วงจรเรียงกระแสแบบวิธีสวิตช์ฮาร์มอนิกต่ำที่ไม่ต้องใช้วงจรไดโอดเรียงกระแสด้านเข้า

นาย ยุทธชัย ศิลปวิจารณ์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2541

ISBN 974-332-561-1

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

I18940970X

A LOW HARMONIC SWITCHED-MODE RECTIFIER WITHOUT INPUT DIODE-RECTIFIER CIRCUIT

MR.YUTTHACHAI SILLAPAWICHARN

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Engineering in Electrical Engineering

Department of Electrical Engineering

Graduate School

Chulalongkorn University

Academic Year 1998

ISBN 974-332-561-1

หัวข้อวิทยานิพนธ์ : วงจรเรียงกระแสแบบวิธีสวิตช์ฮาร์มอนิกต่ำที่ไม่ต้องใช้วงจรไดโอดเรียงกระแสด้านเข้า

โดย : นายยุทธชัย ศิลปวิจารณ์

ภาควิชา : วิศวกรรมไฟฟ้า

อาจารย์ที่ปรึกษา : รองศาสตราจารย์ ดร.ยุทธนา กุลวิทิต

อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม : รองศาสตราจารย์ ดร.โดทม อารียา

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

.....คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
(ศาสตราจารย์ นายแพทย์ ศุภวัฒน์ ชุติวงศ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ
(อาจารย์ ดร.สมบูรณ์ แสงวงค์วาณิชย์)

.....อาจารย์ที่ปรึกษา
(รองศาสตราจารย์ ดร.ยุทธนา กุลวิทิต)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม
(รองศาสตราจารย์ ดร.โดทม อารียา)

.....กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ กฤษดา วิศวธีรานนท์)

.....กรรมการ
(อาจารย์ เจิดกุล โสภาวนิตย์)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

พิมพ์ต้นฉบับบทคัดย่อวิทยานิพนธ์ภายในกรอบสีเขียวนี้เพียงแผ่นเดียว

ยุทธชัย ศิลปวิจารณ์ : วงจรเรียงกระแสแบบวิธีสวิตช์ฮาร์มอนิกต่ำที่ไม่ต้องใช้วงจรไดโอดเรียงกระแสด้านเข้า (A LOW HARMONIC SWITCHED-MODE RECTIFIER WITHOUT INPUT DIODE-RECTIFIER CIRCUIT) อ.ที่ปรึกษา :รศ.ดร. ยุทธนา กุลวิทิต ,อ.ที่ปรึกษาร่วม : รศ.ดร.โคทม อารียา , 89 หน้า. ISBN 974-332-561-1

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้นำเสนอวงจรเรียงกระแสแบบวิธีสวิตช์ชนิดใหม่ที่ไม่ต้องใช้วงจรไดโอดเรียงกระแสด้านเข้า การทำงานตามธรรมชาติของวงจรแปลงผันมีลักษณะที่จะไม่ทำให้เกิดแรงดันยอดแหลมเนื่องจากผลของตัวเหนี่ยวนำรั่วไหลของหม้อแปลง จึงไม่จำเป็นต้องใช้สนับเบอร์เพื่อระงับแรงดันยอดแหลมที่ตกคร่อมสวิตช์อันเนื่องมาจากผลของตัวเหนี่ยวนำรั่วไหลของหม้อแปลง การควบคุมกระแสด้านเข้าให้มีรูปคลื่นใกล้ไซน์เช่นเดียวกับแรงดันด้านเข้าเพื่อลดกระแสฮาร์มอนิกและเพิ่มตัวประกอบกำลังใช้การควบคุมแบบฮีสเตอเรซีสที่มีแถบฮีสเตอเรซีสคงตัว เนื่องจากกระแสด้านเข้าของวงจรแปลงผันไฟสลับ-ไฟตรงมีได้ทั้งบวกและลบ จึงไม่ทำให้เกิดการเพี้ยนของกระแสในบริเวณใกล้ศูนย์ ได้มีการอธิบายการทำงานและคำนวณหาสมการสถานะของค่าเฉลี่ยเฉพาะที่ของตัวแปรสถานะสำหรับวงจรแปลงผันที่นำเสนอใหม่ การตรวจสอบความถูกต้องของการคำนวณใช้วิธีจำลองการทำงานของวงจรแปลงผันด้วยคอมพิวเตอร์ โดยใช้แบบจำลองที่มีการสวิตช์และใช้สมการสถานะของค่าเฉลี่ยเฉพาะที่ของตัวแปรสถานะได้มีการทดสอบการทำงานของวงจรแบบใหม่นี้โดยการทดลอง ผลที่ได้สอดคล้องกับทฤษฎี

