สารบัญ

	หน้า
ใบรับรองโครงงานวิจัย	ก
บทคัดย่อ	ข
Abstract	ค
กิตติกรรมประกาศ	ง
สารบัญ	จ
สารบัญตาราง	ช
สารบัญรูปภาพ	ซ
ลำดับสัญลักษณ์	ฎ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ที่มาและความสำคัญของโครงงาน	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน	2
1.3 ขอบข่ายของโครงงาน	2
1.4 ขั้นตอนการดำเนินงาน	3
1.5 ผลที่คาดว่าจะได้รับ	4
1.6 งบประมาณที่ใช้	4
บทที่ 2 ทฤษฎีวิเคราะห์และหลักการจัดรูปฟังก์ชันวิเคราะห์	5
2.1 วิธีไฟไนต์อีลีเมนต์ (Finit Element Method , FEM)	5
2.2 สนามแม่เหล็ก 3 องค์ประกอบ	9
2.3 ท่อนำคลื่น (Wave guide)	9
2.4 โปรแกรม Matlab	11
2.5 นิพจน์แปรผัน(Variational Expression)	11
2.6 เงื่อนไขขอบเขตและการพิจารณาฟังก์ชัน	13
2.7 การจัดรูปสมการการวิเคราะห์ท่อนำคลื่น	13

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 3 ขั้นตอนการวิเคราะห์ท่อนำคลื่น	19
บทที่ 4 ผลการทดลองและผลการวิเคราะห์	20
4.1ท่อนำคลื่นที่บรรจุด้วยไดอิเล็กตริก	20
4.2ท่อนำแสงแบบฝังในซับสเตรท	26
บทที่ 5 สรุปและวิจารณ์ผลการทดลองและข้อเสนอแนะ	45
5.1ท่อนำแสงแบบแอนไอโซทรอปิกไฟฟ้า	45
5.2ท่อนำคลื่นแบบไอโซทรอปิกไม่เอกพันธ์	45
5.3 แนวทางการพัฒนาและการปรับปรุงแก้ไข	45
บรรณานุกรม	46
ภาคผนวก	47
ภาคผนวก ก	47
ภาคผนวก ข	51
ภาคผนวก ค	53
ภาคผนวก ง	56
ภาคผนวก จ	59
ประวัติผู้ทำโครงงาน	79

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 1.1 ขั้นตอนการดำเนินงาน 1

ตารางที่ 4.1 คุณลักษณะของผลเฉลยปลอมเทียม S_4 และโมดมูลฐาน (LSE_{10})
ที่คำนวณได้จากวิธีไฟไนต์อีลีเมนต์ที่ $\beta a = 1.0$
ตำแหน่ง $x = 1.125a, y = 0.375a$ ของท่อนำคลื่นบรรจุด้วยไดอิเล็กตริก
เมื่อทำการแบ่งอีลีเมนต์ดังแสดงในรูป 4.2 โดยที่สัมประสิทธิ์พื้นอลตีเท่ากับ 23

ตารางที่ 4.2 ตัวอย่างของค่า β/ k_0 ที่ $k_0 a = 3.0$ ที่คำนวณได้จาก
วิธีไฟไนต์อีลีเมนต์และวิธีเชิงวิเคราะห์รวมขนาดความผิดพลาด
เมื่อทำการแบ่งอีลีเมนต์ดังแสดงในรูป 2.2 โดยที่
สัมประสิทธิ์พื้นอลตีเท่ากับ1 และ1/ 0.75 25

สารบัญรูปภาพ

หน้า

รูปที่ 2.1 อีลีเมนต์ย่อยสามเหลี่ยม 5
รูปที่ 2.2 แสดงส่วนประกอบของท่อนำคลื่น 10
รูปที่ 2.3 แสดงท่อนำคลื่นที่บรรจุด้วยไดอิเล็กตริก 10
รูปที่ 2.4 แสดงท่อนำคลื่นที่มีภาคตัดขวางรูปใดๆ และมีความสม่ำเสมอในแกน z 12
รูปที่ 4.1 ภาคตัดขวางของท่อนำคลื่นบรรจุด้วยไดอิเล็กตริก 19
รูปที่ 4.2 การแบ่งอีลีเมนต์บนภาคตัดขวางของท่อนำคลื่นบรรจุด้วย
ไดอิเล็กตริกออกเป็น 256 อีลีเมนต์ 153 โนด 19
รูปที่ 4.3 กราฟดิสเพอร์ชันที่ได้จากวิธีไฟไนต์อีลีเมนต์ที่ใช้สนามแม่เหล็ก
3 องค์ประกอบของท่อนำคลื่นบรรจุด้วยไดอิเล็กตริก
เมื่อปราศจากพจน์พีนอลตี (p=0) 20
รูปที่ 4.4 กราฟดิสเพอร์ชันที่ได้จากวิธีไฟไนต์อีลีเมนต์ที่ใช้สนามแม่เหล็ก
3 องค์ประกอบของท่อนำคลื่นบรรจุด้วยไดอิเล็กตริก
เมื่อ p=1 เทียบกับผลเฉลยแม่นตรงที่ได้จากวิธีเชิงวิเคราะห์ 21
รูปที่4.5ภาคตัดขวางท่อนำแสงแบบฝังในซับสเตรท 26
รูปที่ 4.6 การแบ่งอีลีเมนต์ภาคตัดขวางท่อนำคลื่นแบบที่ 1
ออกเป็น 624 อีลีเมนต์ 351 โนด 26
รูปที่ 4.7 การแบ่งอีลีเมนต์ภาคตัดขวางท่อนำคลื่นแบบที่ 2
ออกเป็น 624 อีลีเมนต์ 351 27
รูปที่ 4.8 กราฟดิสเพอร์ชันที่ได้จากวิธีไฟไนต์อีลีเมนต์ที่ใช้
สนามแม่เหล็ก 3 องค์ประกอบ เมื่อ $p = 1/2.289$ และที่ได้จาก
วิธีไฟไนต์อีลีเมนต์ที่ใช้สนามแม่เหล็กตามขวาง 2 องค์ประกอบ
ของท่อนำแสงแบบฝังในซับสเตรทที่มีแกนและซับสเตรทเป็นเนกาทิฟยูนิแอกเซียล
เมื่อใช้(ก) การแบ่งอีลีเมนต์แบบที่ 1 (ข) การแบ่งอีลีเมนต์แบบที่ 2 29

สารบัญรูปภาพ(ต่อ)

หน้า

รูปที่ 4.9 แบบรูปของสนามแม่เหล็กที่ $k_0t = 16.0$ ใน โมด E_{11}^{y}
คำนวณจากวิธีไฟไนต์อีลีเมนต์ที่ใช้สนามแม่เหล็ก 3 องค์ประกอบ
เมื่อ $p = 1/2.289$ ของท่อนำแสงแบบฝังในซับสเตรทที่มี
แกนและซับสเตรทเป็นเนกาทิฟยูนิแอกเซียลโดยใช้การแบ่งอีลีเมนต์แบบที่ 1 31
รูปที่ 4.10 แบบรูป 3 มิติของสนามแม่เหล็กที่ $k_0t = 16.0$ ใน โมด E_{11}^{y}
คำนวณจากวิธีไฟไนต์อีลีเมนต์ที่ใช้สนามแม่เหล็ก 3 องค์ประกอบ
เมื่อ $p = 1/2.289$ ของท่อนำแสงแบบฝังในซับสเตรทที่มี
แกนและซับสเตรทเป็นเนกาทิฟยูนิแอกเซียลโดยใช้การแบ่งอีลีเมนต์แบบที่ 1 32
รูปที่ 4.11 แบบรูปของสนามแม่เหล็กที่ $k_0t = 16.0$ ใน โมด E_{21}^{y}
คำนวณจากวิธีไฟไนต์อีลีเมนต์ที่ใช้สนามแม่เหล็ก 3 องค์ประกอบ
เมื่อ $p = 1/2.289$ ของท่อนำแสงแบบฝังในซับสเตรทที่มี
แกนและซับสเตรทเป็นเนกาทิฟยูนิแอกเซียลโดยใช้การแบ่งอีลีเมนต์แบบที่ 1 33
รูปที่ 4.12 แบบรูป 3 มิติของสนามแม่เหล็กที่ $k_0t = 16.0$ ใน โมด E_{21}^{y}
คำนวณจากวิธีไฟไนต์อีลีเมนต์ที่ใช้สนามแม่เหล็ก 3 องค์ประกอบ
เมื่อ $p = 1/2.289$ ของท่อนำแสงแบบฝังในซับสเตรทที่มี
แกนและซับสเตรทเป็นเนกาทิฟยูนิแอกเซียลโดยใช้การแบ่งอีลีเมนต์แบบที่ 1 34
รูปที่ 4.13 แบบรูปของสนามแม่เหล็กที่ $k_0t = 16.0$ ใน) โมด E_{31}^{y} ที่คำนวณจาก
วิธีไฟไนต์อีลีเมนต์ที่ใช้สนามแม่เหล็ก 3 องค์ประกอบ เมื่อ $p = 1/2.289$
ของท่อนำแสงแบบฝังในซับสเตรทที่มีแกนและซับสเตรทเป็นเนกาทิฟยูนิแอกเซียล
โดยใช้การแบ่งอีลีเมนต์แบบที่ 1 35
รูป 4.14 แบบ รูป3 มิติของสนามแม่เหล็กที่ $k_0t = 16.0$ ใน โมด E_{31}^{y} ที่คำนวณจาก
วิธีไฟไนต์อีลีเมนต์ที่ใช้สนามแม่เหล็ก 3 องค์ประกอบ เมื่อ $p = 1/2.289$
ของท่อนำแสงแบบ ฝังในซับสเตรทที่มีแกนและซับสเตรทเป็น
เนกาทิฟยูนิแอกเซียลโดยใช้การแบ่งอีลีเมนต์แบบที่ 1 36

สารบัญรูปภาพ(ต่อ)

หน้า

รูป 4.15 กราฟดิสเพอร์ชันที่ได้จากวิธีไฟไนต์อีลีเมนต์ที่ใช้สนามแม่เหล็ก 3 องค์ประกอบ
เมื่อ $p = 1/2.289$ และที่ได้จากวิธีไฟไนต์อีลีเมนต์ที่ใช้
สนามแม่เหล็กตามขวาง 2 องค์ประกอบ ของท่อนำแสง
แบบฝังในซับสเตรทที่มีแกนแอนไอโซทรอปิกตามขวางเมื่อใช้
(ก) การแบ่งอีลีเมนต์แบบที่ 1 (ข) การแบ่งอีลีเมนต์แบบที่ 2 38

รูป 4.16 แบบรูปของสนามแม่เหล็กที่ $k_0 t = 16.0$ ใน โมด E_{11}^{y} ที่ คำนวณจาก
วิธีไฟไนต์อีลีเมนต์ที่ใช้สนามแม่เหล็ก 3 องค์ประกอบ เมื่อ $p = 1/2.289$
ของท่อนำแสงแบบฝังในซับสเตรทที่มีแกนเป็นแอนไอโซทรอปิกตามขวาง
และซับสเตรทเป็นเนกาทิฟยูนิแอกเซียล โดยใช้การแบ่งอีลีเมนต์แบบที่ 2 39

รูป 4.17 แบบรูป 3 มิติของสนามแม่เหล็กที่ $k_0 t = 16.0$ ในโมด E_{11}^{y} ที่ คำนวณจาก
วิธีไฟไนต์อีลีเมนต์ที่ใช้สนามแม่เหล็ก 3 องค์ประกอบ เมื่อ $p = 1/2.289$
ของท่อนำแสงแบบฝังในซับสเตรทที่มีแกนเป็นแอนไอโซทรอปิกตามขวาง
และซับสเตรทเป็นเนกาทิฟยูนิแอกเซียล โดยใช้การแบ่งอีลี เมนต์แบบที่ 2 40

รูป 4.18 แบบรูป ของสนามแม่เหล็กที่ $k_0 t = 16.0$ ใน โมด E_{21}^{y}
ที่ คำนวณจากวิธีไฟไนต์อีลีเมนต์ที่ใช้สนามแม่เหล็ก 3 องค์ประกอบ
เมื่อ $p = 1/2.289$ ของท่อนำแสงแบบฝังในซับสเตรทที่มีแกน
เป็นแอนไอโซทรอปิกตามขวาง และซับสเตรทเป็นเนกาทิฟยูนิแอกเซียล
โดยใช้การแบ่งอีลีเมนต์แบบที่ 2 41

รูป 4.19 แบบรูป 3 มิติของสนามแม่เหล็กที่ $k_0 t = 16.0$ ใน โมด E_{21}^{y}
ที่คำนวณจากวิธีไฟไนต์อีลีเมนต์ที่ใช้สนามแม่เหล็ก 3 องค์ประกอบ
เมื่อ $p = 1/2.289$ ของท่อนำ แสงแบบฝังในซับสเตรทที่มีแกน
เป็นแอนไอโซทรอปิกตามขวาง และซับสเตรทเป็นเนกาทิฟยูนิแอกเซียล
โดยใช้การแบ่งอีลีเมนต์แบบที่ 2 42

สารบัญรูปภาพ(ต่อ)

หน้า

รูป 4.20 แบบรูปของสนามแม่เหล็กที่ $k_0t = 16.0$ ใน โมด E^y_{31}
ที่คำนวณจากวิธีไฟไนต์อีลีเมนต์ที่ใช้สนามแม่เหล็ก 3 องค์ประกอบ
เมื่อ $p = 1/2.289$ ของท่อนำแสงแบบฝังในซับสเตรทที่มีแกน
เป็นแอนไอโซทรอปิกตามขวาง และซับสเตรทเป็นเนกาทิฟยูนิแอกเชียล
โดยใช้การแบ่งอีลีเมนต์แบบที่ 2 43
รูป 4.21 แบบรูป3 มิติของสนามแม่เหล็กที่ $k_0t = 16.0$ ใน โมด E^y_{31}
ที่คำนวณจากวิธีไฟไนต์อีลีเมนต์ที่ใช้สนามแม่เหล็ก 3 องค์ประกอบ
เมื่อ $p = 1/2.289$ ของท่อนำแสงแบบฝังในซับสเตรทที่มีแกน
เป็นแอนไอโซทรอปิกตามขวาง และซับสเตรทเป็นเนกาทิฟยูนิแอกเชียล
โดยใช้การแบ่งอีลีเมนต์แบบที่ 2 44

ลำดับสัญลักษณ์

สัญลักษณ์	ความหมาย	หน่วย
a	เวกเตอร์หนึ่งหน่วยในแนวแกน	
B	ความหนาแน่นฟลักซ์แม่เหล็ก	เวฟเบอร์
E	สนามแม่เหล็กไฟฟ้า	
H ,H	สนามแม่เหล็ก	
k_0	เวฟนัมเบอร์ของอวกาศว่าง	
L	ตัวกระทำการ	
[N]	เมตริกฟังต์ชันรูปร่างของคำตอบทดลอง	
$n_{g,\min}$	ดัชนีหักเหที่มีค่ามากที่สุดในซบสเตรท	
P	พจต์พีนอลดี	
S	ผลเฉลยปลอมเทียม	
T	ตัวดำเนินกรสลับเปลี่ยน	
Ω	ปริมาณใดๆที่สนใจ	
$[\varepsilon]$	เทนเซอณ์สภาพยอม	
μ	ความซาบซึมได้ของตัวกลาง	
ϕ	ฟังก์ชันสเกลาร์	
β	ค่าคงตัวเฟส	