

## คำนำ

เอกสารประกอบการเรียน วิชาการวิเคราะห์วงจรอิเล็กทรอนิกส์ความถี่สูง รหัส 3105-2001 จัดทำขึ้น เพื่อให้ประกอบการเรียนของนักศึกษาระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง (ปวส.) สาขาวิชาอิเล็กทรอนิกส์ ซึ่งตรงตามจุดประสงค์ และคำอธิบายรายวิชา หลักสูตรประกาศนียบัตร วิชาชีพชั้นสูง พุทธศักราช 2546 สำนักงานคณะกรรมการการอาชีวศึกษา กระทรวงศึกษาธิการ

เอกสารประกอบการเรียนวิชาการวิเคราะห์วงจรอิเล็กทรอนิกส์ความถี่สูง ประกอบด้วย

บทนำ

บทที่ 1 คุณสมบัติทางไฟฟ้าและพารามิเตอร์ย่านความถี่สูง

บทที่ 2 วงจรขยายย่านความถี่สูง

บทที่ 3 วงจรขยายจูน

บทที่ 4 วงจรทวีความถี่

บทที่ 5 วงจรออสซิลเลเตอร์ย่านความถี่สูง

บทที่ 6 วงจรแมตซ์และฟิลเตอร์

ในแต่ละบทมีใบงานของทฤษฎี ใบงานของปฏิบัติ และแบบฝึกหัด ด้านเนื้อหามีการอธิบายรายละเอียดของส่วนประกอบวงจร มีการวิเคราะห์วงจรไฟฟ้ากระแสตรง การวิเคราะห์วงจรไฟฟ้ากระแสสลับความถี่กลาง ความถี่ตัดด้านต่ำ และด้านสูง อัตราขยายแรงดัน อัตราขยายกระแส อัตราขยายกำลัง และตรวจสอบความปลอดภัยของอุปกรณ์ การวิเคราะห์ และออกแบบวงจรใช้แบบจำลองไฮบริด-ไพ สำหรับบทที่ 6 วงจรแมตซ์ วงจรเรโซแนนซ์แบบขนาน และวงจรรวมกลุ่มแบบที่ 1 ถึง 4 สามารถควบคุมความกว้างแบนด์วิดท์ของวงจรได้ จึงไม่จำเป็นต้องใช้วงจรกรองผ่านแถบ จึงไม่ขอกล่าวถึง

หวังว่าเอกสารประกอบการเรียนเล่มนี้ จะเป็นประโยชน์ต่อผู้เรียน และผู้สนใจ หากมีสิ่งใดขาดตกบกพร่อง ยินดีน้อมรับคำติชม และข้อเสนอแนะเพื่อการปรับปรุงในโอกาสต่อไป

วิไลศักดิ์ ดำเนตร

วิทยาลัยเทคนิคนครราชสีมา

สิงหาคม 2555

## จุดประสงค์ มาตรฐานและคำอธิบายรายวิชา

### จุดประสงค์รายวิชา

1. เพื่อให้เข้าใจคุณสมบัติการทำงาน และการใช้งานของอุปกรณ์เซมิคอนดักเตอร์ ในวงจรม่านความถี่สูง
2. เพื่อให้มีความสามารถในวัด และทดสอบวงจรม่านความถี่สูง ของอุปกรณ์เซมิคอนดักเตอร์ ในวงจรม่านความถี่สูง
3. เพื่อให้มีกิจนิสัยในการทำงานด้วยความประณีต รอบคอบ ปลอดภัย ตระหนักถึง คุณภาพของงาน และมีจริยธรรมในงานอาชีพ

### มาตรฐานรายวิชา

1. อธิบายคุณสมบัติทางไฟฟ้า และพารามิเตอร์ม่านความถี่สูงของไดโอด ทรานซิสเตอร์ และเฟต
2. การวิเคราะห์และออกแบบวงจรม่านความถี่สูง เช่น วงจรออสซิลเลเตอร์ วงจรขยายม่านความถี่สูง วงจรขยายจูน วงจรทวีความถี่ วงจรแมตซ์ และฟิลเตอร์
3. ทดสอบคุณสมบัติทางไฟฟ้า และพารามิเตอร์ของอุปกรณ์ม่านความถี่สูง
4. ทดสอบวงจรม่านความถี่สูงของอุปกรณ์ในวงจรม่านความถี่สูง

### คำอธิบายรายวิชา

ศึกษาหลักการ และปฏิบัติการทดสอบคุณสมบัติทางไฟฟ้า และพารามิเตอร์ม่านความถี่สูงของไดโอด ทรานซิสเตอร์ และเฟต การวิเคราะห์และออกแบบวงจรม่านความถี่สูง วงจรขยายม่านความถี่สูง วงจรขยายจูน วงจรทวีความถี่ วงจรแมตซ์ และฟิลเตอร์

## สารบัญ

	หน้า
คำนำ.....	ก
จุดประสงค์ มาตรฐาน และคำอธิบายรายวิชา.....	ข
สารบัญ.....	ค
บทนำ.....	1
1. หน่วยในระบบ SI.....	1
2. คำอุปสรรค.....	2
3. คำจำกัดความของปริมาณต่าง ๆ.....	2
4. สัญลักษณ์ต่าง ๆ.....	7
บทที่ 1 คุณสมบัติทางไฟฟ้าและพารามิเตอร์ย่านความถี่สูง.....	11
1.1 ซอตต์กีไดโอด.....	11
1.1.1 ค่าสัมบูรณ์พิกัดสูงสุดของซอตต์กีไดโอด.....	11
1.1.2 คุณลักษณะทางความร้อนของซอตต์กีไดโอด.....	13
1.1.3 คุณลักษณะทางไฟฟ้าของซอตต์กีไดโอด.....	14
1.1.4 วงจรสมมูลความถี่สูงของซอตต์กีไดโอด.....	18
1.2 ฟินไดโอด.....	19
1.2.1 ค่าสัมบูรณ์พิกัดสูงสุดของฟินไดโอด.....	19
1.2.2 คุณลักษณะทางความร้อนของฟินไดโอด.....	20
1.2.3 คุณลักษณะทางไฟฟ้าของฟินไดโอด.....	21
1.2.4 วงจรสมมูลความถี่สูงของฟินไดโอด.....	23
1.3 วารีแคปไดโอด.....	24
1.3.1 ค่าสัมบูรณ์พิกัดสูงสุดของวารีแคปไดโอด.....	24
1.3.2 คุณลักษณะทางความร้อนของวารีแคปไดโอด.....	25
1.3.3 คุณลักษณะทางไฟฟ้าของวารีแคปไดโอด.....	25
1.3.4 วงจรสมมูลความถี่สูงของวารีแคปไดโอด.....	27
1.4 ทรานซิสเตอร์.....	28

1.4.1	ค่าสัมบูรณ์พีคสูงสุดของทรานซิสเตอร์.....	28
1.4.2	คุณลักษณะทางความร้อนของทรานซิสเตอร์.....	32
1.4.3	คุณลักษณะทางไฟฟ้าของทรานซิสเตอร์.....	34
1.4.4	แบบจำลองไฮบริด-ไพของทรานซิสเตอร์.....	40
1.5	ทรานซิสเตอร์สนามไฟฟ้า.....	44
1.5.1	ค่าสัมบูรณ์พีคสูงสุดของเฟต.....	45
1.5.2	คุณลักษณะทางความร้อนของเฟต.....	47
1.5.3	คุณลักษณะทางไฟฟ้าของเฟต.....	47
1.5.4	แบบจำลองไฮบริด-ไพของเฟต.....	54
บทที่ 2	วงจรรขยายย่านความถี่สูง.....	57
2.1	วงจรรขยายย่านความถี่สูงโดยใช้ทรานซิสเตอร์.....	57
2.1.1	การวิเคราะห์วงจรไฟฟ้ากระแสตรง.....	58
2.1.2	การวิเคราะห์วงจรไฟฟ้ากระแสสลับความถี่กลาง.....	61
2.1.3	การวิเคราะห์วงจรไฟฟ้ากระแสสลับความถี่ตัดด้านต่ำ.....	66
2.1.4	การวิเคราะห์วงจรไฟฟ้ากระแสสลับความถี่ตัดด้านสูง.....	73
2.1.5	การออกแบบวงจรรขยายย่านความถี่สูงโดยใช้ทรานซิสเตอร์.....	78
2.2	วงจรรขยายย่านความถี่สูงโดยใช้เฟต.....	90
2.2.1	การวิเคราะห์วงจรไฟฟ้ากระแสตรง.....	90
2.2.2	การวิเคราะห์วงจรไฟฟ้ากระแสสลับความถี่กลาง.....	93
2.2.3	การวิเคราะห์วงจรไฟฟ้ากระแสสลับความถี่ตัดด้านต่ำ.....	96
2.2.4	การวิเคราะห์วงจรไฟฟ้ากระแสสลับความถี่ตัดด้านสูง.....	101
2.2.5	การออกแบบวงจรรขยายย่านความถี่สูงโดยใช้เฟต.....	104
บทที่ 3	วงจรรขยายจูน.....	117
3.1	วงจรรจูน $R-L-C$ แบบขนาน.....	117
3.1.1	ค่าความถี่เรโซแนนซ์และอิมพีแดนซ์.....	117
3.1.2	ค่าตัวประกอบคุณภาพ.....	118
3.1.3	ค่าแบนด์วิดท์.....	119
3.1.4	ความถี่ตัดด้านสูงและด้านต่ำ.....	119
3.2	การวัดความเหนี่ยวนำและตัวประกอบคุณภาพของตัวเหนี่ยวนำ.....	121

3.3	หม้อแปลง.....	123
3.4	หม้อแปลงที่ถูกเก็บ.....	128
3.5	วงจรรขยายจูน โดยใช้ทรานซิสเตอร์ดับเบิลจูน.....	130
3.5.1	การวิเคราะห์วงจรไฟฟ้ากระแสตรง.....	131
3.5.2	การวิเคราะห์วงจรไฟฟ้ากระแสสลับความถี่เรโซแนนซ์.....	133
3.6	การออกแบบวงจรรขยายจูน โดยใช้ทรานซิสเตอร์ดับเบิลจูน.....	138
3.6.1	การกำหนดค่า $I_C$ .....	139
3.6.2	การกำหนดค่า $R_E$ , $R_{B1}$ และ $R_{B2}$ .....	139
3.6.3	การเปลี่ยนค่าความต้านทานให้เป็นค่ามาตรฐาน.....	140
3.6.4	การตรวจสอบจุดทำงานของทรานซิสเตอร์.....	140
3.6.5	การกำหนดค่า $C_{BB}$ , $C_E$ และ $C_{BP1}$ .....	141
3.6.6	การเปลี่ยนค่าตัวเก็บประจุให้เป็นค่ามาตรฐาน.....	141
3.6.7	การตรวจสอบค่า $A_{V(F_R)}$ .....	142
3.6.8	การประมาณค่า $C_{BT}$ และ $C_{CT}$ .....	142
3.6.9	การเปลี่ยนค่าตัวเก็บประจุให้เป็นค่ามาตรฐาน.....	144
3.6.10	การประมาณค่า $B_{W(L1)}$ .....	144
3.6.11	การประมาณ $B_{W(L2)}$ .....	144
3.6.12	การประมาณค่า $F_{R(L1)}$ และ $F_{R(L2)}$ .....	145
3.7	วงจรรขยายจูน โดยใช้พีโซเซรามิกฟิลเตอร์.....	146
3.7.1	การวิเคราะห์วงจรไฟฟ้ากระแสตรง.....	147
3.7.2	การวิเคราะห์วงจรไฟฟ้ากระแสสลับความถี่เรโซแนนซ์.....	147
3.7.3	การวิเคราะห์วงจรไฟฟ้ากระแสสลับความถี่ตัดด้านสูง.....	149
3.7.4	การออกแบบวงจรรขยายจูนโดยใช้พีโซเซรามิกฟิลเตอร์.....	152
บทที่ 4	วงจรวีความถี่.....	159
4.1	วงจรวีความถี่ 2 เท่าโดยใช้ ไดโอด.....	159
4.1.1	การวิเคราะห์วงจรไฟฟ้ากระแสสลับ.....	160
4.1.2	การออกแบบวงจรวีความถี่ 2 เท่าโดยใช้ ไดโอด.....	167
4.2	วงจรวีความถี่ 2 เท่าโดยใช้ทรานซิสเตอร์และ ไดโอด.....	169
4.2.1	การวิเคราะห์วงจรไฟฟ้ากระแสตรง.....	170

4.2.2	การวิเคราะห์วงจรไฟฟ้ากระแสสลับความถี่กลางช่วง $(0-\pi)$ .....	171
4.2.3	การวิเคราะห์วงจรไฟฟ้ากระแสสลับความถี่กลางช่วง $(\pi-2\pi)$ .....	174
4.2.4	การวิเคราะห์วงจรไฟฟ้ากระแสสลับความถี่ตัดด้านต่ำ.....	176
4.2.5	การวิเคราะห์วงจรไฟฟ้ากระแสสลับความถี่ตัดด้านสูง.....	180
4.2.6	การปรับแต่ง $V_{o(0-\pi)}$ และ $V_{o(\pi-2\pi)}$ ให้เท่ากัน.....	182
4.2.7	การออกแบบวงจรทวิความถี่ 2 เท่าโดยใช้ทรานซิสเตอร์และไดโอด.....	182
4.3	วงจรทวิความถี่แบบคอนเวอร์เตอร์.....	192
<b>บทที่ 5 วงจรออสซิลเลเตอร์ย่านความถี่สูง.....</b>		<b>195</b>
5.1	วงจรออสซิลเลเตอร์แบบเชื่อมต่อ 3 จุด.....	195
5.1.1	การวิเคราะห์วงจรออสซิลเลเตอร์แบบใช้ทรานซิสเตอร์.....	196
5.1.2	การวิเคราะห์วงจรออสซิลเลเตอร์แบบใช้เฟต.....	202
5.1.3	การควบคุมความถี่ของวงจรออสซิลเลเตอร์แบบใช้ $L-C$ ให้คงที่.....	206
5.2	วงจรออสซิลเลเตอร์แบบใช้ชั้นผลึก.....	207
5.2.1	ควอตซ์คริสตอล.....	207
5.2.2	วงจรออสซิลเลเตอร์แบบเชื่อมต่อ 3 จุดโดยใช้ชั้นผลึก.....	209
5.3	การออกแบบวงจรออสซิลเลเตอร์แบบฮาร์ตลีย์โดยใช้ทรานซิสเตอร์.....	210
5.3.1	การประมาณค่า $L_1, L_2$ และ $C_3$ .....	211
5.3.2	การประมาณค่า $R_{B_1}, R_{B_2}, R_E$ และ $R_C$ .....	211
5.3.3	การประมาณค่า $C_B, C_C$ และ $C_E$ .....	213
5.3.4	การประมาณค่า $\beta_F$ ของทรานซิสเตอร์.....	213
5.4	การออกแบบวงจรออสซิลเลเตอร์แบบโคลพิตตส์โดยใช้เฟต .....	214
5.4.1	การประมาณค่า $C_1, C_2$ และ $L_3$ .....	215
5.4.2	การประมาณค่า $R_S, R_D$ และ $R_{GG}$ .....	215
5.4.3	การประมาณค่า $C_{BP1}, C_{BP2}$ และ $C_D$ .....	217
5.4.4	การประมาณค่า $g_m$ ของเฟต.....	218
5.5	การออกแบบวงจรออสซิลเลเตอร์แบบโคลพิตตส์โดยใช้ชั้นผลึก.....	218
5.5.1	การประมาณค่า $C_1, C_2$ และ $L_3$ .....	219
5.5.2	การประมาณค่า $R_{B_1}, R_{B_2}$ และ $R_E$ .....	219
5.5.3	การประมาณค่า $C_3$ .....	220

5.5.4 การประมาณค่า $\beta_F$ ของทรานซิสเตอร์.....	221
5.6 วงจรออสซิลเลเตอร์แบบแคลปป์.....	221
5.7 วงจรออสซิลเลเตอร์แบบใช้แรงดันควบคุมความถี่.....	222
<b>บทที่ 6 วงจรแมตซ์และฟิลเตอร์.....</b>	<b>225</b>
6.1 การแมตซ์.....	225
6.1.1 การแมตซ์ของวงจรที่ประกอบด้วยตัวต้านทานอย่างเดียว.....	225
6.1.2 การแมตซ์ด้วยวงจรเรโซแนนซ์แบบขนาน.....	229
6.1.3 การแมตซ์โดยใช้วงจรรวมกลุ่ม.....	237
6.2 วงจรกรองแบบผ่านต่ำบัตเทอร์เวิร์ท .....	243
6.3 วงจรกรองแบบผ่านสูงบัตเทอร์เวิร์ท .....	245
<b>บรรณานุกรม.....</b>	<b>249</b>
<b>ภาคผนวก.....</b>	<b>251</b>
ก. ค่ามาตรฐานของตัวต้านทานและตัวเก็บประจุ.....	251
ข. แผ่นข้อมูลของอุปกรณ์ต่าง ๆ.....	255
ค. การใช้เครื่องคำนวณวิทยาศาสตร์.....	276
ง. ใบงาน.....	284

# เพียแพร์!