

อินเวอร์เตอร์ความถี่สายกำลังที่ใช้หม้อแปลงความถี่สูง



นายนที สุขุมตันติ

ศูนย์วิจัยทรัพยากร

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย


พ.ศ. 2538

ISBN 974-631-965-5

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

116458080

LINE-FREQUENCY INVERTER USING AN HF TRANSFORMER



MR. NATHEE SUKUTAMATUNTI

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

**A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering**

Department of Electrical Engineering

Graduate School

Chulalongkorn University

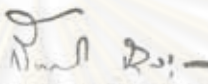
1995

ISBN 974-631-965-5




หัวข้อวิทยานิพนธ์ : อินเวอร์เตอร์ความถี่สายกำลังที่ใช้หม้อแปลงความถี่สูง
โดย : นายนที สุขุมคันติ
ภาควิชา : วิศวกรรมไฟฟ้า
อาจารย์ที่ปรึกษา : รองศาสตราจารย์ ดร.โกทม อารียา

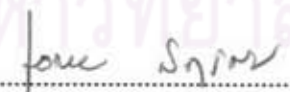
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัยฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่ง
ของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต



.....คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
(รองศาสตราจารย์ ดร.สันติ อุทสุวรรณ)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์


.....ประธานกรรมการ
(ศาสตราจารย์ ดร.มงคล เดชนครินทร์)


.....อาจารย์ที่ปรึกษา
(รองศาสตราจารย์ ดร.โกทม อารียา)


.....กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.เอกชัย ลีลารัมย์)


.....กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ยุธนา กุลวิทิต)



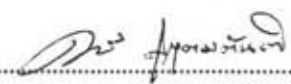
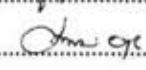
พิมพ์ต้นฉบับบทคัดย่อวิทยานิพนธ์ภายในกรอบสี่เหลี่ยมนี้เพียงแผ่นเดียว

นที สุขุมตันติ : อินเวอร์เตอร์ความถี่สายกำลังที่ใช้หม้อแปลงความถี่สูง (LINE-FREQUENCY INVERTER USING AN HF TRANSFORMER) อ.ที่ปรึกษา : รศ.ดร.โกทม อารียา, 118 หน้า. ISBN 974-631-965-5

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้กล่าวถึงการออกแบบ สร้าง และทดสอบอินเวอร์เตอร์ความถี่สายกำลัง ที่ใช้หม้อแปลงความถี่สูง แรงดันด้านเข้ามาจากแบตเตอรี่ 11-14 โวลต์ กระแสด้านเข้า 0.5-15 แอมแปร์ วงจรแปลงผันไฟตรง-ไฟตรงทำการแปลงผันแรงดันนี้ โดยใช้มอสเฟต 2 ตัวเป็นสวิตช์ ป้อนแรงดันเข้าหม้อแปลงที่ความถี่ 25.6 กิโลเฮิร์ตซ์ ผ่านวงจรเรียงกระแส ได้แรงดันไฟตรง ประมาณ 300 โวลต์ แล้วนำไปผ่านวงจรอินเวอร์เตอร์ที่ใช้มอสเฟต 4 ตัวเป็นสวิตช์ ได้แรงดัน รูปเกือบสี่เหลี่ยม ความถี่ 49-51 เฮิร์ตซ์ ฮาร์มอนิกที่ 5 สูงสุดเท่ากับ 21.45 % คงค่าแรงดันออก ไร่ที่ 220 โวลต์ \pm 10 % จำกัดกำลังออกสูงสุดประมาณ 100 วัตต์ กระแสออก 0-0.45 แอมแปร์ ประสิทธิภาพโดยรวมของอินเวอร์เตอร์ประมาณ 73 % และเพื่อให้แสงวงจรมีขนาดเล็ก ส่วนวงจร ควบคุมจึงใช้อุปกรณ์ติดผิว และบรรจวงจรถูกหมดลงในกล่องขนาดเล็ก มีการระบายอากาศและความร้อนภายในกล่อง โดยใช้พัดลมไฟฟ้าขนาดเล็ก และมีสวิตช์ตัดวงจรทั้งหมดถ้าอุณหภูมิของแผ่นระบายความร้อนมอสเฟต สูงมากกว่า 80 องศาเซลเซียส

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา วิศวกรรมไฟฟ้า
สาขาวิชา ออกแบบอิเล็กทรอนิกส์
ปีการศึกษา 2537

ลายมือชื่อนิสิต 
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา 
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

C415498 : MAJOR ELECTRONIC DESIGN
KEY WORD:

LINE-FREQUENCY INVERTER / DC-DC CONVERTER / SURFACE
MOUNT DEVICES(SMD)

NATHEE SUKUTAMATUNTI : LINE-FREQUENCY INVERTER USING AN HF
TRANSFORMER. THESIS ADVISOR : ASSO.PROF.GOTHOM ARYA, DR. ING.,
118 pp. ISBN 974-631-965-5

This thesis presents the design, construction and testing of a line-frequency inverter using an HF transformer. The input voltage comes from a battery providing 11-14V, 0.5-15 A, to be converted to 300 Vdc (approx.) by a dc-dc converter using 2-MOSFET switches and a transformer operating at 25.6 kHz. An inverter using 4-MOSFET switches converts this high-voltage into a quasi-square wave whose frequency range is 49-51 Hz and containing 21.45 % of the 5th harmonic. The control circuit keeps the output voltage at $220\text{ V} \pm 10\%$, and limits the maximum output power at 100 W which corresponds to 0.45 A output current. The overall efficiency of the inverter is 73 % (approx.). In order to reduce the size of PCBs, the control circuit components are surface-mounted. A small electric-fan is used to remove heat from inside the cabinet. The inverter will be turned off by a thermal-switch when the temperature of MOSFET's heatsink rises to 80°C.



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา.....วิศวกรรมไฟฟ้า

สาขาวิชา.....ออกแบบอิเล็กทรอนิกส์

ปีการศึกษา.....2537

ลายมือชื่อนิสิต.....

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม.....



กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์นี้ สำเร็จได้ด้วยความช่วยเหลือจาก รศ.ดร.โคทม อารียา อาจารย์ที่ปรึกษา ซึ่งได้ให้คำแนะนำที่เป็นประโยชน์ และข้อคิดเห็นต่างๆที่เป็นประโยชน์ต่อการวิจัยด้วยดีมาตลอด อีกทั้ง ศ.ดร.มงคล เดชนครินทร์ , ผศ.ดร.อุทมา กุลวิฑิต , รศ.ดร.เอกชัย ลีลารัมย์ คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ และดร.สมบูรณ์ แสงวงศ์วานิชย์ ที่ได้ให้คำปรึกษาที่เป็นประโยชน์ กรุณาให้ยืมเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย และให้โปรแกรม LEK มาช่วยในการออกแบบวงจร ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณ คณาจารย์ทุกท่านที่ได้กล่าวมาข้างต้น นอกจากนี้ข้าพเจ้าขอขอบคุณ อ.วันเฉลิม โปรา , ห้องปฏิบัติการระบบดิจิทัล ที่ช่วยเหลือในการซึ่มเลดวงจรดิจิทัล โดยใช้โปรแกรม Quick Sim

การวิจัยในครั้งนี้ ได้รับทุนวิจัยบางส่วนจาก ทุนอุดหนุนการวิจัยของบัณฑิตวิทยาลัย และได้รับความเอื้อเฟื้อในด้านอุปกรณ์ดีดคิวงจากบริษัท GSS/ARRAY TECHNOLOGY จึงขอขอบพระคุณ มา ณ ที่นี้ด้วย

ท้ายนี้ ข้าพเจ้าใคร่ขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา เป็นอย่างสูง ซึ่งให้การสนับสนุนด้านการเงิน และให้กำลังใจแก่ข้าพเจ้าเสมอมาจนสำเร็จการศึกษา

นที สุขุมตันติ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญตาราง.....	ช
สารบัญภาพ.....	ณ
บทที่	
1. บทนำ.....	1
2. วงจรแปลงผันไฟตรง-ไฟตรง.....	7
3. วงจรแปลงผันไฟตรง-ไฟสลับ.....	49
4. เทคโนโลยีของอุปกรณ์ตีคิ้วและการออกแบบผลิตภัณฑ์.....	65
5. ทดสอบ สรุปลง และข้อเสนอแนะ.....	80
รายการอ้างอิง.....	101
ภาคผนวก.....	103
ภาคผนวก ก. การออกแบบตัวเหนี่ยวนำ.....	104
ภาคผนวก ข. การออกแบบหม้อแปลง.....	106
ภาคผนวก ค. รายการอุปกรณ์ที่ใช้ในโครงการ.....	109
ภาคผนวก ง. MOSFET IRFZ40.....	111
ภาคผนวก จ. Modified Push-Pull Circuit Simulation	116
ประวัติผู้เขียน.....	118

