แหล่งจ่ายกำลังแบบสวิตชิงความหนาแน่นกำลังสูงขนาด 200 วัตต์ สำหรับไมโครคอมพิวเตอร์

นายบุญชัย อุดมแสวงโชค

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

พ.ศ.2535

ISBN 974-581-490-3

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

018477

A 200 W High-Power Density Switching Power Supply for Microcomputers

Mr. Boonchai Udomswangchoke

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A Thesis Submitted in Partical Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Engineering

Department of Electrical Engineering

Graduate School

Chulalongkorn University

1992

ISBN 974-581-490-3

หัวข้อวิทยานิพนธ์ แหล่งจ่ายกำลังแบบสวิตชิงความหนาแน่นกำลังสูงขนาด 200 วัตต์ สำหรับไมโครคอมพิวเตอร์

โดย นายบุญชัย อุดมแสวงโชค

ภาควิชา วิศวกรรมไฟฟ้า

อาจารย์ที่ปรึกษา รองศาสตราจารย์ ดร.โดทม อารียา

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

---คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

(ศาสตราจารย์ ดร.ถาวร วัชราภัย)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

---ประธานกรรมการ

(ศาสตราจารย์ ดร.มงคล เตชนครินทร์)

---อาจารย์ที่ปรึกษา

(รองศาสตราจารย์ ดร.โดทม อารียา)

---กรรมการ

(รองศาสตราจารย์ กฤษดา วิศวธีรานนท์)

---กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ยุทธนา กุลวิทิต)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

พิมพ์ต้นฉบับบทคัดย่อวิทยานิพนธ์ภายในกรอบสีเขียวนี้เพียงแผ่นเดียว

บุญชัย อุดมแสวงโชค : แหล่งจ่ายกำลังแบบสวิตชิงความหนาแน่นกำลังสูงขนาด 200 วัตต์ สำหรับไมโครคอมพิวเตอร์ (A 200-W HIGH-POWER DENSITY SWITCHING POWER SUPPLY FOR MICROCOMPUTERS) อ.ที่ปรึกษา : รศ. ดร. โคทม อารียา, 110 หน้า.
ISBN 974-581-490-3

ในการออกแบบแหล่งจ่ายไฟตรงนั้นความพยายามที่จะเพิ่มความถี่เพื่อลดขนาดน้ำหนักของแหล่งจ่ายและลดราคาของหม้อแปลงและฟิลเตอร์ลง มักจะพบปัญหาคือการสูญเสียในสวิตช์จะเพิ่มขึ้น ปัญหาดังกล่าวสามารถแก้ไขได้โดยใช้ "สวิตช์เรโซแนนซ์" เข้าแทนสวิตช์ปกติ สวิตช์เรโซแนนซ์แบ่งออกเป็นชนิดกระแส-ศูนย์และชนิดแรงดันศูนย์ ในที่นี้จะเลือกใช้ชนิดกระแสศูนย์เนื่องจากไม่ต้องการเพิ่มความเค้นด้านแรงดันสวิตช์นี้จะเพิ่มตัวเหนี่ยวนำกับสวิตช์ปกติ และมีตัวเก็บประจุเพื่อช่วยให้รูปคลื่นกระแสแกว่งและมีค่าเป็นศูนย์เมื่อสวิตช์ตัดวงจร การใช้สวิตช์เรโซแนนซ์ทำให้วงจรสามารถทำงานได้ในช่วงความถี่ถึงเมกะเฮิรตซ์ วิทยานิพนธ์นี้กล่าวถึงการออกแบบสร้างและทดสอบแหล่งจ่ายกำลังสวิตชิงขนาด 200 วัตต์ ที่ใช้สวิตช์ปกติทำงานที่ความถี่ 96 กิโลเฮิรตซ์ โดยมีโครงสร้างแบบบริดจ์อสมมาตรและแหล่งจ่ายกำลังขนาด 100 วัตต์ ที่ใช้สวิตช์เรโซแนนซ์ทำงานที่ความถี่สูงสุด 286 กิโลเฮิรตซ์ โดยมีโครงสร้างแบบกึ่งบริดจ์ วงจรที่ใช้สวิตช์เรโซแนนซ์สามารถทำงานได้ที่ความถี่สูงกว่าโดยมีประสิทธิภาพใกล้เคียงกัน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา วิศวกรรมไฟฟ้า ลายมือชื่อนิสิต .....
สาขาวิชา วิศวกรรมไฟฟ้า ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา .....
ปีการศึกษา 2534 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม .....

พิมพ์ต้นฉบับบทคัดย่อวิทยานิพนธ์ภายในกรอบสีเขียวนี้เพียงแผ่นเดียว

C015533 : MAJOR ELECTRICAL ENGINEERING
KEY WORD : QUASI-RESONANT CONVERTER/SWITCHING POWER SUPPLY/ZERO CURRENT SWITCH

BOONCHAI UDOMSWANGCHOKE : A 200-W HIGH-POWER DENSITY SWITCHING POWER SUPPLY FOR MICROCOMPUTERS. THESIS ADVISOR : ASSO. PROF. GOTHOM ARYA, Doc. Ing. 110 PP. ISBN. 974-581-490-3

In designing switching dc-dc converters, the effort to increase operating frequency to reduce weight, size, and cost of magnetic and filter elements is constantly hampered by higher switching losses. To overcome these obstacles, the concept of the "resonant switch" is proposed. There are two types of resonant switch, zero-current switch and zero-voltage switch. In this thesis the zero-current switch is chosen because voltage stress is to be avoided. This kind of switch includes a series inductor and a parallel capacitor which help shape current waveform to swing to zero at turn off. The use of resonant switches always converters to operate at higher frequencies up to one megahertz. This thesis presents the design, construction and testing of a 200-W switching power supply with conventional switches operating at 96 kHz and using asymmetrical bridge configuration and a 100-W power supply with resonant switch operating at the maximum frequency 286 kHz using half bridge configuration. The resonant switch circuit can operate at higher frequencies efficiency is almost same.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา วิศวกรรมไฟฟ้า ลายมือชื่อนิสิต .....

สาขาวิชา วิศวกรรมไฟฟ้า ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา .....

ปีการศึกษา 2534 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม .....

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ สำเร็จได้ด้วยความช่วยเหลือจาก รศ.ดร.โสทม อารียา ที่ได้ให้คำแนะนำที่เป็นประโยชน์ และเป็นอาจารย์ที่ปรึกษา อีกทั้ง ศ.ดร.มงคล เดชนครินทร์ ,ผศ.ดร.ยุทธนา กุลวิทิต และ อ.เจิดกุล โสภาวนิตย์ ซึ่งท่านได้ให้ความรู้ และคำแนะนำในการทำวิทยานิพนธ์นี้ ข้าพเจ้าใคร่ขอกราบขอบพระคุณคณาจารย์ทุกท่านที่ได้กล่าวมาข้างต้น ตลอดทั้งคุณวิจิตร เหลืองเจริญโต และเพื่อนนิสิตทุกท่านที่ได้ช่วยให้วิทยานิพนธ์นี้สำเร็จด้วยดี และสำนักงานคณะกรรมการพัฒนาวิทยาศาสตร์เทคโนโลยี (STDB) ที่ให้ทุนการศึกษารวมทั้งคุณวนิดา ภรรยาข้าพเจ้าที่ช่วยจัดพิมพ์ต้นฉบับ

สุดท้ายนี้ ข้าพเจ้าใคร่ขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา เป็นอย่างสูง ซึ่งสนับสนุนด้านการเงิน และกำลังใจให้ข้าพเจ้าจนสำเร็จการศึกษา

บุญชัย อุดมแสวงโชค

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ

กิตติกรรมประกาศ ..... ฉ

สารบัญตาราง ..... ช

สารบัญภาพ ..... ฌ

บทที่

1. บทนำ 1
2. ภาควงจรกำลังที่ใช้สวิตช์ปกติ 12
3. ภาควงจรควบคุมของแหล่งจ่ายไฟตรงที่ใช้สวิตช์ปกติ 27
4. ผลการทดสอบ 40
5. วงจรแปลงผันที่ใช้สวิตช์กระแสศูนย์ 45
6. ภาควงจรกำลังของวงจรกึ่งบริดจ์ที่ใช้สวิตช์กระแสศูนย์ 68
7. ภาควงจรควบคุมของวงจรกึ่งบริดจ์ที่ใช้สวิตช์กระแสศูนย์ 78
8. ผลการทดสอบวงจรกึ่งบริดจ์ที่ใช้สวิตช์กระแสศูนย์ 88
9. สรุปผลเปรียบเทียบและข้อเสนอแนะ 103

เอกสารอ้างอิง 108

ประวัติผู้เขียน 110

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่

1.1 เปรียบเทียบคุณสมบัติของวงจรกำลังชนิดต่าง ๆ 4

4.1 ประสิทธิภาพของแหล่งจ่าย 200 W 41

4.2 ค่าแรงดันขาออกเมื่อเปลี่ยนแรงดันเข้า 10 % 42

4.3 แรงดันระลอกในสภาวะมีโหลดและไม่มีโหลด 43

4.4 การคงค่าไขว้ 43

7.1 แสดงสภาวะด้านออกของไอซี 4528 เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงสภาวะ
ด้านเข้า 82

8.1 ประสิทธิภาพของแหล่งจ่าย 89

8.2 ค่าแรงดันด้านออกเมื่อเปลี่ยนแรงดันเข้า 10% 90

8.3 แรงดันระลอกในสภาวะมีโหลดและไม่มีโหลด 91

8.4 การคงค่าแรงดันไขว้ 92

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญภาพ

หน้า

รูปที่

1.1 แผนภาพวงจรแหล่งจ่ายไฟตรง 2

1.2 วงจรแปลงผันกำลัง 5

1.3 การต่อสวิตช์เรโซแนนซ์กระแสศูนย์ 6

1.4 เส้นทางเดินของจุดทำงานในระนาบ V - I ของสวิตช์เมื่อใช้สวิตช์ปกติ (A) และใช้สวิตช์เรโซแนนซ์ (B) 9

2.1 วงจรภาคกำลังที่ใช้สวิตช์ปกติ..... 13

2.2 โมดน่ากระแส RFI ตามพิกัดควบคุมของ FCC PART 15 VDE 0871 และ 0875 15

2.3 วงจรกรองสัญญาณรบกวน 15

2.4 การเปลี่ยนสถานะในช่วงเริ่มนำกระแสและหยุดนำกระแส 19

3.1 แผนภาพบล็อกภาควงจรควบคุม 27

3.2 วงจรภายในของไอซี SG 3524 28

3.3 วงจรควบคุมที่ใช้ไอซี SG 3524 29

3.4 แหล่งจ่ายไฟเลี้ยงภายใน..... 30

3.5 การต่อวงจรชดเชยทั้งสามแบบ 31

3.6 ลักษณะเชิงความถี่ของวงจรขยายสัญญาณต่างเมื่อมี R_L เป็นโหลด ... 32

3.7 ลักษณะเชิงความถี่ของวงจรขยายสัญญาณต่างเมื่อมีการต่อชดเชยในเทอมความถี่ 33

3.8 วงจรป้องกันกระแสเกิน 35

3.9 ความถี่ออสซิเลตในเทอมของ R_T 37

3.10 วงจรขับน่าสวิตช์มอสเฟต 38

สารบัญภาพ

รูปที่		หน้า
3.11	วงจรผลรวมสำหรับใช้กับไมโครคอมพิวเตอร์	39
4.1	วงจรที่ใช้ในการทดสอบ	40
5.1	วงจรบริดจ์อสมมาตรเมื่อใช้สวิตช์กระแสศูนย์	46
5.2	วงจรที่ใช้ในการทดสอบด้วยโปรแกรม LEC	47
5.3	กระแสในสวิตช์และแรงดันตกคร่อมสวิตช์ในเทอมของเวลา	48
5.4	กระแสทำแม่เหล็กของหม้อแปลงและแรงดันตกคร่อมหม้อแปลง.....	48
5.5	วงจรที่ใช้ในการทดสอบด้วยโปรแกรม LEC	50
5.6	กระแสในตัวเหนี่ยวนำ I_{L1} และแรงดันตกคร่อมสวิตช์ S_1 ในแกนเวลา กรณีที่หนึ่ง.....	53
5.7	กระแสทำแม่เหล็ก I_{L3} และแรงดันตกคร่อมหม้อแปลง $V_6 - V_4$ ในแกนของเวลา กรณีที่หนึ่ง.....	53
5.8	กระแสในตัวเหนี่ยวนำ I_{L1} และแรงดันตกคร่อมสวิตช์ S_1 ในแกนเวลา กรณีที่สอง.....	55
5.9	กระแสทำแม่เหล็ก I_{L3} และแรงดันตกคร่อมหม้อแปลง $V_6 - V_4$ ในแกนของเวลา กรณีที่สอง.....	55
5.10	สวิตช์ S_1 นำกระแส S_2 หยุดนำกระแส	58
5.11	วงจรที่ใช้ในการทดสอบด้วยโปรแกรม LEC	60
5.12	กระแสในตัวเหนี่ยวนำเรโซแนนซ์และแรงดันตกคร่อมสวิตช์	61
5.13	แรงดันตกคร่อมตัวเหนี่ยวนำและแรงดันตกคร่อมตัวเก็บประจุในสวิตช์กระแสศูนย์	61
5.14	กระแสทำแม่เหล็กและแรงดันตกคร่อมหม้อแปลง	62
5.15	กระแสในสวิตช์และในไดโอดขนานกลับทิศทาง(anti parallel).	62

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญภาพ

รูปที่ หน้า

5.16 กระแสในตัวเหนี่ยวนำเรโซแนนซ์และแรงดันตกคร่อมสวิตช์..... 64

5.17 แรงดันตกคร่อมตัวเหนี่ยวนำและแรงดันตกคร่อมตัวเก็บประจุในสวิตช์กระแสศูนย์ 65

5.18 กระแสทำแม่เหล็กและแรงดันตกคร่อมหม้อแปลง 65

5.19 กระแสในสวิตช์และในไดโอดขนานกลับทิศทาง (anti parallel). 66

6.1 ภาควงจรกำลังของวงจรกิ่งบริดจ์ที่ใช้สวิตช์กระแสศูนย์ 69

7.1 แผนภาพเฉพาะส่วนการคงค่าแรงดัน 78

7.2 วงจรแปลงแรงดันเป็นความถี่ 79

7.3 แสดงแผนภาพวงจรกำเนิดคาบเวลาคงที่ชุดเดียว 81

7.4 แสดงการต่อขาภายนอกของไอซี 4528 81

7.5 แสดงการต่อวงจรภายนอกของไอซี 4528 82

7.6 วงจรขับน่าสวิตช์มอสเฟต 83

7.7 วงจรควบคุมการคงค่าแรงดันและวงจรป้องกันกระแสเกิน 84

7.8 วงจรแหล่งจ่าย PG 85

7.9 วงจรกิ่งบริดจ์ที่ใช้สวิตช์กระแสศูนย์ 87

8.1 วงจรที่ใช้ในการทดสอบ 88

8.2 แรงดันขับน่าสวิตช์ตัวบนและตัวล่าง 93

8.3 แรงดันขับน่าสวิตช์ขณะไม่มีกระแสไหลในสวิตช์ 94

8.4 แรงดันขับน่าสวิตช์ขณะมีกระแสไหลในสวิตช์ 94

8.5 แรงดันตกคร่อมสวิตช์วัดรวมไดโอด MBR 1045 กับกระแสในตัวเหนี่ยวนำ กรณีตัวเหนี่ยวนำมีการเชื่อมโยงแม่เหล็กไม่ดี..... 95

สารบัญภาพ

รูปที่ หน้า

8.6 แรงดันตกคร่อมตัวเก็บประจุและแรงดันตกคร่อมสวิตช์วัดรวมไดโอด MBR 1045 กรณีตัวเหนี่ยวนำมีการเชื่อมโยงแม่เหล็กดี 96

8.7 แรงดันตกคร่อมตัวเก็บประจุและแรงดันตกคร่อมสวิตช์เกต - เดรน กรณีตัวเหนี่ยวนำมีการเชื่อมโยงแม่เหล็กดี 97

8.8 กระแสในตัวเหนี่ยวนำในช่วงโหลดต่ำ ๆ 98

8.9 กระแสในตัวเหนี่ยวนำในช่วงโหลดมีค่าสูง 99

8.10 กระแสในตัวเหนี่ยวนำและแรงดันตกคร่อมตัวเก็บประจุ 99

8.11 แรงดันตกคร่อมตัวเก็บประจุเทียบกับแรงดันตกคร่อมหม้อแปลง 100

8.12 แรงดันตกคร่อมตัวเหนี่ยวนำเทียบกับแรงดันตกคร่อมตัวเก็บประจุ .. 101

8.13 แรงดันทางด้านออกของแหล่งจ่าย 5 V 102

8.14 แรงดันทางด้านออกของแหล่งจ่าย 5 V พิจารณาเฉพาะองค์ประกอบไฟสลับ 102

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย