

# สารบัญ

	หน้า
<b>บทที่ 1 บทนำ</b>	<b>13</b>
1.1 สนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็ก	14
1.2 คลื่นวิทยุ	17
1.3 ความถี่ และความยาวคลื่น	19
1.4 สเปกตรัมคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า	22
1.5 หลักการเบื้องต้นของระบบสื่อสาร	23
1.6 คุณลักษณะเฉพาะและประโยชน์ของคลื่นไมโครเวฟ	25
1.7 อันตรายจากคลื่นไมโครเวฟหรือคลื่นวิทยุความถี่สูง	27
1.7.1 ผลของคลื่นวิทยุที่มีต่อร่างกายมนุษย์	28
1.7.2 มาตรฐานความปลอดภัย	30
<b>บทที่ 2 ระบบการสื่อสารไมโครเวฟและการรับส่งคลื่นไมโครเวฟ</b>	<b>33</b>
2.1 หลักการระบบสื่อสารไมโครเวฟเบื้องต้น	33
2.2 การมัลติเพล็กซ์	34
2.2.1 การมัลติเพล็กซ์โดยการแบ่งความถี่	35
2.2.2 การมัลติเพล็กซ์โดยการแบ่งเวลา	40
2.3 ลักษณะการเดินทางของคลื่นวิทยุ	46
2.3.1 คลื่นยาว	47
2.3.2 คลื่นสั้น	48
2.3.3 คลื่นในย่านความถี่สูงมากขึ้นไป	49
2.4 ประเภทของระบบการสื่อสารไมโครเวฟ	51
<b>บทที่ 3 หลักการของสายนำสัญญาณและท่อนำคลื่น</b>	<b>57</b>
3.1 หลักการของสายนำสัญญาณ	58
3.2 สายยาวอนันต์	61
3.3 อิมพีแดนซ์คุณลักษณะ	62

3.4	สัมประสิทธิ์การสะท้อนและอัตราส่วนคลื่นนิ่งของแรงดัน	66
3.4.1	สัมประสิทธิ์การสะท้อน	66
3.4.2	อัตราส่วนคลื่นนิ่งของแรงดัน	67
3.5	สายส่งสัญญาณชนิดสายโคแอกเชียล	70
3.5.1	ระบบสายส่งสัญญาณชนิดสายโคแอกเชียล	71
3.5.2	การใช้สายโคแอกเชียลในย่านความถี่ ไมโครเวฟ	71
3.5.3	ลักษณะสนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็กในสายโคแอกเชียล	74
3.6	ไมโครสตริป	77
3.7	ท่อนำคลื่น	79
3.7.1	โครงสร้างและคุณสมบัติของท่อนำคลื่น	79
3.7.2	ท่อนำคลื่นสี่เหลี่ยมผืนผ้า	80
<b>บทที่ 4</b>	<b>อุปกรณ์ไมโครเวฟแบบแพสซีฟ</b>	<b>103</b>
4.1	ไอริสหรือวินด์และการปรับด้วยสกรู	103
4.1.1	ไอริสหรือวินด์	103
4.1.2	การปรับด้วยสกรู	105
4.2	ข้อต่อรูปตัวที	106
4.2.1	ตัวทีแบบอนุกรม	107
4.2.2	ตัวทีแบบขนาน	108
4.2.3	ไฮบริดที	110
4.3	ตัวบิดและข้องอ	111
4.3.1	ตัวบิด (Twist)	111
4.3.2	ข้องอ (BEND)	112
4.4	ข้อต่อ	112
4.4.1	ครีป	112
4.4.2	ครีปไข้ก	113
4.4.3	ข้อต่อหมุนรอบ	114
4.5	ตัวลดทอนและเทอร์มิเนเตอร์	114
4.5.1	ตัวลดทอนแบบปรับไบพัตลาดเอียง	115
4.5.2	ตัวลดทอนแบบปีก	116
4.5.3	สาเหตุการเกิดลดทอนกำลังงานในท่อนำคลื่น	116

4.6	ไอโซเลเตอร์และเซอร์กิวเลเตอร์	117
4.6.1	ไอโซเลเตอร์	117
4.6.2	เซอร์กิวเลเตอร์ (Circulator)	119
4.7	สลีตเต็ดไลน์	121
4.8	สตັป	122
4.9	ตัวกรองความถี่	123
<b>บทที่ 5 เรโซเนเตอร์แบบโพรง</b>		<b>127</b>
5.1	หลักการเบื้องต้นของเรโซเนเตอร์แบบโพรง	127
5.2	เรโซเนเตอร์แบบโพรงที่เกิดจากวงจรลัมป์รีโซแนนซ์	128
5.3	เรโซเนเตอร์รูปโพรง ชนิดรูปทรงสี่เหลี่ยม	129
5.4	เรโซเนเตอร์แบบโพรง ชนิดรูปทรงกระบอก	132
5.5	เรโซเนเตอร์แบบโพรงชนิดอื่น ๆ	135
5.6	การปรับแต่งเรโซเนเตอร์แบบโพรง	136
5.7	การเชื่อมต่อกำลังงานเข้าเรโซเนเตอร์แบบโพรง	138
5.7.1	แบบโพรงคัลลิปลิง	138
5.7.2	แบบลูปคัลลิปลิง	139
5.7.3	แบบสลอตคัลลิปลิง	140
5.8	มิเตอร์วัดคลื่น	140
5.8.1	มิเตอร์วัดคลื่นแบบปรับจูนควาวิตี	141
5.8.2	มิเตอร์วัดคลื่นแบบดูดกลืน	142
<b>บทที่ 6 อุปกรณ์ไมโครเวฟประเภทสารกึ่งตัวนำ</b>		<b>145</b>
6.1	ไดโอดแบบจุดต่อพีเอ็น	146
6.2	พินไดโอด	150
6.3	สแต็ปรีคอปเวอร์รีไดโอด	153
6.4	เฮซาก็ไดโอดหรือทันแนลไดโอด	157
6.5	กันน์ไดโอด	160
6.6	อิมแพคต์ไดโอด	162
6.7	ทรานซิสเตอร์แบบไบโพลาร์	165
6.8	ทรานซิสเตอร์สนามไฟฟ้า	168

<b>บทที่ 7</b>	<b>หลอดสุญญากาศที่ใช้ในย่านความถี่ไมโครเวฟ</b>	<b>173</b>
7.1	ค่าจำกัดทางความถี่สูงของหลอดสุญญากาศ	173
7.1.1	ค่าจำกัดมาตรฐาน	174
7.1.2	การสูญเสียทางไดอิเล็กตริก	175
7.2	ผลของอิเล็กตรอนทรานสิตไทม์	175
7.3	หลอดสุญญากาศไตรโอดที่ใช้ในวงจรรย่านความถี่สูง	177
7.4	หลอดไคลสตรอน	179
7.4.1	หลอดไคลสตรอนออสซิลเลเตอร์ชนิด 2 คาวิตี	179
7.4.2	หลอดขยายไคลสตรอนหลายคาวิตี	180
7.5	หลอดไคลสตรอนแบบสะท้อนกลับ	181
7.5.1	หลักการทํางานของหลอดไคลสตรอนแบบสะท้อนกลับ	182
7.5.2	อิเล็กตรอนทรานสิตไทม์	184
7.5.3	โหมดการทํางาน	185
7.5.4	การปรับเปลี่ยนความถี่	188
7.5.5	ระบบการป้องกันรีเฟลเลอร์	189
7.5.6	การใช้งานหลอดไคลสตรอนแบบสะท้อนกลับ	189
7.6	หลอดคลื่นจร	191
7.6.1	โครงสร้างและการทํางานของหลอดคลื่นจร	192
7.6.2	ทฤษฎีการทํางานของหลอดคลื่นจร	193
7.6.3	การขยายสัญญาณของหลอดคลื่นจร	194
7.6.4	การพิจารณาในทางปฏิบัติของหลอดคลื่นจร	195
7.6.5	ประเภทของหลอดคลื่นจร	198
7.6.6	การใช้งานหลอดคลื่นจร	200
7.7	หลอดแมกนีตรอน	200
7.7.1	โครงสร้างของหลอดแมกนีตรอน	201
7.7.2	หลักการทํางานของหลอดแมกนีตรอน	202
<b>บทที่ 8</b>	<b>สายอากาศในระบบไมโครเวฟ</b>	<b>207</b>
8.1	การแพร่กระจายคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจากสายอากาศ	207
8.2	พารามิเตอร์ของสายอากาศ	209
8.2.1	ความต้านทานการแพร่กระจายคลื่น	211

8.2.2	อิมพีแดนซ์ของสายอากาศ	214
8.2.3	รูปแบบการแพร่กระจายคลื่น และไดเรกทิวิตี	215
8.2.4	บีมวิทท์ (Beamwidth)	217
8.2.5	อัตราขยายของสายอากาศ	218
8.2.6	กำลังส่งประสิทธิภาพ	219
8.3	คุณสมบัติของสายอากาศในย่านไมโครเวฟ	219
8.4	ตัวสะท้อนแบบพาราโบลา	220
8.4.1	โครงสร้างทางเรขาคณิตของพาราโบลา	220
8.4.2	คุณสมบัติของตัวสะท้อนพาราโบลอยด์	222
8.5	วิธีป้อนพลังงานให้กับตัวสะท้อนรูปพาราโบลา	224
8.6	ตัวสะท้อนรูปพาราโบลาแบบอื่น ๆ	228
8.7	สายอากาศแบบปากแตร	229
8.7.1	ทฤษฎีเบื้องต้นของสายอากาศแบบปากแตร	230
8.7.2	สายอากาศแบบปากแตรชนิดพิเศษ	231
8.8	สายอากาศแบบเลนส์	233
8.8.1	ทฤษฎีเบื้องต้นของสายอากาศแบบเลนส์	233
8.8.2	ข้อพิจารณาในทางปฏิบัติ	234
<b>บทที่ 9</b>	<b>การส่งผ่านคลื่นไมโครเวฟและการกำหนดที่ตั้งสถานี</b>	<b>239</b>
9.1	การคำนวณหาระยะทางแนวเส้นสายตา	239
9.2	การลดทอนของคลื่นวิทยุ	241
9.3	การจางหายของการรับส่งคลื่นวิทยุในแบบแนวเส้นสายตา	244
9.3.1	การกระจายของกำลังงานที่รับได้จากการจางหาย	246
9.3.2	ลักษณะทั่วไปของการจางหาย	246
9.4	ค่าระดับสัญญาณในเส้นทางเดินของคลื่น	249
9.4.1	หลักการทั่วไปในการออกแบบระบบไมโครเวฟ	249
9.4.2	การคำนวณงบประมาณด้านกำลังของไมโครเวฟลิงก์	251
9.5	การกำหนดตำแหน่งที่ตั้งสถานีไมโครเวฟ	256
9.5.1	การศึกษาจากแผนที่	256
9.5.2	การสำรวจเส้นทาง	258

9.6 การพิจารณาในเรื่องระยะปลอดภัยและการจัดทำเส้นทางคลื่นบนกระดาดข โครงร่าง	259
9.6.1 การพิจารณาในเรื่องคลื่นสะท้อน	260
9.6.2 เฟสเนลโซนอันดับที่หนึ่ง	261
9.7 การสูญเสียเนื่องจากสิ่งกีดขวาง	263

## บทที่ 10 เครื่องรับและเครื่องส่งวิทยุในระบบสื่อสารไมโครเวฟ 267

10.1 เครื่องส่งวิทยุสื่อสารไมโครเวฟแบบแอนาล็อก	267
10.1.1 เครื่องส่งวิทยุย่านไมโครเวฟแบบไดเร็คเอฟเอ็ม	268
10.1.2 ภาคกำเนิดความถี่ ไมโครเวฟ แบบภาคเดียว	272
10.1.3 ภาคขยายกำลังของเครื่องส่งวิทยุสื่อสารในย่านความถี่ ไมโครเวฟ	277
10.2.1 การทำงานของภาคต่างๆ ในเครื่องรับวิทยุสื่อสาร ในย่านความถี่ไมโครเวฟ	279
10.2.2 วงจรเครื่องรับวิทยุในย่านความถี่ ไมโครเวฟ	281
10.2.3 หน้าที่ของส่วนต่างๆ ในเครื่องรับวิทยุย่านความถี่ ไมโครเวฟ	281
10.3 วิทยุสื่อสารไมโครเวฟแบบดิจิทัล	283
10.3.1 ข้อได้เปรียบของระบบสื่อสารดิจิทัล	284
10.3.2 การเชื่อมโยงสัญญาณดิจิทัล	286
10.3.3 เครื่องรับและเครื่องส่งวิทยุสื่อสารไมโครเวฟแบบดิจิทัล	288