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
ตารางที่ 2.1 แสดงการนำกระแสในสถานะปกติ	15
ตารางที่ 2.2 ค่าของกระแสและแรงดันในช่วงเวลาต่างๆ ของการตัดต่อสวิตช์	21
ตารางที่ 5.1 แสดงผลการทดสอบวงจรแปลงผันไฟตรง-ไฟตรง D=0.827	81
ตารางที่ 5.2 แสดงผลการทดสอบวงจรแปลงผันไฟตรง-ไฟตรง D=0.769	81
ตารางที่ 5.3 แสดงผลการทดสอบวงจรแปลงผันไฟตรง-ไฟตรง D=0.667	81
ตารางที่ 5.4 แสดงผลการทดสอบวงจรแปลงผันไฟตรง-ไฟตรง D=0.590	81
ตารางที่ 5.5 แสดงค่าวัฏจักรงาน(D)เมื่อแปรค่า $V_s = 11-14$ V โดยให้แรงดันออก(V_o)คงที่ ...	82
ตารางที่ 5.6 ผลการทดสอบกรณีไม่มีโหลด	91
ตารางที่ 5.7 ผลการทดสอบโดยใช้ หลอดไฟฟ้า 40W เป็นโหลด	92
ตารางที่ 5.8 ผลการทดสอบโดยใช้ หลอดไฟฟ้า 100W เป็นโหลด	93
ตารางที่ 5.9 ผลการทดสอบโดยใช้ตัวต้านทาน 2 กิโลโอห์ม เป็นโหลด	94
ตารางที่ 5.10 ผลการทดสอบโดยใช้ตัวต้านทาน 600 โอห์ม เป็นโหลด	95
ตารางที่ 5.11 ผลการทดสอบโดยใช้ตัวเหนี่ยวนำ 1 เฮนรี่เป็นโหลด	96
ตารางที่ 5.12 ความสัมพันธ์ระหว่าง η กับ P_{OUT} ของอินเวอร์เตอร์	97

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญภาพ

รูปที่	หน้า
รูปที่ 1.1 หลักการทำงานของอินเวอร์เตอร์ทั่วไป	1
รูปที่ 1.2 หลักการทำงานของอินเวอร์เตอร์ที่จะสร้างใหม่	2
รูปที่ 1.3 โครงสร้างของอินเวอร์เตอร์ที่จะสร้าง	3
รูปที่ 1.4 วงจรแปลงผันไฟตรง-ไฟสลับแบบบริดจ์	4
รูปที่ 2.1 วงจรทอนระดับ (BUCK)	7
รูปที่ 2.2 ความสัมพันธ์ระหว่าง V_o/V_s กับ D ของวงจรทอน BUCK	8
รูปที่ 2.3 วงจรแปลงผันไปหน้า (Forward Converter)	8
รูปที่ 2.4 วงจรpush-พูลภาคแรงดัน Push-Pull Converter	9
รูปที่ 2.5 วงจรบริดจ์ไม่สมมาตร (Asymmetrical Bridge)	9
รูปที่ 2.6 วงจรกึ่งบริดจ์ (Half-Bridge)	10
รูปที่ 2.7 วงจรบริดจ์ (Bridge)	10
รูปที่ 2.8 วงจรทบระดับ (BOOST)	11
รูปที่ 2.9 ความสัมพันธ์ระหว่าง V_o/V_s กับ D ของวงจร BOOST	11
รูปที่ 2.10 วงจรpush-พูลภาคกระแส	12
รูปที่ 2.11 วงจรทอนทบระดับภาคแรงดัน (Buck-Boost)	12
รูปที่ 2.12 ความสัมพันธ์ระหว่าง (V_o/V_s) กับ D ของวงจรBUCK-BOOST	13
รูปที่ 2.13 วงจรบินกลับ (Flyback)	13
รูปที่ 2.14 วงจรทอนทบระดับภาคกระแส (Cuk)	13
รูปที่ 2.15 วงจรแปลงผันไฟตรง แบบpush-พูลคัดแปร	15
รูปที่ 2.16 แสดงช่วงเวลาการขับนำสวิตช์	15
รูปที่ 2.17 การทำงานของวงจรpush-พูลคัดแปร ในช่วงเวลาที่ (1)	16
รูปที่ 2.18 การทำงานของวงจรpush-พูลคัดแปร ในช่วงเวลาที่ (2),(4)	16
รูปที่ 2.19 การทำงานของวงจรpush-พูลคัดแปร ในช่วงเวลาที่ (3)	17
รูปที่ 2.20 (ก) รูปคลื่นกระแสของวงจรpush-พูลคัดแปรเบื้องต้น ($L_\sigma = 0$; L_m, L ใหญ่มาก)	18

