

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ช
สารบัญภาพ	ฉ
บทที่ 1 บทนำ	1
ความเป็นมาและความสำคัญของโครงการ	1
วัตถุประสงค์	3
สมมติฐานของการวิจัย	3
ขอบเขตของการวิจัย	3
กรอบแนวคิดในการวิจัย	4
คำนิยามศัพท์เฉพาะ	4
ประโยชน์ที่ได้รับ	5
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	6
ทฤษฎีเบื้องต้นเกี่ยวกับการส่องสว่าง	6
หลอดฟลูออเรสเซนต์ประเภทอุ่นไส้ (Preheat Lamp)	7
หลอด LED กำลังสูง	10
ตัวประกอบกำลัง (Power Factor)	14
สวิตซิ่งเพาเวอร์ซัพพลาย (Switching Power Supply)	19
ฟลายแบ็ค คอนเวอร์เตอร์ (Flyback Converter)	23
วงจรรูสต์ คอนเวอร์เตอร์ (Boost Converter)	39
การแก้ไขค่าตัวประกอบกำลังให้เป็น 1	47

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
ชนิดของการแก้ไขค่าตัวประกอบกำลัง (Type of Power Factor Correction)	43
เบื้องต้นกับไอซีเพาเวอร์แฟกเตอร์คอร์เรกชัน	45
ข้อมูลการประยุกต์ใช้งานของไอซี FAN7528	47
การออกแบบวงจร PFC Boost Converter	50
Line Regulation	54
Load Regulation	55
งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	55
บทที่ 3 วิธีการดำเนินการวิจัย	57
อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย	58
การเก็บรวบรวมข้อมูล	58
สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล	59
การออกแบบวงจรชุดหลอด LED กำลังสูง	60
การออกแบบวงจรฟลายแบ็ค คอนเวอร์เตอร์ ขนาดกำลัง 38 W	62
การออกแบบวงจรชุดควบคุมแรงดัน และกระแสคงที่	67
การออกแบบวงจรบูสต์ คอนเวอร์เตอร์ ขนาดกำลัง 50 W	70
บทที่ 4 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล	75
ผลการทดสอบหาประสิทธิภาพ (η) ของวงจรบูสต์ คอนเวอร์เตอร์	
โดยใช้ความต้านทานเป็นโหลด	76
ผลการทดสอบหาประสิทธิภาพ (η) ของวงจรฟลายแบ็ค คอนเวอร์เตอร์	
โดยใช้ความต้านทานเป็นโหลด	85
ผลการทดสอบหลอด LED กำลังสูงแบบแฟคคู่ขับด้วยชุดวงจรคอนเวอร์เตอร์	93
ผลการเปรียบเทียบค่าค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์ (COS ϕ) และกำลังไฟฟ้าจริง	
ด้านขาเข้า Power AC (W) ระหว่างหลอดฟลูออเรสเซนต์	
กับหลอด LED กำลังสูงแบบแฟคคู่	97

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 5	
สรุป อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ	99
สรุปผลการวิจัย	99
อภิปรายผลการวิจัย	101
ข้อเสนอแนะทั่วไป	104
ข้อเสนอแนะในการทำวิจัยครั้งต่อไป	104
บรรณานุกรม	105
ภาคผนวก	108
ประวัติการศึกษาและการทำงาน	120

สารบัญตาราง

ตาราง	หน้า
1 การเปรียบเทียบคุณสมบัติของหลอดไฟชนิดต่างๆ	9
2 ช่วงสีพลังงานของหลอด LED	13
3 ตัวอย่างคุณลักษณะของหลอด High Power LED ขนาดกำลัง 1 W	13
4 ชื่อขาและหน้าที่การทำงานของไอซี STRW6556	37
5 แสดงขาและหน้าที่การทำงานของไอซี FAN7528	46
6 เงื่อนไขการออกแบบวงจรฟลายแบ็ค คอนเวอร์เตอร์ ขนาดกำลัง 50 W	63
7 ค่าทางไฟฟ้าต่างๆ ของวงจรบูสต์ คอนเวอร์เตอร์ ขนาดกำลัง 100 W เมื่อคงที่แรงดันไฟ AC 220 V, 50 Hz เปลี่ยนแปลงโหลด R	77
8 ค่าทางไฟฟ้าต่างๆ ของวงจรบูสต์ คอนเวอร์เตอร์ ขนาดกำลัง 100 W เมื่อคงที่โหลด R 2.13 k เปลี่ยนแปลงแรงดันไฟ AC 220 V, 50 Hz	79
9 ค่าทางไฟฟ้าต่างๆ ของวงจรฟลายแบ็ค คอนเวอร์เตอร์ ขนาดกำลัง 50 W เมื่อคงที่แรงดันไฟ AC 220 V, 50 Hz เปลี่ยนแปลงโหลด R	86
10 ค่าทางไฟฟ้าต่างๆ ของวงจรฟลายแบ็ค คอนเวอร์เตอร์ ขนาดกำลัง 50 W เมื่อคงที่โหลด R 474.2 Ω เปลี่ยนแปลงแรงดันไฟ AC 220 V, 50 Hz	88
11 ค่าทางไฟฟ้าต่างๆ เมื่อต่อหลอด LED กำลังสูง เข้ากับชุดวงจรคอนเวอร์เตอร์	94
12 ค่าความเข้มแสงของหลอด LED กำลังสูง เมื่อขับด้วยชุดวงจรคอนเวอร์เตอร์	95

สารบัญภาพ

ภาพ	หน้า
1 โครงสร้างภายในของหลอดฟลูออเรสเซนต์	8
2 วงจรของหลอดฟลูออเรสเซนต์ เมื่อใช้แม่เหล็กบัลลาสต์	8
3 หลอดฟลูออเรสเซนต์ชนิดต่างๆ ที่นิยมใช้	10
4 ตัวอย่างหลอด High Power LED ขนาดกำลัง 1 W	10
5 LED แบบ Lamp Type	11
6 LED แบบ Surface Mount Type (SMT)	11
7 โครงสร้างของ Surface Emitting LED	12
8 กราฟแรงดันและกระแสของ LED	12
9 ขนาดของหลอด High Power LED	13
10 วงจรอนุกรมตัวต้านทานและตัวเหนี่ยวนำ	14
11 รูปคลื่นแรงดันและกระแสของวงจร	14
12 สามเหลี่ยมกำลัง	16
13 วงจรเรียงกระแสแบบบริดจ์	17
14 รูปคลื่นแรงดัน V_s , V_o และกระแส i_s	17
15 ตัวอย่างสวิตซ์เพาเวอร์ซัพพลายที่มีจำหน่ายทั่วไป	19
16 พื้นฐานบล็อกไดอะแกรมของสวิตซ์เพาเวอร์ซัพพลาย	19
17 พื้นฐานวงจรควบคุมในโหมดควบคุมจากกระแส	20
18 พื้นฐานวงจรในโหมดควบคุมจากแรงดัน	21
19 ลักษณะเอาต์พุตของวงจรพัลส์วิดท์มอดูเลชั่น	22
20 พื้นฐานวงจรของฟลายแบ็ค คอนเวอร์เตอร์	22
21 กระแสที่ขีดปฐมภูมิและขดทุติยภูมิในวงจรฟลายแบ็ค คอนเวอร์เตอร์	24
22 แรงดันและกระแสในวงจรฟลายแบ็ค คอนเวอร์เตอร์	25
23 ลักษณะของเส้นโค้งฮิสเตอร์รีซิสมีลักษณะสมมาตรของกราฟ ชีกบนและชีกล่าง	26

สารบัญญภาพ (ต่อ)

ภาพ	หน้า
24 ช่องอากาศคั่นที่แกนกลางและช่องอากาศคั่นคู่ประกบ	27
25 สัญลักษณ์และความสัมพันธ์ของหม้อแปลงไฟฟ้า	28
26 โครงสร้างเพาเวอร์มอสเฟต 1 เซลล์ แบบ N – channel	29
27 ไดโอดและค่าความจุภายในตัวเพาเวอร์มอสเฟต	29
28 ลักษณะของกระแสและแรงดันตกคร่อมเพาเวอร์มอสเฟต ขณะนำกระแสและหยุดนำกระแส	30
29 ลักษณะการขับเคลื่อนเพาเวอร์มอสเฟตที่ใช้ในวงจรจ่ายไฟแบบสวิตชิง ในเครื่องรับโทรทัศน์ทั่วไป	30
30 กราฟการคืนตัวในภาวะกั้นกระแสของไดโอด	31
31 ตัวอย่างไดโอดคืนตัวเร็วแบบต่างๆ	32
32 การป้องกันไดโอดเรกติไฟเออร์ขณะหยุดนำกระแส	33
33 a) ภาคเอาต์พุตของแหล่งจ่ายไฟสวิตชิง b), c) แสดงรูปสัญญาณของแรงดันและกระแส	34
34 ลักษณะรูปร่างของไอซีสวิตชิงเรกูเลเตอร์ เบอร์ STRW6556	36
35 โครงสร้างภายในไอซีสวิตชิงเรกูเลเตอร์ เบอร์ STRW6556	36
36 การควบคุมแรงดันไฟเอาต์พุตให้คงที่โดยใช้ไอซีเออร์เรอร์แอมป์ SE150 ร่วมกับออปโตทรานซิสเตอร์ PC817 ก่อนส่งสัญญาณเข้าสู่ขา 6 (FB) ของไอซี STRW6556	38
37 วงจรบูสต์ คอนเวอร์เตอร์ ขณะสวิตซ์ปิดวงจร (Switch On)	39
38 วงจรบูสต์ คอนเวอร์เตอร์ ขณะสวิตซ์เปิดวงจร (Switch Off)	40
39 สัญญาณรูปคลื่นตามจุดต่างๆ ในวงจรบูสต์ คอนเวอร์เตอร์	40
40 ลักษณะแรงดันและกระแสด้านขาเข้าของสวิตชิงเพาเวอร์ซัพพลายที่ปราศจาก PFC	41
41 ลักษณะแรงดันและกระแสด้านขาเข้าของสวิตชิงเพาเวอร์ซัพพลายที่มีวงจร PFC	42
42 คุณลักษณะของแรงดันและกระแสอินพุตที่เกิดขึ้นตามเงื่อนไข	43
43 Input Harmonic of three Relative to EN61000-3-2 Limits	43

สารบัญญภาพ (ต่อ)

ภาพ	หน้า
44 CRM Wave Form (แบบ Current Mode Control)	44
45 CRM Wave Form (แบบ Voltage Mode Control)	44
46 บล็อกไดอะแกรมวงจรภายในไอซี FAN7528	45
47 Timing diagram เมื่อวงจรทำงานอยู่ในสภาวะคงที่แล้ว	46
48 วงจรแก้ไขค่าตัวประกอบกำลังให้สูงขึ้น โดยไอซี FAN7528	47
49 Error Amplifier Block ภายในไอซี FAN7528	47
50 Zero Current Detection (ZCD) Block ภายในไอซี FAN7528	48
51 Saw tooth Generator Block ภายในไอซี FAN7528	49
52 Over- Current Protection Block ภายในไอซี FAN7528	49
53 Switch Drive Block ภายในไอซี FAN7528	50
54 การใส่คาปาซิเตอร์อินพุต C_1 ค่าความจุมากจะทำให้ค่า PF < 1	54
55 แผนผังการดำเนินงานวิจัย	57
56 บล็อกไดอะแกรมชุดวงจรคอนเวอร์เตอร์ ซึ่งประกอบด้วยวงจรบูสต์ คอนเวอร์เตอร์ ใส่ไว้ในวงจรส่วนหน้าฟลายแบ็ค คอนเวอร์เตอร์ เพื่อใช้ขับหลอด LED กำลังสูง แบบแพ็คเกจ	60
57 ตำแหน่งการวาง Lux Meter เพื่อวัดค่าความเข้มแสงที่ระดับความสูง 1 เมตร	61
58 วงจรทดสอบค่าความเข้มแสงจากหลอด LED กำลังสูงแบบแพ็คเกจในเบื้องต้น ด้วยการใช้แหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงปรับค่าได้จากภายนอก	61
59 ชุดวงจรหลอด LED กำลังสูงแบบแพ็คเกจ ที่ใช้ในการทดสอบ	62
60 วงจรฟลายแบ็ค คอนเวอร์เตอร์ที่ได้จากการออกแบบ	67
61 วงจรป้องกันกระแสไหลเกิน 5 A ด้วยความต้านทาน R_{SEN} 0.2 Ω ที่ขา Source	68
62 วงจรเออร์เรอร์แอมป์ที่ใช้ไอซี เบอร์ SE150 ควบคุมแรงดันไฟ +150 V ทางเอาต์พุตให้คงที่	68
63 วงจรฟลายแบ็ค คอนเวอร์เตอร์ ขนาดกำลัง 50 W ที่ใช้ขับหลอด LED กำลังสูง	69

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพ	หน้า
64 ภาพถ่ายจริงวงจรฟลายแบ็ค คอนเวอร์เตอร์ ขนาดกำลัง 38 W ที่ใช้ทดสอบ	69
65 วงจรบูสต์ คอนเวอร์เตอร์ ขนาดกำลัง 100 W เป็นวงจรส่วนหน้า ช่วยทำให้ค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์ ($\text{Cos}\Phi$) มีค่าเข้าใกล้ 1	70
66 วงจรบูสต์ คอนเวอร์เตอร์ ขนาดกำลัง 100 W สร้างแรงดันไฟให้สูงขึ้น +390 V ก่อนส่งให้กับฟลายแบ็ค คอนเวอร์เตอร์ ขนาดกำลัง 50 W เพื่อขับหลอด LED กำลังสูง	74
67 ภาพถ่ายวงจรบูสต์ คอนเวอร์เตอร์ ขนาดกำลัง 100 W ที่ใช้ทดสอบ	74
68 บล็อกไดอะแกรมชุดวงจรคอนเวอร์เตอร์เพื่อใช้ขับหลอด LED กำลังสูงแบบแพ็คเกจ	76
69 ตำแหน่งทดสอบสัญญาณทางไฟฟ้าตามจุดต่างๆ ของวงจรบูสต์ คอนเวอร์เตอร์ โดยใช้ความต้านทานแบบปรับค่าได้เป็นโหลด	76
70 สมรรถนะของวงจรควบคุมแรงดันและกระแสคงที่ เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงระดับภาระโหลดจาก 10% ไป 100% ของวงจรบูสต์ คอนเวอร์เตอร์	81
71 แรงดันไฟ Ripple และกระแสที่ กำลัง 100 W ของวงจรบูสต์ คอนเวอร์เตอร์	81
72 รูปคลื่นทางไฟฟ้าตามจุดต่างๆ ของวงจรบูสต์ คอนเวอร์เตอร์ ขนาดกำลัง 100 W	82
73 แรงดันไฟ Ripple และแรงดันไฟตรงของวงจรบูสต์ คอนเวอร์เตอร์ ที่ขนาดกำลัง 100 W เมื่อทดสอบกับโหลด R 2.13 k Ω	83
74 (บน) รูปคลื่นแรงดันไฟสลับ AC 220 V, 50 Hz (ล่าง) รูปคลื่นกระแสด้านขาเข้าของวงจรบูสต์ คอนเวอร์เตอร์ ขนาดกำลัง 100 W	84
75 ตำแหน่งทดสอบสัญญาณทางไฟฟ้าตามจุดต่างๆ ของวงจรฟลายแบ็ค คอนเวอร์เตอร์ โดยใช้ความต้านทานแบบปรับค่าได้เป็นโหลด	85
76 สมรรถนะของวงจรควบคุมแรงดันและกระแสคงที่ เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงระดับภาระโหลด จาก 10 % ไป 100 % ของวงจรฟลายแบ็ค คอนเวอร์เตอร์	90

สารบัญญภาพ (ต่อ)

ภาพ	หน้า
77 รูปคลื่นทางไฟฟ้าตามจุดต่างๆ ของวงจรฟลายแบ็ค คอนเวอร์เตอร์ ขนาดกำลัง 50 W	90
78 รูปคลื่นแรงดันไฟ Ripple และกระแส $I_{DC(o/p)}$ ทางด้านเอาต์พุต เมื่อทดสอบกับโหลด R ขณะที่กำลังเอาต์พุต $Power_{(o/p)}$ เท่ากับ 39.06 W	91
79 รูปคลื่นกระแสและแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ AC 220 V, 50 Hz ด้านขาเข้า ของวงจรฟลายแบ็ค คอนเวอร์เตอร์ ขนาดกำลัง 50 W ที่สร้างขึ้น	92
80 ตำแหน่งทดสอบสัญญาณทางไฟฟ้าตามจุดต่างๆ ของหลอด LED แบบแพ็คคู่ ขับด้วยชุดวงจรคอนเวอร์เตอร์	93
81 กราฟแสดงการเปรียบเทียบค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์ (COS ϕ)	97
82 กราฟแสดงการเปรียบเทียบค่ากำลังไฟฟ้าจริง Power AC (W)	98