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา วิศวกรรมไฟฟ้า ลายมือชื่อนิสิต .....

สาขาวิชา อิเล็กทรอนิกส์กำลัง ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา .....

ปีการศึกษา 2541 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม .....

บทคัดย่อและบทคัดย่อวิทยานิพนธ์ภายในกรอบสีเขียวนี้เพียงแผ่นเดียว

C815973 : MAJOR POWER ELECTRONICS
KEY WORD: SWITCHED-MODE RECTIFIER / AC-DC CONVERTER / HIGH POWER FACTOR RECTIFIER

YUTTHACHAI SILLAPAWICHARN: A LOW HARMONIC SWITCHED-MODE RECTIFIER WITHOUT INPUT DIODE-RECTIFIER CIRCUIT. THESIS ADVISOR : ASSO. PROF. YOUTHANA KULVITIT, DR.ING. THESIS CO-ADVISOR: ASSO.PROF. GOTHOM ARYA, DR.ING. 89 pp. ISBN 974-332-561-1

A new switched-mode rectifier is proposed. In the proposed converter, conventional input diode-rectifier circuit is eliminated. As a lossless snubbing effect is inherently included in the converter, no additional snubber is needed to suppress spike voltage across the switching devices caused by leakage inductance of the isolation transformer. In order to reduce input harmonic current and increase input power factor, the input current is controlled to follow the sinusoidal input voltage waveform. A fixed-band hystersis control is used to control the input current waveform. Because the input current of the converter can be either positive or negative, there is no crossover distortion in the input current waveform even if a fixed-band hysteresis control is used. The operation principle of the circuit is explained. Local-average state equations are derived. The analyical results are verified through simulation by comparing waveform obtain from local-average model and switched circuit model. The new converter topology is also experimentally verified. Theoretical model correlated well with the experimental data.

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา วิศวกรรมไฟฟ้า ลายมือชื่อนิสิต

สาขาวิชา อิเล็กทรอนิกส์กำลัง ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์นี้ สำเร็จได้ด้วยความช่วยเหลือจาก รศ.ดร.โคทม อารียา และรศ.ดร.ยุทธนา กุลวิทิต อาจารย์ที่ปรึกษา ซึ่งได้ให้คำแนะนำที่เป็นประโยชน์ และข้อคิดเห็นต่างๆที่เป็นประโยชน์ต่อการวิจัยด้วยดีมาตลอด อีกทั้ง ดร.สมบูรณ์ แสงวงค์วาณิชย์ , รศ.กฤษดา วิศวธีรานนท์ และ อ.เจิดกุล โสภาวนิตย์ คณะกรรมการสอบ คุณศิริวัฒน์ เหล่าหะเกียรติ ที่ให้คำปรึกษาที่เป็นประโยชน์ คุณคณิต ชัยวัฒนาที่ช่วยเหลือในการจัดพิมพ์วิทยานิพนธ์บางส่วน ขอบคุณพี่ๆและน้องๆห้องปฏิบัติวิจัยอิเล็กทรอนิกส์กำลังที่เป็นกำลังใจและให้ความช่วยเหลือตลอดมา ขอบคุณสถาบันเทคโนโลยีราชมงคล ที่ให้โอกาสข้าพเจ้าในการลาศึกษาต่อ และสำหรับเครื่องมือบางส่วนที่ใช้ในวิจัย

การวิจัยครั้งนี้ได้รับทุนวิจัยบางส่วนจากทุนอุดหนุนการวิจัยการวิจัยของบัณฑิตวิทยาลัย จึงขอขอบคุณมา ณ ที่นี้ด้วย

สุดท้ายนี้ข้าพเจ้าใคร่ขอกราบขอบพระคุณบิดาผู้ล่วงลับ,มารดาและพี่ๆของข้าพเจ้าเป็นอย่างสูง ที่ให้กำลังใจข้าพเจ้าเป็นอย่างดี และเข้าใจข้าพเจ้าเสมอมา จวบจนสำเร็จการศึกษา

ยุทธชัย ศิลปวิจารณ์

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญเรื่อง

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย..... ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ..... จ
กิตติกรรมประกาศ..... ฉ
สารบัญเรื่อง..... ช
สารบัญตาราง..... ซ
สารบัญภาพ..... ฌ

บทที่

1. บทนำ..... 1
2. ทฤษฎี..... 4
3. การออกแบบ..... 38
4. การทดสอบ..... 51
5. บทสรุปและข้อเสนอแนะ..... 66

รายการอ้างอิง..... 68
บรรณานุกรม..... 69
ภาคผนวก 70
ประวัติผู้เขียน..... 77

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

ตารางที่ 4.1 แสดงข้อมูลที่ได้จากการใช้ POWER HARMORNICS ANALYZER วัดกำลังด้านเข้าของวงจร..... 64

ตารางที่ 4.2 แสดงข้อมูลที่ได้จากการใช้ POWER HARMORNICS ANALYZER วัดกำลังด้านออกของวงจร..... 65

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญภาพ

รูปที่ หน้า

รูปที่ 1.1 แผนภาพแสดงโครงสร้างของแหล่งจ่ายไฟตรงแบบทั่วไป..... 2
รูปที่ 2.1 วงจรทอนระดับ (Buck)..... 4
รูปที่ 2.2 วงจรแปลงผันไปหน้า (Forward Converter)..... 5
รูปที่ 2.3 วงจรพุช-พูลภาคแรงดัน (Push-Pull Converter)..... 6
รูปที่ 2.4 วงจรบริดจ์อสมมาตร (Asymmetrical Bridge)..... 6
รูปที่ 2.5 วงจรกึ่งบริดจ์ (Half-Bridge)..... 7
รูปที่ 2.6 วงจรบริดจ์ (Bridge)..... 8
รูปที่ 2.7 วงจรทบระดับ (Boost)..... 8
รูปที่ 2.8 วงจรพุช-พูลภาคกระแส..... 9
รูปที่ 2.9 วงจรทอนทบระดับภาคแรงดัน (Buck-Boost)..... 10
รูปที่ 2.10 วงจรบินกลับ (Flyback Converter)..... 10
รูปที่ 2.11 วงจรทอนทบระดับภาคกระแส (Cuk)..... 11
รูปที่ 2.12 วงจรเรียงกระแสแบบวิธีสวิตช์ในการทำงานภาคไฟตรง-ไฟตรง..... 12
รูปที่ 2.13 รูปลักษณ์ของวงจรในช่วง D..... 14
รูปที่ 2.14 รูปลักษณ์ของวงจรในช่วง D'..... 14
รูปที่ 2.15 รูปคลื่นของวงจรเรียงกระแสแบบวิธีสวิตช์ในการทำงานภาคไฟสลับ-ไฟตรง..... 16
รูปที่ 2.16 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการแปลงผัน (M) และค่าวัฏจักรงาน (D)..... 17
รูปที่ 2.17 รูปลักษณ์ของวงจรเมื่อแรงดันด้านเข้าเป็นทั้งบวกและลบ..... 18
รูปที่ 2.18 วงจรเรียงกระแสแบบวิธีสวิตช์ในการทำงานภาคไฟสลับ-ไฟตรง และวงจรควบคุม..... 19
รูปที่ 2.19 รูปคลื่นของวงจรเรียงกระแสแบบวิธีสวิตช์ในการทำงานภาคไฟสลับ-ไฟตรง 22
รูปที่ 2.20 กระแสด้านเข้าของวงจรเรียงกระแสแบบวิธีสวิตช์..... 27
รูปที่ 2.21 แรงดันของตัวเก็บประจุ C1 และ C2..... 27
รูปที่ 2.22 กระแสทำแม่เหล็กของหม้อแปลงวงจรเรียงกระแสแบบวิธีสวิตช์..... 28

สารบัญภาพ (ต่อ)

รูปที่ หน้า

รูปที่ 2.23 แรงดันคร่อมสวิตช์ S1..... 28
รูปที่ 2.24 รูปขยายแรงดันตกคร่อมสวิตช์ S1 29
รูปที่ 2.25 กระแสตัวเหนี่ยวนำของวงจรกรองด้านออก (Lf)..... 29
รูปที่ 2.26 แรงดันตกคร่อมตัวเหนี่ยวนำของวงจรกรองด้านออก (Lf)..... 30
รูปที่ 2.27 แรงดันด้านออก (Vo)..... 30
รูปที่ 2.28 วัฏจักรงาน (D) 31
รูปที่ 2.29 กระแสด้านเข้าของวงจรเรียงกระแสแบบวิธีสวิตช์..... 33
รูปที่ 2.30 แรงดันของตัวเก็บประจุ C1 และ C2..... 33
รูปที่ 2.31 กระแสทำแม่เหล็กของหม้อแปลง (iLm) 34
รูปที่ 2.32 ค่าเฉลี่ยเฉพาะที่ของแรงดันตกคร่อมสวิตช์ในขณะหยุดนำกระแส..... 34
รูปที่ 2.33 แรงดันตกคร่อมตัวเหนี่ยวนำของวงจรกรองด้านออก (Lf)..... 35
รูปที่ 2.34 วัฏจักรงาน (D)..... 35
รูปที่ 2.35 การแปรค่าความถี่การสวิตช์ของวงจร..... 36
รูปที่ 3.1 การแปรค่ากระแสทำแม่เหล็กของหม้อแปลงกับค่าตัวเก็บประจุด้านเข้า และค่าอัตราส่วนการแปลงแรงดัน..... 39
รูปที่ 3.2 การแปรค่าช่วงความถี่การสวิตช์กับค่าตัวเก็บประจุด้านเข้าและ ค่าอัตราส่วนการแปลงแรงดัน..... 40
รูปที่ 3.3 การแปรค่าแรงดันตกคร่อมสวิตช์ในขณะหยุดนำกระแสกับ ค่าตัวเก็บประจุด้านเข้าและค่าอัตราส่วนการแปลงแรงดัน..... 40
รูปที่ 3.4 กราฟที่ได้จากการนำค่าจากรูปที่ 3.1 คูณกับค่าในรูปที่ 3.3 เพื่อใช้ประกอบการ เลือกค่าตัวเก็บประจุด้านเข้า และค่าอัตราส่วนการแปลงแรงดันของหม้อแปลง... 41
รูปที่ 3.5 การใช้ไดโอดต่อ anti-parallel กับขดปฐมภูมิของหม้อแปลง..... 44
รูปที่ 3.6 วงจรควบคุมกระแสแบบฮีสเตอเรซีสที่มีแถบฮีสเตอริซีสคงตัว..... 46
รูปที่ 3.7 วงจรกำเนิดค่าเวลาช่วงตาย (Dead Time Generator)..... 48

สารบัญภาพ (ต่อ)