สารบัญภาพ (ต่อ)

รูปที่	หน้า
รูปที่ 2.20 (ข) รูปคลื่นของกระแสของวงจรถูก-พูลปกติ	18
รูปที่ 2.21 วงจรถูก-พูลคัดแปร เมื่อเกิดผลของ L_{σ} และ L_m	19
รูปที่ 2.22 การทำงานของวงจรถูก-พูลคัดแปร ในช่วงเวลาที่ (1)	19
รูปที่ 2.23 การทำงานของวงจรถูก-พูลคัดแปร ในช่วงเวลาที่ (2),(4)	20
รูปที่ 2.24 การทำงานของวงจรถูก-พูลคัดแปร ในช่วงเวลาที่ (3)	21
รูปที่ 2.25 รูปคลื่นของวงจรถูก-พูลคัดแปร	22
รูปที่ 2.26 รูปคลื่นกระแสที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำ	25
รูปที่ 2.27 วงจรกรอง L_1C_1	26
รูปที่ 2.28 รูปคลื่นแรงดันตกคร่อมความเหนี่ยวนำรั่วไหล L_{σ}	28
รูปที่ 2.29 รูปคลื่นแรงดันตกคร่อมตัวเก็บประจุ C_1	28
รูปที่ 2.30 รูปคลื่นกระแสที่ไหลผ่านตัวเก็บประจุ C_1	29
รูปที่ 2.31 รูปคลื่นแรงดันตกคร่อมสวิตช์	29
รูปที่ 2.32 รูปคลื่นกระแสที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำ L_1	30
รูปที่ 2.33 รูปคลื่นกระแสที่ไหลผ่านตัวเก็บประจุ C_1	30
รูปที่ 2.34 รูปคลื่นกระแสด้านออก	31
รูปที่ 2.35 รูปคลื่นแรงดันเข้าวงจรกรอง L_1C_1	31
รูปที่ 2.36 รูปคลื่นแรงดันออกหรือแรงดันตกคร่อมตัวเก็บประจุ C_1	32
รูปที่ 2.37 รูปคลื่นแรงดันตกคร่อมขดปฐมภูมิ	32
รูปที่ 2.38 รูปคลื่นแรงดันตกคร่อมตัวเก็บประจุ C_1	33
รูปที่ 2.39 รูปคลื่นกระแสที่ไหลผ่านตัวเก็บประจุ C_1	33
รูปที่ 2.40 รูปคลื่นกระแสที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำ L_1	34
รูปที่ 2.41 รูปคลื่นแรงดันตกคร่อมสวิตช์	34
รูปที่ 2.42 รูปคลื่นกระแสด้านออก	35
รูปที่ 2.43 รูปคลื่นแรงดันเข้าวงจรกรอง L_1C_1	35

สารบัญภาพ (ต่อ)

รูปที่	หน้า
รูปที่ 2.44 รูปคลื่นแรงดันออกหรือแรงดันตกคร่อมตัวเก็บประจุ C_1	36
รูปที่ 2.45 วงจรตรวจสอบแรงดันด้านเข้า	37
รูปที่ 2.46 วงจรป้อนกลับแรงดันออก	38
รูปที่ 2.47 ผลตอบเชิงความถี่ของวงจรป้อนกลับแรงดันออก	39
รูปที่ 2.48 วงจรป้องกันกระแสเกิน	40
รูปที่ 2.49 ผลตอบเชิงความถี่ของวงจรป้องกันกระแสเกิน	41
รูปที่ 2.50 วงจรกำเนิดสัญญาณความถี่สูง	41
รูปที่ 2.51 แสดงวงจรพื้นฐานของการควบคุมแบบ PWM	43
รูปที่ 2.52 แสดงลักษณะความกว้างพัลส์ของ PWM	43
รูปที่ 2.53 โครงสร้างภายใน TL494	44
รูปที่ 2.54 วงจรมอดูเลเตอร์	45
รูปที่ 2.55 แสดงการเพิ่มขดลวด N_4 เพื่อชดเชยแรงดันที่ขาเกิดของ Q_2	47
รูปที่ 2.56 วงจรป้องกันอุณหภูมิเกิน	47
รูปที่ 3.1 (ก) วงจรอินเวอร์เตอร์แบบกึ่งบริดจ์ (Half-Bridge)	49
รูปที่ 3.1 (ข) วงจรอินเวอร์เตอร์แบบบริดจ์ (Bridge)	50
รูปที่ 3.1 (ค) วงจรอินเวอร์เตอร์แบบpush-pull (Push-Pull)	50
รูปที่ 3.2 วงจรแปลงผันไฟตรง-ไฟสลับ	52
รูปที่ 3.3 การทำงานของวงจรแปลงผันไฟตรง-ไฟสลับ ขณะสัญญาณ FBS1=FBS2="H"	52
รูปที่ 3.4 การทำงานของวงจรแปลงผันไฟตรง-ไฟสลับ ขณะสัญญาณ FBS1="L",FBS2="H"	53
รูปที่ 3.5 การทำงานของวงจรแปลงผันไฟตรง-ไฟสลับ ขณะสัญญาณ FBS1="H",FBS2="L"	53
รูปที่ 3.6 รูปคลื่นของแรงดันออกรูปเกือบสี่เหลี่ยม (Quasi-Square Wave)	53
รูปที่ 3.7 รูปคลื่นของแรงดันออกที่กำหนดเป็นรูปเกือบสี่เหลี่ยม (Quasi-Square Wave)	54
รูปที่ 3.8 วงจรหารความถี่ และจัดสัญญาณรูปคลื่น	56
รูปที่ 3.9 รูปคลื่นของแรงดันออกรูปเกือบสี่เหลี่ยมที่จะสร้างขึ้น	57

สารบัญภาพ (ต่อ)

รูปที่	หน้า
รูปที่ 3.10 แสดงสัญญาณที่ทำการจัดสรรฐานรูปคลื่นใหม่	58
รูปที่ 3.11 ผลการ simulate วงจรหาความถี่ และจัดสรรฐานรูปคลื่น โดย Quick Sim	58
รูปที่ 3.12 สัญญาณขับนำสวิตช์ความถี่ต่ำ วัดจากวงจรใช้งานจริง	58
รูปที่ 3.13 วงจรขับนำขณะ Q5,Q7-ON และ Q3-OFF	59
รูปที่ 3.14 วงจรขับนำขณะ Q5,Q7-OFF และ Q3-ON	60
รูปที่ 3.15 รูปคลื่นของแรงดัน V_{GS-Q3} และ V_{GS-Q5} เทียบกับ s ของ Q3 (ไม่มี 300 V)	60
รูปที่ 3.16 รูปคลื่นของแรงดัน V_{GS-Q3} และ V_{GS-Q5} เทียบกับกราวด์ (ไม่มี 300V)	61
รูปที่ 3.17 รูปคลื่นของแรงดัน V_{GS-Q5} เทียบกับ s ของ Q ₃ และแรงดันคร่อม C ₂ (ไม่มี300V).....	61
รูปที่ 3.18 รูปคลื่นของแรงดัน V_{GS-Q5} และแรงดันตกคร่อม C2 เทียบกับกราวด์ (ไม่มี 300V)...	62
รูปที่ 3.19 รูปคลื่นของแรงดัน V_{GS-Q3} และ V_{GS-Q5} เทียบกับ s ของ Q3 (มี 30 V)	63
รูปที่ 3.20 รูปคลื่นของแรงดัน V_{GS-Q3} และ V_{GS-Q5} เทียบกับกราวด์ (มี 30 V)	63
รูปที่ 3.21 รูปคลื่นของแรงดัน V_{GS-Q5} เทียบกับ s ของ Q3 และแรงดันคร่อม C2 (มี 30V)	64
รูปที่ 3.22 รูปคลื่นของแรงดัน V_{GS-Q5} และ แรงดันตกคร่อม C2 เทียบกับกราวด์ (มี 30 V)....	64
รูปที่ 4.1 ขั้นตอนการประกอบ อุปกรณ์ติดผิว	67
รูปที่ 4.2 ตัวอย่างอุปกรณ์แบบแท่งสี่เหลี่ยม (chip)	67
รูปที่ 4.3 ตัวอย่างอุปกรณ์แบบ MELF	68
รูปที่ 4.4 ตัวอย่างอุปกรณ์แบบ SOT 23	68
รูปที่ 4.5 ตัวอย่างอุปกรณ์ SOIC	69
รูปที่ 4.6 ตัวอย่างอุปกรณ์แบบ PLCC	69
รูปที่ 4.7 เปรียบเทียบขนาดพื้นที่ระหว่าง AXIAL0.5 กับ 1210	70
รูปที่ 4.8 เปรียบเทียบขนาดพื้นที่ระหว่าง DIODE 0.5 กับ SOD / MELF	70
รูปที่ 4.9 แผ่นวงจรพิมพ์ MPP.PCB (ด้านลายทองแดง)	71
รูปที่ 4.10 แผ่นวงจรพิมพ์ DC_AC.PCB (ด้านลายทองแดง)	71
รูปที่ 4.11 แผ่นวงจรพิมพ์ LFSD.PCB (ด้านลายทองแดง)	72

สารบัญภาพ (ต่อ)

รูปที่	หน้า
รูปที่ 4.12 แผ่นวงจรพิมพ์ PWL.PCB (ด้านลายทองแดง)	72
รูปที่ 4.13 ก่อ่งที่เลือกใช้	73
รูปที่ 4.14 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังกับอุณหภูมิ ของ MOSFET (IRFZ40)	74
รูปที่ 4.15 แสดงการเป่า (blow) อากาศผ่านก่่ง	76
รูปที่ 4.16 แสดงการดูด (draw) อากาศผ่านก่่ง	76
รูปที่ 4.17 แสดงช่องอากาศเข้า(ด้านข้าง)และช่องอากาศออก(ด้านหลังซึ่งติดพัดลมดูดอากาศ).....	77
รูปที่ 4.18 แสดงด้านหน้าของก่่ง	78
รูปที่ 4.19 แสดงฟิวส์และสายต่อแรงดันเข้าที่อยู่ด้านหลังของก่่ง	79
รูปที่ 5.1 วงจรที่ใช้ทดสอบ วงจรแปลงผันไฟตรง-ไฟตรง	80
รูปที่ 5.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างวัฏจักรงาน(D)กับแรงดันเข้า(Vs)	82
รูปที่ 5.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการแปลงผัน(V_o/V_s)กับวัฏจักรงาน(D)	83
รูปที่ 5.4 รูปการทดสอบอุณหภูมิ	83
รูปที่ 5.5 รูปการทดสอบวงจรตรวจสอบแรงดันด้านเข้า	84
รูปที่ 5.6 ผลการทดสอบวงจรตรวจสอบแรงดันด้านเข้า	85
รูปที่ 5.7 รูปวงจรทดสอบวงจรป้องกันแรงดันออก	86
รูปที่ 5.8 ผลการทดสอบวงจรป้องกันแรงดันออก	86
รูปที่ 5.9 แสดงการทดสอบวงจรป้องกันกระแสเกิน	87
รูปที่ 5.10 แสดงแรงดันออกของวงจรป้องกันกระแสเกินกรณีโหลดไม่เกิน 100 วัตต์	88
รูปที่ 5.11 แสดงสัญญาณขั้วนำกรณีโหลดไม่เกิน 100 วัตต์	88
รูปที่ 5.12 แสดงแรงดันออกของวงจรป้องกันกระแสเกินกรณีโหลดเกิน 100 วัตต์	89
รูปที่ 5.13 แสดงสัญญาณขั้วนำกรณีโหลดเกิน 100 วัตต์	89
รูปที่ 5.14 รูปวงจรทดสอบอินเวอร์เตอร์	90
รูปที่ 5.15 รูปคลื่นของแรงดันออกกรณี NOLOAD.....	90
รูปที่ 5.16 รูปคลื่นของแรงดันออก กรณีโหลดเป็นหลอดไฟฟ้า 40 W	92

สารบัญภาพ (ต่อ)

รูปที่	หน้า
รูปที่ 5.17 รูปคลื่นแรงดันออก กรณีโหลดเป็นหลอดไฟฟ้า 100 W	93
รูปที่ 5.18 รูปคลื่นของแรงดันออก กรณีโหลดเป็นตัวต้านทาน $2 \text{ k}\Omega$	94
รูปที่ 5.19 รูปคลื่นของแรงดันออก กรณีโหลดเป็นตัวต้านทาน 600Ω	95
รูปที่ 5.20 รูปคลื่นของแรงดันออก กรณีโหลดเป็นตัวเหนี่ยวนำ 1 เฮนรี่	96
รูปที่ 5.21 กราฟแสดงความสัมพันธ์ η กับ P_o ของอินเวอร์เตอร์	97
รูปที่ 5.22 แสดงผลการวัดฮาร์มอนิกของแรงดันออก	98



คุรุวิทยาลัยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย