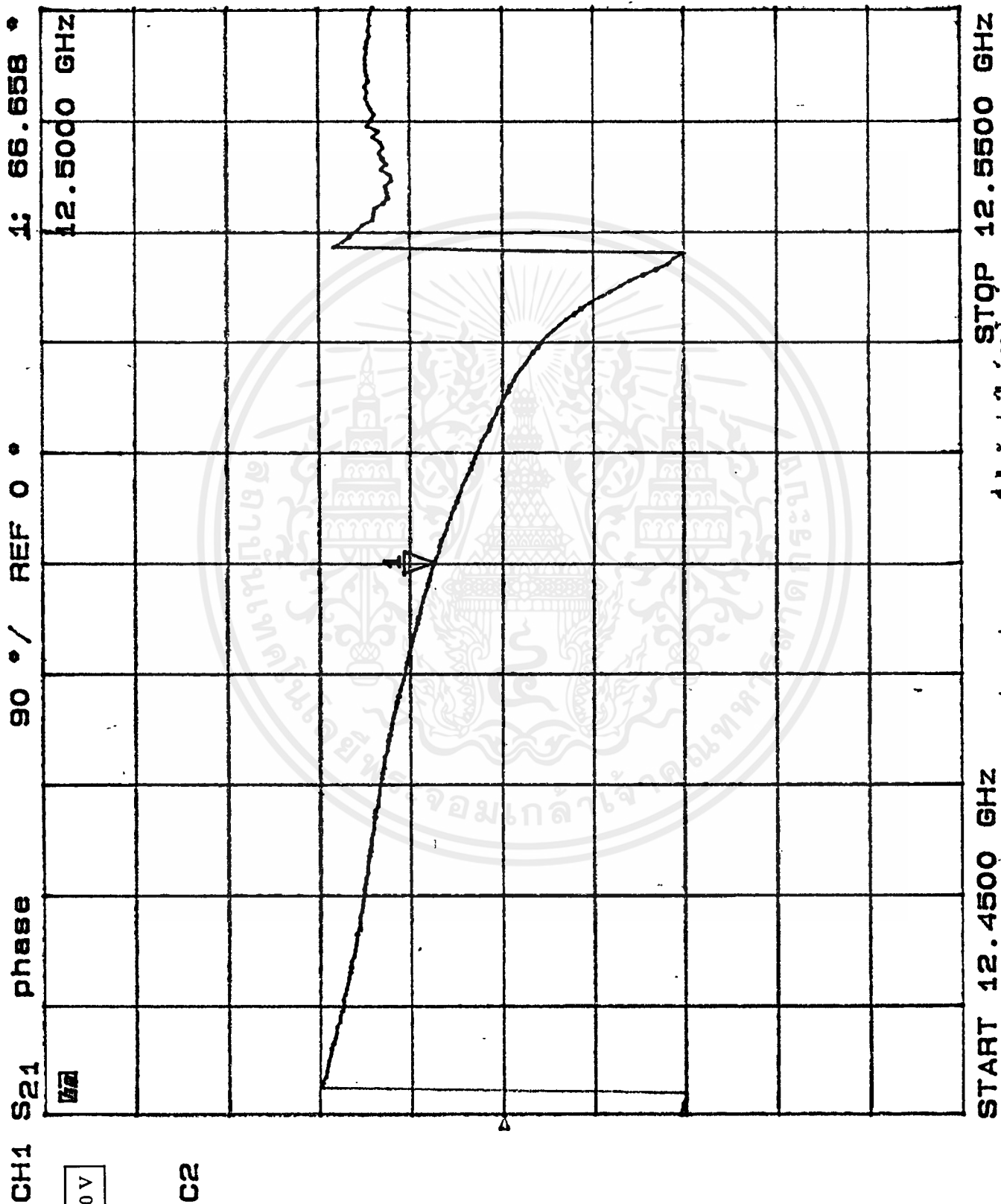
กราฟแสดงเฟสของสายอากาศเมื่อไบอัสเฟอริต์ 15 พิลาห์

การนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



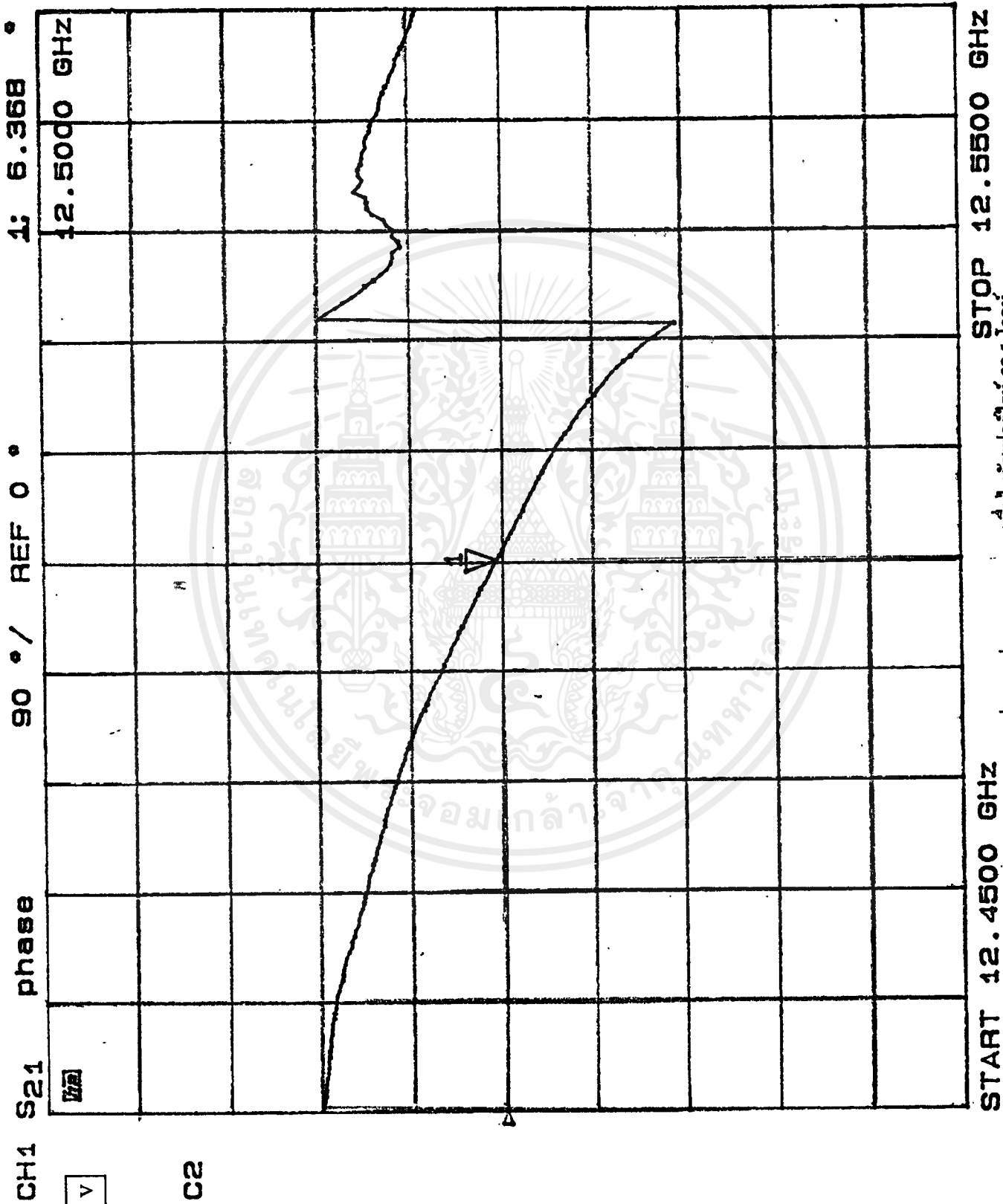
กราฟแสดงเฟสของสายอากาศเมื่อ โมดูลเฟอโรไรท์ 17.5 STOP

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



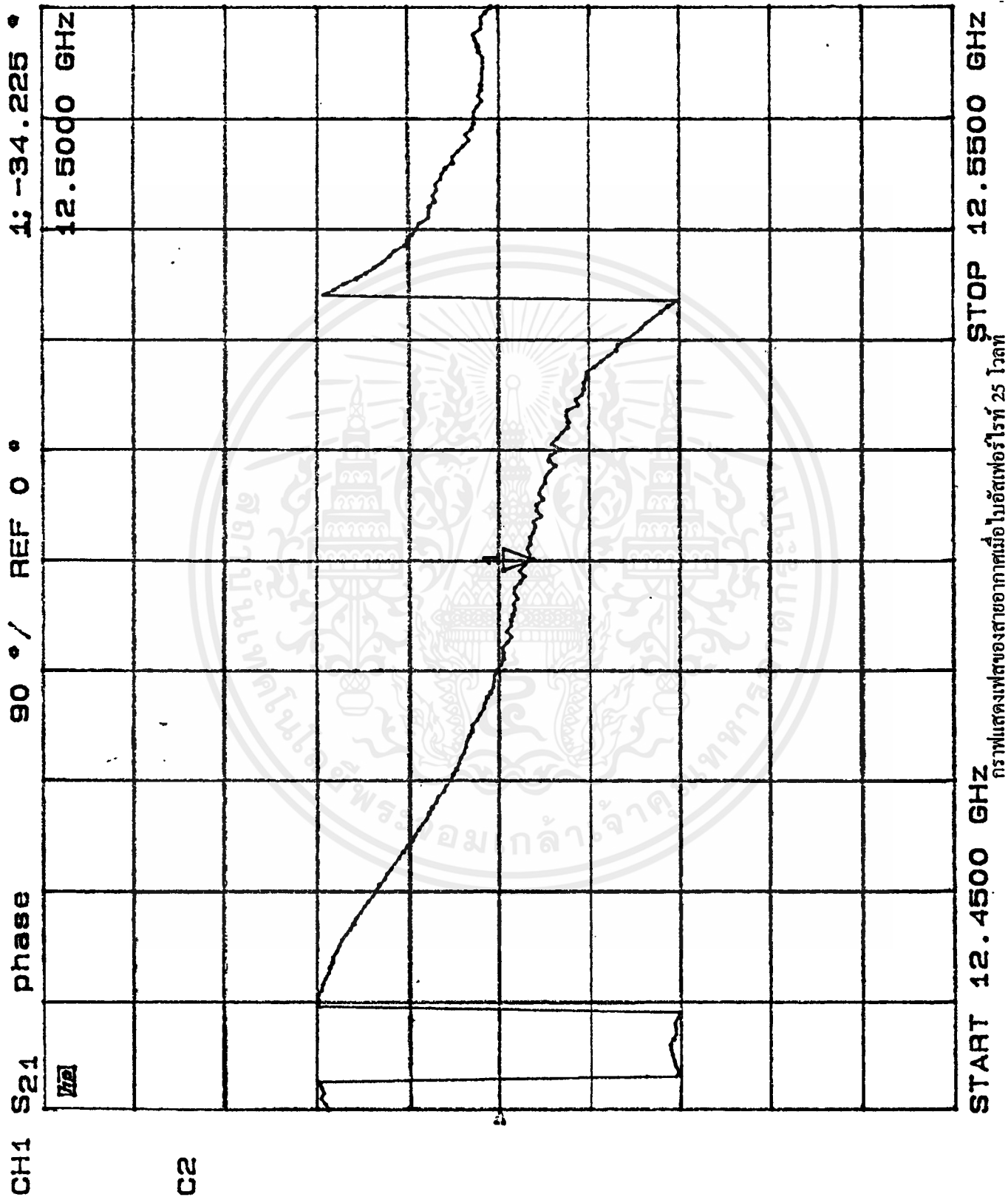
กราฟแสดงเฟสของสายอากาศเมื่อไบอัสเฟอไรท์ 20 วัตต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



กราฟแสดงเฟสของสายอากาศเมื่อ โมดูลเฟรีโรท 22.5 ไวลท์

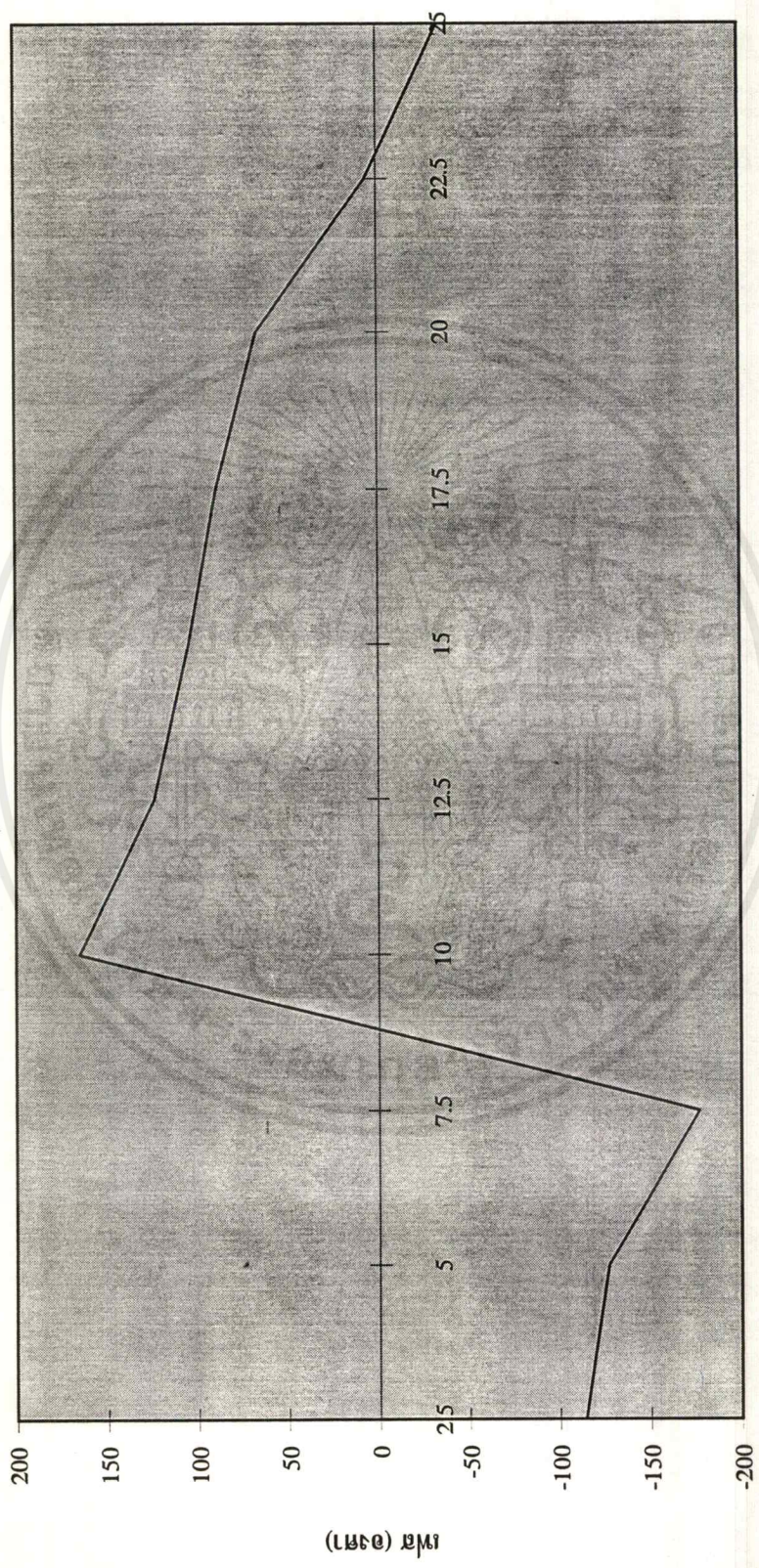
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



V = 25 V

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างโวลต์ต่อคร่อมและเฟส

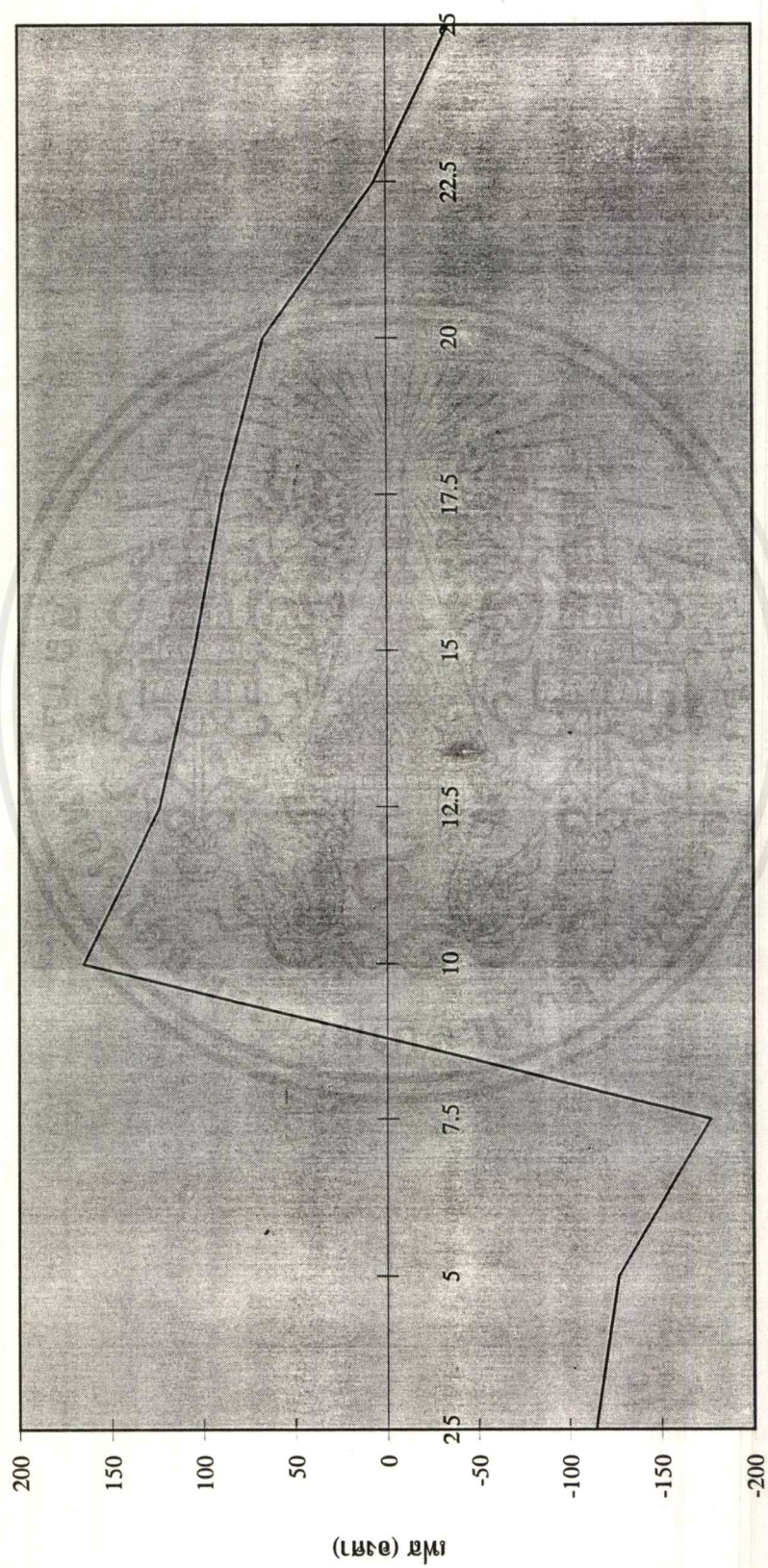


— -80.322

โวลต์ต่อคร่อม (V)

เฟส (องศา)

กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มสนามแม่เหล็กและเฟส



— -80.322

ความเข้มสนามแม่เหล็ก (G)

(องศา) เฟส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดลองที่ 2 การวัดการเปลี่ยนแปลงตำแหน่งสนามไฟฟ้าของคลื่น เมื่อโบ๊ตสนามแม่เหล็กให้แก่อินเฟอร์ไรท์

อุปกรณ์และวิธีการทดลองคล้ายกับการทดลองที่ 1 แต่ในการวัดสนามไฟฟ้านี้ จะทำการวัดเป็นระนาบเพื่อหาตำแหน่งและสังเกตการเปลี่ยนแปลงของสนามไฟฟ้าสูงสุด โดยใช้เครื่องสแกนเนอร์เพื่อทำการวัดเป็นระนาบ และระนาบที่วัดนี้มีขนาด 20×20 เซนติเมตร ซึ่งจะทำการวัด 6 ครั้งด้วยกัน คือ

1. วัดสนามไฟฟ้าเมื่อยังไม่ทำการโบ๊ตสนามแม่เหล็กให้แก่อินเฟอร์ไรท์
 2. วัดสนามไฟฟ้าเมื่อการโบ๊ตสนามแม่เหล็กให้แก่อินเฟอร์ไรท์ โดยใช้โวลท์เดจตกคร่อมอุปกรณ์กำเนิดสนามแม่เหล็กขนาด 5 โวลท์
 3. วัดสนามไฟฟ้าเมื่อการโบ๊ตสนามแม่เหล็กให้แก่อินเฟอร์ไรท์ โดยใช้โวลท์เดจตกคร่อมอุปกรณ์กำเนิดสนามแม่เหล็กขนาด 10 โวลท์
 4. วัดสนามไฟฟ้าเมื่อการโบ๊ตสนามแม่เหล็กให้แก่อินเฟอร์ไรท์ โดยใช้โวลท์เดจตกคร่อมอุปกรณ์กำเนิดสนามแม่เหล็กขนาด 15 โวลท์
 5. วัดสนามไฟฟ้าเมื่อการโบ๊ตสนามแม่เหล็กให้แก่อินเฟอร์ไรท์ โดยใช้โวลท์เดจตกคร่อมอุปกรณ์กำเนิดสนามแม่เหล็กขนาด 20 โวลท์
 6. วัดสนามไฟฟ้าเมื่อการโบ๊ตสนามแม่เหล็กให้แก่อินเฟอร์ไรท์ โดยใช้โวลท์เดจตกคร่อมอุปกรณ์กำเนิดสนามแม่เหล็กขนาด 25 โวลท์
- จะได้ตารางสนามไฟฟ้าและกราฟสนามไฟฟ้าของระนาบทั้งหมด 6 ระนาบ ดังนี้

Plane	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
0	551.7	164.29	138.1	499.13	422.16	56.41	368.91	457.69	101.67	444.56	234.97	429.18	369.67	471.38	64.95	104.13	292.88	203.07	232.59	355.69
1	344.53	83.48	724.91	520.68	506.79	188.55	317.13	639.95	432.83	380.81	574.44	648.26	396.15	109.43	336.39	265.82	46.179	215.71	187.3	347.7
2	575.75	225.35	312.19	408.93	41.826	334.75	416.07	296.26	384.45	574.59	467.09	474.3	757.96	301.96	335.6	194.93	73.824	116.73	286.19	321.85
3	447.11	235.39	468.87	207.4	441.95	284.63	394.94	469.55	497.52	423.6	530.18	374.08	175.93	119.34	247.14	425.19	427.13	134.44	492.27	455.92
4	456.48	345.35	399.05	411.33	509.8	214.13	309.33	191.85	513.2	657.83	389.08	146.84	242.07	320.7	343.81	308.11	178.14	181.03	275.09	235.18
5	249.06	287.92	178.22	457.42	743.66	468.21	884.77	1199	992.72	873.74	947.92	660.9	502.65	713.2	171.1	118.68	315.61	355.17	202.49	398.5
6	420.48	346.3	165.33	263.42	393.3	524.52	870.67	1035.9	1208.1	847.52	1038.4	967.53	944.41	960.68	701.04	388.98	432.13	597.69	536.47	650.02
7	182.89	121.62	260.14	381.25	431.84	802.93	954.51	992.3	813.51	871	968.87	966.01	618.76	509.35	590.15	215.02	519.54	646.86	329.79	248.58
8	397.28	231.21	213.41	264.9	482.81	526.85	758.53	1112.2	903.58	656.96	592.8	552.42	525.27	140.31	251.7	297.93	268.49	380.89	437.36	494.33
9	377.18	248.54	457.41	429.85	446.81	863.7	1050.6	715.49	870.85	919.22	1385.2	877.98	746.43	621.94	314.04	119.46	454.34	470.18	429.45	545.74
10	157.25	255.35	447.66	554.77	726.88	465.29	735.43	1067.3	1118.5	1055.3	769.79	961.01	634.13	781.77	239.69	339.58	354.65	236.87	388.29	403.9
11	313.36	318.39	74.502	613.24	444.07	640.78	1463.3	805.47	919.07	1054.5	731.08	503.12	415.91	285.33	342.15	597.86	292.85	303.37	153.08	96.962
12	212.97	300.84	134.62	199.02	456.88	445.75	687.51	1332.2	1168.3	1294.5	1070	536.17	500.11	455.62	188.71	162.84	302.34	121.85	235.8	428.65
13	307.78	305.79	216	254.5	839.59	756.65	532.57	983.48	716.57	1072.5	941.16	940.98	450.72	165.08	467.17	444.02	326.25	216.45	83.778	282.38
14	237.62	372.23	404.03	378.3	364.36	334.87	499.87	491.08	587.55	507.32	420.39	466.02	322.46	69.186	96.019	423.7	97.521	281.81	328.54	439.87
15	153.52	203.72	517.13	250.25	330.37	431.25	808.3	1149.4	922.14	943.48	939.19	268.16	520.8	378.58	175.49	402.81	150.97	226.69	136.19	340.37
16	286.12	29.23	278.04	193.48	112.16	460.25	512.15	632.05	918	1097.5	940.29	480.26	357.6	446.74	220.2	327.56	344.37	353.1	316.16	394.17
17	342.13	143.44	575.99	434.01	593.36	581.2	796.62	843.11	729.11	537.13	296.09	25.156	195.83	95.364	196.26	267.01	89.657	483.19	666.95	163.09
18	76.707	518.23	536.77	622.15	761.21	201.66	653.42	711.44	375.96	529.86	245.88	292.2	136.2	746.49	575.24	110.4	54.738	58.949	400.3	340.49
19	128.09	562.85	606.39	509.05	639.95	355.57	212.36	493.76	355.79	412.26	306.04	387.03	569.52	655.59	410.94	101.74	50.655	162.42	253.8	168.54

ตารางแสดงแอมพลิจูดของสายอากาศเมื่อยังไม่ปรับเฟสพอไรท์

Plane 0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	
0	333.55	86.65	306.84	699.88	546.37	147.57	623.43	485.15	135.9	331.34	232.5	661.73	570.3	125.97	71	64.149	527.92	401.18	493.76	554.35
1	374.99	122.19	637.74	187.78	58.211	329.14	387.7	585.32	743.36	444.46	475.76	592.08	181.21	551.37	396.28	389.25	464.51	196.96	231.97	521.99
2	271.59	287.7	82.396	393.05	247.64	291.41	366.52	557.39	406.3	554.71	618.88	556.83	339.21	180.62	362.07	163.35	245.72	435.83	437.62	569.02
3	423.46	399.68	416	284.73	309.51	418.45	271.51	722.56	626.42	413.97	418.66	347.57	256.46	74.42	117.79	726.67	387.34	552.98	390.71	271.87
4	405.12	655.29	551.7	704.82	379.16	204.04	458.66	853.18	876.64	453.11	160.27	185.62	133.04	302.34	320.05	244.39	263.91	111.68	216.96	62.428
5	337.33	91.758	228.55	590.92	432.88	553.22	1101.1	1020	859.29	931.29	887.13	766.43	418.84	683.93	83.134	369.97	592.68	491.86	243.49	260.04
6	486.43	307.81	207.39	211.54	481.17	862.69	960.59	1388.4	1127.8	1051.4	1134	1263.9	1401.5	1398.3	854.19	324.1	631.57	801.29	541.69	215.55
7	325.26	97.301	579.63	523.03	662.57	1102.7	994.8	774.86	827.04	873.3	847.31	673	965.36	248.49	326.72	505.86	493.82	190.62	159.08	455.71
8	187.61	328.67	416.7	751.38	608.41	654.31	968.07	1051.4	703.13	834.11	471.22	250.44	179.27	163.07	233.76	327.05	591.7	477.03	313.85	574.74
9	274.29	445.92	655.14	453.62	776.02	1058.8	937.64	886.2	931.29	1208.9	1102.7	568.78	384.84	41.539	396.12	505.83	509.62	403.54	486.09	272.87
10	132.08	718.5	532.18	649.03	460	729.77	979.72	1071.4	898.27	1067.1	1054.4	991.17	606.36	203.77	435.68	454.41	935.88	557.04	405.56	232.62
11	271.29	584.96	839.62	643.58	832.29	1498.8	934.81	900.42	915.53	602.45	513.46	646.98	299.42	65.185	643.34	371.26	255.14	260.1	163.58	576.5
12	336.01	192.2	209.88	554.44	531.52	454.01	1489.6	1405	1411	1012.6	483.77	160.75	307.31	67.96	131.94	413.79	255.35	414.34	364.36	78.09
13	133.77	197.28	1214.4	870.41	378.16	991.76	951.02	770.66	1029.7	938.68	556.47	278.7	116.58	451.07	151.33	202.93	443.8	177.15	308.14	354.56
14	574.68	453.03	127.11	603.59	389.37	632.35	237.38	557.84	874.91	666.23	110.41	54.033	270.28	542.64	352.25	292.09	440.2	484.59	344.65	317.54
15	265.09	306.41	317.04	486.27	522.85	1053.4	993.49	838.7	604.45	498.38	113.01	179.08	202.6	610.05	379.77	459.46	409.16	320.09	159.91	130.79
16	194.1	368.45	498.29	346.81	488.97	568.09	447.03	1201.6	909.03	352.81	211.25	525.5	462.22	400.2	313.37	342.99	653.45	188.69	180.01	437.99
17	583.74	537.9	512.48	524.01	222.54	645.73	723.21	641.97	310.18	173.17	151.22	216.06	354.87	181.03	54.745	499.67	348.63	520.59	71.026	287.64
18	594.32	629.75	761.66	549.02	548.69	530.75	600.22	246.58	138.54	335.51	185.21	289.96	698.51	258.94	402.84	350.98	329.6	536.23	169.94	241.56
19	695.17	303.61	476.17	755.52	944.55	518.05	726.19	557.93	451.95	452.8	676.84	541.81	687.09	174.87	147.61	508.34	239.3	351.68	487.13	408.44

Note These data were already multiplied by 1000000.000000.

ตารางแสดงแอมพลิจูดของสถานะการเมื่อใช้สเปกตรัม 5 ไวลท์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า
 ไม่สามารถใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามเผยแพร่แสดงเนื้อหา และต้องยึดโยงถึงเจ้าของเอกสารทุกแห่งที่มีการใช้

Plane 0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	
0	347.66	647.25	529.74	472.08	504.88	216.79	148.9	174.76	190.84	451.15	494.93	383.11	167.21	55.056	280.84	239.24	333.61	265.87	301.11	222.79
1	745.95	604.78	531.94	266.54	550.93	407	425.85	410.77	380.04	483.54	589.52	103.34	384.72	369.12	390.9	339.61	251.68	536.02	579.6	166.07
2	493.79	648.71	345.39	186.85	706.11	541.21	359.52	442.64	438.63	625.82	476.58	318.33	234.66	287.76	371.81	539.27	326.59	553.55	342.73	357.72
3	784.64	261.05	389.01	597.92	572.38	582.75	779.69	387.74	673.35	629.54	199.34	180.59	271.54	633.6	547.47	283.45	603.65	459.45	320.69	57.025
4	500.74	468.19	387.06	459.73	463.23	881.49	979.07	557.51	191.93	320.46	281.02	154.08	348.21	464.8	597	174.83	535.61	58.047	77.43	342.37
5	329.6	695.32	723.45	521.36	1150.3	756.08	680	772.06	750.39	725.21	472.81	250.71	86.255	502.35	574.29	233.71	497.58	156.64	401.84	485.08
6	382.94	244.42	367.24	617.68	715.94	1190.6	1228.9	973.22	1032	1133.2	1264.6	1470.3	639.65	352.31	869.36	888.32	499.73	294.13	215.63	385.51
7	287.32	405.65	671.33	1277.1	1196.9	1216.2	961.21	669.21	835.21	773.76	588.27	150.59	187.17	331.51	621.59	242.44	304.92	354.75	280.32	300.41
8	520.38	851.66	676.24	907.48	1468.5	1151.6	974.54	880.48	419.62	219.72	126.35	132.18	181.7	267.3	582.9	434.2	658.39	350.61	293.61	189.4
9	779.21	735.91	1155.7	1121.3	912.31	658.09	729.11	1086.3	1114	438.45	391.17	285.16	410.96	337.47	396.94	778.44	708.61	585.02	315.2	100.81
10	438.6	412.7	771.37	671.83	731.35	494.15	506.1	1111.2	939.13	841.44	689.3	283.63	416.37	444.46	790.66	763.98	460.03	394.85	369.76	197.29
11	727.56	915.2	599.06	1222.7	1209.7	741.12	895.02	952.36	829.43	473.69	400.19	389.2	490.19	305.56	259.94	279.32	223.87	406.53	125.42	107.73
12	336.1	336.14	582.28	621.97	587.28	1272.6	1308.9	1094.8	824	40.557	121.08	175.47	145.44	400.48	326.81	327.97	714.24	365.63	148.65	531.58
13	247.97	1129	528.13	564.25	1346.1	920.71	867.52	1043.7	903.34	127.24	223.03	739.78	647.84	246.39	398.43	410.81	165.01	286.91	587.55	310.88
14	521.75	305.21	498.62	293.05	533.91	211.58	256.12	344.22	555.37	88.055	208.73	252.14	565.71	383.3	422.78	469.8	695.14	307.6	281.9	89.21
15	166.84	106.76	522.49	710.01	989.38	857	1053	636.61	472.71	182.54	340.54	190.24	476.29	465.69	478.09	330.91	291.29	426.25	225.25	112.35
16	196.99	190.59	150.82	452.73	466.29	362.31	1197.3	1016.9	534.3	389.02	294.61	423.1	665.96	625.28	451.73	550.12	460.34	415.59	488.94	382.45
17	618.61	759.84	558.97	532.21	977.64	622.06	602.75	192.5	288.95	428.48	405.71	560.37	146.52	197.63	394.94	494.27	660.6	404.27	213.21	642.12
18	330.18	692.1	220.5	375.45	757.6	717.58	817.24	316.4	463.26	715.4	440.24	686.53	761.9	65.222	670.88	612.68	513.82	254.3	170.1	344.71
19	50.643	294.57	775.07	486.45	874.28	1172.5	319.48	701.55	805.05	782.1	710.4	139.24	225.72	776.65	483.89	130.74	583.77	405.97	527.23	592.2

ตารางแสดงแอมพลิจูดของสาขาภาคเหนือ โมดัลฟอร์ไรท์ 10 โวลท์

Plane 0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
0	518.05	492.07	483.41	464.98	394.18	274.82	376.76	171.92	266.15	512.42	236.51	74.603	183.43	512.45	229.2	175.09	189.33	163.68	299.66
1	388.18	351.64	479.91	192.89	366.24	301.17	468.98	574.74	498.62	102.28	175.51	299.02	380.87	457.36	310.99	486.24	520.02	284.55	258.31
2	663.97	313.04	328.48	335.92	508.04	461.13	330.27	904.35	812.77	278.22	142.37	110.54	331.52	265.78	324.47	484.6	464.96	420.24	423.03
3	650.26	378.76	601.41	833.66	844.99	739.37	778.73	675.56	253.84	221.58	223.93	430.12	655.2	284.88	498.83	384.54	170.28	270.26	473.31
4	689.54	671.77	363.29	499.99	939.04	1021.4	753.76	428.44	234.28	208.42	174.67	92.957	234.27	396.04	121.72	160.65	249.09	107.65	262.11
5	207.44	558.14	603.8	406.34	724.29	515.07	600.28	525.12	638.84	548.78	531.76	126.52	275.92	523.63	437.41	260.11	134.52	424.94	320.75
6	266.25	348.08	373.29	728.43	1200.4	1229	945.3	1254.8	1393	1579.2	1177.6	870.85	161.48	691.5	507.56	255.96	122.19	85.842	410.71
7	358.61	738.2	990.63	1303.8	987.65	1184.3	707.89	928.16	970.57	682.83	205.68	47.067	375.63	669.75	384.84	134.63	160.87	260.43	253.84
8	416.34	651.42	736.12	824.75	1182.4	1051.2	763.77	29.062	259.47	174.71	288.99	60.705	273.21	519.66	654.76	663.61	506.4	300.05	371.81
9	631.57	893.65	897.2	1326.6	1259.1	752.99	935.79	933.74	419.87	439.38	395.33	453.11	406.52	673.8	577.21	572.53	677.76	435.08	353.05
10	445.23	555.43	873.24	720.38	610.23	573.46	1303.1	1478.5	986.87	609.67	266.69	345.29	843.85	1099.1	780.49	488.28	508.61	644.12	181.01
11	362.49	803.8	563.8	1242.2	1256.1	454.02	899.11	807.61	773.49	159.24	553.79	685.48	271.75	142.68	208.81	176.18	533.97	127	275.78
12	270.65	502.02	317.83	696.72	852.32	1530.4	951.92	548.12	31.885	119.92	244.17	300.27	150.99	280.8	455.59	665.87	419.71	283.29	294.25
13	687.99	714.33	687	1638.1	1595.2	1323.2	933.14	877.17	400.05	323.53	655.8	479.44	421.2	639.41	242.82	301.96	203.95	255.78	292.14
14	141.24	319.85	323.25	311.91	443.31	367.22	695.59	676.87	433.68	437.23	511.14	601.26	462.32	481.96	956.71	570.33	476.26	598.25	457.76
15	311.24	758.95	643.16	655.41	563.71	396.09	691.32	372.68	286.49	118.69	224.66	381.17	252.11	136.4	434.52	215.25	125.62	204.3	535.49
16	479.27	379.31	581.8	543.56	461.1	793.99	655.8	321.98	311.18	250.89	272.72	438.12	472.58	662.62	324.17	200.78	238.88	410.94	598.43
17	424.88	486.22	367.58	367.46	695.08	848.92	274.84	206.94	333.5	424.31	664.29	229.98	174.03	508.61	505.24	444.14	452.18	435.96	171.32
18	683.99	556.98	204.38	568.69	421.81	687.72	673.15	609.55	884.98	837.45	902.71	280.83	347.03	723.57	528.16	568.72	209.36	544.07	410.88
19	673.92	443.62	399.11	511.32	1280.9	649.75	999.21	485.69	364.39	700.71	206.31	341.76	512.45	70.337	289.34	113.91	314	121.57	438.76

ตารางแสดงสมบัติของสายอากาศเมื่อไรท์ 15 โวลท์

เป็นการนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาท่านนี้ ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์อื่นใด
 ไม่ว่าการนี้ใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

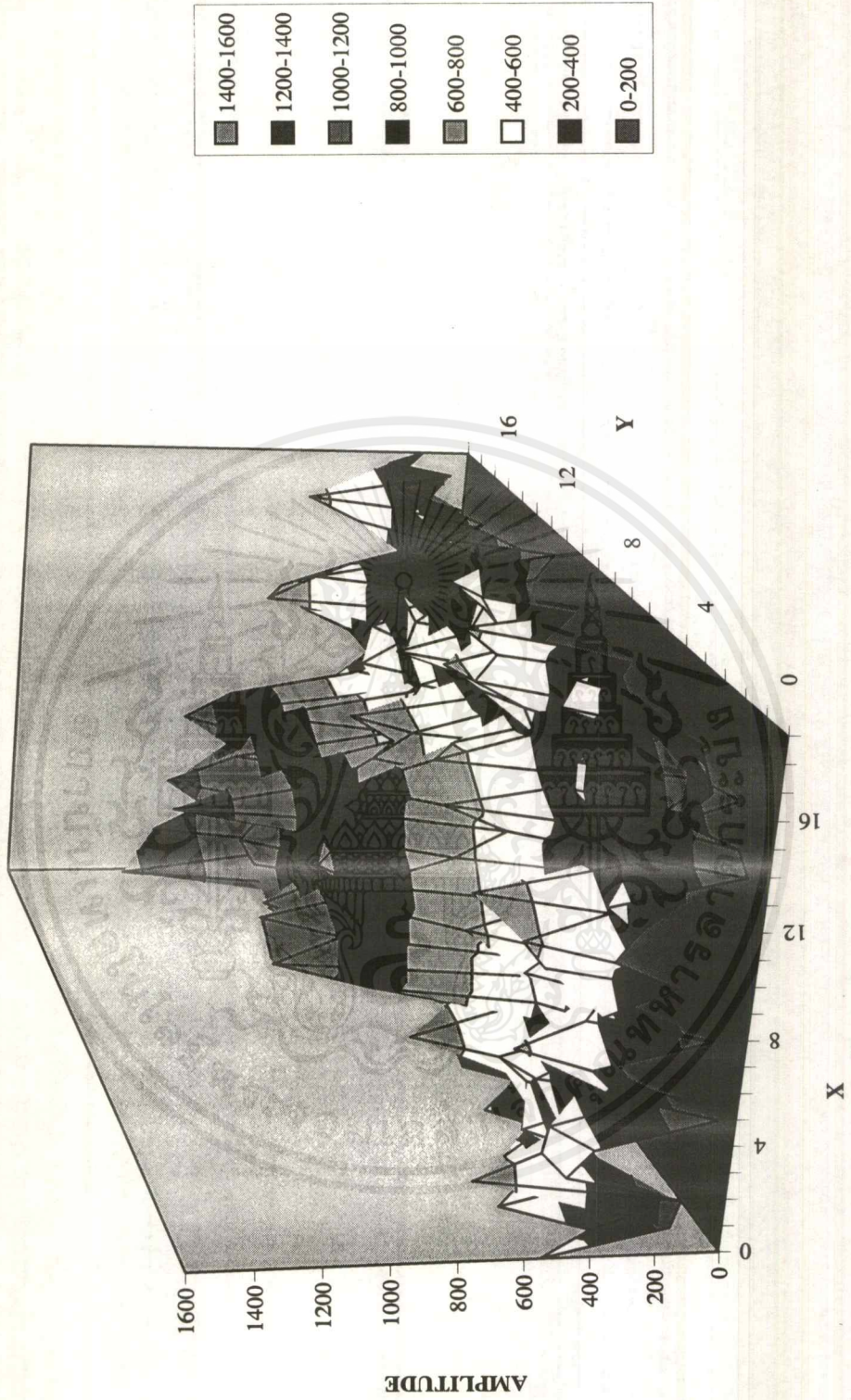
Plane 0	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
0	328.36	339.18	275.9	140.3	317.45	302.81	275.02	438.09	261.78	538.32	330.69	258.48	376.08	390.69	413.61	535.1	589.49	130.12	139.01	216.23
1	119.89	232.83	352.71	314.38	37.16	402.75	544.43	371.14	697.88	475.21	477.25	496.8	661.61	618.49	152.08	274.03	601.8	183.55	222.69	210.69
2	347.9	608.21	217.18	227.28	194.49	265.84	358.63	232.76	637.47	351.67	399.83	321.61	351.13	192.42	288.65	359.01	384.11	385.4	92.473	123.26
3	172.5	424.91	396.74	425.98	128.39	352.68	371.35	307.35	581.62	259.92	110.98	38.585	495.28	456.53	335.51	557.12	342.21	226.69	233.99	98.426
4	191.49	350.89	472.83	385.43	171.07	467.69	99.022	432.51	672.1	676.51	599	413.98	470.76	212.54	26.715	348.91	120.85	102.57	123.01	591.96
5	179.95	405.48	773.01	699.85	312	192.02	97.778	471.07	769.41	645.04	308.32	347.41	422.94	320.58	531.85	294.25	391.77	180.39	282.48	201.49
6	191.46	460.62	292.03	549.73	568.75	311.75	348.3	401.68	267.6	800.64	440.2	682.23	250.62	469.8	731.89	567.79	813.39	629.54	517.22	200.34
7	506.07	410.26	767.05	135.07	136.51	109.94	156.68	472.28	464.42	553.91	715.94	540.85	366.63	336.8	767.35	229.94	361.95	85.428	117	136.96
8	445.11	872.25	420.48	416.61	594.53	678.87	363.54	488.18	708.31	624.63	330.12	855.24	426.86	567.14	639.77	523.33	358.15	198.72	399.56	606.24
9	719.1	449.93	178.9	222.43	367.3	449.64	549.79	824.87	732.39	906.71	663.85	443.67	603.05	429.93	694.9	563.98	569.19	371.89	147.86	200.83
10	637.32	545.86	538.02	650.02	281.59	76.64	515.58	531.17	1082.8	880.24	859.32	806.21	784.78	791.4	669.24	782.07	679.22	653.89	580.91	277
11	430.66	439.05	48.185	543.71	734.27	254.78	365.36	219.31	366.81	337.14	109.88	430.21	385.51	412.02	565.23	260.55	277.06	338.81	253.63	79.658
12	417.9	297.23	506.07	399.93	130.12	531.46	459.52	479.53	371.07	114.66	124.43	300.62	195.15	416.71	360.21	269.13	255.88	309.07	324.92	181.07
13	577.24	932.34	860.72	367.98	887.69	764.94	796.59	1152.6	933.97	304.4	83.566	377.77	415.95	343.4	427.92	437.02	505.92	388.71	554.74	175.6
14	744.67	457.63	291.71	224.41	218.86	176.01	356.44	346.32	273.23	361.99	94.078	209.07	533.49	442.09	299.57	734.75	419.45	542.7	594.62	437.3
15	752.24	797.69	230.89	109.85	384.33	577.33	569.05	434.67	324.7	383.18	264.05	238.52	260.92	33.749	65.949	389.96	122.82	272.51	297.55	292.55
16	238.52	244.36	514.39	487.37	372.71	794.59	947.89	671.45	133.93	593.27	519.72	1366.9	722.11	229.08	400.72	334.38	82.359	173.76	439.35	417.1
17	210.05	298.92	262.07	892.61	974.66	893.68	689.48	104.95	113.05	137.63	594.08	433.45	326.63	282.72	380.4	551.91	390.04	319.76	26.596	278.32
18	657.71	792.29	179.63	120.89	373.77	234.41	915.11	748.6	804.75	214.6	247.48	361.34	406.7	414.13	702.41	485.45	372.99	401.74	57.565	149.9
19	629.1	173.97	450.66	579.57	87.563	416.11	766.37	691.56	479.86	774.56	909.66	1445.8	1262	1099.3	207.51	162.3	634.64	836.07	397.4	247.84

ตารางแสดงแนวโน้มของสถานะอากาศเมื่อใช้เทอร์โมมิเตอร์ 20 ไกซ์

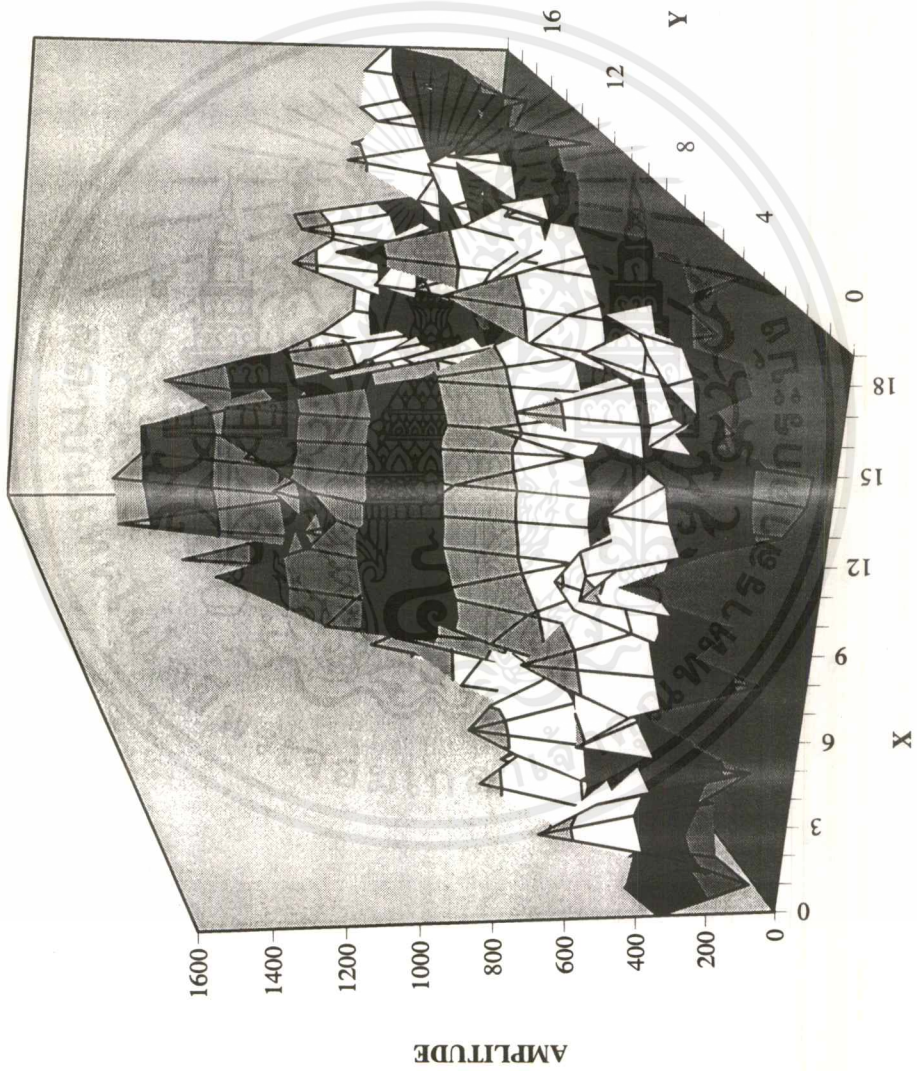
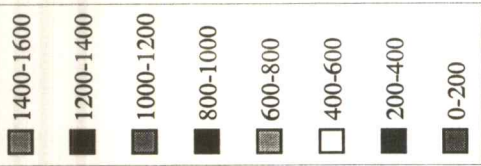
Plane 0	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
0	44.92	14.014	77.147	35.144	131.99	66.705	21.937	6.7251	111.54	41.502	75.124	57.636	29.954	51.541	12.46	48.496	60.38	17.734	9.6885	25.556
1	68.113	18.593	18.64	33.343	143.65	123.93	73.455	35.567	63.576	52.573	111.07	97.346	30.886	52.793	34.185	38.382	83.674	57.921	29.655	30.693
2	55.514	56.766	39.16	65.073	80.302	89.78	88.491	33.865	66.169	4.3698	72.211	65.323	59.703	23.651	37.272	77.594	79.304	55.661	33.93	12.426
3	15.834	41.615	31.965	69.831	57.161	66.109	48.634	31.259	29.737	65.107	14.164	38.624	38.628	84.702	42.945	72.96	78.686	47.52	55.742	18.876
4	24.798	25.366	49.535	73.072	36.998	93.862	19.134	85.607	110.21	103.86	86.952	68.169	48.883	77.069	30.639	69.637	31.561	30.201	55.546	79.487
5	46.713	54.739	33.12	142.15	68.527	29.854	20.668	99.748	151.89	178.05	88.494	84.475	68.031	30.83	50.221	72.334	56.954	40.786	41.967	71.269
6	31.423	70.33	89.388	82.646	109.7	18.856	27.259	52.75	117.86	167.79	145.35	103.41	54.678	49.137	138.1	163.66	109.52	79.457	26.036	43.817
7	38.102	55.293	76.916	68.117	28.703	1.8527	14.991	61.646	96.206	108.48	104.71	96.124	97.077	63.162	75.217	51.504	65.986	44.024	11.601	21.675
8	83.983	49.211	70.151	95.226	75.005	78.402	57.347	81.044	116.59	132.02	92.864	38.836	33.572	109.05	77.572	81.815	37.415	36.916	88.748	42.757
9	94.581	82.72	70.635	23.572	56.973	38.711	68.765	88.93	93.814	128.85	115.78	56.677	25.8	30.184	65.513	103.51	72.792	57.096	34.845	2.9748
10	114.98	72.308	23.792	43.983	25.961	22.408	81.122	92.249	145.62	56.8	96.817	56.218	100.32	75.746	137.37	113.57	51.394	77.602	40.382	80.779
11	131.34	65.055	11.951	12.49	78.354	28.251	61.791	68.925	62.808	40.041	38.115	65.967	87.243	73.783	41.289	57.489	10.361	29.82	25.935	8.9258
12	43.344	7.9577	28.61	33.814	88.342	85.279	83.443	62.227	76.808	32.179	17.966	42.273	57.518	52.685	26.404	69.197	42.055	43.506	63.278	29.583
13	56.218	67.793	88.949	15.452	104.4	134.32	130.85	144.53	122.68	59.403	6.733	50.556	53.62	83.502	77.203	83.424	87.794	52.506	74.938	50.932
14	95.565	91.083	82.601	11.624	35.297	85.235	16.583	38.6	9.1968	17.109	41.15	4.3765	31.898	51.042	26.954	111.51	52.964	58.964	27.912	18.635
15	87.25	137.65	104.68	39.835	26.474	123.89	44.525	28.05	51.463	61.717	65.386	14.561	26.16	19.394	24.696	43.528	23.293	29.716	44.094	65.956
16	65.986	96.321	83.67	97.256	77.233	142.6	92.391	65.863	7.6452	33.96	119.32	68.56	43.305	54.035	63.773	43.45	55.855	51.623	66.988	56.125
17	78.227	51.899	37.074	47.434	69.89	113.86	81.61	95.271	31.885	24.427	23.508	31.38	50.472	53.64	35.509	35.53	96.034	47.918	30.598	14.178
18	114.64	11.792	34.714	48.069	74.804	113	148.97	133.07	71.153	56.716	76.387	67.376	92.905	57.943	61.974	45.324	53.236	46.406	42.994	29.412
19	70.248	48.067	88.569	55.317	21.207	64.053	162.73	102.15	32.322	41.323	85.548	113.15	118.52	114.1	54.155	57.617	52.305	63.367	18.271	32.39

ตารางแสดงแอมพลิจูดของสายอากาศเมื่อโมดูลเฟสอาร์ที 25 โวลท์

กราฟแสดงแอมพลิจูดของสายอากาศเมื่อยังไม่เปิดเฟอร์ไรต์ (0 Gauss)

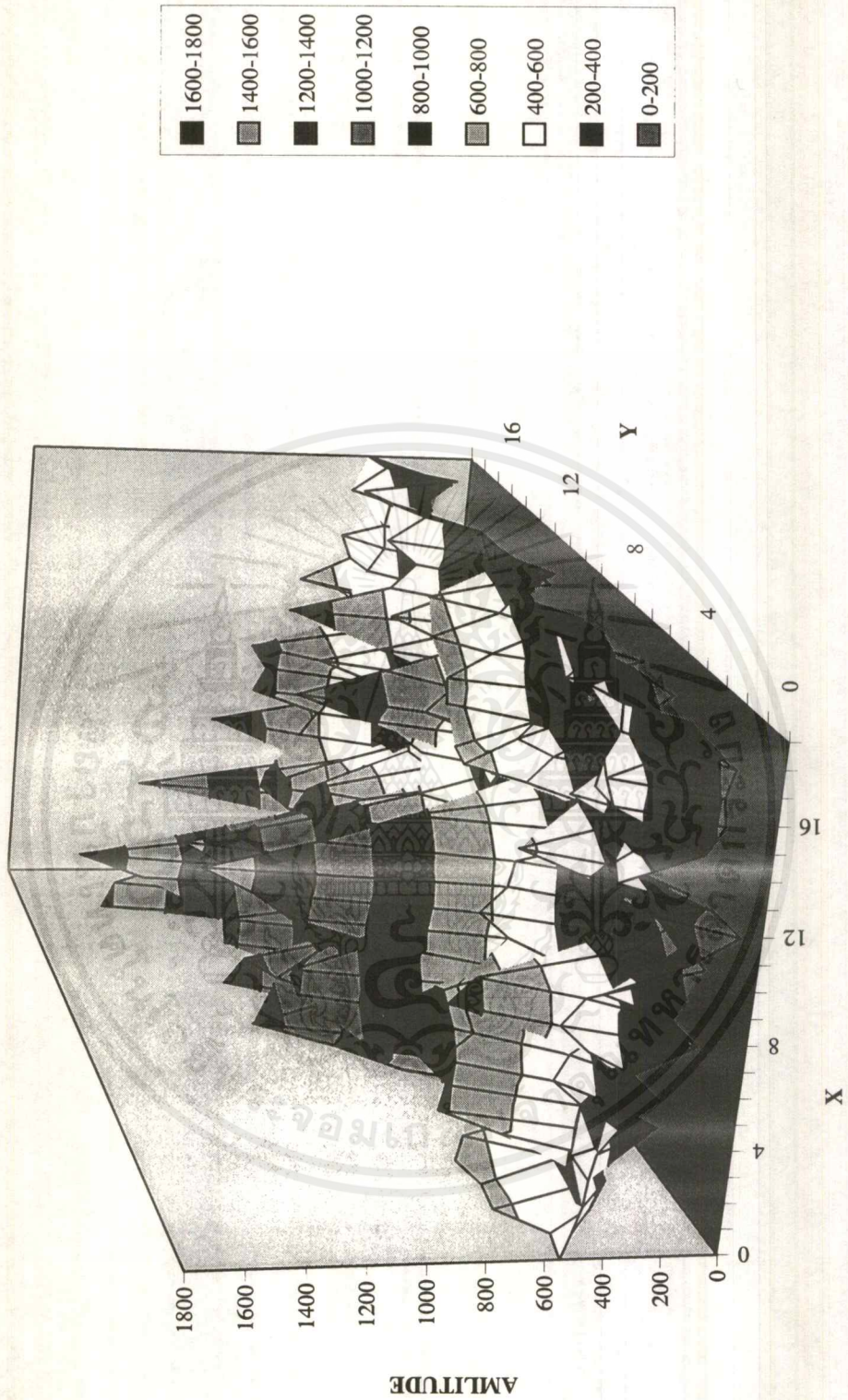


กราฟแสดงแอมพลิจูดของสายอากาศเมื่อใช้เฟรเอนท์ 5 โวลท์ (145 Gauss)



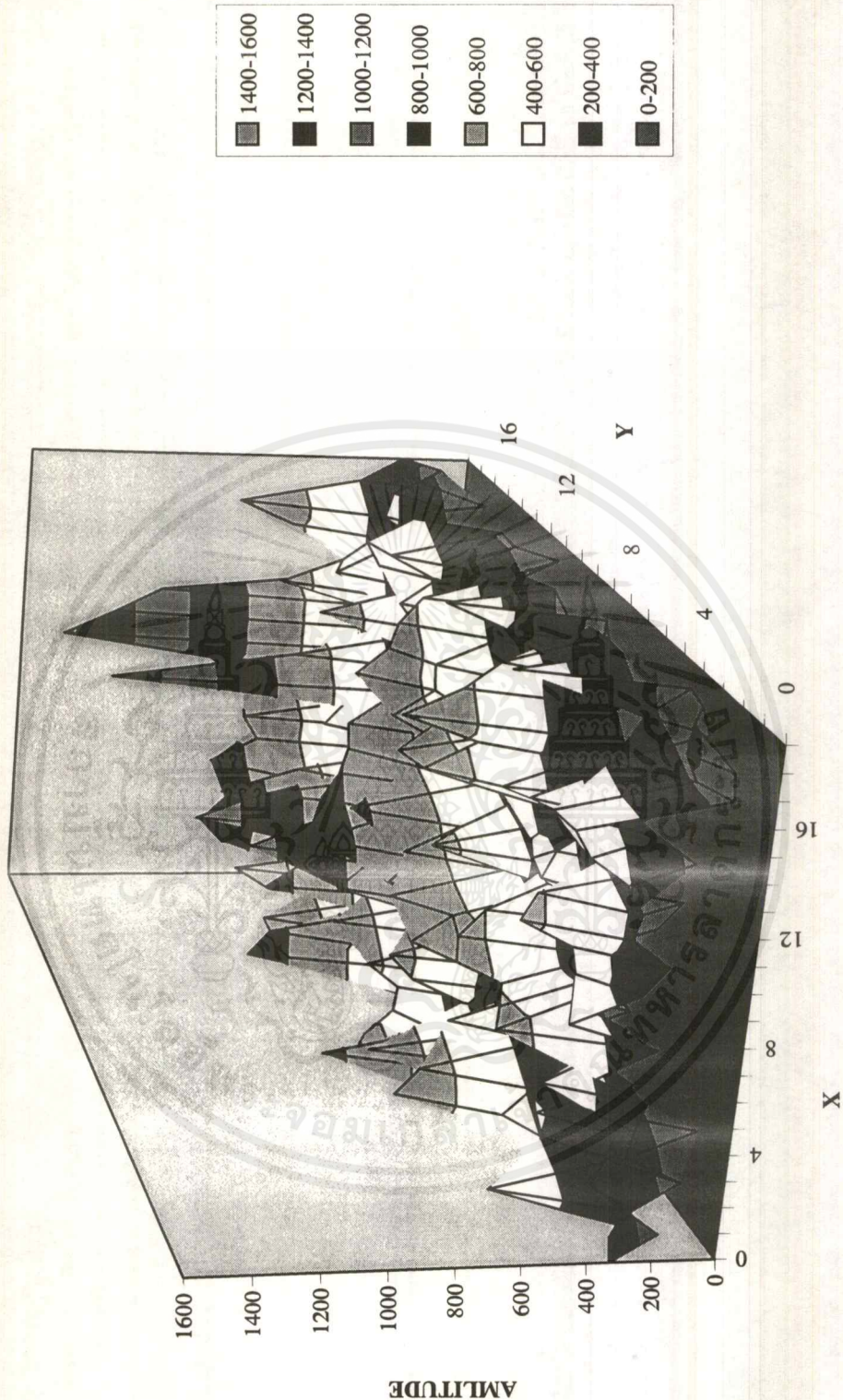
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ใดๆ การแก้ไขใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งไม่มีให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีกรณีไปใช้

กราฟแสดงแอมพลิจูดของสายอากาศเมื่อโบล์สเตอร์ไว้ที่ 15 โวลท์ (442 Gauss)



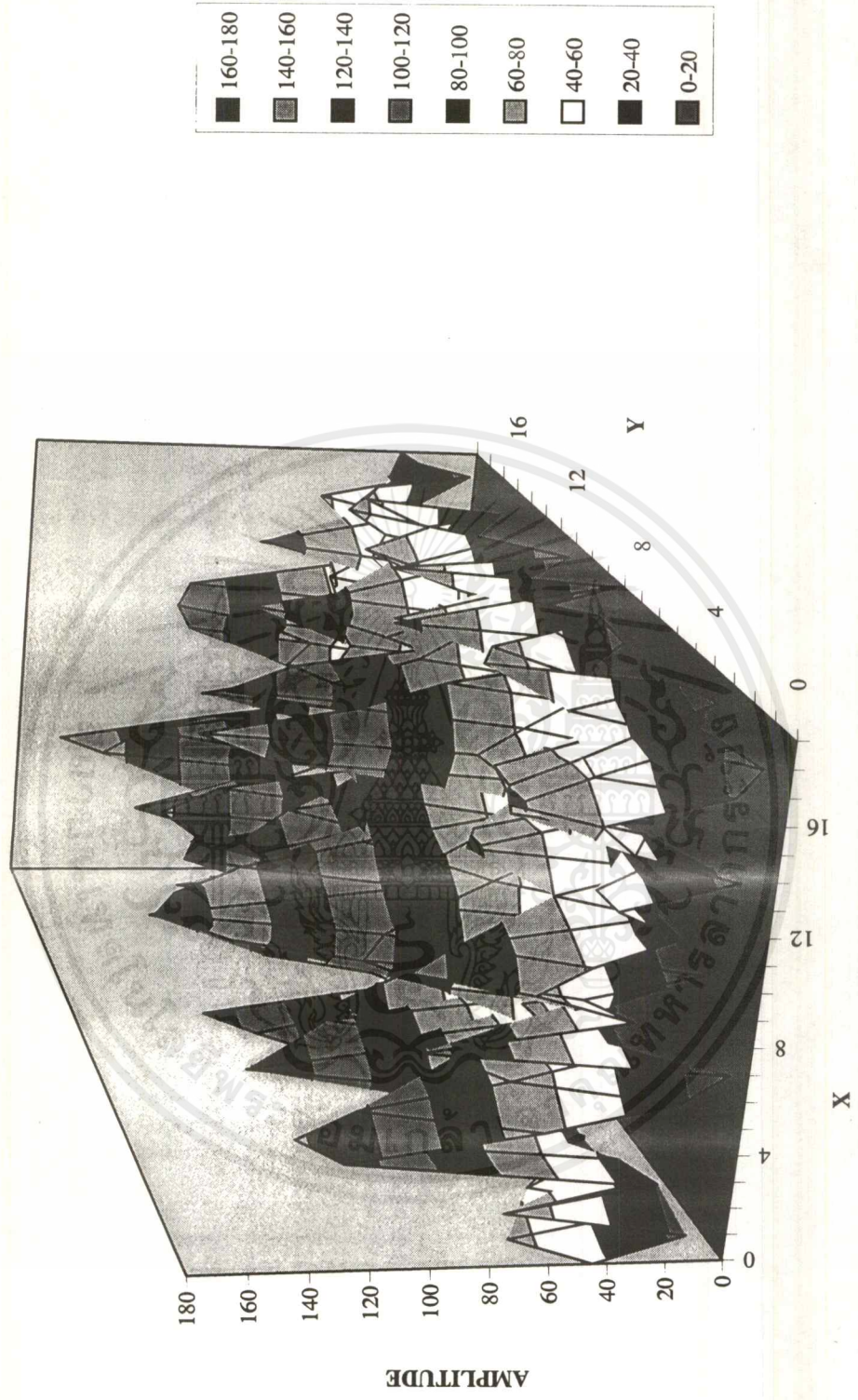
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่มีการแก้ไขใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งถ้าไม่มีให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีกรนำไปใช้

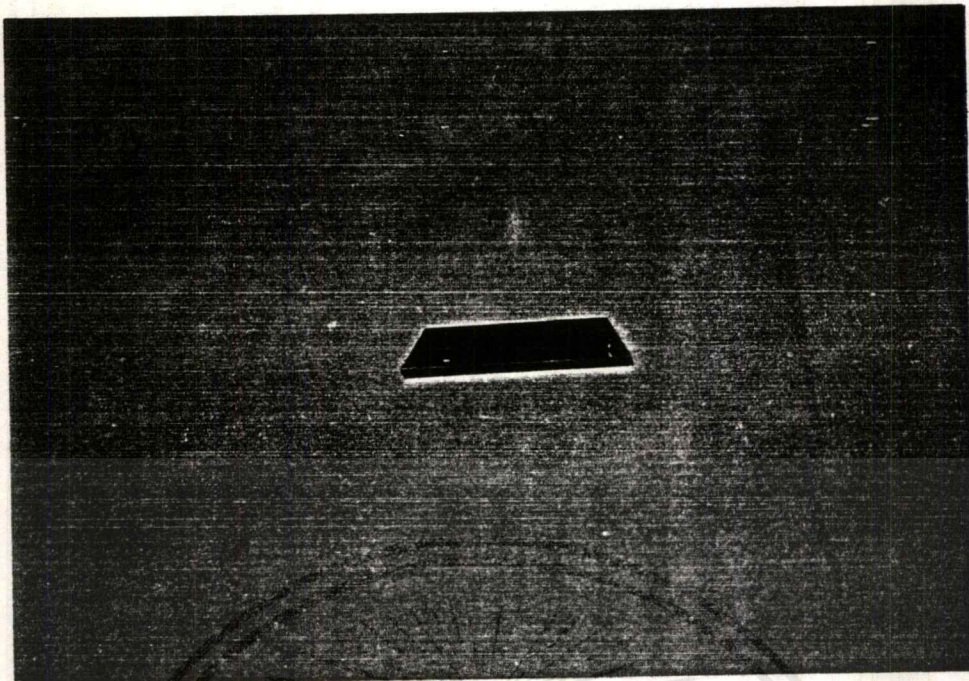
กราฟแสดงแอมพลิจูดของสายอากาศเมื่อใช้อัตรา 20 โวลต์ (570 Gauss)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
แม้ว่าการแก้ไขใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กราฟแสดงแอมพลิจูดของสายอากาศเมื่อใช้โวลต์ 25 (680 Gauss)





รูปที่ 4.1 ชั้นเฟอร์ไรท์



รูปที่ 4.2 สายอากาศและอุปกรณ์กำเนิดสนามแม่เหล็ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5 สรุปและวิจารณ์

การปรับแพทเทิร์นของเฟสสลิตอาร์เรย์แบบทรงกลม สามารถทำได้จริง โดยปรับได้ถึง 360 องศา ในที่นี่ทำเพียงแค่สลิตเดียว แต่ถ้าต้องการควบคุมทิศทางของเฟสจะต้องทำแบบนี้ให้ครบทุกสลิต และทำการปรับเฟสของแต่ละสลิตให้ได้ตำแหน่งสนามไฟฟ้าตามที่ต้องการ ซึ่งในการทำมากกว่า 1 สลิตจะมีอุปสรรคในการปรับให้เป็นไปตามต้องการดังเช่น อุปกรณ์สร้างสนามแม่เหล็กแต่ละอันให้ค่าสนามแม่เหล็กไม่เท่ากัน เฟสของคลื่นที่ออกจากสายอากาศในการคาลิเบรตแต่ละครั้งไม่เท่ากัน ตำแหน่งโพรบในการทำการวัดแต่ละครั้งไม่เท่ากัน เป็นต้น



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

1. Constantine A. Balanis, "Advance Engineering Electromagnetics", John Wiley & Son, 1989.
2. H.L. Glass, "Ferrite Films for Microwave and Milimeter Wave Devices", Proc IEEE, Vol 76, February

1988, pp 151-158



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้