

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VIII
สารบัญรูป.....	IX
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา.....	1
1.3 สมมติฐานของการศึกษา.....	2
1.4 ทฤษฎีหรือแนวความคิดที่ใช้ในการวิจัย.....	2
1.5 ขอบเขตการวิจัย.....	3
1.6 ขั้นตอนการศึกษา.....	3
บทที่ 2 ทฤษฎีเคเลต์ตามอดูลชั้น และซิกมา – เคเลต์ตามอดูลชั้น.....	4
2.1 กล่าวนำ.....	4
2.2 การแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นสัญญาณดิจิทัล.....	5
2.3 ความผิดเพี้ยนที่เกิดจากระบวนการควอนไทซ์.....	10
2.4 การซีกค่าตัวอย่างสัญญาณแบบโอเวอร์แซมปลิง (Oversampling).....	13
2.4.1 ข้อดีของการทำโอเวอร์แซมปลิงต่อวงจรกรองป้องกันการซ้อนทับของสัญญาณ.....	13
2.4.2 ข้อดีของการทำโอเวอร์แซมปลิงต่อสัญญาณรบกวน.....	14
2.5 เคเลต์ตามอดูลชั้น.....	15
2.5.1 การมอดูเลตรหัสพัลส์แบบใช้ค่าความต่างของสัญญาณ.....	15
2.5.2 การมอดูเลตแบบเคเลต์.....	16
2.5.3 การดีมอดูเลตแบบเคเลต์.....	17
2.5.4 ความผิดเพี้ยนที่เกิดขึ้นในการมอดูเลตแบบเคเลต์.....	18
2.6 ซิกมา-เคเลต์ตามอดูลชั้น.....	19

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.7	วิเคราะห์ผลต่อสัญญาณรบกวนจากการควอนไทซ์ของเซลล์มอดูเลชัน และซิกมา-เซลล์มอดูเลชัน.....	21
2.7.1	วิเคราะห์ผลต่อสัญญาณรบกวนจากการควอนไทซ์ของเซลล์มอดูเลชัน	21
2.7.2	วิเคราะห์ผลต่อสัญญาณรบกวนจากการควอนไทซ์ของซิกมา-เซลล์มอดูเลชัน....	23
2.8	การมอดูเลตแบบซิกมา – เซลล์อันดับสูง และการวิเคราะห์ผลต่อสัญญาณรบกวนจากการควอนไทซ์.....	25
บทที่ 3	วงจรเซลล์มอดูเลชัน และ ซิกมา – เซลล์มอดูเลชัน อย่างง่าย.....	29
3.1	กล่าวนำ.....	29
3.2	วงจรกำเนิดสัญญาณพัลส์	29
3.2.1	ส่วนประกอบของวงจร.....	30
3.2.2	การทำงานของวงจร.....	33
3.3	มอดูเลตสัญญาณแบบซิกมา – เซลล์.....	36
3.4	การพัฒนาปรับปรุงวงจรเพื่อลดผลของอุณหภูมิ.....	38
3.5	มอดูเลตสัญญาณแบบเซลล์.....	42
3.6	วิเคราะห์ความคลาดเคลื่อนในการทำงาน.....	44
3.6.1	ความคลาดเคลื่อนจากการทำงานของ OTA	45
3.6.2	ความคลาดเคลื่อนจากการทำงานของออปแอมป์.....	48
บทที่ 4	การประยุกต์สร้างวงจรขยายกำลังงานเสียง.....	60
4.1	กล่าวนำ.....	60
4.2	ประเภทและคุณสมบัติของวงจรขยายกำลังงาน.....	60
4.2.1	ประเภทของวงจรขยายกำลังงาน.....	60
4.2.2	คุณสมบัติของวงจรขยายกำลังงาน.....	66
4.3	วงจรขยายกำลังงานเสียงคลาสดี.....	70
4.3.1	ประเภทการต่อทรานซิสเตอร์ในภาควิทยภาพขยายกำลังคลาสดี.....	71
4.3.2	สาเหตุหลักในการทำงานที่ไม่สมบูรณ์แบบของคลาสดี.....	73
4.4	วงจรขยายกำลังงานเสียงโดยใช้การมอดูเลตแบบซิกมา - เซลล์และแบบเซลล์.....	82
4.4.1	ความเชื่อมโยงของการขยายกำลังงานเสียงคลาสดี กับการมอดูเลตแบบซิกมา – เซลล์.....	82

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

4.4.2 การประยุกต์ใช้วงจรซิกมา – เคลต้าและเคลต้ามอดูเลชันอย่างง่าย ในการขยายกำลังงานเสียง.....	83
4.4.3 ผลจากการเพิ่มวงจรขยายกำลังเข้าไปในรูปการทำงาน.....	87
4.4.4 การเพิ่มวงจรขยายกำลังนอกการทำงานของวงจร.....	87
บทที่ 5 ผลการทดลองและการวิเคราะห์.....	89
5.1 กล่าวนำ.....	89
5.2 การทดลองวงจรซิกมา-เคลต้า และเคลต้ามอดูเลชันอย่างง่าย.....	89
5.2.1 การทดลองวงจรกำเนิดสัญญาณพัลส์.....	90
5.2.2 การทดลองวงจรมอดูเลตสัญญาณแบบซิกมา – เคลต้า	95
5.2.3 การทดลองวงจรกำเนิดสัญญาณพัลส์แบบปรับลดผลของอุณหภูมิ.....	97
5.2.4 การทดลองวงจรมอดูเลตสัญญาณแบบซิกมา-เคลต้า แบบปรับลดผลของอุณหภูมิ.....	102
5.3 การทดลองประยุกต์ใช้วงจรซิกมา – เคลต้าและเคลต้ามอดูเลชันอย่างง่าย ในการขยายกำลังงานเสียง.....	103
5.3.1 การทดลองวงจรกำเนิดสัญญาณพัลส์เมื่อนำมาประยุกต์ร่วมกับวงจรขยายกำลัง...103	
5.3.2 การทดลองวงจรมอดูเลตสัญญาณแบบซิกมา-เคลต้าเมื่อนำมาประยุกต์ ร่วมกับวงจรขยายกำลัง.....	104
5.3.3 การทดลองวงจรกำเนิดสัญญาณพัลส์แบบปรับลดผลของอุณหภูมิ เมื่อนำมาประยุกต์ร่วมกับวงจรขยายกำลัง.....	107
5.3.4 การทดลองวงจรมอดูเลตสัญญาณแบบซิกมา-เคลต้าแบบปรับลดผลของอุณหภูมิ เมื่อนำมาประยุกต์ร่วมกับวงจรขยายกำลัง.....	108
5.3.5 การทดลองวงจรมอดูเลตสัญญาณแบบเคลต้าแบบปรับลดผลของอุณหภูมิ เมื่อนำมาประยุกต์ร่วมกับวงจรขยายกำลัง.....	111
5.3.6 การทดลองวงจรขยายกำลังคลาสซีที่วางภาขยายกำลังไว้นอกอุปกรณ์มอดูเลต..115	
5.3.7 ฟังก์ชันถ่ายโอน (Transfer function) ของวงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน.....117	
5.3.8 การทดลองวัดผลตอบสนองทางความถี่ (Frequency Response) ของวงจร.....	120
5.3.9 การหาช่วงเวลาที่เกิดกับสัญญาณพัลส์ เนื่องจากการทำงานของวงจรขยายกำลัง..121	
5.3.10 การทดลองป้อนขยายกำลังงานสัญญาณเสียงเพลง.....	121

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

5.4 สรุปผลการทดลอง.....	122
บทที่ 6 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	124
เอกสารอ้างอิง.....	127
ภาคผนวก ผลงานวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่.....	129
ประวัติผู้เขียน.....	155

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
4.1 ประสิทธิภาพของวงจรขยายกำลังคลาสต่างๆ	68
4.2 เปรียบเทียบคุณสมบัติในการต่อคู่ทรานซิสเตอร์แบบฮาร์ฟบริดจ์ และแบบฟูลบริดจ์.....	72

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1	ขั้นตอนการแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นสัญญาณดิจิทัลแบบการมอดูเลตรหัสพัลส์ 5
2.2	ผลวิเคราะห์ทางความถี่ของสัญญาณอนาลอกที่มีความถี่สูงสุดเป็น f_B 7
2.3	ผลวิเคราะห์ทางความถี่ของสัญญาณพัลส์ที่ใช้ชั้ค่าตัวอย่างที่อัตราในควิสต์..... 7
2.4	ผลวิเคราะห์ทางความถี่ของสัญญาณอนาลอกที่มีความถี่สูงสุดเป็น f_B ที่ผ่านการชั้ค่าตัวอย่างด้วยความถี่ในการชั้ค่าตัวอย่าง f_s แล้ว..... 7
2.5	ผลวิเคราะห์ทางความถี่ของสัญญาณพัลส์ที่ใช้ชั้ค่าตัวอย่างที่ต่ำกว่าอัตราในควิสต์..... 7
2.6	ผลวิเคราะห์ทางความถี่ของสัญญาณอนาลอกที่มีความถี่สูงสุดเป็น f_B ที่ผ่านการชั้ค่าตัวอย่างด้วยความถี่ในการชั้ค่าตัวอย่างที่ความถี่ต่ำกว่าอัตราในควิสต์..... 7
2.7	ผลวิเคราะห์ทางความถี่ของสัญญาณที่ไม่ได้ผ่านการจำกัดความถี่..... 8
2.8	ผลวิเคราะห์ทางความถี่ของสัญญาณที่ไม่ได้ผ่านการจำกัดความถี่ เมื่อผ่านการชั้ค่าตัวอย่างแล้ว..... 9
2.9	ผลวิเคราะห์ทางความถี่ของสัญญาณที่ผ่านการจำกัดย่านความถี่..... 9
2.10	แสดงการเพิ่มวงจรส่วนป้องกันการซ้อนทับของสัญญาณ ในการแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นสัญญาณดิจิทัลแบบการมอดูเลตรหัสพัลส์..... 9
2.11	การควอนไทซ์..... 11
2.12	สเปกตรัมของกำลังงานความถี่ที่เกิดขึ้นที่เกิดจากการควอนไทซ์ เมื่อชั้ค่าตัวอย่างด้วยความถี่ f_s 12
2.13	ผลวิเคราะห์ทางความถี่ของวงจรกรองที่ใช้สำหรับอัตราในควิสต์..... 13
2.14	ผลวิเคราะห์ทางความถี่ของสัญญาณอนาลอกที่ถูกชั้ค่าตัวอย่างด้วยความถี่ 48 kHz 13
2.15	ผลตอบสนองทางความถี่ของวงจรกรองที่ใช้สำหรับการชั้ค่าตัวอย่าง แบบโอเวอร์แซมปลิงที่สองเท่าของอัตราในควิสต์..... 14
2.16	ผลวิเคราะห์ทางความถี่ของวงจรกรองที่ใช้กับการโอเวอร์แซมปลิง เมื่อถูกชั้ค่าตัวอย่างด้วยความถี่ 96 kHz 14
2.17	สเปกตรัมของความถี่ที่เกิดขึ้นที่เกิดจากการควอนไทซ์ที่อัตราต่างๆ..... 15
2.18	การมอดูเลตและดีมอดูเลตรหัสพัลส์แบบใช้ค่าความต่างของสัญญาณ..... 16
2.19	ระบบการมอดูเลตแบบเดลต้า..... 16
2.20	รูปสัญญาณขณะมอดูเลตแบบเดลต้า..... 17
2.21	ระบบการดีมอดูเลตแบบเดลต้า..... 17
2.22	สัญญาณเอาท์พุตที่ผ่านการดีมอดูเลตแบบเดลต้า..... 18

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
2.23 ความเพี้ยนที่เกิดขึ้นในการมอดูเลตแบบเคลด้าแบบที่มีสเตปไซส์คงที่.....	18
2.24 ความเพี้ยนที่เกิดขึ้นในการมอดูเลตแบบเคลด้าแบบปรับค่าสเตปไซส์ได้.....	19
2.25 การเพิ่มส่วนปริพันธ์สัญญาณอนาล็อกที่ส่วนแรกสุดของการมอดูเลต และตัดส่วนปริพันธ์สัญญาณในส่วนการดีมอดูเลต.....	20
2.26 ระบบการมอดูเลตและดีมอดูเลตแบบซิกมา – เคลด้า.....	20
2.27 ระบบการมอดูเลตและดีมอดูเลตแบบเคลด้า.....	21
2.28 ผลตอบสนองต่อสัญญาณอนาล็อกอินพุตของการมอดูเลตแบบเคลด้า.....	22
2.29 ผลตอบสนองต่อสัญญาณรบกวนจากการควอนไทซ์ของการมอดูเลตแบบเคลด้า.....	22
2.30 ระบบการมอดูเลตแบบซิกมา – เคลด้า.....	23
2.31 ผลตอบสนองต่อสัญญาณอนาล็อกอินพุตของการมอดูเลตแบบซิกมา – เคลด้า	24
2.32 ผลตอบสนองต่อสัญญาณรบกวนจากการควอนไทซ์ ของการมอดูเลตแบบซิกมา – เคลด้า.....	24
2.33 เปรียบเทียบผลการตอบสนองต่อสัญญาณรบกวนในการมอดูเลตแบบต่างๆ.....	25
2.34 ขั้นตอนการมอดูเลตแบบซิกมา-เคลด้าแบบอันดับสอง (Second order).....	26
2.35 วิเคราะห์ขั้นตอนการมอดูเลตแบบซิกมา-เคลด้าอันดับสองด้วยการแปลงลาปลาซ.....	26
2.36 เปรียบเทียบผลการตอบสนองต่อสัญญาณรบกวนในการมอดูเลตแบบต่างๆ และการมอดูเลตแบบซิกมาเคลด้าที่อันดับสูง.....	27
2.37 เปรียบเทียบค่า SNR ต่ออัตราโอเวอร์แซมปลิงและอันดับของซิกมา-เคลด้า.....	28
3.1 วงจรกำเนิดสัญญาณพัลส์.....	30
3.2 การออสซิลเลตด้วยตนเองเพื่อกำเนิดสัญญาณพัลส์.....	33
3.3 ขั้นตอนการมอดูเลตแบบซิกมา - เคลด้า.....	36
3.4 วงจรมอดูเลตแบบซิกมา - เคลด้าอย่างง่าย.....	36
3.5 วงจรกำเนิดสัญญาณพัลส์ที่ปรับลดผลของอุณหภูมิ.....	39
3.6 วงจรมอดูเลตแบบซิกมา - เคลด้าที่ปรับลดผลของอุณหภูมิ.....	41
3.7 ระบบการมอดูเลตแบบเคลด้า.....	42
3.8 วงจรมอดูเลตแบบเคลด้า.....	43
3.9 วงจรเสมือนเพื่อกำหนดแรงดันที่จุด v_{IH} และ v_{IL}	43
3.10 วงจรภายใน OTA.....	45

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.11 ผลจากอัตราสูญเสีย.....	49
3.12(ก) รูปสัญญาณพัลส์โดยละเอียดเมื่อออปแอมป์เป็นตามอุดมคติ.....	50
3.12(ข) รูปสัญญาณพัลส์โดยละเอียดเมื่อมีผลจากอัตราสูญเสียของออปแอมป์.....	50
4.1 แผนภาพการจำแนกประเภทของวงจรขยายกำลังงาน.....	61
4.2 ตำแหน่งจุดทำงานบนกราฟคุณลักษณะของทรานซิสเตอร์ที่ขยายกำลังคลาสเอ.....	61
4.3 ตัวอย่างวงจรขยายกำลังคลาสเอ.....	62
4.4 ตำแหน่งจุดทำงาน (Q point) บนกราฟคุณลักษณะของทรานซิสเตอร์ เพื่อให้ขยายกำลังแบบคลาสบี.....	63
4.5 ตัวอย่างวงจรขยายกำลังคลาสบี.....	63
4.6 ตำแหน่งจุดทำงาน (Q point) บนกราฟคุณลักษณะของทรานซิสเตอร์ที่ทำงานช่วงบวก เพื่อให้ขยายกำลังแบบคลาสเอบี	64
4.7 ขั้นตอนการขยายกำลังงานแบบสวิตชิง.....	65
4.8 การต่อคู่ทรานซิสเตอร์แบบฮาร์ฟบริดจ์ (Half Bridge) ในการขยายกำลังคลาสดี.....	71
4.9 การต่อคู่ทรานซิสเตอร์แบบฟูลบริดจ์ (Full Bridge) ในการขยายกำลังคลาสดี.....	72
4.10 ตำแหน่งที่เป็นสาเหตุหลักของการทำงานที่ไม่สมบูรณ์แบบ ในการขยายกำลังแบบคลาสดี.....	73
4.11 ช่วงเวลาเดดไทม์ (Dead-time) ที่เพิ่มตรงขอบขาของพัลส์.....	74
4.12 ผลจากการทำงานไม่เป็นตามอุดมคติของทรานซิสเตอร์ทำให้เกิดกระแสชูททรู.....	75
4.13 การไหลของกระแสเมื่อต่อทรานซิสเตอร์แบบฮาร์ฟบริดจ์.....	76
4.14 ความผันผวนของแรงดันที่แหล่งจ่ายไฟเลี้ยง เมื่อเกิดการผลักกำลังงานกลับคืนแหล่งจ่าย... 76	76
4.15 การไหลของกระแสเมื่อต่อทรานซิสเตอร์แบบฟูลบริดจ์.....	76
4.16 ภาพตัดขวางแสดงโครงสร้างของทรานซิสเตอร์มอสเฟตแบบปลดพาหะชนิดเอ็น.....	77
4.17 เปรียบเทียบสัญญาณพัลส์อินพุตกับสัญญาณพัลส์เอาต์พุตจากวงจรขยายกำลัง.....	77
4.18 แบบจำลองโครงสร้างของเอ็นเซนแนลมอสเฟต.....	78
4.19 สัญลักษณ์ทรานซิสเตอร์มอสเฟตแบบปลดพาหะชนิดเอ็น.....	78
4.20 ตำแหน่งของ $R_{G(int)}$ ภายในทรานซิสเตอร์.....	80
4.21 ขั้นตอนการเกิดการรบกวนจากคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า.....	81
4.22 ผลของสัญญาณเอาต์พุตเมื่อเกิดการรบกวนจากคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า.....	81

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.23(ก) องค์ประกอบทางความถี่ของสัญญาณพัลส์ที่ผ่านการมอดูเลตที่ใช้ในการขยายคลาสดี.....	82
4.23(ข) รูปขยายรูปที่ 4.23(ก).....	82
4.24 แสดงตำแหน่งในการแทรกวงจรขยายกำลังงานในรูปการทำงานของวงจรมอดูเลตแบบซิกมา-เดลต้า.....	83
4.25 แสดงตำแหน่งในการแทรกวงจรขยายกำลังงานในรูปการทำงานของวงจรมอดูเลตแบบเดลต้าและแบบซิกมา-เดลต้าที่ปรับลดผลของอุณหภูมิ.....	84
4.26 ขั้นตอนการทำงานภายในวงจรขยายกำลัง.....	84
4.27 การต่อวงจรภายในส่วนวงจรขยายกำลังงานเสียง.....	85
4.28 แสดงตำแหน่งในการเพิ่มวงจรขยายกำลังงานนอกการทำงานของวงจรมอดูเลตแบบซิกมา-เดลต้า.....	88
4.29 แสดงตำแหน่งในการเพิ่มวงจรขยายกำลังงานนอกการทำงานของวงจรมอดูเลตแบบซิกมา-เดลต้าและแบบเดลต้าที่ปรับลดผลของอุณหภูมิ.....	88
5.1 การต่อตัวต้านทาน R_b เพื่อป้องกันกระแสไบอัส I_b ให้ OTA.....	89
5.2 วงจรกำเนิดสัญญาณพัลส์ที่ใช้ทดลอง.....	90
5.3 ผลการจำลองการทำงานของวงจรกำเนิดสัญญาณพัลส์ในรูปที่ 5.2.....	91
5.4 ผลการทดลองจากการต่อวงจรกำเนิดสัญญาณพัลส์ในรูปที่ 5.2.....	91
5.5 ความสัมพันธ์ระหว่างความถี่สัญญาณพัลส์กับค่าตัวเก็บประจุของวงจรกำเนิดสัญญาณพัลส์	92
5.6 ความสัมพันธ์ระหว่างความถี่สัญญาณพัลส์กับค่ากระแสไบอัส OTA ของวงจรกำเนิดสัญญาณพัลส์	93
5.7(ก) รูปสัญญาณพัลส์จากการจำลองการทำงานของวงจรกำเนิดสัญญาณพัลส์ในรูปที่ 5.2 เมื่ออุณหภูมิสภาพแวดล้อมเปลี่ยนไป.....	94
5.7(ข) ความสัมพันธ์ของความถี่พัลส์กับอุณหภูมิสภาพแวดล้อมจากการจำลองการทำงานของวงจรกำเนิดสัญญาณพัลส์ในรูปที่ 5.2.....	94
5.8 วงจรมอดูเลตสัญญาณแบบซิกมา - เดลต้าที่ใช้ทดลอง.....	96
5.9 ผลการทดลองการมอดูเลตสัญญาณ ด้วยวงจรซิกมา – เดลต้า มอดูเลชันอย่างง่ายในรูปที่ 5.8.....	96
5.10 วงจรกำเนิดสัญญาณพัลส์แบบปรับลดผลของอุณหภูมิที่ใช้ทดลอง.....	97

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
5.11 ผลการจำลองการทำงานของวงจรกำเนิดสัญญาณพัลส์ในรูปที่ 5.10.....	98
5.12 ผลการทดลองต่อวงจรกำเนิดสัญญาณพัลส์ที่ปรับลดผลของอุณหภูมิในรูปที่ 5.10.....	98
5.13 ความสัมพันธ์ระหว่างความถี่สัญญาณพัลส์กับค่าตัวเก็บประจุ ของวงจรกำเนิดสัญญาณพัลส์ที่ปรับลดผลของอุณหภูมิในรูปที่ 5.10.....	99
5.14 ความสัมพันธ์ระหว่างความถี่พัลส์กับอัตราส่วน $\frac{I_{B1}}{I_{B2}}$ ของวงจรกำเนิดสัญญาณพัลส์ที่ปรับลดผลของอุณหภูมิในรูปที่ 5.10.....	100
5.15(ก) รูปสัญญาณพัลส์จากการจำลองการทำงานของวงจรกำเนิดสัญญาณพัลส์ ที่ปรับลดผลของอุณหภูมิในรูปที่ 5.10 เมื่ออุณหภูมิสภาพแวดล้อมเปลี่ยนไป.....	101
5.15(ข) ความสัมพันธ์ของความถี่พัลส์กับอุณหภูมิสภาพแวดล้อมจากการจำลองการทำงาน ของวงจรกำเนิดสัญญาณพัลส์ที่ปรับลดผลของอุณหภูมิในรูปที่ 5.10.....	101
5.16 วงจรมอดูเลตสัญญาณแบบซิกมา-เดลต้าที่ปรับลดผลของอุณหภูมิที่ใช้ในการทดลอง.....	102
5.17 ผลการทดลองการมอดูเลตสัญญาณด้วยวงจรซิกมา-เดลต้ามอดูเลชัน ที่ปรับลดผลของอุณหภูมิในรูปที่ 5.16.....	103
5.18 ผลการทดลองวงจรกำเนิดสัญญาณพัลส์ที่เพิ่มวงจรขยายกำลังงานในรูปการทำงาน.....	104
5.19 ผลการทดลองวงจรมอดูเลตแบบซิกมา-เดลต้าที่เพิ่มวงจรขยายกำลังงาน ในรูปการทำงาน.....	105
5.20 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความผิดเพี้ยนฮาร์มอนิกรวมกับความถี่สัญญาณอินพุต ของวงจรขยายกำลังงานแบบซิกมา-เดลต้า เมื่อขนาดสัญญาณอินพุตเท่ากับ 20 mV	106
5.21 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความผิดเพี้ยนฮาร์มอนิกรวมกับแรงดันสัญญาณอินพุต ของวงจรขยายกำลังงานแบบซิกมา-เดลต้า เมื่อความถี่สัญญาณอินพุตเท่ากับ 1 kHz	107
5.22 ผลการทดลองวงจรกำเนิดสัญญาณพัลส์แบบปรับลดผลของอุณหภูมิ ที่เพิ่มวงจรขยายกำลังงานในรูปการมอดูเลต.....	108
5.23 ผลการทดลองวงจรมอดูเลตสัญญาณแบบซิกมา-เดลต้าที่ปรับลดผลของอุณหภูมิ และเพิ่มวงจรขยายกำลังงานในรูปการมอดูเลต.....	109
5.24 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความผิดเพี้ยนฮาร์มอนิกรวมกับความถี่สัญญาณอินพุต ของวงจรขยายกำลังงานแบบซิกมา-เดลต้าที่ปรับลดผลของอุณหภูมิ เมื่อขนาดสัญญาณอินพุตเท่ากับ 20 mV	110

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
5.25 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความผิดเพี้ยนฮาร์มอนิกรวมกับขนาดสัญญาณอินพุต ของวงจรขยายกำลังงานแบบซิกมา-เดลต้าที่ปรับลดผลของอุณหภูมิ เมื่อความถี่สัญญาณอินพุตเท่ากับ 1 kHz110	110
5.26 วงจรมอดูเลตแบบเดลต้าที่ปรับลดผลของอุณหภูมิ และแทรกภาคขยายกำลังงานไว้ในรูปการมอดูเลต..... 111	111
5.27 ผลการทดลองวงจรมอดูเลตแบบเดลต้าที่เพิ่มวงจรขยายกำลังงาน เมื่อสัญญาณอินพุตเป็นสัญญาณสี่เหลี่ยมและการมอดูเลตยังไม่มีส่วนการทำปริพันธ์.....112	112
5.28 ผลการทดลองวงจรมอดูเลตแบบเดลต้าที่เพิ่มวงจรขยายกำลังงาน เมื่อสัญญาณอินพุตเป็นสัญญาณสามเหลี่ยมและการมอดูเลตยังไม่มีส่วนการทำปริพันธ์..112	112
5.29 ผลการทดลองวงจรมอดูเลตแบบเดลต้าที่ผ่านการขยายกำลังงานแล้ว เมื่อสัญญาณอินพุตเป็นสัญญาณสี่เหลี่ยม..... 113	113
5.30 ผลการทดลองวงจรมอดูเลตแบบเดลต้าที่ผ่านการขยายกำลังงานแล้ว เมื่อสัญญาณอินพุตเป็นสัญญาณสามเหลี่ยม..... 114	114
5.31 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความผิดเพี้ยนฮาร์มอนิกรวมกับความถี่สัญญาณอินพุต ของวงจรขยายกำลังงานแบบเดลต้าที่ปรับลดผลของอุณหภูมิ.....115	115
5.32 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความผิดเพี้ยนฮาร์มอนิกรวมกับขนาดสัญญาณอินพุต ของวงจรขยายกำลังงานแบบเดลต้าที่ปรับลดผลของอุณหภูมิ เมื่อความถี่สัญญาณอินพุตเท่ากับ 1 kHz 115	115
5.33 ผลการทดลองวงจรมอดูเลตแบบซิกมา-เดลต้าแบบไม่ปรับลดผลจากอุณหภูมิ ที่วางภาคขยายกำลังงานไว้นอกการมอดูเลต..... 116	116
5.34 ผลการทดลองวงจรมอดูเลตแบบซิกมา-เดลต้าแบบปรับลดผลจากอุณหภูมิ ที่วางภาคขยายกำลังงานไว้นอกการมอดูเลต..... 116	116
5.35 ผลการทดลองวงจรมอดูเลตแบบเดลต้าที่วางภาคขยายกำลังงานไว้นอกการมอดูเลต... 117	117
5.36 ผลตอบสนองทางความถี่ของวงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน ที่ใช้ในการมอดูเลตแบบซิกมา-เดลต้า..... 118	118
5.37 ผลตอบสนองทางเฟสของวงจรกรองความถี่ต่ำผ่านที่ใช้ในการมอดูเลตแบบซิกมา-เดลต้า.118	118
5.39 ผลตอบสนองทางความถี่ของวงจรกรองความถี่ต่ำผ่านที่ใช้ในการมอดูเลตแบบเดลต้า..... 119	119
5.40 ผลตอบสนองทางเฟสของวงจรกรองความถี่ต่ำผ่านที่ใช้ในการมอดูเลตแบบเดลต้า..... 119	119
5.41 ผลตอบสนองทางความถี่ของวงจรขยายกำลังที่ใช้ในการมอดูเลตแบบซิกมา-เดลต้า..... 120	120

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
5.42	ผลตอบสนองทางความถี่ของวงจรขยายกำลังที่ใช้การมอดูเลตแบบเคลตต้า..... 120
5.43	การหน่วงเวลาที่เกิดขึ้นจากการทำงานของวงจรขยายกำลังสัญญาณพัลส์..... 121
5.44	ผลการทดลองป้อนสัญญาณเสียงเพลงเข้าสู่วงจรขยายกำลัง ที่ใช้การมอดูเลตแบบซิกมา-เคลตต้า..... 122
5.45	ผลการทดลองป้อนสัญญาณเสียงเพลงเข้าสู่วงจรขยายกำลังที่ใช้การมอดูเลตแบบเคลตต้า... 122