แหล่งจ่ายกำลังแบบสวิตชิงของเครื่องตัดโลหะแบบพลาสมา

นาย สุริยา ธงชัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
พ.ศ. 2537

ISBN 974-584-368-7

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

I 16186229

SWITCHING POWER SUPPLY OF A PLASMA CUTTING MACHINE

MR. SURIYA THONGCHAI

A Thesis Submmited in Partial Fulfilment of the Requirement

for the Degree of Master of Engineering

Department of Electrical Engineering

Graduate School

Chulalongkorn University

1994

ISBN 974-584-368-7

หัวข้อวิทยานิพนธ์	แหล่งจ่ายกำลังแบบสวิตชิงของเครื่องตัดโลหะแบบพลาสมา
โดย	นาย สุริยา ธงชัย
ภาควิชา	วิศวกรรมไฟฟ้า
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ยุทธนา กุลวิทิต

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

..... คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

(ศาสตราจารย์ ดร. ถาวร วัชราภัย)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ

(ศาสตราจารย์ ดร. ประโมทย์ อุณหไวทยะ)

.....อาจารย์ที่ปรึกษา

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ยุทธนา กุลวิทิต)

.....กรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร. โคทม อารียา)

.....กรรมการ

(อาจารย์ เจิดกุล โสภาวนิตย์)

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

พิมพ์ต้นฉบับบทคัดย่อวิทยานิพนธ์ภายในกรอบสีเขียวนี้เพียงแผ่นเดียว

สุริยา ธงชัย : แหล่งจ่ายกำลังแบบสวิตชิงของเครื่องตัดโลหะแบบพลาสมา (SWITCHING POWER SUPPLY OF A PLASMA CUTTING MACHINE) อาจารย์ที่ปรึกษา : ผศ.ดร.ยุทธนา กุลวิทิต, 96 หน้า ISBN 974-584-368-7

แหล่งจ่ายกำลังแบบสวิตชิงของเครื่องตัดโลหะแบบพลาสมานี้ ได้ออกแบบขึ้นเพื่อเป็นต้นแบบ โดยประกอบด้วยวงจรเรียงกระแส วงจรแปลงผันไฟตรง-ไฟตรงแบบบริดจ์เต็มรูปที่ใช้มอสเฟตกำลังเป็น-สวิตช์ไวงาน หม้อแปลงความถี่สูง วงจรเรียงกระแสแบบเต็มคลื่นทางด้านออก วงจรกำเนิดศักดาไฟฟ้าแรงสูง วงจรจัดลำดับการทำงาน วงจรป้องกันกระแสและแรงดันเกินพิกัด อีกทั้งยังรวมถึงอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องกับการตัดโลหะด้วยพลาสมาซึ่งประกอบด้วยหัวคบพลาสมา เครื่องอัดอากาศ โดยที่แหล่งจ่ายกำลังแบบสวิตชิงของเครื่องตัดโลหะแบบพลาสมาที่ออกแบบนี้ทำงานที่ความถี่ 40 กิโลเฮิรตซ์ มีกำลังด้านออก 4 กิโลวัตต์ สามารถตัดโลหะได้หนาถึง 10 มิลลิเมตร ผลงานทดสอบการทำงานของเครื่องที่ออกแบบสามารถทำการตัดโลหะได้ตามเป้าหมายของการวิจัยที่กำหนดไว้ รอยตัดของโลหะที่ผ่านการตัดมีความคมดี

ภาควิชา วิศวกรรมไฟฟ้า ลายมือชื่อนิสิต .....

สาขาวิชา ออกแบบอิเล็กทรอนิกส์ ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา .....

ปีการศึกษา 2536 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม .....

พิมพ์ต้นฉบับบทคัดย่อวิทยานิพนธ์ภายในกรอบสีเขียวนี้เพียงแผ่นเดียว

##C215496 : MAJOR ELECTRICAL ENGINEERING
KEY WORD: SWITCHING POWER SUPPLY / PLASMA CUTTING
SURIYA THONGCHAI : SWITCHING POWER SUPPLY OF A PLASMA CUTTING MACHINE : THESIS ADVISOR : ASST.PROF.YOUTHANA KULVITIT,Dr.Ing 96 PP.ISBN 974-584-368-7

A switching power supply of a plasma cutting machine was designed to be a prototype. It comprised of a rectifier, a full-bridge converter using power MOSFETS as active switches, a high frequency transformer, a full-wave output rectifier, a high voltage generating circuit, a sequential control circuit, over voltage and over current protection circuits. The plasma cutting machine also included a plasma cutting torch and an air compressor unit. The power supply operated at a high frequency of 40 kHz and delivered 4 kilowatt output power. This machine could cut metal sheet up to 10 mm thick. The performance test of this prototype yielded satifactory results in accordance with the specifications. The cutting by the machine provided a clear-cut edge.

ภาควิชา วิศวกรรมไฟฟ้า ลายมือชื่อนิสิต .....

สาขาวิชา ออกแบบอิเล็กทรอนิกส์ ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา .....

ปีการศึกษา 2536 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม .....

สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้สำเร็จลุล่วงไปได้ ด้วยความช่วยเหลืออย่างดียิ่งของ ผศ. ดร. ยุทธนา กุลวิทิต อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ซึ่งท่านเป็นผู้ให้คำแนะนำ และข้อเสนอคิดเห็นต่าง ๆ ของการวิจัยมาโดยตลอด รวมทั้งอาจารย์ทุก ๆ ท่านที่ให้ข้อแนะนำและความสะดวกในการทำวิจัย ในการทำวิจัยครั้งนี้ได้รับทุนจากสำนักงานคณะกรรมการพัฒนาวิทยาศาสตร์ และเทคโนโลยี (STDB) ซึ่งให้ทุนทั้งสิ้นประมาณ 120,000.00 บาท จึงขอขอบพระคุณมา ณ. ที่นี้ด้วย

ท้ายนี้ผู้วิจัยใคร่ขอกราบขอบพระคุณ บิดา - มารดา และครูอาจารย์ทุกท่าน ซึ่งสนับสนุนในด้านการศึกษา และให้กำลังใจแก่ผู้วิจัยเสมอมาจนสำเร็จการศึกษา รวมทั้งขอแสดงความขอบคุณต่อเจ้าหน้าที่ทุกคนใน หจก. ออลเทค ซิสเท็ม ดีเวลลอปเม้นท์ โดยเฉพาะคุณ สมาน กุยรัมย์ ที่มีส่วนช่วยให้งานวิจัยครั้งนี้ สำเร็จลุล่วงตามเป้าหมายทุกประการ

สุริยา ธงชัย

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย..... ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ..... จ
กิตติกรรมประกาศ..... ฉ
สารบัญตาราง..... ช
สารบัญภาพ..... ฌ
บทที่
1. บทนำ..... 1
2. การเกิดอาร์คพลาสมา..... 4
3. โครงสร้างและการออกแบบแหล่งจ่ายกำลังแบบสวิตชิง ของเครื่องตัดโลหะแบบพลาสมา..... 18
4. การสร้างและการทดสอบ..... 65
5. การใช้งาน..... 87
6. สรุปและข้อเสนอแนะ..... 91
เอกสารอ้างอิง..... 95
ประวัติผู้เขียน..... 96

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
3.1	แสดงพิกัดและค่าพารามิเตอร์ของหม้อแปลงจ่ายกำลังไฟฟ้า 3 เฟส 4 สาย	28
3.2	แสดงความยาวสายสูงสุด (M) ที่แรงดันตกในสายสูงสุดไม่เกิน 3%	29
3.3	แสดงขนาดของเส้นลวดพันหม้อแปลง	46
3.4	องค์ประกอบของอากาศ	53
4.1	แสดงค่าประสิทธิภาพของแหล่งจ่ายกำลังไฟตรงแบบสวิตชิงที่ออกแบบสร้างขึ้น ที่ภาระด้านออกต่าง ๆ กัน	83

สารบัญภาพ

รูปที่		หน้า
2.1	แสดงการแยกตัว และการเกิดไอออนของก๊าซในพลาสมา	5
2.2	แสดงการเกิดพลาสมาเมื่อก๊าซไฮโดรเจนผ่านอาร์ค	6
2.3	แสดงการเกิดพลาสมาในภาชนะปิด	7
2.4	แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง energy content ของพลาสมาก๊าซกับอุณหภูมิของพลาสมาที่ความดันปรกติ	10
2.5	แสดงการเกิดพลาสมาของก๊าซไดอะตอมมิกและก๊าซเฉื่อย	11
2.6	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหล (flow rate) และกำลังไฟฟ้า (arc power) เมื่อใช้อาร์กอนเป็นพลาสมาก๊าซ	12
2.7	แสดงการกระจายของอุณหภูมิที่ตำแหน่งต่าง ๆ ของเปลวพลาสมา	12
2.8	แสดงการกระจายของ velocity pressure ที่ตำแหน่งต่าง ๆ ของเปลวพลาสมา	13
2.9	การทำให้เกิดอาร์คโดยวิธีลัดวงจร	14
2.10	แบบของอาร์คพลาสมาที่ใช้ในกิจการโลหกรรมพลาสมา	14
2.11	อาร์คความถี่สูงเกิด	16
2.12	อาร์คหลัก (Main Arc) เกิดตามแนวอาร์คความถี่สูง	16
2.13	อาร์คหลักเกิดเต็มที่ถึงแม้อาร์คความถี่สูงจะดับไปแล้ว	17
3.1	แสดงเครื่องมือและอุปกรณ์ที่จำเป็นต้องใช้ในกรรมวิธีการตัดโลหะด้วยเครื่องตัดโลหะแบบพลาสมา	18
3.2	แสดง Block diagram ของเครื่องตัดโลหะแบบพลาสมาของผู้ผลิตจากต่างประเทศ	20
3.3	แสดงโครงสร้างทางไฟฟ้าของแหล่งจ่ายกำลังแบบสวิตชิงของเครื่องตัดโลหะแบบพลาสมา	22
3.4	แสดงวงจรของแหล่งจ่ายไฟตรงภาคกำลัง ในตอนเริ่มเปิดเครื่อง	23
3.5	แสดงวงจรที่ใช้ในการคำนวณหาค่าความต้านทาน R1	25
3.6 ก.	แสดงวงจรขณะเลิกใช้งานตัวเก็บประจุ	26
3.6 ข.	แสดงแรงดันตกคร่อมตัวเก็บประจุขณะเลิกใช้งาน	26
3.7	วงจรที่ใช้ในการซิมูเลตวงจรเรียงกระแส	31
3.8	แสดงรูปคลื่นของแรงดันคร่อมตัวเก็บประจุที่ได้จากการซิมูเลต	31

สารบัญภาพ

รูปที่		หน้า
3.9	แสดงรูปคลื่นของกระแสผ่านไดโอด	32
3.10	แสดงรูปคลื่นของกระแสผ่านไดโอดที่ใช้หาค่าอาร์เอ็มเอส	33
3.11 ก.	โครงสร้างพื้นฐานของวงจรทอนระดับ	34
3.11 ข.	ตัวอย่างวงจรทอนระดับที่พลังงานไหลได้ในทิศทางเดียว	34
3.12 ก.	โครงสร้างพื้นฐานของวงจรทบระดับ	36
3.12 ข.	ตัวอย่างวงจรทบระดับที่พลังงานไหลได้ทางเดียว	36
3.13 ก.	โครงสร้างพื้นฐานของวงจรทอนทบระดับ	37
3.13 ข.	ตัวอย่างวงจรทอนทบระดับที่พลังงานไหลได้ทางเดียว	37
3.14 ก.	โครงสร้างพื้นฐานของวงจรชุค	38
3.14 ข.	ตัวอย่างวงจรชุคที่พลังงานไหลได้ทางเดียว	39
3.15 ก.	แสดงโครงสร้างพื้นฐานของวงจรบริดจ์เต็มรูป	40
3.15 ข.	ตัวอย่างวงจรบริดจ์เต็มรูป	40
3.16	แสดงวงจรที่ใช้วิเคราะห์หาพารามิเตอร์ต่าง ๆ ในวงจรแหล่งจ่ายไฟกำลังแบบสวิตชิง ของเครื่องตัดโลหะแบบพลาสมา	41
3.17	รูปคลื่นที่ได้จากการชิมูเลตเพื่อหาขนาดของสวิตช์	43
3.18	แสดงส่วนของวงจรเรียงกระแสและวงจรกรองทางด้านออก	47
3.19	แสดงวงจรที่ใช้สร้างต้นกำเนิดศักดาไฟฟ้าแรงสูง ความถี่สูง	51
3.20	แสดงหัวคบพลาสมา	52
3.21	แสดงโมเลกุลและความดันของก๊าซ	52
3.22	แสดงให้เห็นส่วนของการควบคุมการจ่ายกำลังไฟฟ้า ของแหล่งจ่ายกำลังแบบสวิตชิงของเครื่องตัดโลหะแบบพลาสมา	54
3.23	แสดง Timing Diagram ของความสัมพันธ์ระหว่างลมและการกระตุ้นให้เกิดอาร์คพลาสมารวมทั้งการระบายความร้อน ออกจากหัวคบพลาสมาขณะเลิกใช้งาน	55
3.24	แสดงวงจรที่ใช้ควบคุมการกำเนิดอาร์คพลาสมา	56
3.25	แสดงแผนภาพบล็อกวงจรไอซีหมายเลข TL 494	57
3.26	วงจรกำเนิดสัญญาณสี่เหลี่ยมที่ใช้ในการควบคุมมอสเฟตกำลังในวงจรแปลงผันไฟตรง-ไฟตรง แบบบริดจ์เต็มรูป	58

สารบัญภาพ

รูปที่		หน้า
3.27	แสดงวงจรขับนำเกทแบบแยกโดดที่ใช้ในวงจรแปลงผันไฟตรง-ไฟตรง แบบบริดจ์เต็มรูป	59
3.28	วงจรขับนำเกทที่มีการแยกโดดสำหรับมอสเฟตกำลัง	59
3.29	แสดงวงจรป้องกันกระแสเกินของวงจรแปลงผันไฟตรง-ไฟตรง แบบบริดจ์เต็มรูป	61
3.30	แสดงวงจรป้องกันแรงดันเกิน	63
3.31	แสดงวงจรควบคุมสัญญาณป้องกัน	63
3.32	แสดงวงจรป้องกัน เนื่องจากอุณหภูมิสูงเกินพิกัด	64
3.33	วงจรแสดงสถานะการทำงานของเครื่อง เมื่ออยู่ในสภาวะผิดปรกติ	64
4.1	ส่วนต่าง ๆ ของการติดตั้งองค์ประกอบตามระดับแรงดัน	66
4.2	แสดงโครงสร้างภายในของหัวคบพลาสมา	67
4.3	แสดงแรงดันขับนำสวิตช์มอสเฟตกำลังในวงจรแปลงผันไฟตรง-ไฟตรง แบบบริดจ์เต็มรูป	68
4.4	แสดงวงจรทดลองหา V-I Curves ของแหล่งจ่ายกำลังไฟตรง แบบสวิตชิงที่ได้สร้างขึ้น	69
4.5	แสดงกราฟการทดสอบค่าของแรงดันและกระแสทางด้านขาออกที่ ภาระต่าง ๆ กัน ของแหล่งจ่ายกำลังไฟตรงที่ได้สร้างขึ้น	70
4.6	แสดงแรงดันตกคร่อมสวิตช์มอสเฟตกำลังขณะยังไม่มีภาระ	71
4.7	แสดงแรงดันตกคร่อมขดลวดขดปฐมภูมิของหม้อแปลงขณะไม่มีภาระ.	71
4.8	แสดงแรงดันตกคร่อมขดลวดทุติยภูมิของหม้อแปลงขณะไม่มีภาระ	72
4.9	แสดงแรงดันตกคร่อมสวิตช์มอสเฟตกำลังขณะมีภาระขนาด 10 แอมป์.	72
4.10	แสดงแรงดันตกคร่อมขดลวดปฐมภูมิของหม้อแปลงขณะมีภาระขนาด 10 แอมป์	73
4.11	แสดงกระแสผ่านขดปฐมภูมิของหม้อแปลงขณะมีภาระขนาด 10 แอมป์	73
4.12	แสดงแรงดันตกคร่อมขดลวดทุติยภูมิของหม้อแปลงขณะมีภาระขนาด 10 แอมป์	74

สารบัญภาพ

รูปที่		หน้า
4.13	แสดงแรงดันทางด้านขาเข้าของวงจรกรอง (Ein) ขณะมีภาระขนาด 10 แอมป์	74
4.14	แสดงแรงดันตกคร่อมสวิตช์มอสเฟตกำลังขณะมีภาระขนาด 20 แอมป์	75
4.15	แสดงแรงดันตกคร่อมขดลวดปฐมภูมิของหม้อแปลงออกขณะมีภาระขนาด 20 แอมป์	75
4.16	แสดงกระแสผ่านขดปฐมภูมิของหม้อแปลงขณะมีภาระขนาด 20 แอมป์	76
4.17	แสดงแรงดันตกคร่อมขดลวดทุติยภูมิของหม้อแปลงขณะมีภาระขนาด 20 แอมป์	76
4.18	แสดงแรงดันทางด้านขาเข้าของวงจรกรอง (Ein) ขณะมีภาระขนาด 20 แอมป์	77
4.19	แสดงแรงดันตกคร่อมสวิตช์มอสเฟตกำลังขณะมีภาระขนาด 30 แอมป์	77
4.20	แสดงแรงดันตกคร่อมขดลวดด้านปฐมภูมิของหม้อแปลงขณะมีภาระขนาด 30 แอมป์	78
4.21	แสดงกระแสผ่านขดลวดปฐมภูมิของหม้อแปลงขณะมีภาระขนาด 30 แอมป์	78
4.22	แสดงแรงดันตกคร่อมขดลวดด้านทุติยภูมิขณะมีภาระขนาด 30 แอมป์	79
4.23	แสดงแรงดันทางด้านขาเข้าของวงจรกรอง (Ein) ขณะมีภาระขนาด 30 แอมป์	79
4.24	แสดงแรงดันตกคร่อมสวิตช์มอสเฟตกำลังขณะมีภาระขนาด 40 แอมป์	80
4.25	แสดงแรงดันตกคร่อมขดลวดด้านปฐมภูมิของหม้อแปลงขณะมีภาระขนาด 40 แอมป์	80
4.26	แสดงกระแสผ่านขดลวดด้านปฐมภูมิของหม้อแปลงขณะมีภาระขนาด 40 แอมป์	81
4.27	แสดงแรงดันตกคร่อมขดลวดด้านทุติยภูมิขณะมีภาระขนาด 40 แอมป์.	81
4.28	แสดงแรงดันทางด้านขาเข้าของวงจรกรอง (Ein) ขณะมีภาระขนาด 40 แอมป์	82
4.29	แสดงแรงดันไฟตรงทางด้านออกขณะมีภาระขนาด 40 แอมป์	82

สารบัญภาพ

รูปที่		หน้า
4.30	แสดงกระแสผ่านขดปฐมภูมิของหม้อแปลงขณะทำการตัดโลหะ.....	84
4.31	แสดงกระแสผ่านตัวเหนี่ยวนำทางด้านขาออกขณะทำการตัดโลหะ.....	84
4.32	แสดงแรงดันตกคร่อมสวิตช์มอสเฟตกำลังขณะทำการตัดโลหะ.....	85
4.33	แสดงผู้ปฏิบัติงานกำลังทำการตัดโลหะ.....	85
4.34	แสดงผลของการตัดโลหะด้วยเครื่องที่ออกแบบ.....	86
5.1	แสดงแผงหน้าปัดในส่วนการควบคุมและแสดงผลของเครื่อง.....	88