

อินเวอร์ตเทอร์แบบ เอส.ซี.อาร์ สำหรับการทำความร้อนเหนี่ยวนำ



นายมานะ ภัทรกุลพงษ์

003981

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาคำหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
พ.ศ. 2524

117005760

S.C.R. Inverter for Induction Heating

Mr. Mana Patharagulpong

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering
Department of Electrical Engineering
Graduate School
Chulalongkorn University
1981

หัวข้อวิทยานิพนธ์ อินเวอร์ทเทอร์แบบ เอส.ซี.อาร์. สำหรับการทำความร้อนเหนี่ยวนำ
 โดย นายมานะ ภัทรกุลพงษ์
 ภาควิชา วิศวกรรมไฟฟ้า
 อาจารย์ที่ปรึกษา ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุทิน เวทย์วัณณะ

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัยนี้เป็น
 ส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

สุทิน เวทย์วัณณะคณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
 (รองศาสตราจารย์ ดร.สุประคิษฐ์ บุณาค)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

Adm. gr.ประธานกรรมการ
 (ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. โคทม อารียา)
Dr. Irohกรรมการ
 (ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุทิน เวทย์วัณณะ)
Dr. Siripornกรรมการ
 (ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชาตรี ศรีไพพรรณ)

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

หัวข้อวิทยานิพนธ์ อินเวอร์ทเทอร์แบบ เอส.ซี.อาร์ สำหรับการทำความร้อนเหนี่ยวนำ
ชื่อนิสิต นายมานะ ภัทรกุลพงษ์
อาจารย์ที่ปรึกษา ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุทิน เวทย์วัฒน์
ภาควิชา วิศวกรรมไฟฟ้า
ปีการศึกษา พ.ศ. 2523



บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เกี่ยวกับการนำเอสซีอาร์ แบบที่มีขายทั่วไป มาใช้ทำอินเวอร์ทเทอร์ สำหรับใช้งานการทำความร้อนเหนี่ยวนำ ขั้นตอนการทำวิจัยประกอบด้วย (1) การวัดเวลาการหยุดน้ำกระแสของเอสซีอาร์ (2) การออกแบบวงจรจลนวัตต์ และวงจรโหลด (3) การทดสอบวงจรอินเวอร์ทเทอร์ที่สร้างขึ้น ผลการทดสอบปรากฏว่า อินเวอร์ทเทอร์ที่สร้างโดยใช้ เอสซีอาร์ เบอร์ อีซี 107 เอ.1 (ซึ่งเป็นแบบที่ใช้ทั่ว ๆ ไป ขนาด 4 แอมป์, 100 โวลต์) เมื่อใช้กับแหล่งจ่ายไฟตรง 20 โวลต์ สามารถให้กำลังไฟฟ้ากระแสสลับได้สูงสุด 30 วัตต์ ความถี่สูงสุด 7500 รอบต่อวินาที และประสิทธิภาพสูงสุด 75 เปอร์เซ็นต์

Thesis Title S.C.R. Inverter for Induction Heating
Name Mr. Mana Patharagulpong
Thesis Advisor Assistant Professor Sootin Wetwatana, Ph.D.
Department of Electrical Engineering
Academic Year 1980

ABSTRACT

This thesis is concerned with a study of using general-purpose SCRs in building inverters for induction heating application. The study consists of three main steps, viz., (1) the measurement of recovery time of SCRs, (2) the design of firing, feedback and load circuits and (3) the performance test of the constructed inverter.

The inverter built from EC 107A1 SCRs (which are general-purpose SCRs with a rating of 4A.-100 V.) when supply by a 20V.dc source can produce an ac power up to 30 W and a frequency up to 7500 Hz with an efficiency up to 75 %



กิตติกรรมประกาศ

ข้าพเจ้าขอขอบคุณท่านอาจารย์สุทิน เวทย์วิฑณะ ซึ่งเป็นอาจารย์ผู้ควบคุม
การทำวิจัยที่ให้ความปรึกษา แนะนำ และแก้ไขวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จนสำเร็จเป็นอย่างดี

ขอขอบคุณอาจารย์และพนักงานห้องทดสอบไฟฟ้าแรงสูง แผนกวิศวกรรมไฟฟ้า
ที่อนุญาตให้ใช้สถานที่และอุปกรณ์ในการทำวิจัย

ขอขอบคุณแผนกอิเล็กทรอนิกส์และระบบสื่อสาร บริษัทไฟฟ้าฟิลิปส์แห่งประเทศไทย
จำกัด และพนักงานในแผนกดังกล่าวที่ได้อนุญาตให้ใช้สถานที่ เครื่องมือของบริษัท
และช่วยเหลือในการทำวิจัย

ขอขอบคุณเพื่อน ๆ ทุกคนที่ให้ความร่วมมือและช่วยเหลือเป็นอย่างดี

สารบัญ

	หน้า
หัวเรื่อง (ภาษาไทย)	ก
(ภาษาอังกฤษ)	ข
หน้าอนุมัติ	ค
บทคัดย่อ (ภาษาไทย)	ง
(ภาษาอังกฤษ)	จ
กิตติกรรมประกาศ	ฉ
สารบัญตารางประกอบ	ญ
สารบัญรูปประกอบ	ฎ
บทที่ 1 บทนำ	1
บทที่ 2 ทฤษฎีการแปลงไฟฟ้ากระแสตรง เป็นไฟฟ้ากระแสสลับโดยใช้อิเล็กทรอนิกส์	4
2.1 สภาวะนำกระแส-ไม่นำกระแสและเวลาการหยุดนำกระแสของ อิเล็กทรอนิกส์	4
2.2 วงจร เปลี่ยนไฟฟ้ากระแสตรง เป็นไฟฟ้าสลับโดยใช้อิเล็กทรอนิกส์ (S.C.R. Inverter)	7
2.3 วงจรอินเวอร์ตเตอร์แบบป้อนกระแสที่มีตัวเก็บประจุอนุกรมและ คอปชานชคเซย์โหลด	10
2.3.1 ผลตอบสนองความถี่ของวงจรออก	15
2.3.2 การเริ่มตนเปิดอินเวอร์ตเตอร์ให้ทำงาน	17
2.3.3 การควบคุมช่วงเวลาจุกชนวน	19
บทที่ 3 การทดสอบหาเวลาการหยุดนำกระแสของ อิเล็กทรอนิกส์	22
3.1 วงจรสำหรับทดสอบหาเวลาการหยุดนำกระแสของ อิเล็กทรอนิกส์	22

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.2 การทดสอบหาเวลาหยุดนำกระแสของ แอสซีอาร์	26
3.3 ความสัมพันธ์ระหว่าง เวลาหยุดนำกระแสของ แอสซีอาร์ กับความถี่ของวงจรอินเวอร์ตเตอร์	28
บทที่ 4 การออกแบบ	37
4.1 วงจรจุกชนวน	37
4.1.1 วงจรกำเนิดสัญญาณไฟฟ้าควบคุมความถี่ด้วยระดับศักดา .	38
(Voltage controlled Oscillator)	
4.1.1.1 วงจรกำเนิดสัญญาณไฟฟ้าควบคุมความถี่ ด้วยระดับศักดาจากไอซีเบอร์ 555	38
4.1.1.2 วงจรลดครึ่งความถี่	45
4.1.2 วงจรจ่ายสัญญาณจุกชนวน	48
(Pulse distributor and firing circuit)	
4.1.2.1 วงจรแยกกราวณ์	49
4.1.2.2 วงจร High pass filter	52
4.1.2.3 วงจรขยายสัญญาณจุกชนวน	54
4.1.3 วงจรป้อนกลับ (Feed back circuit)	60
4.1.3.1 วงจร Recovery time transducer	62
4.1.3.2 วงจร Integrator หรือวงจร Low pass filter	63
4.1.3.3 วงจร Differential - amp	64
4.2 วงจรโหลด (Load - Circuit)	67
4.2.1 การออกแบบเตาหลอมตะกั่วบัดกรี	67
4.2.2 การออกแบบหม้อแปลงภาคออก	74
4.3 วงจรควบคุมการเริ่มเปิด	80

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 5 การทดสอบวงจรอินเวอร์ทเทอร์	85
5.1 ทดสอบการปรับแต่ง เบื้องต้น เพื่อให้ระบบวงจรอินเวอร์ทเทอร์ทำงาน	87
5.2 ทดสอบการทำงานของวงจร เมื่อความถี่เปลี่ยนแปลง	90
5.3 ทดสอบการทำงานของวงจร เมื่อความต้านทานของโหลดเปลี่ยนแปลง	91
5.4 ทดสอบการทำงานของวงจร เมื่อความเหนี่ยวนำของโหลดเปลี่ยนแปลง	92
5.5 ทดสอบการทำงานของวงจร เมื่อค่าตัวเก็บประจุที่ต่อขนานกับโหลดเปลี่ยนแปลง	92
5.6 ทดสอบการทำงานของวงจร เมื่อค่าตัวเก็บประจุที่ต่ออนุกรมกับโหลดเปลี่ยนแปลง	93
5.7 ทดสอบการทำงานของวงจร เมื่อค่าความเหนี่ยวนำของ Smoothing coil เปลี่ยน	94
5.8 ทดสอบการทำงานของวงจร เมื่อศักดาไฟฟ้าจากแหล่งจ่ายไฟกระแสตรงเปลี่ยนแปลง	95
5.9 ทดสอบผลของ Stray inductance ต่อการทำงาน ของวงจร	96
5.10 ทดสอบใช้อินเวอร์ทเทอร์หลอมตะกั่ว	96
บทที่ 6 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอนแนะ	135
เอกสารอ้างอิง	145
ภาคผนวก	146
ประวัติผู้ทำวิจัย	

รายการตารางประกอบ

หน้า

ตารางที่ 1	แสดงถึงเวลาการหยดน้ำกระแสของเอ็กซ์อาร์ทิวอย่างเมื่อกระแส สามและกระแสกำลังคองช่วงลบหรืออัตราเปลี่ยนแปลง ของศักดาคองช่วงลบต่างๆกัน	27
ตารางที่ 2	แสดงถึงช่วงความถี่สูงสุดที่ได้จากการใช้ความต้านทาน ต่าง ๆ	44
ตารางที่ 3	แสดงถึงความสัมพันธ์ของความถี่ที่ได้กับศักดาไฟฟ้าที่ใช้ในการควบคุม	44
ตารางที่ 4	แสดงค่าประสิทธิภาพของหม้อแปลงในขณะที่กำลังไฟฟ้าเข้าต่างกัน	79
ตารางที่ 5	แสดงค่าประสิทธิภาพของหม้อแปลงในขณะความถี่ของสัญญาณเข้าต่างกัน ...	79
ตารางที่ 6	แสดงถึงค่าค่าสคของ C_p และช่วงความถี่ของวงจรอินเวอร์ทเทอร์ สามารถเปิดให้ทำงานได้ในขณะที่มีโหลดและความเหนี่ยวนำ Smoothing coil ต่างๆกัน	89

รายการประกอบ

หน้า

รูปที่ 2.1	รูปคลื่นกระแสและศักย์ไฟฟ้าที่ขั้วอะโนดของ เอสซีอาร์ ในขณะที่ถูกทำให้หยุดทำงาน	5
รูปที่ 2.2	วงจรอินเวอร์ตเทอร์แบบป้อนกระแส	7
รูปที่ 2.3	วงจรอินเวอร์ตเทอร์แบบป้อนกระแสซึ่งมีตัวเก็บประจุอนุกรม และคอปชานชค เซบ โหลค	10
รูปที่ 2.4	แสดงรูปคลื่นที่ได้จากการทำงานของวงจรอินเวอร์ตเทอร์แบบป้อนกระแสซึ่งมีตัวเก็บประจุอนุกรมและคอปชานชค เซบ โหลค ..	11
รูปที่ 2.5	แสดงผลตอบสนองของความถี่ของวงจรออก	16
รูปที่ 2.6	วงจรควบคุมการเริ่มเปิดสำหรับอินเวอร์ตเทอร์แบบป้อนกระแสซึ่งมีตัวเก็บประจุอนุกรมและคอปชานชค เซบ โหลค	18
รูปที่ 2.7	แสดงถึงรูปคลื่นที่ได้ตามทฤษฎีจากการทำงานของวงจรอินเวอร์ตเทอร์ในช่วงแรก	18
รูปที่ 2.8	ผังของการควบคุมระยะเวลาจุดชนวนสำหรับวงจรอินเวอร์ตเทอร์แบบป้อนกระแสซึ่งมีตัวเก็บประจุอนุกรมและชานกับโหลค ..	21
รูปที่ 3.1 (ก)	วงจรสำหรับทดสอบหาระยะเวลาหยุดนำกระแสของ เอสซีอาร์ ..	23
	(ข) รูปคลื่นของศักย์คร่อม เอสซีอาร์ และกระแสที่ไหลผ่าน เอสซีอาร์ ซึ่งได้จากการทดสอบหาเวลาการหยุดนำกระแส	23
รูป 3.2	แสดงถึงการต่อวงจรและเครื่องมือในการทดสอบหาเวลาหยุดนำกระแสของ เอสซีอาร์	24
รูป 3.3	แสดงค่า Power factor ที่ความถี่สูงสุดซึ่งวงจรสามารถทำงานได้	30
รูป 3.4	แสดงรูปคลื่นที่ได้จากการทดสอบหาเวลาการหยุดนำกระแสของ เอสซีอาร์ ประกอบควรูป 3.4.01 - 3.4.11	31

รายการรูปประกอบ (ต่อ)

หน้า

รูป 4.1	(ก) วงจรสมมูลของ ไอซี 555	39
	(ข) แสดงถึงการนำไอซี 555 มาถือเป็นวงจรถักกำเนิดสัญญาณไฟฟ้าควบคุมความถี่ของสัญญาณโคควอร์ระดับคัททาคา	39
รูป 4.2	รูปคลื่นตามทฤษฎีแสดงการทำงานของวงจรถักกำเนิดสัญญาณไฟฟ้าควบคุมความถี่โคควอร์ระดับคัททาคาจากไอซีเบอร์ 555	40
รูป 4.3	แสดงการนำไอซีเบอร์ 7473 มาถือเป็นวงจรถัก 2 ความถี่ ..	45
รูป 4.4	แสดงรูปคลื่นที่ได้จากการทำงานของวงจรถัก 2 ตามทฤษฎี ..	46
รูป 4.5	แสดงถึงวงจรถักกำเนิดสัญญาณไฟฟ้าควบคุมความถี่โคควอร์ระดับคัททาคาไฟฟ้าที่สมบูรณ์	47
รูป 4.6	ผังของวงจรถักจ่ายสัญญาณจุกชนวน	48
รูป 4.7	แสดงถึงวงจรถักแยกกราวนด์	50
รูป 4.8	(ก) วงจร High pass filter	52
	(ข) รูปคลื่นสัญญาณเข้าและออก	52
รูป 4.9	แสดงถึงวงจรถักขยายสัญญาณจุกชนวน	54
รูป 4.10	วงจรถักจ่ายสัญญาณจุกชนวน	58
รูป 4.11	แสดงรูปคลื่นที่ได้จากวงจรถักจุกชนวน	
	ประกอบควรรูป 4.11 (ก) - 4.11 (ค)	59
รูป 4.12	แสดงถึงวงจรถักป้อนกลับของวงจรถักอินเวอร์ทเทอร์	60
รูป 4.13	แสดงรูปคลื่นตามทฤษฎีที่ได้จากการทำงานของวงจรถักป้อนกลับ ..	61
รูป 4.14	ภาพถ่ายแสดง เปรียบเทียบรูปคลื่นคัททาคาที่ได้จากวงจรถักป้อนกลับขณะที่ความถี่วงจรถักเพิ่มขึ้น ประกอบควรรูป 4.14.1-4.14.2 .	66
รูป 4.15	แสดงค่าความต้านทานจำเพาะของโลหะที่อุณหภูมิต่างกันพร้อมกันนี้แสดงถึงจุดหลอมเหลวของโลหะเหล่านี้ด้วย	68
รูป 4.16	แสดงอิทธิพลของการแผ่รังสีคอสมิกที่มีต่อของโลหะที่อุณหภูมิต่าง ๆ .	69

รายการรูปประกอบ (ต่อ)

	หน้า
รูป 4.17	แสดงลักษณะของ เคาที่ออกแบบ 70
รูป 4.18	แสดงขนาดรูปร่างของแกน 76
รูป 4.19	รูปตัดแสดงถึงการพันขดลวดในหม้อแปลง 77
รูป 4.20	แสดงถึงวงจรควบคุมการ เริ่ม เปิด 80
รูป 5.1	แสดงวงจรอินเวอร์ตเทอร์แบบป้อนกระแสซึ่งมีตัวเก็บประจุค้อ อนุกรมและค้อขนานชดเชยโหลคที่สมบรูณ์ 84
รูป 5.2(ก)	รูปวงจอินเวอร์ตเทอร์สมบรูณ์ที่สร้างขื้น 85
	(ข)รูปโหลคของวงจซึ่ง เป็น เคาหลอมตะกั่วจาลอง 85
รูป 5.3(ก)	แสดงรายละเอียดของวงจกำลัง 86
	(ข)แสดงถึงค่าความต้านทานและความเหนี่ยวนำสมมุคที่วัดทางคาน ปฐมภูมิของหม้อแปลง 86
รูป 5.4	กราฟแสดงผลการท่างานของวงจอินเวอร์ตเทอร์เมื่อความถี่ ของวงจเปลี่ยนแปลง ประกอบควรูป 5.4.1 ถึง 5.4.5 97
รูป 5.5	กราฟแสดง เปรียบเทียบผลการท่างานของวงจอินเวอร์ตเทอร์ ที่มีความต้านทานของโหลคต่างกันประกอบควรูป 5.5.1-5.5.4. 101
รูป 5.6	กราฟแสดง เปรียบเทียบผลการท่างานของวงจอินเวอร์ตเทอร์ ที่มีความเหนี่ยวนำของโหลคต่างกัน ประกอบควรูป 5.6.1 ถึง 5.6.4 106
รูป 5.7	กราฟแสดง เปรียบเทียบผลการท่างานของวงจอินเวอร์ตเทอร์ ที่มีตัวเก็บประจุที่ค้อขนานกับโหลคต่างกัน ประกอบควรูป 5.7.1 ถึง 5.7.4 110
รูป 5.8	กราฟแสดง เปรียบเทียบผลการท่างานของวงจอินเวอร์ตเทอร์ ที่มีตัวเก็บประจุที่ค้ออนุกรมกับโหลคต่างกัน ประกอบควรูป 5.8.1 ถึง 5.8.4 114

รายการรูปประกอบ (ต่อ)

	หน้า
รูป 5.9 กราฟแสดง เปรียบเทียบผลการทำงานของวงจรอินเวอร์ทเทอร์ ที่มีค่าความเหนี่ยวนำของ Smoothing coil ต่างกัน ประกอบควรรูป 5.9.1 ถึง 5.9.4	110
รูป 5.10 กราฟแสดงผลการทดสอบการทำงานของวงจรอินเวอร์ทเทอร์ เมื่อ แปรค่าศักดาไฟตรง ประกอบควรรูป 5.10.1 ถึง 5.10.3	122
รูป 5.11 กราฟแสดง เปรียบเทียบผลตอบสนองความถี่ของกำลังไฟฟ้ออกและ ประสิทธิภาพของวงจรอินเวอร์ทเทอร์ ซึ่งมีค่าศักดาไฟตรงต่างกัน	125
รูป 5.12 ภาพถ่ายแสดงรูปคลื่นที่ได้จากการทำงานของวงจรอินเวอร์ทเทอร์ เมื่อขณะที่ไม่มี Smoothing coil ประกอบควรรูป 5.12.1 ถึง 5.12.5	126
รูป 5.13 ภาพถ่ายแสดง เปรียบเทียบรูปคลื่นที่ได้จากการทำงานของวงจร ขณะที่มีและไม่มี Stray Inductance ประกอบควรรูป 5.13.1 ถึง 5.13.5	128
รูป 5.14 ภาพถ่ายแสดงรูปคลื่นที่ได้จากการทำงานของวงจร เมื่อความถี่ เพิ่มขึ้นประกอบควรรูป 5.14.1 ถึง 5.14.5	131
รูป 6.1 แสดงวงจรอินเวอร์ทเทอร์แบบ Current-fed time sharing ที่แนะนำให้ทำการวิจัยขั้นตอนต่อไป	135