

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	ก
กิตติกรรมประกาศ	ข
สารบัญ	ค
สารบัญตาราง	จ
สารบัญภาพ	ฉ
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ที่มาของโครงการ	1
1.2 วัตถุประสงค์	1
1.3 ขอบเขตโครงการ	2
1.4 ประโยชน์โครงการ	2
บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	
2.1 โครงสร้างของเครื่องจักรกลไฟฟ้ากระแสตรง	3
2.2 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง	7
2.3 เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง	30
2.4 อุปกรณ์และเครื่องมือวัด	50
บทที่ 3 การออกแบบโครงการ	
3.1 การออกแบบโครงการ	64
3.2 การออกแบบใบงาน	73

## สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
บทที่ 4 การทดลองและผลการทดลอง	
4.1 มอเตอร์ขนาน	75
4.2 มอเตอร์อนุกรม	80
4.3 มอเตอร์ผสม	84
4.4 เครื่องกำเนิดไฟฟ้าชนิดขั้วแม่เหล็กไฟฟ้ากระตุ้น ภายนอกขณะไม่จ่ายโหลด	91
4.5 เครื่องกำเนิดไฟฟ้าชนิดขั้วแม่เหล็กไฟฟ้ากระตุ้นตัวเองขณะไม่จ่ายโหลด	94
4.6 เครื่องกำเนิดไฟฟ้าชนิดขั้วแม่เหล็กไฟฟ้ากระตุ้นภายนอกขณะจ่ายโหลด	97
4.7 เครื่องกำเนิดไฟฟ้าชนิดขั้วแม่เหล็กไฟฟ้ากระตุ้นตัวเองขณะจ่ายโหลด	100
4.8 เครื่องกำเนิดไฟฟ้าอนุกรมขณะจ่ายโหลด	103
บทที่ 5 สรุปและข้อเสนอแนะ	
5.1 สรุป	105
เอกสารอ้างอิง	106
ภาคผนวก ก	107

## สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วกับกระแสไหลลด ทอร์คกับความเร็วและทอร์คกับกระแสไหลลด	78
ตารางที่ 4.2 ตารางการคำนวณค่าต่าง ๆ ของมอเตอร์	78
ตารางที่ 4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างทอร์คกับกระแสไหลลด	78
ตารางที่ 4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสอาร์เมเจอร์ ความเร็ว และทอร์คของมอเตอร์	82
ตารางที่ 4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสอาร์เมเจอร์กับทอร์ค	82
ตารางที่ 4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วกับทอร์ค	82
ตารางที่ 4.7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าต่าง ๆ ของมอเตอร์ผสมเมื่อให้หมุนขับเป็นมอเตอร์ขนาน	85
ตารางที่ 4.8 ความสัมพันธ์ต่อกันระหว่างค่าต่างๆของมอเตอร์	86
ตารางที่ 4.9 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าต่างๆ ของมอเตอร์ผสม เมื่อให้หมุนขับไหลดเป็นมอเตอร์ผสม	86
ตารางที่ 4.10 การทดลองแรงเคลื่อนไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่กระแสขดลวดสนามแม่เหล็กคงที่	92
ตารางที่ 4.11 การทดลองแรงเคลื่อนไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ความเร็วคงที่	93
ตารางที่ 4.12 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงเคลื่อนไฟฟ้ากับความเร็วอาร์เมเจอร์	95
ตารางที่ 4.13 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงเคลื่อนไฟฟ้ากับกระแสขดลวดสนามแม่เหล็ก	95
ตารางที่ 4.14 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันกับกระแสไหลลด	98
ตารางที่ 4.15 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันกับกระแสอาร์เมเจอร์	101
ตารางที่ 4.16 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันกับกระแสไหลลดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าอนุกรม	104

## สารบัญภาพ

	หน้า
ภาพที่ 2.1 โครงสร้างของสเตเตอร์	3
ภาพที่ 2.2 แปร่งถ่านและแบร์ริง	5
ภาพที่ 2.3 ฝาปิดหัวท้ายหรือฝาครอบ	5
ภาพที่ 2.4 ส่วนประกอบของโรเตอร์	6
ภาพที่ 2.5 การพันขดลวดแบบแลปและแบบเวฟ	6
ภาพที่ 2.6 ส่วนประกอบของคอมมิวเตเตอร์	7
ภาพที่ 2.7 แสดงส่วนต่างๆของเครื่องกลไฟฟ้า	7
ภาพที่ 2.8 แสดงกฏมือซ้ายของเฟรมมิ่ง	8
ภาพที่ 2.9 แสดงมอเตอร์ไฟฟ้าอย่างง่าย	10
ภาพที่ 2.10 การเกิดสนามแม่เหล็กที่ขดลวดอาร์เมเจอร์	11
ภาพที่ 2.11 วงจรแสดงการทำงานของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบอนุกรม	13
ภาพที่ 2.12 วงจรแสดงการทำงานของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบขนาน	14
ภาพที่ 2.13 การปรับความเร็วชั้นที่มอเตอร์ให้มีความเร็วสูงกว่าปกติโดยใช้รีโอสตาท	15
ภาพที่ 2.14 การปรับความเร็วชั้นที่มอเตอร์ให้มีความเร็วต่ำกว่าปกติ โดยใช้รีโอสตาท	15
ภาพที่ 2.15 วงจรการต่อมอเตอร์กระแสตรงแบบผสม	16
ภาพที่ 2.16 วงจรแสดงการทำงานของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบชอทชั้นที่คอมปาวัต	17
ภาพที่ 2.17 วงจรแสดงการทำงานของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบลองชั้นที่คอมปาวัตมอเตอร์	17
ภาพที่ 2.18 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงบิดกับกระแสที่ไหลในอาร์เมเจอร์	19
ภาพที่ 2.19 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบกับกระแสที่ไหลในอาร์เมเจอร์	20
ภาพที่ 2.20 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงบิดกับกระแสที่ไหลในอาร์เมเจอร์	23
ภาพที่ 2.21 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบกับกระแสที่ไหลในอาร์เมเจอร์	23
ภาพที่ 2.22 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงบิดกับกระแสที่ไหลในอาร์เมเจอร์	25
ภาพที่ 2.23 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบกับกระแสที่ไหลในอาร์เมเจอร์	25
ภาพที่ 2.24 ประสิทธิภาพมอเตอร์ของมอเตอร์	26
ภาพที่ 2.25 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้า กำลังกล กำลังสูญเสีย และประสิทธิภาพของมอเตอร์	27
ภาพที่ 2.26 การควบคุมกระแสฟลักซ์ของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง	29

## สารบัญภาพ(ต่อ)

	หน้า
ภาพที่ 2.27 การต่อความต้านทานในวงจรอาร์มเจอร์ของมอเตอร์กระแสตรง	29
ภาพที่ 2.28 กฎมือขวาของเฟลมมิง	30
ภาพที่ 2.29 กฎมือซ้ายของเฟลมมิง	31
ภาพที่ 2.30 ภาพการหมุนและคลื่นแรงดันไฟฟ้าจากการหมุน เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง	31
ภาพที่ 2.31 ภาพคลื่นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงเปรียบเทียบกับไฟฟ้ากระแสสลับ	32
ภาพที่ 2.32 ตัวนำเคลื่อนที่ในสนามแม่เหล็กจะทำให้เกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้าตาม กฎมือขวาของเฟลมมิง	33
ภาพที่ 2.33 ลักษณะขดลวดสนาม	34
ภาพที่ 2.34 การต่อขดลวดแบบต่างๆ ของเครื่องกำเนิดกระแสตรง	35
ภาพที่ 2.35 วงจรสมมุติของเครื่องกำเนิดแบบขดลวดสนามแยกกระตุ้น	36
ภาพที่ 2.36 คุณลักษณะที่ขั้วของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงแบบแยกกระตุ้น	37
ภาพที่ 2.37 กราฟแม่เหล็ก คุณลักษณะขณะไม่มีโหลดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า กระแสตรงแบบกระตุ้นแยก	38
ภาพที่ 2.38 กราฟแม่เหล็กคุณลักษณะการจ่ายโหลดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า กระแสตรงแบบกระตุ้นแยก	39
ภาพที่ 2.39 วงจรสมมูลของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงแบบขนาน (แบบกระตุ้นด้วยตัวเอง)	40
ภาพที่ 2.40 แรงดันกำเนิดขึ้นในเครื่องกำเนิดแบบกระตุ้นด้วยตัวเอง	40
ภาพที่ 2.41 ผลของความต้านทานขดลวดสนาม	41
ภาพที่ 2.42 วงจรสมมูลของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงแบบขนาน (กระตุ้นด้วยตัวเอง) ขณะมีโหลด	42
ภาพที่ 2.43 คุณลักษณะขณะไม่มีโหลดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงแบบขนาน	42
ภาพที่ 2.44 คุณลักษณะการจ่ายโหลดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบขนาน	43
ภาพที่ 2.45 วงจรสมมุติของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงแบบอนุกรม	43
ภาพที่ 2.46 เส้นโค้งการทำแม่เหล็กระหว่างแรงดันกับกระแสอาร์มเจอร์	44

## สารบัญภาพ(ต่อ)

	หน้า
ภาพที่ 2.47 คุณลักษณะภายนอก ( $V_T$ กับ $I_T$ ) ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า กระแสตรงแบบอนุกรม	45
ภาพที่ 2.48 คุณลักษณะการจ่ายโหลดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบอนุกรม	45
ภาพที่ 2.49 วงจรสมมูลของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงแบบผสมขณะไร้โหลด	46
ภาพที่ 2.50 คุณลักษณะแรงดัน – กระแสของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงแบบผสม	48
ภาพที่ 2.51 แผนผังกำลังงานสูญเสียทั้งหมดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง	49
ภาพที่ 2.52 ลำดับการเกิดกำลังสูญเสียของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง	49
ภาพที่ 2.53 ภาพรวมของกำลังงานทั้งหมดในเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง	50
ภาพที่ 2.54 โครงสร้างของเครื่องวัดไฟฟ้าชนิดขดลวดเคลื่อนที่แบบอาศัยแม่เหล็กถาวร	51
ภาพที่ 2.55 โครงสร้างของเครื่องวัดไฟฟ้าชนิดขดลวดเคลื่อนที่แบบไดนาโมมิเตอร์	51
ภาพที่ 2.56 แสดงโครงสร้างของเครื่องวัดชนิดแผ่นเหล็กเคลื่อนที่แบบแม่เหล็กดึงดูด	52
ภาพที่ 2.57 แสดงโครงสร้างของเครื่องวัดชนิดแผ่นเหล็กเคลื่อนที่แบบแม่เหล็กผลักดัน	53
ภาพที่ 2.58 การอ่านค่าสเกลบนหน้าปัด	54
ภาพที่ 2.59 แสดงสเกลแบบลิเนียร์และนัลลิเนียร์	54
ภาพที่ 2.60 แสดงตำแหน่งของเข็มชี้	55
ภาพที่ 2.61 แสดงลักษณะและรูปร่างของตัวต้านทานปรับค่าได้	56
ภาพที่ 2.62 ลักษณะรูปร่างและสัญลักษณ์ของโพเทนชิโอมิเตอร์และรีโอสตาท	56
ภาพที่ 2.63 เบรกเกอร์และภาพตัดแสดงอุปกรณ์ภายใน	57
ภาพที่ 2.64 วงจรเรียงกระแสและรูปคลื่นไซน์	58
ภาพที่ 2.65 ส่วนประกอบของหลอดไฟฟ้าแบบไส้	59
ภาพที่ 2.66 แสดงรูปร่างและสัญลักษณ์ของ	60
ภาพที่ 2.67 การทำงานเริ่มจากปิดสวิตช์	61
ภาพที่ 2.68 อาร์เมเจอร์อันเดียวถูกยึดอยู่กับหน้าสัมผัสที่เคลื่อนที่ได้ 4 จุด	61
ภาพที่ 2.69 หน้าสัมผัสแบบนี้มีชื่อว่า SPDT	62
ภาพที่ 2.70 แสดงการตรวจจับ โดยการสะท้อนเชิงมุมของความเร็วเชิงมุม	63

## สารบัญภาพ(ต่อ)

	หน้า
ภาพที่ 3.1 ชุดทดลองที่ได้ทำการออกแบบ	64
ภาพที่ 3.2 แสดงภาพวงจรการทดลองมอเตอร์ไฟฟ้า	66
ภาพที่ 3.3 แสดงภาพวงจรการทดลองเครื่องกำเนิดไฟฟ้า	66
ภาพที่ 3.4 แสดงภาพแผงวงจรการทดลองทั้ง 2 ส่วน	67
ภาพที่ 3.5 แอมป์มิเตอร์ ขนาด 1 A.	67
ภาพที่ 3.6 แอมป์มิเตอร์ ขนาด 500 mA.	67
ภาพที่ 3.7 โวลต์มิเตอร์ ขนาด 300 V.	68
ภาพที่ 3.8 เบรกเกอร์ 15 AT	68
ภาพที่ 3.9 จอแสดงผลความเร็วรอบ/นาที	69
ภาพที่ 3.10 เซ็นเซอร์วัดความเร็วรอบ	69
ภาพที่ 3.11 สวิตช์ควบคุมมอเตอร์	69
ภาพที่ 3.12 สวิตช์ควบคุมหลอดไฟ	69
ภาพที่ 3.13 โหลดหลอดไฟฟ้าขนาด	70
ภาพที่ 3.14 ตัวต้านทานชนิดลวดฟิลด์	70
ภาพที่ 3.15 ตัวต้านทานชนิดลวดอาร์เมเจอร์ขนาด	70
ภาพที่ 3.16 เพาเวอร์ซัพพลาย	71
ภาพที่ 3.17 เรกติไฟเออร์ แปลงไฟจากกระแสสลับเป็นกระแสตรง	71
ภาพที่ 3.18 วาริแอกซ์ หม้อแปลงปรับแรงดัน	72
ภาพที่ 3.19 ชุดทดลองที่ได้ทำการสร้าง	72
ภาพที่ 4.1 วงจรการทดลองมอเตอร์ขนานและภาพการต่อวงจรจริง	76
ภาพที่ 4.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วกับกระแสโหลด และทอร์กกับกระแสโหลดของมอเตอร์ขนาน	79
ภาพที่ 4.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วกับกระแสโหลด และทอร์กกับกระแสโหลดของมอเตอร์ขนาน	79
ภาพที่ 4.4 วงจรการทดลองมอเตอร์อนุกรมและภาพการต่อวงจรจริง	80
ภาพที่ 4.5 กราฟแสดงสมรรถนะในการหมุนขับโหลดของมอเตอร์อนุกรม	83

## สารบัญภาพ(ต่อ)

	หน้า
ภาพที่ 4.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงบิดกับกระแส	83
ภาพที่ 4.7 วงจรไฟฟ้าสำหรับการทดลองมอเตอร์ผสมและภาพการต่อวงจรจริง	84
ภาพที่ 4.8 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบกับกระแสของมอเตอร์	87
ภาพที่ 4.9 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างทอร์กกับกระแสของมอเตอร์	88
ภาพที่ 4.10 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างทอร์กกับกระแสของมอเตอร์	88
ภาพที่ 4.11 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างทอร์กกับกระแสของมอเตอร์	89
ภาพที่ 4.12 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพกับกระแสของมอเตอร์	89
ภาพที่ 4.13 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพกับกระแสของมอเตอร์	90
ภาพที่ 4.14 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพกับกระแสของมอเตอร์	90
ภาพที่ 4.15 วงจรการทดลองเครื่องกำเนิดไฟฟ้าตามการทดลองครั้งที่ 4	91
ภาพที่ 4.16 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงเคลื่อนไฟฟ้ากับ กระแสขดลวดสนามแม่เหล็ก	93
ภาพที่ 4.17 วงจรไฟฟ้าสำหรับการลองเครื่องกำเนิดไฟฟ้าในการทดลองที่ 5	94
ภาพที่ 4.18 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงเคลื่อนไฟฟ้า กับความเร็วรอบของอาร์เมเจอร์	96
ภาพที่ 4.19 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงเคลื่อนไฟฟ้ากับ กระแสขดลวดสนามแม่เหล็ก	96
ภาพที่ 4.20 วงจรไฟฟ้าสำหรับการทดลองที่ 6	97
ภาพที่ 4.21 กราฟแสดงสมรรถนะในการจ่ายโหลดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ชนิดขั้วแม่เหล็กไฟฟ้ากระตุ้นภายนอก	99
ภาพที่ 4.22 วงจรการลองที่ 7	100
ภาพที่ 4.23 กราฟแสดงสมรรถนะในการจ่ายโหลดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาน	101
ภาพที่ 4.24 วงจรไฟฟ้าสำหรับการทดลองที่ 8	103
ภาพที่ 4.25 กราฟแสดงสมรรถนะในการจ่ายโหลดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าอนุกรม	104