รูปที่ หน้า

รูปที่ 3.8 วงจรขับนำสวิตช์..... 48
รูปที่ 3.9 วงจรตรวจจับแรงดัน,กระแสและวงจรป้องกันแรงดัน,กระแสเกิน..... 50
รูปที่ 4.1 การทดสอบการทำงานของวงจร..... 51
รูปที่ 4.2 กระแสด้านเข้าของวงจร (2 A / ช่อง,รูปบน) มีค่าเท่ากับ 1.191 A.rms
และแรงดันด้านเข้าของวงจร (250 V/ช่อง,รูปล่าง) มีค่าเท่ากับ 220 Vrms..... 52
รูปที่ 4.3 รูปขยายของกระแสด้านเข้า(2 A. / ช่อง,รูปบน)และแรงดันด้านเข้า
(250 V. / ช่อง,รูปล่าง)โดยที่กระแสด้านเข้ามีแถบฮีสเตอเรซีสประมาณ 2.3 A.
และมีความถี่สูงสุดในการสวิตช์ประมาณ 16.6667 kHz..... 52
รูปที่ 4.4 แรงดันตกคร่อมสวิตช์ S1 (250 V. /ช่อง) มีค่าสูงสุดเท่ากับ 860 โวลต์..... 53
รูปที่ 4.5 รูปขยายของแรงดันตกคร่อมสวิตช์ S1 (250 V. /ช่อง)
จะเห็นว่าไม่มีแรงดันยอดแหลมตกคร่อมสวิตช์ในช่วงที่สวิตช์ตัดวงจร..... 53
รูปที่ 4.6 กระแสผ่านสวิตช์ S1 (5 A. /ช่อง) มีค่าสูงสุดเท่ากับ 8.4 A..... 54
รูปที่ 4.7 รูปขยายแรงดัน(250 V./ช่อง)และกระแสของสวิตช์ S1(5 A./ช่อง) ขณะสวิตช์ S1 ตัด
วงจร ณ เวลา 7 ms..... 54
รูปที่ 4.8 แรงดันตกคร่อมตัวเก็บประจุ C1 และ C2 (250 V /ช่อง)
มีค่าสูงสุดเท่ากับ 555 V. และต่ำสุดเท่ากับ 220 V..... 55
รูปที่ 4.9 กระแสของตัวเหนี่ยวนำความถี่ต่ำ (Lmlf) (2 A./ช่อง)
มีค่าสูงสุดด้านบวกเท่ากับ 4.04 A. และมีค่าสูงสุดด้านลบเท่ากับ –5.16 A. 55
รูปที่ 4.10 รูปคลื่นแรงดันตกคร่อมตัวเหนี่ยวนำความถี่ต่ำ (Lmlf) (250 V. / ช่อง)
มีค่ายอดสูงสุดเท่ากับ 555 V. ทั้งด้านบวกและด้านลบ..... 56
รูปที่ 4.11 กระแสที่ไหลผ่านตัวเก็บประจุ C1 (5 A. / ช่อง,รูปบน)
และกระแสด้านเข้า (2 A. / ช่อง,รูปล่าง) 56
รูปที่ 4.12 กระแสที่ไหลผ่านตัวเก็บประจุ C2 (5 A. / ช่อง,รูปบน) และกระแสด้านเข้า
(2 A. / ช่อง,รูปล่าง)..... 57

สารบัญภาพ (ต่อ)

รูปที่ หน้า

รูปที่ 4.13 กระแสด้านเข้าของหม้อแปลง (2 A. / ช่อง)..... 57
รูปที่ 4.14 แรงดันด้านออกของวงจร (vo) (25 V. / ช่อง) มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 47.965 V.
และมีค่า RMS เท่ากับ 48.16 V. 58
รูปที่ 4.15 กระแสด้านออกของวงจร (io) (5 A. / ช่อง) มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 3.985 A.
และมีค่า RMS เท่ากับ 4.05 A. 58
รูปที่ 4.16 ค่ากระแสที่วัดได้จาก POWER HARMORNICS ANALYZER 61
รูปที่ 4.17 ค่ากำลังด้านเข้าที่วัดได้จาก POWER HARMORNICS ANALYZER..... 61
รูปที่ 4.18 ค่ากระแสด้านออกที่วัดได้จาก POWER HARMORNICS ANALYZER..... 62
รูปที่ 4.19 ค่าแรงดันด้านออกที่วัดได้จาก POWER HARMORNICS ANALYZER..... 62
รูปที่ 4.20 ค่ากำลังด้านออกที่วัดได้จาก POWER HARMORNICS ANALYZER..... 62

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย