

แหล่งจ่ายกำลังแบบสวิตชิงความหนาแน่นกำลังสูงขนาด 200 วัตต์ สำหรับไมโครคอมพิวเตอร์



นายบุญชัย อุดมแสงโชค

ศูนย์วิทยทรัพยากร

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาคามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

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

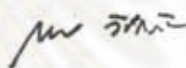
หัวข้อวิทยานิพนธ์ แหล่งจ่ายกำลังแบบสวิตชิงความหนาแน่นกำลังสูงขนาด 200 วัตต์ สำหรับ  
ไมโครคอมพิวเตอร์

โดย นายบุญชัย อุดมแสงโชค

ภาควิชา วิศวกรรมไฟฟ้า

อาจารย์ที่ปรึกษา รองศาสตราจารย์ ดร. โททม อารีธา

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้ยื่นวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ เป็นส่วนหนึ่งของ  
การศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต



----- คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

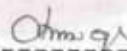
(ศาสตราจารย์ ดร.ถาวร วัชรากัย)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์



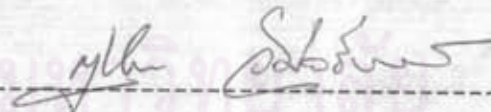
----- ประธานกรรมการ

(ศาสตราจารย์ ดร.มงคล เฉลนครินทร์)



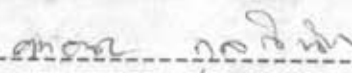
----- อาจารย์ที่ปรึกษา

(รองศาสตราจารย์ ดร.โททม อารีธา)



----- กรรมการ

(รองศาสตราจารย์ กฤษดา วิสวธีรานนท์)



----- กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชุกชญา กุลวิฑิต)



พิมพ์ต้นฉบับบทคัดย่อวิทยานิพนธ์ภายในกรอบสี่เหลี่ยมนี้เพียงแผ่นเดียว

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

ในการออกแบบแหล่งจ่ายไฟตรงนั้นความพยายามที่จะเพิ่มความถี่เพื่อลดขนาดน้ำหนักของแหล่งจ่าย และลดราคาของหม้อแปลงและฟิลเตอร์ลง มักจะพบปัญหาคือการสูญเสียในสวิทช์จะเพิ่มขึ้น ปัญหาดังกล่าวสามารถแก้ไขได้โดยใช้ "สวิทช์เรโซแนนซ์" เข้าแทนสวิทช์ปกติ สวิทช์เรโซแนนซ์แบ่งออกเป็นชนิดกระแส-ศูนย์และชนิดแรงดันศูนย์ ในที่นี้จะเลือกใช้ชนิดกระแสศูนย์เนื่องจากไม่ต้องการเพิ่มความถี่ด้านแรงดัน สวิทช์นี้จะเพิ่มตัวเหนี่ยวนำกับสวิทช์ปกติ และมีตัวเก็บประจุเพื่อช่วยให้รูปคลื่นกระแสแกว่งและมีค่าเป็นศูนย์เมื่อสวิทช์ตัดวงจร การใช้สวิทช์เรโซแนนซ์ทำให้วงจรสามารถทำงานได้ในช่วงความถี่ถึงเมกะเฮิรตซ์ วิทยานิพนธ์นี้กล่าวถึงการออกแบบสร้างและทดสอบแหล่งจ่ายกำลังสวิทชิงขนาด 200 วัตต์ ที่ใช้สวิทช์ปกติ ทำงานที่ความถี่ 96 กิโลเฮิรตซ์ โดยมีโครงสร้างแบบบริดจ์อสมมาตรและแหล่งจ่ายกำลังขนาด 100 วัตต์ ที่ใช้สวิทช์เรโซแนนซ์ทำงานที่ความถี่สูงสุด 286 กิโลเฮิรตซ์ โดยมีโครงสร้างแบบกึ่งบริดจ์ วงจรที่ใช้สวิทช์เรโซแนนซ์สามารถทำงานได้ที่ความถี่สูงกว่าโดยมีประสิทธิภาพใกล้เคียงกัน



ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา.....  
สาขาวิชา.....  
ปีการศึกษา.....

ลายมือชื่อนิสิต.....  
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....  
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม.....

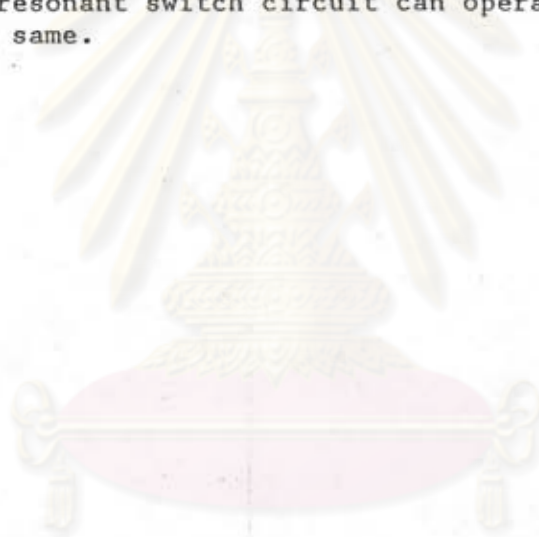
พิมพ์ต้นฉบับบทคัดย่อวิทยานิพนธ์ภายในกรอบสี่เหลี่ยมนี้เพียงแผ่นเดียว

# # 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

สาขาวิชา.....วิศวกรรมไฟฟ้า

ปีการศึกษา..... ๒๕๓๔

ลายมือชื่อนิสิต.....

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม.....

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ สำเร็จได้ด้วยความช่วยเหลือจาก รศ.ดร.โคทม อาริสา ที่ได้ให้คำแนะนำที่เป็นประโยชน์ และเป็นอาจารย์ที่ปรึกษา อีกทั้ง ศ.ดร.มงคล เฉลนครินทร์ ,พศ.ดร.ยุทธนา กุลวิจิตร และ อ.เจ็ดกุล โสภานิตย์ ซึ่งท่านได้ให้ความรู้ และคำแนะนำในการทำวิทยานิพนธ์นี้ ข้าพเจ้าใคร่ขอกราบขอบพระคุณคณาจารย์ทุกท่านที่ได้กล่าวมาข้างต้น ตลอดจนคุณวิจิตร เหลืองเจริญโต และเพื่อนนิสิตทุกท่านที่ได้ช่วยให้วิทยานิพนธ์นี้สำเร็จด้วยดี และสำนักงานคณะกรรมการพัฒนาวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี (STDB) ที่ให้ทุนการศึกษารวมทั้ง คุณวนิดา ภรรยาข้าพเจ้าที่ช่วยจัดพิมพ์ต้นฉบับ

สุดท้ายนี้ ข้าพเจ้าใคร่ขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา เป็นอย่างสูง ซึ่งสนับสนุนด้านการเงิน และกำลังใจให้ข้าพเจ้าจนสำเร็จการศึกษา

บุญชัย อุดมแสงโชค

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย .....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ .....	จ
กิตติกรรมประกาศ .....	ฉ
สารบัญตาราง .....	ช
สารบัญภาพ .....	ฅ
บทที่	
1. บทนำ .....	1
2. ภาควงจรกำลังที่ใช้สวิตช์ปกติ .....	12
3. ภาควงจรควบคุมของแหล่งจ่ายไฟตรงที่ใช้สวิตช์ปกติ .....	27
4. ผลการทดสอบ .....	40
5. วงจรแปลงผันที่ใช้สวิตช์กระแสสลับ .....	45
6. ภาควงจรกำลังของวงจรกึ่งบริดจ์ที่ใช้สวิตช์กระแสสลับ .....	68
7. ภาควงจรควบคุมของวงจรกึ่งบริดจ์ที่ใช้สวิตช์กระแสสลับ .....	78
8. ผลการทดสอบวงจรกึ่งบริดจ์ที่ใช้สวิตช์กระแสสลับ .....	88
9. สรุปผลเปรียบเทียบและข้อเสนอแนะ .....	103
เอกสารอ้างอิง .....	108
ประวัติผู้เขียน .....	110

## สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1.1 เปรียบเทียบคุณสมบัติของวงจรกำลังชนิดต่าง ๆ .....	4
4.1 ประสิทธิภาพของแหล่งจ่าย 200 W .....	41
4.2 ค่าแรงดันขาออกเมื่อเปลี่ยนแรงดันเข้า 10 % .....	42
4.3 แรงดันระลอกในสภาวะมีโหลดและไม่มีโหลด .....	43
4.4 การคงค่าโซวี .....	43
7.1 แสดงสภาวะด้านออกของไอซี 4528 เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงสภาวะ ด้านเข้า .....	82
8.1 ประสิทธิภาพของแหล่งจ่าย .....	89
8.2 ค่าแรงดันด้านออกเมื่อเปลี่ยนแรงดันเข้า 10% .....	90
8.3 แรงดันระลอกในสภาวะมีโหลดและไม่มีโหลด .....	91
8.4 การคงค่าแรงดันโซวี .....	92

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



## สารบัญภาพ

รูปที่	หน้า
1.1 แผนภาพวงจรแหล่งจ่ายไฟตรง .....	2
1.2 วงจรแปลงผันกำลัง .....	5
1.3 การต่อสวิตช์เรโซแนนซ์กระแสศูนย์ .....	8
1.4 เส้นทางเดินของจุดทำงานในระนาบ V - I ของสวิตช์เมื่อใช้ สวิตช์ปกติ (A) และใช้สวิตช์เรโซแนนซ์ (B) .....	9
2.1 วงจรภาคกำลังที่ใช้สวิตช์ปกติ.....	13
2.2 โหมดนำกระแส 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 ลักษณะเชิงความถี่ของวงจรขยายสัญญาณต่างเมื่อมีการต่อชดเชย ในเทอมความถี่ .....	33
3.8 วงจรป้องกันกระแสเกิน .....	35
3.9 ความถี่ออสซิลเลชันในเทอมของ $R_T$ .....	37
3.10 วงจรขั้วนำสวิตช์มอสเฟต .....	38

## สารบัญภาพ

รูปที่	หน้า
3.11 วงจรผลรวมสำหรับใช้กับไมโครคอมพิวเตอร์ .....	39
4.1 วงจรที่ใช้ในการทดสอบ .....	40
5.1 วงจรบริจ้อสมมาตรเมื่อใช้สวิตช์กระแสศูนย์ .....	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 $V_o - V_A$ ในแกนของเวลา กรณีที่หนึ่ง.....	53
5.8 กระแสในตัวเหนี่ยวนำ $I_{L2}$ และแรงดันตกคร่อมสวิตช์ $S_1$ ในแกนเวลา กรณีที่สอง.....	55
5.9 กระแสทำแม่เหล็ก $I_{L3}$ และแรงดันตกคร่อมหม้อแปลง $V_o - V_A$ ในแกนของเวลา กรณีที่สอง.....	55
5.10 สวิตช์ $S_1$ นำกระแส $S_2$ หักนำกระแส .....	58
5.11 วงจรที่ใช้ในการทดสอบด้วยโปรแกรม LEC .....	60
5.12 กระแสในตัวเหนี่ยวนำเรโซแนนซ์และแรงดันตกคร่อมสวิตช์ .....	61
5.13 แรงดันตกคร่อมตัวเหนี่ยวนำและแรงดันตกคร่อมตัวเก็บประจุในสวิตช์ กระแสศูนย์ .....	61
5.14 กระแสทำแม่เหล็กและแรงดันตกคร่อมหม้อแปลง .....	62
5.15 กระแสในสวิตช์และในไดโอดขนานกลับทิศทาง(anti parallel). .....	62

## สารบัญภาพ

รูปที่	หน้า
5.16	กระแสในตัวเหนี่ยวนำเรโซแนนซ์และแรงดันตกคร่อมสวิตช์..... 64
5.17	แรงดันตกคร่อมตัวเหนี่ยวนำและแรงดันตกคร่อมตัวเก็บประจุในสวิตช์ กระแสศูนย์ ..... 65
5.18	กระแสทำแม่เหล็กและแรงดันตกคร่อมหม้อแปลง ..... 65
5.19	กระแสในสวิตช์และในไดโอดขนานกลับทิศทาง (anti parallel). 66
6.1	ภาควงจรกำลังของวงจรกึ่งบริดจ์ที่ใช้สวิตช์กระแสศูนย์ ..... 69
7.1	แผนภาพเฉพาะส่วนการคงค่าแรงดัน ..... 78
7.2	วงจรแปลงแรงดันเป็นความถี่ ..... 79
7.3	แสดงแผนภาพวงจรกำเนิดคาบเวลาคงที่ชุดเดียว ..... 81
7.4	แสดงการต่อขาภายนอกของไอซี 4528 ..... 81
7.5	แสดงการต่อวงจรขาภายนอกของไอซี 4528 ..... 82
7.6	วงจรขับนำสวิตช์มอสเฟต ..... 83
7.7	วงจรควบคุมการคงค่าแรงดันและวงจรป้องกันกระแสเกิน ..... 84
7.8	วงจรแหล่งจ่าย PG ..... 85
7.9	วงจรกึ่งบริดจ์ที่ใช้สวิตช์กระแสศูนย์ ..... 87
8.1	วงจรที่ใช้ในการทดสอบ ..... 88
8.2	แรงดันขับนำสวิตช์ตัวบนและตัวล่าง ..... 93
8.3	แรงดันขับนำสวิตช์ขณะไม่มีกระแสไหลในสวิตช์ ..... 94
8.4	แรงดันขับนำสวิตช์ขณะมีกระแสไหลในสวิตช์ ..... 94
8.5	แรงดันตกคร่อมสวิตช์วัดรวมไดโอด MBR 1045 กับกระแสในตัว เหนี่ยวนำ กรณีตัวเหนี่ยวนำมีการเชื่อมโงงแม่เหล็กไม่ดี..... 95

## สารบัญภาพ

รูปที่

หน้า

8.6	แรงดันตกคร่อมตัวเก็บประจุและแรงดันตกคร่อมสวิตช์วีครวมไดโอด MBR 1045 กรณีตัวเหนืฮวนำมีการเชื่อมโงงแม่เหล็กคื .....	96
8.7	แรงดันตกคร่อมตัวเก็บประจุและแรงดันตกคร่อมสวิตช์เกด - เคน กรณีตัวเหนืฮวนำมีการเชื่อมโงงแม่เหล็กคื .....	97
8.8	กระแสในคืวเหนืฮวนำในช่วงโหลคืต่ำ ๆ .....	98
8.9	กระแสในคืวเหนืฮวนำในช่วงโหลคืคืสูง .....	99
8.10	กระแสในคืวเหนืฮวนำและแรงดันตกคร่อมตัวเก็บประจุ .....	99
8.11	แรงดันตกคร่อมตัวเก็บประจุเทียบกับแรงดันตกคร่อมหม้อแปลง ....	100
8.12	แรงดันตกคร่อมตัวเหนืฮวนำเทียบกับแรงดันตกคร่อมตัวเก็บประจุ ..	101
8.13	แรงคืนทางคื้านออกของแหล่งจ่าฮ 5 V .....	102
8.14	แรงคืนทางคื้านออกของแหล่งจ่าฮ 5 V พิจารณาเฉพาะองคื้ประกอบ ไฟสลืบ .....	102

ศูนย์วิทยพัทยากร  
จุพาลงกรณั้มหาวิทยาลัย