

## สารบัญ

บทที่	หน้า
1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย.....	3
1.3 ทฤษฎีหรือแนวคิดที่ใช้ในการทำโครงการวิจัย.....	4
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	6
1.5 แผนการถ่ายทอดเทคโนโลยีหรือผลการวิจัยสู่กลุ่มเป้าหมาย.....	7
1.6 วิธีการดำเนินการวิจัย และสถานที่ทำการทดลอง/เก็บข้อมูล.....	7
1.7 รายละเอียดของรายงานวิจัย.....	8
2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	10
2.1 หลักการออกแบบวงจรหาค่าแอมพลิจูดที่น่าสนใจที่ผ่านมา.....	10
2.2 หลักการของวงจรถ่วงย่อยที่สำคัญต่าง ๆ.....	14
2.3 สรุป.....	31
3 วงจรแปลงค่าแอมพลิจูดเป็นสัญญาณดิจิทัล โดยใช้เทคนิคการประมาณค่าสี่บิต.....	32
3.1 วงจรและหลักการทำงานของวงจรที่ได้พัฒนาออกแบบขึ้น.....	32
3.2 การวิเคราะห์พารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับวงจร.....	37
3.3 การทดสอบการทำงานของวงจร.....	40
3.4 ผลการทดสอบการทำงานของวงจรและการอภิปรายผล.....	41
3.5 สรุป.....	46

## สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
4	วงจรรววจวัดค่าแอมพลิจูดโดยใช้เทคนิคการนับและติดตามค่า..... 47
4.1	วงจรและหลักการทำงานของวงจรที่ได้พัฒนาออกแบบขึ้น..... 47
4.2	การวิเคราะห์พารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับวงจร..... 50
4.3	การทดสอบการทำงานของวงจร..... 52
4.4	ผลการทดสอบการทำงานของวงจรและการอภิปรายผล..... 54
4.5	สรุป..... 60
5	วงจรรววจวัดค่าแอมพลิจูดโดยใช้วงจรรองความถี่ผ่านหมดเป็นตัว สร้างสัญญาณควบคุม..... 61
5.1	วงจรและหลักการทำงานของวงจรที่ได้พัฒนาออกแบบขึ้น..... 61
5.2	การวิเคราะห์พารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับวงจร..... 66
5.3	การทดสอบการทำงานของวงจร..... 67
5.4	ผลการทดสอบการทำงานของวงจรและการอภิปรายผล..... 68
5.5	สรุป..... 74
6	วงจรเชื่อมต่อสำหรับการตรวจวัดค่าแอมพลิจูดสัญญาณรูปไซน์ และ วงจรมอดูเลเตอร์สัญญาณรีโซลเวอร์..... 75
6.1	วงจรเชื่อมต่อสำหรับการตรวจวัดค่าแอมพลิจูดสัญญาณรูปไซน์..... 75
6.2	วงจรมอดูเลเตอร์สำหรับสัญญาณรีโซลเวอร์..... 83
6.3	สรุป..... 94
7	บทสรุปผลการดำเนินงาน..... 95
7.1	บทสรุปและวิจารณ์..... 95
7.2	ข้อเสนอแนะและแนวทางในการทำวิจัยต่อ..... 97

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บรรณานุกรม.....	98
ภาคผนวก.....	100
ภาคผนวก ก Source Code โปรแกรมที่ใช้กับระบบการตรวจวัดค่าแอมพลิจูด..	101
ภาคผนวก ข การเผยแพร่ผลงานวิจัย.....	109
ภาคผนวก ค ประวัติหัวหน้าโครงการวิจัย.....	165

## สารบัญภาพ

ภาพ	หน้า
1.1 วงจรหาค่าแอมพลิจูด.....	1
1.2 ตัวอย่างการตรวจสอบค่าอิมพีแดนซ์.....	2
1.3 วงจรหาค่าแอมพลิจูดสำหรับสัญญาณรูปไซน์ .....	4
1.4 แผนภาพสัญญาณของวงจรในภาพ 1.3.....	5
1.5 วงจรหาค่าแอมพลิจูดที่ให้เอาต์พุตเป็นสัญญาณดิจิทัล.....	5
2.1 ตัวอย่างวงจรถอดค่าแอมพลิจูดโดยใช้วงจรเรียงกระแสต่อร่วมกับวงจรถอด ความถี่ต่ำผ่าน.....	10
2.2 วงจรหาค่ารากที่สองของค่าเฉลี่ยกำลังสอง.....	11
2.3 ตัวอย่างวงจรถอดค่าแอมพลิจูดโดยใช้วงจรเลื่อนเฟส 90 องศา ต่อร่วมกับวงจรถอดค่าสัญญาณ และวงจรถอดค่าสัญญาณ.....	13
2.4 วงจรตรวจจับผ่านศูนย์.....	14
2.5 วงจรเปรียบเทียบสัญญาณแบบไม่กลับเฟส.....	16
2.6 วงจรเปรียบเทียบสัญญาณแบบกลับเฟส.....	16
2.7 ผลของสัญญาณรบกวน.....	17
2.8 วงจรเปรียบเทียบแรงดันไฟฟ้าแบบมีฮิสเตอร์รีซิส.....	19
2.9 การทำงานของวงจรเปรียบเทียบแรงดันแบบมีฮิสเตอร์รีซิส.....	20
2.10 วงจรตรวจจับค่ายอดสัญญาณอย่างง่าย.....	21
2.11 วงจรตรวจจับค่ายอดสัญญาณแบบปรับปรุง.....	22
2.12 วงจรสุ่มและคงค่าสัญญาณ.....	23
2.13 วงจรขยาย $\pm 1$ เท่า.....	24
2.14 วงจรเรียงกระแสแบบเต็มคลื่น.....	25
2.15 โครงสร้างวงจร แผนภาพเวลา และการจัดการขาของไอซี HD74LS193.....	27
2.16 การต่อไอซีเบอร์ HD74LS193 สำหรับการนับขึ้นหรือนับลงมากกว่า 1 หลัก.	29
2.17 เจเคฟลิปฟลอปชนิดที่ทำงานด้วยขอบขาขึ้นของสัญญาณนาฬิกา.....	30
2.18 เจเคฟลิปฟลอปชนิดที่ทำงานด้วยขอบขาลงของสัญญาณนาฬิกา.....	30

## สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพ	หน้า
3.1 บล็อกไดอะแกรมของวงจรและแผนภาพเวลา.....	33
3.2 วงจรแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัล.....	36
3.3 การวิเคราะห์หาค่า $Error_{(max)}$ .....	39
3.4 ผลการทดสอบการทำงานของวงจร ADC.....	42
3.5 สัญญาณ $V_{in}$ สัญญาณ $Q_{peak}$ สัญญาณ $Q_{adc}$ และ สัญญาณ $ck'$ .....	43
3.6 สัญญาณ $V_{in}$ สัญญาณ $V_{peak}$ สัญญาณ $V_f$ และสัญญาณ $V_{out}$ .....	44
3.7 ผลการทำงานเมื่อสัญญาณอินพุตเปลี่ยนแปลงค่าแอมพลิจูดเป็นสัญญาณ รูปต่างๆ .....	45
3.8 ผลการทำงานเมื่อสัญญาณอินพุตเปลี่ยนแปลงค่าแอมพลิจูดแบบเป็นรูป ไซน์.....	45
3.9 ผลการวัดค่าผลรวมความผิดพลาดเพี้ยนฮาร์โมนิก.....	45
4.1 วงจรตรวจวัดค่าแอมพลิจูดใช้เทคนิคการนับและติดตามค่าที่ได้พัฒนาขึ้น.....	48
4.2 แผนภาพสัญญาณที่สำคัญของวงจรภาพ 4.1 .....	48
4.3 ค่าผิดพลาดอันเนื่องมาจากการเปลี่ยนแปลงค่าแอมพลิจูดของสัญญาณอินพุต	50
4.4 วงจรหาค่าแอมพลิจูดบนแผ่นวงจรพิมพ์ที่ได้พัฒนาขึ้น.....	53
4.5 วงจรในส่วนของวงจรมับและวงจรแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นสัญญาณ - แอนะล็อก .....	53
4.6 ผลการทดสอบจังหวะการทำงานของวงจร.....	55
4.7 ผลการแปรค่าขนาดแอมพลิจูด ( $A_i$ ) ของสัญญาณอินพุต.....	56
4.8 ผลการเปลี่ยนความถี่ของสัญญาณอินพุต.....	57
4.9 ผลการทำงานของวงจร เมื่อสัญญาณอินพุตเกิดจากการมอดูเลตทางขนาด	58
4.10 ผลการวัดค่า THD.....	59

## สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพ	หน้า
5.1 วงจรตรวจวัดค่าแอมพลิจูดสำหรับสัญญาณรูปไซน์.....	62
5.2 แผนภาพเวลาของสัญญาณที่สำคัญของวงจรในภาพ 5.1.....	63
5.3 ผลตอบสนองทางความถี่ของวงจรของความถี่ผ่านหมด เมื่อกำหนด $f_o = \omega_o / 2\pi = 1/(2\pi C_o R_{o1}) = 100 \text{ Hz}$ .....	65
5.4 ผลการเปลี่ยนแปลงค่าแอมพลิจูดของสัญญาณอินพุต.....	67
5.5 ผลการทำงานกรณีสัญญาณอินพุตมีค่าแอมพลิจูดคงที่เท่ากับ 5 V ความถี่ 1 kHz .....	70
5.6 ผลการทำงานกรณีสัญญาณอินพุตมีค่าแอมพลิจูดคงที่เท่ากับ 5 V ความถี่ 10 kHz .....	71
5.7 ผลการแปรค่าแอมพลิจูดของสัญญาณอินพุต.....	72
5.8 ผลการทำงานในกรณีที่สัญญาณอินพุตมีการเปลี่ยนแปลงค่าแอมพลิจูด เป็นรูปต่าง ๆ .....	73
5.9 ผลการวัดค่าผลรวมความผิดพลาดเพี้ยนฮาร์มอนิก.....	74
6.1 วงจรเชื่อมต่อสำหรับการตรวจวัดค่าแอมพลิจูดของสัญญาณรูปไซน์.....	76
6.2 การต่อวงจรเชื่อมต่อสัญญาณโดยใช้บอร์ดรุ่น CP-JR51Adu842 v1.0.....	78
6.3 ผลการทำงานของวงจรเชื่อมต่อสัญญาณ เมื่อแอมพลิจูดของสัญญาณ - อินพุตมีค่าคงที่.....	79
6.4 ผลการแปรค่าแอมพลิจูดของสัญญาณอินพุต.....	80
6.5 ผลการทำงานของวงจรเชื่อมต่อสัญญาณ เมื่อแอมพลิจูดของสัญญาณ - อินพุตเปลี่ยนแปลงเป็นรูปสามเหลี่ยม.....	81
6.6 ผลการทำงานของวงจรเชื่อมต่อสัญญาณ เมื่อแอมพลิจูดของสัญญาณ - อินพุตเปลี่ยนแปลงเป็นรูปไซน์.....	82
6.7 ริโซลเวออร์.....	84
6.8 บล็อกไดอะแกรมของวงจรดีมอดูเลเตอร์สัญญาณริโซลเวออร์.....	87
6.9 แผนภาพเวลาสัญญาณที่สำคัญของวงจรดีมอดูเลเตอร์สัญญาณริโซลเวออร์.	88

## สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพ	หน้า
6.10 วงจรตีมอดูเลเตอร์สัญญาณรีโซลเวอร์ที่พัฒนาขึ้น.....	90
6.11 ผลการทำงานของวงจรตีมอดูเลเตอร์ เฉพาะวงจรย่อยส่วนตรวจวัดค่า - แอมพลิจูด.....	91
6.12 ผลการแปรค่าแอมพลิจูดของสัญญาณอินพุต.....	91
6.13 ผลการทำงานของวงจรตีมอดูเลเตอร์ เมื่ออัตราเร็วแกนหมุนเท่ากับ 7.5 รอบ/นาที.....	92
6.14 ผลการทำงานของวงจรตีมอดูเลเตอร์ เมื่ออัตราเร็วแกนหมุนเท่ากับ 5 รอบ/นาที.....	93
6.15 ผลการทำงานของวงจรตีมอดูเลเตอร์ เมื่ออัตราเร็วแกนหมุนเท่ากับ 3 รอบ/นาที.....	93

## สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
3.1 ค่าความจุไฟฟ้าที่เหมาะสมสำหรับสัญญาณอินพุตแอมพลิจูด 5 V ในแต่ละช่วงความถี่ใช้งาน.....	42
3.2 ผลการตรวจสอบสมบัติการทำงานของวงจร.....	46
4.1 สัญญาณเอาต์พุตแบบดิจิตัล.....	58
5.1 การเลื่อนเฟส ( $\theta_{o  }$ ) ของสัญญาณเอาต์พุต ( $V_{o  }$ ) เปรียบเทียบกับเฟสของ สัญญาณอินพุต ( $V_{i  }$ ) สำหรับวงจรกรองความถี่ผ่านหมด (จากการเลียนแบบการทำงานของวงจรด้วยโปรแกรม PSPICE).....	66
5.2 ตัวเก็บประจุที่เหมาะสมสำหรับวงจรตรวจจับค่ายอดสัญญาณในแต่ละ ช่วงความถี่ใช้งาน.....	68
6.1 ผลการวัดค่า THD.....	93