## บทที่ 11 เรดาร์ 293

11.2 หลักการเบื้องต้นของเรดาร์	297
11.3 ส่วนประกอบของเรดาร์	301
11.4 การหาขอบเขตของระยะทาง	303
11.5 การวัดความเร็วและการแยกแยะ	306
11.6 เรดาร์ตรวจอากาศ	310
11.6.1 ส่วนประกอบที่สำคัญของเรดาร์ตรวจอากาศ	311
11.6.2 ชนิดของเรดาร์ตรวจอากาศ	314

ภาคผนวก ก. ค่าคงตัวทางฟิสิกส์	ภาคผนวกข. คำนำหน้าหน่วย	ภาคผนวก ค. เดซิเบล	ภาคผนวก ง. ค่าความนำของวัสดุ	ภาคผนวก จ. ค่าคงตัวไดอิเล็กทริกของวัสดุ	ดัชนีคำศัพท์	บรรณานุกรม		
								317
								318
								319
								321
								322
								323
								326
๗๘๖	๘.๑.๑	๗๘๖	๘.๑.๑	๗๘๖	๘.๑.๑	๗๘๖	๘.๑.๑	๒๒๐
๗๘๗	๘.๑.๒	๗๘๗	๘.๑.๒	๗๘๗	๘.๑.๒	๗๘๗	๘.๑.๒	๒๒๒
๗๘๘	๘.๑.๓	๗๘๘	๘.๑.๓	๗๘๘	๘.๑.๓	๗๘๘	๘.๑.๓	๒๒๔
๗๘๙	๘.๑.๔	๗๘๙	๘.๑.๔	๗๘๙	๘.๑.๔	๗๘๙	๘.๑.๔	๒๒๘
๗๙๐	๘.๑.๕	๗๙๐	๘.๑.๕	๗๙๐	๘.๑.๕	๗๙๐	๘.๑.๕	๒๒๙
๗๙๑	๘.๑.๖	๗๙๑	๘.๑.๖	๗๙๑	๘.๑.๖	๗๙๑	๘.๑.๖	๒๓๐
๗๙๒	๘.๑.๗	๗๙๒	๘.๑.๗	๗๙๒	๘.๑.๗	๗๙๒	๘.๑.๗	๒๓๑
๗๙๓	๘.๑.๘	๗๙๓	๘.๑.๘	๗๙๓	๘.๑.๘	๗๙๓	๘.๑.๘	๒๓๓
๗๙๔	๘.๑.๙	๗๙๔	๘.๑.๙	๗๙๔	๘.๑.๙	๗๙๔	๘.๑.๙	๒๓๓
๗๙๕	๘.๑.๑๐	๗๙๕	๘.๑.๑๐	๗๙๕	๘.๑.๑๐	๗๙๕	๘.๑.๑๐	๒๓๔
๗๙๖	๘.๑.๑๑	๗๙๖	๘.๑.๑๑	๗๙๖	๘.๑.๑๑	๗๙๖	๘.๑.๑๑	๒๓๕
๗๙๗	๘.๑.๑๒	๗๙๗	๘.๑.๑๒	๗๙๗	๘.๑.๑๒	๗๙๗	๘.๑.๑๒	๒๓๖
๗๙๘	๘.๑.๑๓	๗๙๘	๘.๑.๑๓	๗๙๘	๘.๑.๑๓	๗๙๘	๘.๑.๑๓	๒๓๖
๗๙๙	๘.๑.๑๔	๗๙๙	๘.๑.๑๔	๗๙๙	๘.๑.๑๔	๗๙๙	๘.๑.๑๔	๒๓๖
๘๐๐	๘.๑.๑๕	๘๐๐	๘.๑.๑๕	๘๐๐	๘.๑.๑๕	๘๐๐	๘.๑.๑๕	๒๓๖
๘๐๑	๘.๑.๑๖	๘๐๑	๘.๑.๑๖	๘๐๑	๘.๑.๑๖	๘๐๑	๘.๑.๑๖	๒๓๖
๘๐๒	๘.๑.๑๗	๘๐๒	๘.๑.๑๗	๘๐๒	๘.๑.๑๗	๘๐๒	๘.๑.๑๗	๒๓๖
๘๐๓	๘.๑.๑๘	๘๐๓	๘.๑.๑๘	๘๐๓	๘.๑.๑๘	๘๐๓	๘.๑.๑๘	๒๓๖
๘๐๔	๘.๑.๑๙	๘๐๔	๘.๑.๑๙	๘๐๔	๘.๑.๑๙	๘๐๔	๘.๑.๑๙	๒๓๖
๘๐๕	๘.๑.๒๐	๘๐๕	๘.๑.๒๐	๘๐๕	๘.๑.๒๐	๘๐๕	๘.๑.๒๐	๒๓๖
๘๐๖	๘.๑.๒๑	๘๐๖	๘.๑.๒๑	๘๐๖	๘.๑.๒๑	๘๐๖	๘.๑.๒๑	๒๓๖
๘๐๗	๘.๑.๒๒	๘๐๗	๘.๑.๒๒	๘๐๗	๘.๑.๒๒	๘๐๗	๘.๑.๒๒	๒๓๖
๘๐๘	๘.๑.๒๓	๘๐๘	๘.๑.๒๓	๘๐๘	๘.๑.๒๓	๘๐๘	๘.๑.๒๓	๒๓๖
๘๐๙	๘.๑.๒๔	๘๐๙	๘.๑.๒๔	๘๐๙	๘.๑.๒๔	๘๐๙	๘.๑.๒๔	๒๓๖
๘๑๐	๘.๑.๒๕	๘๑๐	๘.๑.๒๕	๘๑๐	๘.๑.๒๕	๘๑๐	๘.๑.๒๕	๒๓๖
๘๑๑	๘.๑.๒๖	๘๑๑	๘.๑.๒๖	๘๑๑	๘.๑.๒๖	๘๑๑	๘.๑.๒๖	๒๓๖
๘๑๒	๘.๑.๒๗	๘๑๒	๘.๑.๒๗	๘๑๒	๘.๑.๒๗	๘๑๒	๘.๑.๒๗	๒๓๖
๘๑๓	๘.๑.๒๘	๘๑๓	๘.๑.๒๘	๘๑๓	๘.๑.๒๘	๘๑๓	๘.๑.๒๘	๒๓๖
๘๑๔	๘.๑.๒๙	๘๑๔	๘.๑.๒๙	๘๑๔	๘.๑.๒๙	๘๑๔	๘.๑.๒๙	๒๓๖
๘๑๕	๘.๑.๓๐	๘๑๕	๘.๑.๓๐	๘๑๕	๘.๑.๓๐	๘๑๕	๘.๑.๓๐	๒๓๖

บริการห้องสมุดและศูนย์สารสนเทศวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

บริการห้องสมุดฯ กรมวิทยาศาสตร์บริการ

เลขทะเบียน ๑๓๓๕๕

ห้องสมุดแห่งชาติ-ห้องสมุดกรมวิทยาศาสตร์บริการ

www.bsti.go.th

BSTI DEPT. OF SCIENCE SERVICE  
สำนักหอสมุดฯ กรมวิทยาศาสตร์บริการ



1110002485



# ไมโครเวฟพื้นฐานและการประยุกต์ใช้งาน

รศ.ดร.ประสิทธิ์ ทีฆพุดมิ

อ.ประพจน์ จิระสกุลพร

เลขหมู่ 621.3813  
๗ 17  
2549.  
เลขทะเบียน 15374  
ปีที่ 5, ส. ๑. 2551

96524