

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

ค่าคุณลักษณะและสมรรถนะของวงจรเมตริกซ์คอนเวอร์เตอร์ที่ทำการทดสอบ

ตาราง ก.1 ค่าคุณลักษณะและสมรรถนะของวงจรเมตริกซ์คอนเวอร์เตอร์ที่ทำการทดสอบกับโหลด
ตัวต้านทานขนาด 100 Watts

ความถี่ในการสวิตช์ (Switching Frequency)	250 (Hz)				500 (Hz)				1000 (Hz)			
ดัชนีการมอดดูเลชัน (Modulation Index)	0.2	0.4	0.6	0.8	0.2	0.4	0.6	0.8	0.2	0.4	0.6	0.8
แรงดันอินพุต (Volts)	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
กระแสอินพุต (Amps)	0.33	0.25	0.31	0.33	0.33	0.32	0.31	0.32	0.31	0.33	0.30	0.31
ค่าตัวประกอบกำลัง อินพุต (PFin)	0.98	0.98	0.97	0.97	0.98	0.98	0.97	0.98	0.97	0.93	0.97	0.97
กำลังไฟฟ้าอินพุต (Pin : Watts)	32	34	30	31	32	31	30	31	29	31	29	30
แรงดันเอาต์พุต (Volts)	96.4	93.9	94.5	94.2	92.8	92.6	92.8	92.4	86.7	88.6	88.6	87.5
กระแสเอาต์พุต (Amps)	0.30	0.32	0.31	0.30	0.29	0.29	0.29	0.29	0.29	0.27	0.30	0.30
ค่าตัวประกอบกำลัง เอาต์พุต (PFout)	0.98	0.98	0.98	0.98	0.98	0.98	0.98	0.98	0.97	0.98	0.98	0.98
กำลังไฟฟ้าเอาต์พุต (Pout : Watts)	28	29	28	28	25	26	25	25	23	23	25	25

ตาราง ก.2 ค่าคุณลักษณะและสมรรถนะของวงจรเมตริกซ์คอนเวอร์เตอร์ที่ทำการทดสอบกับโหลด
ตัวต้านทานขนาด 200 Watts

ความถี่ในการสวิตช์ (Switching Frequency)	250 (Hz)				500 (Hz)				1000 (Hz)			
ดัชนีการมอดูเลชัน (Modulation Index)	0.2	0.4	0.6	0.8	0.2	0.4	0.6	0.8	0.2	0.4	0.6	0.8
แรงดันอินพุท (Volts)	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
กระแสอินพุท (Amps)	0.54	0.61	0.60	0.57	0.61	0.60	0.59	0.59	0.59	0.60	0.59	0.59
ค่าตัวประกอบกำลัง อินพุท (PFin)	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99
กำลังไฟฟ้าอินพุท (Pin : Watts)	53	60	59	56	60	59	59	58	58	59	58	58
แรงดันเอาต์พุท (Volts)	92.6	93.8	93.6	94.0	92.3	92.4	92.4	92.4	86.7	88.0	87.9	86.9
กระแสเอาต์พุท (Amps)	0.54	0.54	0.56	0.56	0.52	0.52	0.53	0.54	0.54	0.53	0.54	0.55
ค่าตัวประกอบกำลัง เอาต์พุท (PFout)	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99
กำลังไฟฟ้าเอาต์พุท (Pout : Watts)	49	50	51	51	47	48	48	48	45	46	47	46

ตาราง ก.3 ค่าคุณลักษณะและสมรรถนะของวงจรเมตริกซ์คอนเวอร์เตอร์ที่ทำการทดสอบกับโหลด
ตัวต้านทานขนาด 300 Watts

ความถี่ในการสวิตช์ (Switching Frequency)	250 (Hz)				500 (Hz)				1000 (Hz)			
ดัชนีการมอดดูเลชัน (Modulation Index)	0.2	0.4	0.6	0.8	0.2	0.4	0.6	0.8	0.2	0.4	0.6	0.8
แรงดันอินพุท (Volts)	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
กระแสอินพุท (Amps)	0.85	0.89	0.87	0.85	0.87	0.86	0.87	0.85	0.87	0.90	0.86	0.84
ค่าตัวประกอบกำลัง อินพุท (PFin)	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99
กำลังไฟฟ้าอินพุท (Pin : Watts)	84	88	86	84	88	85	86	84	86	89	85	83
แรงดันเอาต์พุท (Volts)	93.5	93	93.7	94.0	92.2	91.9	91.9	91.9	86.6	87.9	87.6	86.8
กระแสเอาต์พุท (Amps)	0.80	0.81	0.84	0.80	0.81	0.77	0.79	0.79	0.74	0.75	0.77	0.80
ค่าตัวประกอบกำลัง เอาต์พุท (PFout)	0.99	1.00	1.00	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99
กำลังไฟฟ้าเอาต์พุท (Pout : Watts)	74	75	78	74	72	70	72	72	63	65	66	68

ตาราง ก.4 ค่าคุณลักษณะและสมรรถนะของวงจรเมตริกซ์คอนเวอร์เตอร์ที่ทำการทดสอบกับโหลด
ตัวต้านทานขนาด 400 Watts

ความถี่ในการสวิตช์ (Switching Frequency)	250 (Hz)				500 (Hz)				1000 (Hz)			
ดัชนีการมอดดูเลชัน (Modulation Index)	0.2	0.4	0.6	0.8	0.2	0.4	0.6	0.8	0.2	0.4	0.6	0.8
แรงดันอินพุท (Volts)	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
กระแสอินพุท (Amps)	1.12	1.11	1.11	1.13	1.16	1.16	1.15	1.10	1.18	1.17	1.12	1.13
ค่าตัวประกอบกำลัง อินพุท (PFin)	0.99	0.99	0.99	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.99	0.99	1.00	1.00
กำลังไฟฟ้าอินพุท (Pin : Watts)	111	110	109	112	116	115	115	110	117	116	112	113
แรงดันเอาต์พุท (Volts)	92.6	93.8	93.6	94.0	92.3	92.4	92.4	92.4	86.7	88.0	87.9	86.9
กระแสเอาต์พุท (Amps)	1.06	1.06	1.05	1.06	1.03	1.02	1.04	1.04	1.00	1.01	1.04	1.05
ค่าตัวประกอบกำลัง เอาต์พุท (PFout)	1.00	1.00	1.00	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99
กำลังไฟฟ้าเอาต์พุท (Pout : Watts)	97	98	96	99	93	92	94	94	85	87	90	90

ตาราง ก.5 ค่าคุณลักษณะและสมรรถนะของวงจรเมตริกซ์คอนเวอร์เตอร์ที่ทำการทดสอบกับโหลด
ตัวต้านทานขนาด 500 Watts

ความถี่ในการสวิตช์ (Switching Frequency)	250 (Hz)				500 (Hz)				1000 (Hz)			
ดัชนีการมอดดูเลชัน (Modulation Index)	0.2	0.4	0.6	0.8	0.2	0.4	0.6	0.8	0.2	0.4	0.6	0.8
แรงดันอินพุท (Volts)	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
กระแสอินพุท (Amps)	1.47	1.41	1.41	1.41	1.41	1.41	1.42	1.39	1.46	1.47	1.40	1.41
ค่าตัวประกอบกำลัง อินพุท (PFin)	0.99	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.99	0.99	1.00	1.00
กำลังไฟฟ้าอินพุท (Pin : Watts)	146	140	141	140	143	141	142	138	145	145	141	141
แรงดันเอาต์พุท (Volts)	93.0	92.6	93.2	93.2	91.5	91.5	91.2	91.5	86.2	87.2	87.5	86.3
กระแสเอาต์พุท (Amps)	1.34	1.32	1.32	1.32	1.28	1.27	1.27	1.29	1.22	1.33	1.33	1.27
ค่าตัวประกอบกำลัง เอาต์พุท (PFout)	1.00	1.00	1.00	1.00	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99
กำลังไฟฟ้าเอาต์พุท (Pout : Watts)	123	121	122	122	116	115	117	116	106	110	114	108

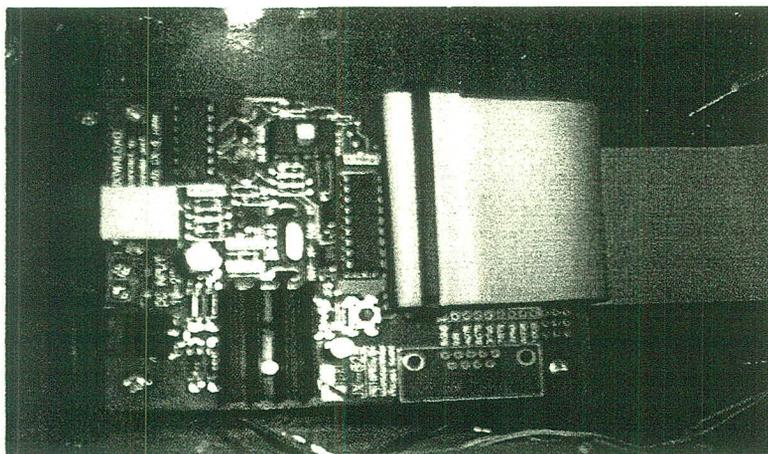
ตาราง ก.6 ค่าคุณลักษณะและสมรรถนะของวงจรเมตริกซ์คอนเวอร์เตอร์ที่ทำการทดสอบกับโหลด
ตัวต้านทานขนาด 100 Watts -ตัวเหนี่ยวนำขนาด 0.088 Henrys

ความถี่ในการสวิตช์ (Switching Frequency)	250 (Hz)				500 (Hz)				1000 (Hz)			
ดัชนีการมอดดูเลชัน (Modulation Index)	0.2	0.4	0.6	0.8	0.2	0.4	0.6	0.8	0.2	0.4	0.6	0.8
แรงดันอินพุท (Volts)	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
กระแสอินพุท (Amps)	0.26	0.21	0.21	0.24	0.22	0.17	0.16	0.22	0.22	0.14	0.15	0.21
ค่าตัวประกอบกำลัง อินพุท (PFin)	0.74	0.56	0.52	0.7	0.67	0.39	0.37	0.65	0.69	0.31	0.34	0.65
กำลังไฟฟ้าอินพุท (Pin : Watts)	19	12	10	17	14	6	6	14	15	4	5	13
แรงดันเอาต์พุท (Volts)	95.2	95.6	95.1	95.4	93.5	94.3	94.3	93.7	88.2	89.9	90	89
กระแสเอาต์พุท (Amps)	0.26	0.22	0.22	0.26	0.25	0.18	0.18	0.25	0.25	0.16	0.17	0.25
ค่าตัวประกอบกำลัง เอาต์พุท (PFout)	0.68	0.49	0.48	0.67	0.61	0.28	0.28	0.61	0.6	0.21	0.2	0.59
กำลังไฟฟ้าเอาต์พุท (Pout : Watts)	16	10	9	16	14	4	4	14	13	2	2	12

ภาคผนวก ข

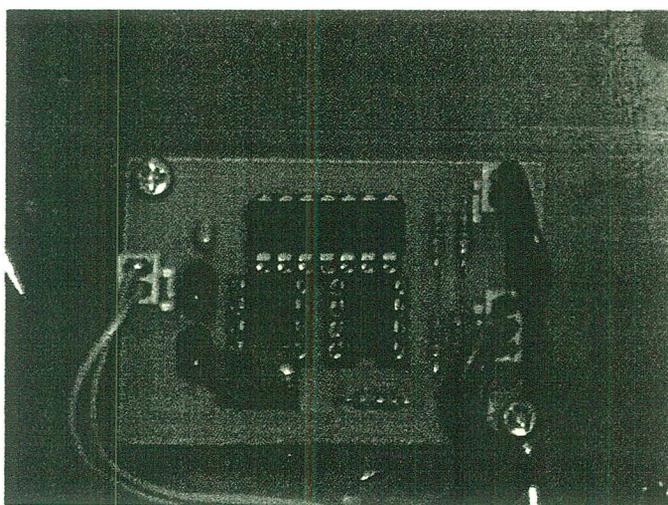
วงจรส่วนต่างๆ ของวงจรเมตริกซ์คอนเวอร์เตอร์หนึ่งเฟสเครื่องต้นแบบ

1. ส่วนไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ใช้ในการสร้างสัญญาณพัลส์พีดับลิวเอ็ม



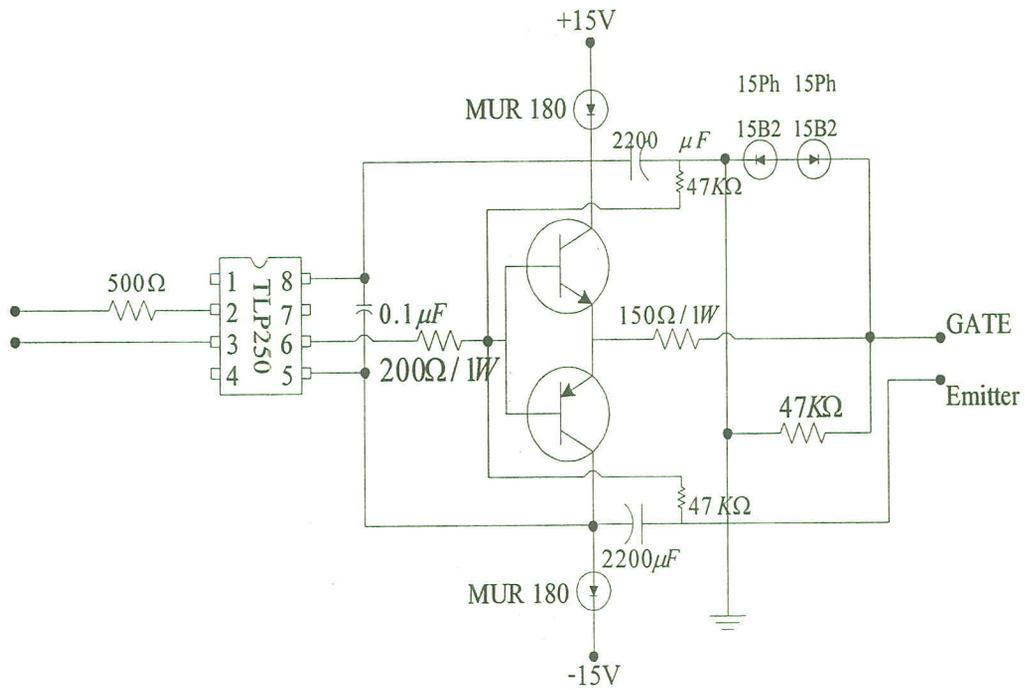
รูปที่ ข.1 ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล PIC เบอร์ 16F628 ที่ใช้ในการสร้างสัญญาณพัลส์พีดับลิวเอ็ม

2. ส่วนวงจรสร้างสัญญาณอินเทอร์รัพท์หรือวงจรตรวจจับแรงดันศูนย์

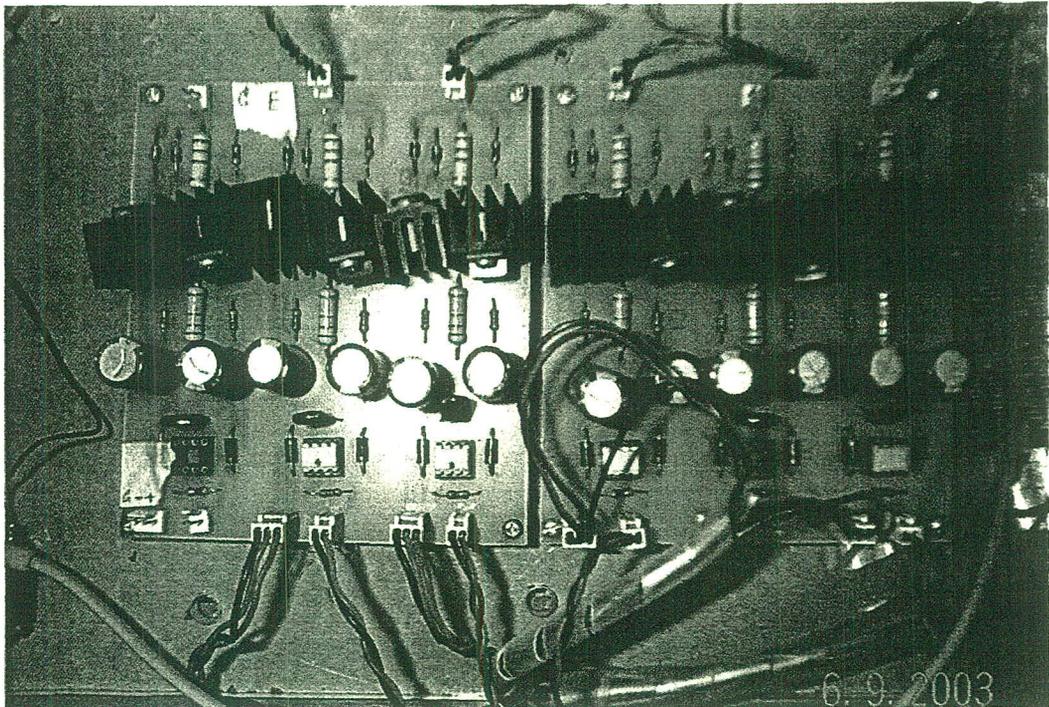


รูปที่ ข.2 วงจรตรวจจับสัญญาณศูนย์และวงจรสร้างสัญญาณอินเทอร์รัพท์ให้แก่ไมโครคอนโทรลเลอร์

3. ส่วนวงจรขับนำเกต

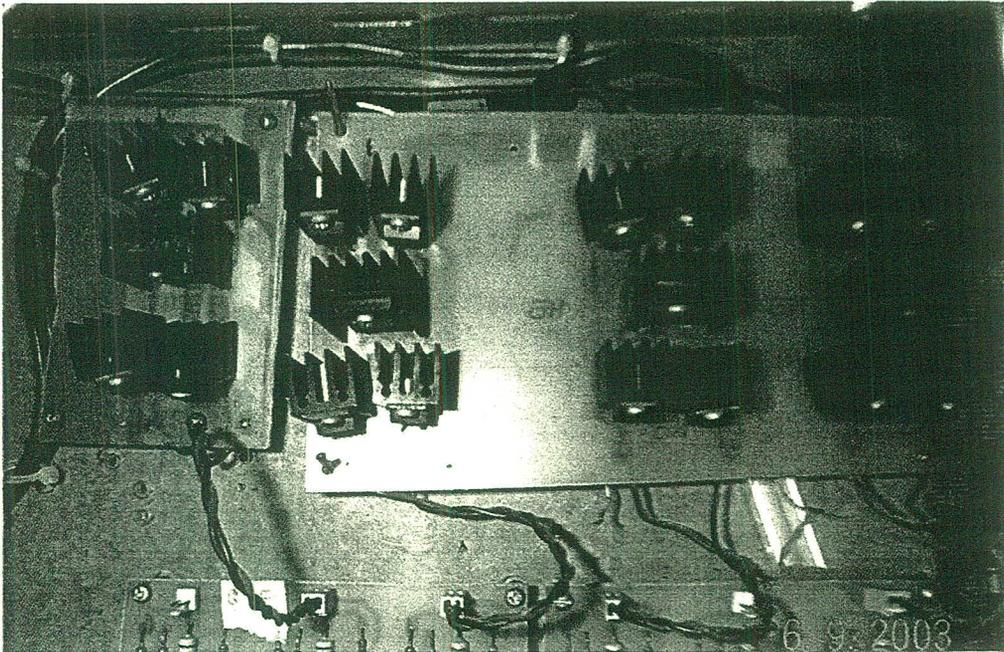


รูปที่ ข.3 วงจร Schematic ของวงจรขับนำเกตของสวิตช์สองทางทั้ง 4 ชุด



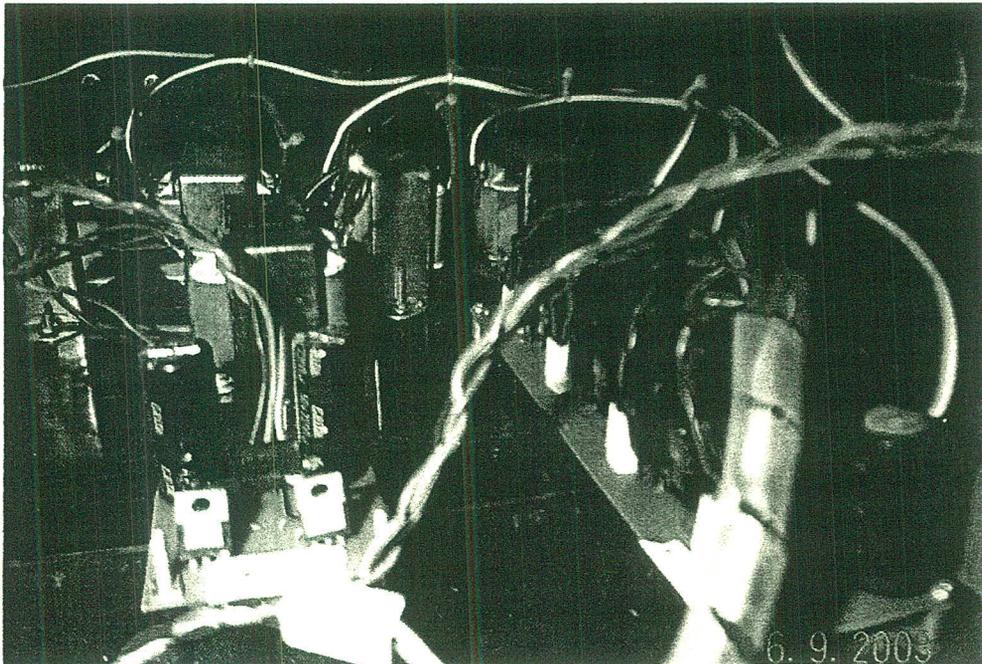
รูปที่ ข.4 วงจรขับนำเกตของสวิตช์สองทางทั้ง 4 ชุด

4. ส่วนชุดสวิทช์สองทาง



รูปที่ ข.5 สวิทช์สองทางที่ใช้ในวงจรเมตริกซ์คอนเวอร์เตอร์ทั้ง 4 ชุด

5. ส่วนแหล่งจ่ายไฟเลี้ยงให้แก่วงจรในส่วนต่างๆ



รูปที่ ข.6 แหล่งจ่ายไฟเลี้ยงแก่วงจรในแต่ละส่วน

ภาคผนวก ค

ผลงานวิจัยที่ตีพิมพ์เผยแพร่

ผลงานวิจัยที่ตีพิมพ์เผยแพร่

[1] ประสพโชค โห้ทองคำ, กิตติพงษ์ พุ่มโกชนา, สิทธิชัย บุญปิยทัศน์, ณรงค์ชัย ทศพร และครองยศ โพธิ์ชัย, “การทดสอบวงจรเมตริกซ์คอนเวอร์เตอร์หนึ่งเฟส”, การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 36 (EECON-36) ณ เฟลิกซ์ ริเวอร์แคว รีสอร์ท จังหวัดกาญจนบุรี, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, วันที่ 11-13 ธันวาคม 2556

การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 36

The 36th Electrical Engineering Conference (EECON 36)

11-13 ธันวาคม 2556

ณ เฟลิกซ์ ริเวอร์แคว รีสอร์ท จ.กาญจนบุรี



Volume 1

(PW) ไฟฟ้ากำลัง

(PE) อิเล็กทรอนิกส์กำลัง



Electrical Engineering Dept.

Faculty of Engineering

Kasetsart University

50 Ngamwongwan Road Latyao

Chatuchak Bangkok 10900

Tel: 02-797-0999 ext 1503, 1504

Fax: 02-579-7566



สารบัญ

PE003	Crowbar Protection for Doubly-Fed Induction Generators under Grid Faults	325
PE004	การทนทานต่อฟอลท์ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าสวิตซ์รีลักแทนซ์ไฮบริด 6 เฟส	329
PE005	Monitoring of Hybrid Power via GSM Network with Foreshorten System apply to Remote Area	333
PE006	Induction Heater using Pulse Density Modulation incorporated with Frequency Modulation Control for Hardening Application	337
PE007	Electronic Load using 2-quadrant Converter with Flatness Based Control	341
PE008	เครื่องผลิตปริมาณก๊าซไอโซนความเข้มข้นสูง สำหรับบำบัดน้ำเสียอ้อมผ้า	345
PE009	การทดสอบวงจรเมตริกซ์คอนเวอร์เตอร์หนึ่งเฟส	349
PE010	สร้างระบบขับเคลื่อนน้ำช่วยพัฒนาโดยใช้พลังงานแบบผสมผสานและการตรวจวัดออกซิเจนในน้ำ	353
PE011	Study Effect of X-ray radiation on Electrical Characteristics of Zener diode	357
PE012	Recent Developments and Applications of Resonant Inverters	361
PE013	วงจรดีซี-ดีซีคอนเวอร์เตอร์ 3 เฟส 3 ระดับแบบใหม่ที่มีการสวิตซ์ด้วยแรงดันศูนย์และกระแสศูนย์ โดยใช้การเลื่อนเฟสที่ดับเบิลยูเอ็ม	367
PE014	การออกแบบและทดสอบสมรรถนะวงจรเพิ่มแรงดันบูสท์-ฟลายแบคคอนเวอร์เตอร์	371
PE015	Analysis of Soft-Switching Boost DC-DC Converter Using a Single Switch	375
PE016	วงจรแปลงผันไฟฟ้ากระแสตรงชนิด V6 ที่มีอัตราส่วนการแปลงผันสูงโดยใช้ CPLD	379
PE017	Design of DC Arc Welder Using Multiphase Forward Converter	383
PE018	Modified Multiphase Interleaved Boost Converter for Fuel Cell applications	387
PE019	การปรับปรุงผลการตอบสนองของวงจรแปลงผันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นกระแสตรงโดยใช้ตัวควบคุมพีโอแบบกำหนดเกณฑ์ด้วยพีซี	391
PE020	วงจรแปลงผันไฟตรง - ไฟตรงบัคแบบสวิตซ์ซิงที่มีการกระตุ้นด้วยตัวเอง: วงจรขับหลอดส่องสว่างแอลอีดี	395
PE021	การประยุกต์ซิงโครนัสบัคคอนเวอร์เตอร์สำหรับแหล่งจ่ายกำลังของวงจรขับด้านสูง	399
PE022	การปรับปรุงค่าความผิดเพี้ยนโดยรวมของกระแสต้านเข้า ของวงจรแปลงผันไฟฟ้ากระแสสลับหนึ่งเฟส เป็นไฟฟ้ากระแสตรง โดยการกำจัดผลของแรงดันกระแสเฟรมในวงปิดแรงดัน	403
PE023	เทคนิคการมอดูเลตเชิงความกว้างพัลส์เพื่อควบคุมแรงดันโหมดร่วมของ PV อินเวอร์เตอร์	407
PE024	การควบคุมแรงดันในแกน DQ Frame ของวงจรแปลงไฟฟ้ากระแสสลับเป็นไฟฟ้ากระแสตรงแบบ SVPWM	411
PE025	Single-Phase 4 Levels Diode-Clamped PWM Inverter	415
PE026	วงจรอินเวอร์เตอร์แบบไซน์เวฟที่มีประสิทธิภาพและอัตราขยายแรงดันสูง	419
PE027	An Emulation of Synchronous Generator's Characteristics for Photovoltaic Inverters	423

การทดสอบวงจรเมตริกซ์คอนเวอร์เตอร์หนึ่งเฟส

Testing of a Single-Phase Matrix Converter

ประสพโชค โห้ทองคำ¹ กิตติพงษ์ พุ่มโกษนา² สิทธิชัย บุญปัทสนัน¹ ณรงค์ชัย ทศพร¹ และครองยศ โพธิ์ชัย¹

¹ ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

² ภาควิชาวิศวกรรมเมคคาทรอนิกส์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

96 หมู่ 3 พุทธมณฑลสาย 5 ตาลายา พุทธมณฑล นครปฐม 73170 Email : prasopchok_ho@yahoo.com

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอการทดสอบวงจรเมตริกซ์คอนเวอร์เตอร์หนึ่งเฟสที่ทำการแปลงไฟฟ้าจากแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับ 1-เฟส ไปเป็นไฟฟ้ากระแสสลับ 1-เฟส ที่สามารถปรับค่าแรงดันไฟฟ้าและความถี่ได้ โดยการปรับที่อัตราการมอดูเลตและความถี่ของสัญญาณที่ดับบลิวเอ็ม ซึ่งมีจำนวนพัลส์ 5, 10, และ 20 พัลส์ต่อครึ่งไซเคิล ผลการทดลองได้ทำการนำเสนอรูปคลื่นแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าที่โหลดและแหล่งจ่ายไฟฟ้า อีกทั้งทำการวิเคราะห์ในรูปสเปกตรัมฮาร์โมนิกโดยรวมทั้งทำการทดสอบหาค่ากระแสไฟฟ้าอินพุท-เอาต์พุท แรงดันไฟฟ้าอินพุท-เอาต์พุท ตัวประกอบกำลังไฟฟ้า และกำลังไฟฟ้า โดยพิจารณาเทียบกับการเปลี่ยนแปลงจำนวนพัลส์ ความถี่ และอัตราการมอดูเลตของสัญญาณที่ดับบลิวเอ็ม

Abstract

This paper presents a testing of the Single-Phase Matrix Converter (SPMC) that can directly convert the utility 1-phase sinusoidal supply voltage and frequency into a variable frequency and variable voltage of a variable PWM pattern by adjusting the frequency and modulation index of the PWM control signal. These signals have the number of pulse of 5-pulses, 10-pulses and 20-pulses per cycle. Experimental results are presented in forms of the voltage and current waveforms analyzed in the various harmonic spectra for the load for various the PWM patterns, and in forms of the graph of the output rms voltages, the input-output rms currents, the input-output power factors and the input-output powers versus the numbers of pulse, frequencies and modulation indexes of the PWM pattern.

Keywords—Single-Phase Matrix Converter; PWM Converter; Bidirectional Switch

1. บทนำ

วงจรเมตริกซ์คอนเวอร์เตอร์เป็นวงจรที่ทำหน้าที่แปลงไฟฟ้ากระแสสลับอินพุทเป็นไฟฟ้ากระแสสลับเอาต์พุทโดยตรงได้มีการนำเสนอครั้งแรกในปี 1976 โดย Gyugyi และ Pelly [1, 2] ซึ่งวงจรเมตริกซ์คอนเวอร์เตอร์มีวัตถุประสงค์เพื่อทำการลดส่วน DC link ใน

วงจรอินเวอร์เตอร์ซึ่งถูกนำเสนอโดย Ziogas [3] ซึ่งเป็นหลักการที่นำเสนอจะพิจารณาในระบบไฟฟ้าสามเฟส หลักการของวงจรเมตริกซ์คอนเวอร์เตอร์หนึ่งเฟสถูกนำเสนอครั้งแรกโดย Zuckerberger [4] การประยุกต์ใช้วงจรเมตริกซ์คอนเวอร์เตอร์หนึ่งเฟสมีมากมายหลายด้าน เช่น radio-frequency induction heating [5] และ audio power amplification [6] แต่อย่างไรก็ตามมีปริมาณงานวิจัยค่อนข้างน้อยที่จะทำการพิจารณาถึงการทดสอบวงจรเมตริกซ์คอนเวอร์เตอร์หนึ่งเฟสกับโหลดตัวต้านทานและตัวต้านทาน-ตัวเหนี่ยวนำ เพื่อหาค่าคุณลักษณะต่างๆ ดังนั้นบทความนี้ได้ทำการจำลองและทดสอบวงจรเมตริกซ์คอนเวอร์เตอร์หนึ่งเฟสเพื่อทำการวิเคราะห์รูปคลื่นกระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าทั้งด้านอินพุทและเอาต์พุท รวมทั้งวัดค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้า กำลังไฟฟ้า และสเปกตรัมฮาร์โมนิก ซึ่งได้ทำการทดสอบกับโหลดตัวต้านทานและตัวต้านทาน-ตัวเหนี่ยวนำ

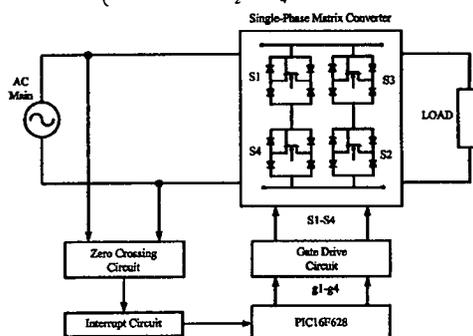
2. หลักการของวงจรเมตริกซ์คอนเวอร์เตอร์หนึ่งเฟส

วงจรเมตริกซ์คอนเวอร์เตอร์หนึ่งเฟสประกอบด้วยสวิตช์ $S_1 - S_4$ ทำการเชื่อมต่อแหล่งจ่ายไฟฟ้าหนึ่งเฟสไปยังโหลดหนึ่งเฟส โดยสวิตช์ที่ใช้เป็นแบบสวิตช์สองทิศทางสามารถแสดงได้รูปที่ 1 ค่าแรงดันอินพุทแบบ instantaneous มีค่าเท่ากับ $v_i(t)$ ตามสมการที่ 1

$$v_i(t) = V_{im} \cos(\omega t) \quad (1)$$

ค่ากระแสอินพุทแบบชั่วขณะ (instantaneous) มีค่าเท่ากับ $i_i(t)$ ตามสมการที่ 2

$$i_i(t) = \begin{cases} i_o(t) & : S_1 \& S_2 = \text{ON} \\ -i_o(t) & : S_3 \& S_4 = \text{ON} \\ 0 & : S_1 \& S_3 = \text{ON} \\ 0 & : S_2 \& S_4 = \text{ON} \end{cases} \quad (2)$$



รูปที่ 1 บล็อกไดอะแกรมของวงจรเมตริกซ์คอนเวอร์เตอร์หนึ่งเฟส

ค่าแรงดันเอาต์พุตแบบชั่วขณะ(instantaneous) มีค่าเท่ากับ $v_o(t)$ ตามสมการที่ 3, 4 และ 5

$$v_o(t) = V_{om} \cos(\omega_o t) \tag{3}$$

$$v_o(t) = \begin{cases} v_i(t) & : S_1 \text{ and } S_2 = \text{ON} \\ -v_i(t) & : S_3 \text{ and } S_4 = \text{ON} \\ 0 & : S_1 \text{ and } S_3 = \text{ON} \\ 0 & : S_2 \text{ and } S_4 = \text{ON} \end{cases} \tag{4}$$

$$v_o^k(t) = (m_1^k - m_2^k)v_i^k(t) \tag{5}$$

โดยที่

$v_o^k(t)$ = แรงดันไฟฟ้าเอาต์พุตที่ไซเคิล k ใด ๆ

$v_i^k(t)$ = แรงดันไฟฟ้าอินพุตที่ไซเคิล k ใด ๆ

ค่าอัตราการมีอคของสัญญาณที่ดับบลิเวียมมีค่าตามสมการที่ 6-9 [3].

$$m_1(t) = \frac{m_1}{T_s} + \sum_{n=1}^{\infty} \left[\frac{1}{n\pi} \sin(2n\pi(\frac{m_1-t}{T_s})) \right] \tag{6}$$

$$m_2(t) = 1 - \left\{ \frac{m_1}{T_s} + \sum_{n=1}^{\infty} \left[\frac{1}{n\pi} \sin(2n\pi(\frac{m_1-t}{T_s})) \right] \right\} \tag{7}$$

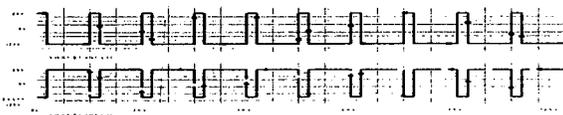
$$m_1^k + m_2^k = 1 \tag{8}$$

$$m_j^k = \begin{bmatrix} m_{11}^k & m_{12}^k \\ m_{21}^k & m_{22}^k \end{bmatrix} \tag{9}$$

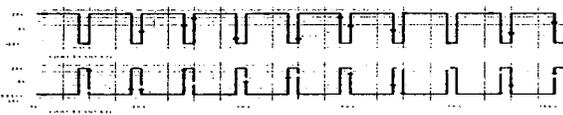
โดยที่

m_1, m_2 = อัตราการมีอคของสัญญาณที่ดับบลิเวียมที่ไซเคิล k ใด ๆ

$j = 1, 2$; $T_s = \frac{1}{f_s}$ = คาบเวลาในการสวิตช์ ; k = ไซเคิลใด ๆ



(ก) ค่ามีอคดูเลขขึ้นอินเด็กซ์เท่ากับ 0.2



(ข) ค่ามีอคดูเลขขึ้นอินเด็กซ์เท่ากับ 0.8

รูปที่ 2 สัญญาณที่ดับบลิเวียมที่มีความถี่ 1kHz, 20 พัลส์ต่อไซเคิล

3. โครงสร้างของวงจรเมตริกซ์คอนเวอร์เตอร์หนึ่งเฟส

วงจรเมตริกซ์คอนเวอร์เตอร์มีโครงสร้างโดยรวมดังบล็อกไดอะแกรมดังรูปที่ 1 ซึ่งสามารถแสดงรายละเอียดในแต่ละส่วนของวงจรดังนี้

3.1 วงจรส่วนสร้างสัญญาณพัลส์ที่ดับบลิเวียม

วงจรส่วนนี้ทำหน้าที่สร้างสัญญาณที่ดับบลิเวียม (g1-g4) ที่ใช้ในการขับนำสวิตช์สองทิศทางโดยทำการสร้างโดยมีเงื่อนไขตามสมการที่ 4-6 ในการสร้างสัญญาณที่ดับบลิเวียมจะทำการสร้างโดยไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล PIC16F628 ทำหน้าที่สร้างสัญญาณที่ดับบลิเวียม

3.2 วงจรสร้างสัญญาณอินเทอร์รัพท์

การสร้างสัญญาณที่ดับบลิเวียมเพื่อใช้ในการขับนำสวิตช์นั้นตำแหน่งเริ่มต้นของสัญญาณที่ดับบลิเวียมจะต้องเริ่มจากตำแหน่งศูนย์ของแรงดันไลน์ทูล์ไลน์จากแหล่งจ่ายการไฟฟ้าอินพุตซึ่งเป็นการทำงาน

ในลักษณะซิงโครไนซ์ ดังนั้นต้องทำการสร้างสัญญาณเพื่อส่งไปทำการอินเทอร์รัพท์ไมโครคอนโทรลเลอร์ให้เริ่มสร้างสัญญาณที่ดับบลิเวียม ณ ตำแหน่งศูนย์ของแรงดันอินพุตโดยใช้การอินเทอร์รัพท์แบบนอนมาสเคเบิล (Nonmaskable Interrupt) ของไมโครคอนโทรลเลอร์

3.3 วงจรตรวจจับแรงดันศูนย์

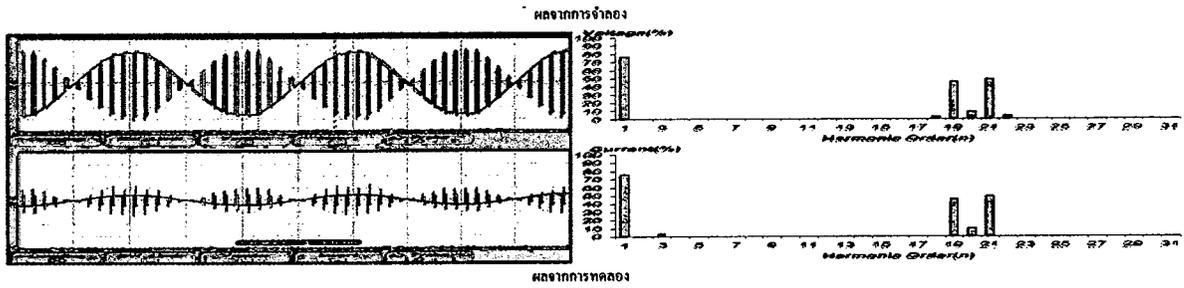
วงจรตรวจจับแรงดันศูนย์ทำหน้าที่ตรวจจับตำแหน่งแรงดันศูนย์โวลท์ของไฟเอซีไลน์จากการไฟฟ้า โดยจะนำสัญญาณไฟเอซีที่ได้ทำการลดระดับแรงดันลงมาแล้วมาผ่านวงจรเปรียบเทียบก็จะได้สัญญาณพัลส์ที่มีความสัมพันธ์กับไฟเอซีหนึ่งเฟส สัญญาณที่ได้จากวงจรเปรียบเทียบจะนำไปเป็นสัญญาณอินพุตให้แก่วงจรสร้างสัญญาณอินเทอร์รัพท์ให้กับไมโครคอนโทรลเลอร์ต่อไป

3.4 วงจรเมตริกซ์คอนเวอร์เตอร์หนึ่งเฟส

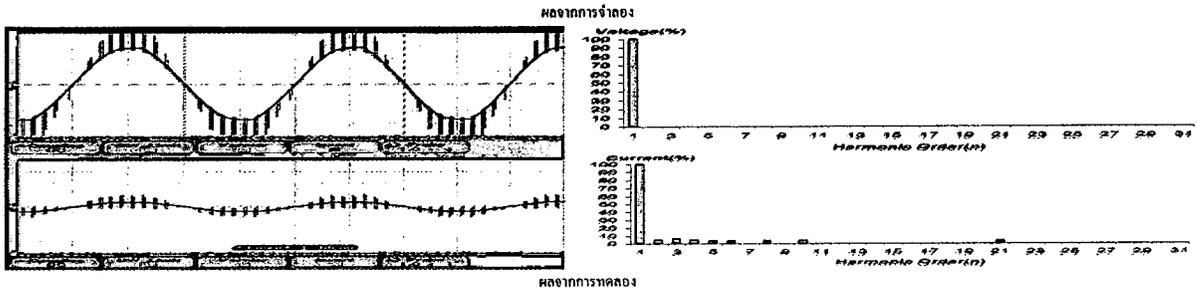
วงจรเมตริกซ์คอนเวอร์เตอร์หนึ่งเฟส ประกอบด้วยสวิตช์ทั้งหมด 4 ชุด ต่อกันด้วยวงจรในรูปที่ 1 สวิตช์ที่ใช้ในวงจรกำลังจะเป็นสวิตช์ที่มีการทำงานโดยให้กระแสไหลผ่านได้ทั้งสองทิศทาง เรียกว่าสวิตช์สองทิศทาง (Bidirectional Switch) โดยสวิตช์สองทิศทางที่ใช้จะประกอบด้วย สวิตช์มอสเฟตกำลัง (Power MOSFET) จำนวน 1 ตัว ทำงานร่วมกับ ไดโอดกำลัง (Power Diode) จำนวน 4 ตัว ต่อแบบบริดจ์ เพื่อทำหน้าที่ตัดต่อแรงดันไลน์จากแหล่งจ่ายการไฟฟ้าหนึ่งเฟสที่มีค่าขนาดแรงดันและความถี่คงที่ให้เป็นแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุตหนึ่งเฟสที่สามารถปรับเปลี่ยนระดับแรงดันไฟฟ้าและความถี่เอาต์พุตได้

4. ผลการทดสอบวงจรเมตริกซ์คอนเวอร์เตอร์

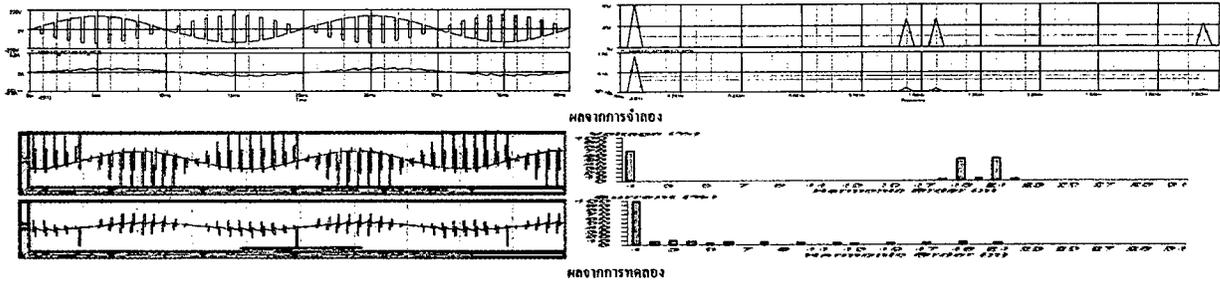
การทดสอบวงจรเมตริกซ์คอนเวอร์เตอร์หนึ่งเฟสจะทำการทดสอบโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ทำการจำลองการทำงานของวงจรพร้อมกับทำการทดสอบจริงกับวงจรต้นแบบ โดยในการทดสอบจะทำจ่ายค่าแรงดันไฟเอซีอินพุตขนาด 100Vrms, 50Hz ให้แก่วงจรเมตริกซ์คอนเวอร์เตอร์หนึ่งเฟสผ่านสวิตช์สองทางเพื่อตัดต่อเป็นแรงดันไฟเอซีเอาต์พุต ดังรูปที่ 1 โดยสวิตช์สองทางแต่ละชุดจะใช้สวิตช์กำลังมอสเฟตเบอร์ IRFP460 จำนวน 1 ตัว กับ ไดโอดกำลังเบอร์ HFA25TB60 จำนวน 4 ตัว สัญญาณที่ดับบลิเวียมที่ใช้ขับนำสวิตช์สองทาง S1-S4 มีค่ามีอคดูเลขขึ้นอินเด็กซ์เท่ากับ 0.2, 0.4, 0.6 และ 0.8 ที่มีจำนวนพัลส์ 5, 10 และ 20 พัลส์ในหนึ่งไซเคิล และค่าความถี่สวิตช์เท่ากับ 250Hz, 500Hz และ 1kHz โดยทำการคำนวณมาจากสมการที่ 6-9 จะได้ค่ามีอคดูเลขขึ้นอินเด็กซ์ของสัญญาณที่ดับบลิเวียม คือ m_{11} และ m_{12} ซึ่งคำนวณจากสมการที่ 6 นำมาใช้ในการขับสวิตช์สองทาง S1 และ S3 ส่วนค่ามีอคดูเลขขึ้นอินเด็กซ์ของสัญญาณที่ดับบลิเวียม m_{21} และ m_{22} ซึ่งคำนวณจากสมการที่ 7 จะนำมาใช้ในการขับสวิตช์สองทาง S2 และ S4 แสดงได้ดังรูปที่ 2 ในบทความนี้ได้ทำการทดสอบวงจรเมตริกซ์คอนเวอร์เตอร์หนึ่งเฟสกับโหลดตัวต้านทาน, ตัวต้านทาน-ตัวเหนี่ยวนำ โดยทำการแสดงลักษณะคลื่นแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าด้านอินพุตและเอาต์พุต รวมทั้งได้ทำการวิเคราะห์รูปคลื่นดังกล่าวในเชิงฟูริเยร์กรณีโหลดขนาด 500 วัตต์ และโหลดแบบตัวต้านทานขนาดเท่ากับ 484 โอห์ม



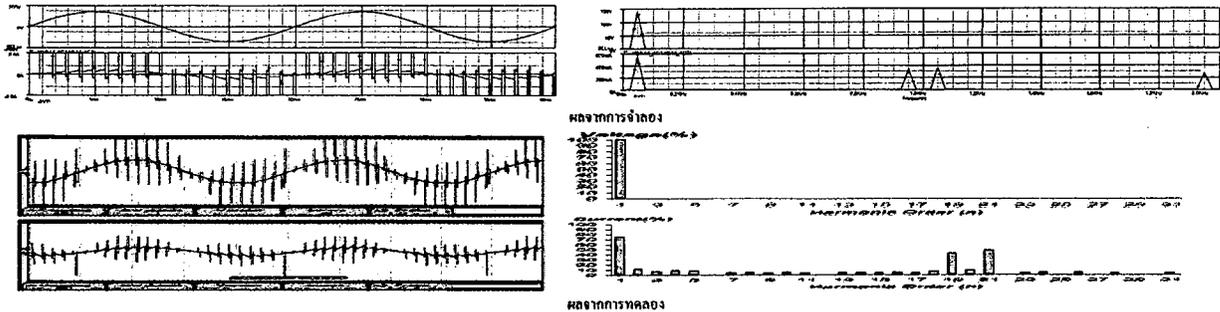
รูปที่ 3 รูปคลื่นแรงดันและกระแสเอาต์พุตที่ค่า modulation index = 0.8, กรณี R load, 20-pulses per cycle at frequency 1 kHz
 (Top : Output voltage : 100 V/div, Bottom : Output current, Time:5ms/div)



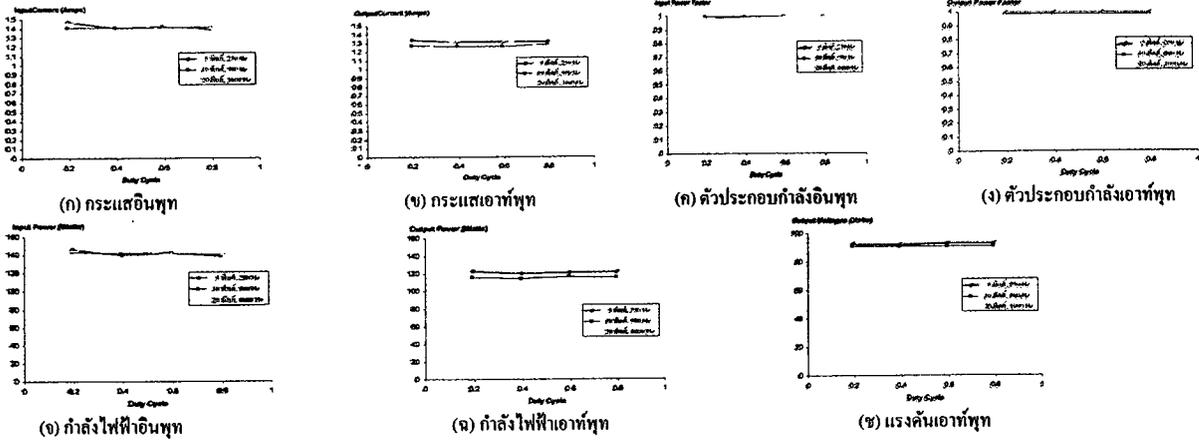
รูปที่ 4 รูปคลื่นแรงดันและกระแสอินพุตที่ค่า modulation index = 0.8, กรณี R load, 20-pulses per cycle at frequency 1 kHz
 (Top : Input voltage : 100 V/div, Bottom : Input current, Time: 5ms/div)



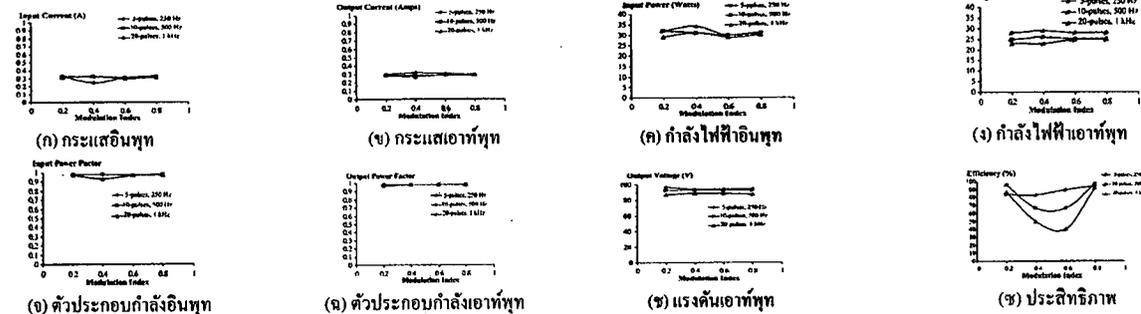
รูปที่ 5 รูปคลื่นแรงดันและกระแสเอาต์พุตที่ค่า modulation index = 0.8, กรณี RL load, 20-pulses per cycle at frequency 1 kHz
 (Top : Output voltage : 100 V/div, Bottom : Output current, Time:5ms/div)



รูปที่ 6 รูปคลื่นแรงดันและกระแสอินพุตที่ค่า modulation index = 0.8, กรณี RL load, 20-pulses per cycle at frequency 1 kHz
 (Top : Input voltage : 100 V/div, Bottom : Input current, Time: 5ms/div)



รูปที่ 7 กราฟแสดงค่าคุณลักษณะต่างๆ จากการทดสอบกับโหลดตัวต้านทาน



รูปที่ 8 กราฟแสดงค่าคุณลักษณะต่างๆ จากการทดสอบกับโหลดตัวต้านทาน-ตัวเหนี่ยวนำ

ต่ออนุกรมกับโหลดตัวเหนี่ยวนำขนาดเท่ากับ 0.088 เฮนรี่ สามารถแสดงรูปคลื่นดังรูปที่ 3-6 พร้อมกันนั้นได้ทำการหาความสัมพันธ์ของค่าต่างๆ กับสัญญาณที่ดับ บลิวเอ็่มของโหลดทั้งสองแบบแสดงได้ดังรูปที่ 7 และ 8

5. สรุปผลการทดลอง

บทความนี้ได้ทำการทดสอบวงจรเมตริกซ์คอนเวอร์เตอร์หนึ่งเฟสที่ใช้สัญญาณที่ดับบลิวเอ็่มที่มีจำนวนพัลส์ ค่าความถี่ในการสวิตช์ และค่ามอดดูเลชันอินเด็กซ์ต่างๆ ดังกล่าวข้างต้น มาใช้ขับนำเกทของสวิตช์สองทางทั้ง 4 ชุด โดยทำการทดสอบกับโหลดตัวต้านทานและตัวต้านทาน-ตัวเหนี่ยวนำ เพื่อทำการวัดรูปคลื่นของแรงดันและกระแสที่ด้านอินพุตและด้านเอาต์พุต รวมทั้งทำการวิเคราะห์ฟูเรียร์ของสัญญาณเพื่อหาองค์ประกอบฮาร์โมนิคอันดับต่างๆ แล้วทำการเปรียบเทียบกับผลที่ได้จากการจำลองโดยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ พบว่าให้ผลการทดสอบที่เป็นไปในทำนองเดียวกัน จากกราฟความสัมพันธ์ต่างๆ พบว่าถ้าจำนวนพัลส์ และความถี่มีค่าเพิ่มขึ้น จะมีผลทำให้ลักษณะคลื่นกระแสทางด้านอินพุตและเอาต์พุต มีลักษณะใกล้เคียงคลื่นไซน์มากขึ้นดังได้แสดงไว้ในข้างต้น และยังพบว่าค่ามอดดูเลชันอินเด็กซ์ของสัญญาณที่ดับบลิวเอ็่มมีค่าดังนี้ คือ $m_1 \neq m_2$ และถ้า $m_1 = 0.5, m_2 = 0.5$ จะทำให้แรงดันเอาต์พุตเท่ากับศูนย์ ซึ่งจากผลการทดสอบนี้สามารถนำไปเป็นหลักการเบื้องต้น เพื่อประยุกต์ใช้ในงานด้านการควบคุมความเร็วรอบของมอเตอร์เหนี่ยวนำและด้านอื่นๆ ได้ต่อไป

6. กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณทุนสนับสนุนงานวิจัยงบประมาณรายได้ประจำปี 2556 จากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธศวิน โกลินทร์

เอกสารอ้างอิง

- [1] L. Gyugyi and B. R. Pelly, *Static Power Frequency Changers: Theory, Performance, and Application*, John Wiley & Sons, 1976.
- [2] B. R. Pelly, *Thyristor Phase-Controlled Converters and Cycloconverters*, New York, Wiley, 1971.
- [3] P. D. Ziogas, S. I. Khan, and M. H. Rashid, "Some Improve Forced Commutated Cycloconverter Structures", *IEEE Trans. Industry Application*, vol. IA-21, pp.1242-1253, Sept./Oct. 1985.
- [4] A. Zuckerberger, D. Weinstock, and A. Alexandrovitz, "Single-phase Matrix Converter", *IEE Proc.-Electr. Power Appl.*, vol.144, No.4, pp. 235-240, July 1997.
- [5] N. Nguyen-Quang, D.A. Stone, C.M. Bingham, and M.P. Foster, "Single phase matrix converter for radio frequency induction heating", in *Proc. SPEEDAM 2006*, pp. S18-28-S18-32.
- [6] P. Ljusev and M. A. E. Andersen, "Safe-commutation principle for direct single-phase ac-ac converters for use in audio power amplification", in *Proc. Nordic Workshop Power Ind. Electron.*, Trondheim, Norway, 2004

ประวัติคณะผู้วิจัย

หัวหน้าโครงการ

1. ชื่อ-นามสกุล (ภาษาไทย) ดร.ประสพโชค โห้ทองคำ
ชื่อ-นามสกุล (ภาษาอังกฤษ) Dr. Prasopchok Hothongkham
 2. เลขหมายบัตรประจำตัวประชาชน 3740200047041
 3. ตำแหน่งปัจจุบัน อาจารย์
 4. หน่วยงาน สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์
สถานที่อยู่ที่ติดต่อได้สะดวก 78 หมู่ 4 ตำบลแคราย อำเภอกระทุ่มแบน จังหวัดสมุทรสาคร 74110
หมายเลขโทรศัพท์ 081-850-2305
โทรสาร e-mail: prasopchok.hot@mutr.ac.th, prasopchok_ho@yahoo.com
 5. ประวัติการศึกษา
 - 2009 D.Eng (Electrical Engineering) KMITL
 - 2001 M.Eng (Electrical Engineering) KMITL
 - 1994 B.Eng (Electrical Engineering) SIAM University
 6. สาขาวิชาการที่มีความชำนาญพิเศษ (แตกต่างจากวุฒิการศึกษา) ระบุสาขาวิชาการไฟฟ้ากำลัง อิเล็กทรอนิกส์กำลัง การขับเคลื่อนมอเตอร์ไฟฟ้า และพลังงานทดแทน
 7. ประสบการณ์ที่เกี่ยวข้องกับการบริหารงานวิจัยทั้งภายในและภายนอกประเทศ
 - 7.1 หัวหน้าโครงการวิจัย : ชื่อโครงการวิจัย
หัวหน้าโครงการวิจัย : เครื่องล้างอุปกรณ์โดยใช้คลื่นอัลตราโซนิค
หัวหน้าโครงการวิจัย : วงจรเมตริกซ์คอนเวอร์เตอร์หนึ่งเฟส
หัวหน้าโครงการวิจัย : ระบบการผลิตพลังงานไฟฟ้าโดยใช้เซลล์แสงอาทิตย์
หัวหน้าโครงการวิจัย : เครื่องผลิตก๊าซไอโซนแบบแรงดันไฟฟ้าสูง ความถี่สูง กำลังไฟฟ้าต่ำ
โดยใช้
พลังงานแสงอาทิตย์และพลังงานลมเป็นแหล่งจ่ายไฟฟ้า
 - 7.2 งานวิจัยที่ทำเสร็จแล้ว : (ชื่อผลงานวิจัย ปีที่พิมพ์ การเผยแพร่ และแหล่งทุนย้อนหลังไม่เกิน 5 ปี)
- [1] ประสพโชค โห้ทองคำ, และ ณรงค์ชัย ทศพร, “การศึกษาเปรียบเทียบเครื่องผลิตก๊าซไอโซนที่ใช้วงจรอินเวอร์เตอร์ฟูลบริดจ์แบบพีดับบลิวเอ็มกับแบบพีดับบลิวเอ็มที่มีการเลื่อนเฟสได้เป็นแหล่งจ่ายไฟฟ้า”, การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 34 (EECON-

- 34) วันที่ 26 – 28 ตุลาคม 2554 ณ โรงแรมแอมบาสซาเดอร์ ซิตี้ จอมเทียน พัทยา จ.ชลบุรี จัดโดย มหาวิทยาลัยสยาม
- [2] สมเกียรติ คงคะชาติ นพดล พวงมณี และ **ประสพโชค ให้ทองคำ** “การควบคุมกระแสในแกนชิงโครนีสและประยุกต์ใช้เทคนิคการมอดูเลตความกว้างพัลส์แบบสเปซเวกเตอร์อิงสัญญาณพาร์สำหรับวงจรรองกำลังแอกติฟ”, *การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 34 (EECON-34)* วันที่ 26 – 28 ตุลาคม 2554 ณ โรงแรมแอมบาสซาเดอร์ ซิตี้ จอมเทียน พัทยา จ.ชลบุรี จัดโดย มหาวิทยาลัยสยาม (Accepted)
- [3] **ประสพโชค ให้ทองคำ**, วิจิตร กิณเรศ, ปิตักันต์ รักราชการ และ ณรงค์ชัย ทศพร, “การศึกษาปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อค่าพารามิเตอร์ทางไฟฟ้าของแท่งอิเล็กโทรดสำหรับเครื่องกำเนิดก๊าซไอโซนแรงดันไฟฟ้าสูงความถี่สูง”, *การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 33 (EECON-33)* วันที่ 1 – 3 ธันวาคม 2553 ณ โรงแรมเซ็นทารา ดวงตะวัน จ.เชียงใหม่ จัดโดย มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
- [4] สุธาพร อร่ามรุณ **ประสพโชค ให้ทองคำ** และ วิจิตร กิณเรศ, “การประเมินสมรรถนะเครื่องผลิตก๊าซไอโซนแรงดันไฟฟ้าสูง ความถี่สูง กำลังไฟฟ้าต่ำ โดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์และแบตเตอรี่เป็นแหล่งจ่ายไฟฟ้าร่วม”, *การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 33 (EECON-33)* วันที่ 1 – 3 ธันวาคม 2553 ณ โรงแรมเซ็นทารา ดวงตะวัน จ.เชียงใหม่ จัดโดย มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
- [5] **ประสพโชค ให้ทองคำ**, วิจิตร กิณเรศ “การวัดหาค่าพารามิเตอร์ของชุดอิเล็กโทรดสำหรับเครื่องผลิตก๊าซไอโซน” *การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 32 (EECON-32)* วันที่ 28 – 30 ตุลาคม 2552 ณ โรงแรมทวาราวดี จ.ปราจีนบุรี จัดโดย มหาวิทยาลัยมหิดล
- [6] ปิตักันต์ รักราชการ, **ประสพโชค ให้ทองคำ** “การสร้างและทดสอบเครื่องล้างชิ้นส่วนโลหะโดยใช้คลื่นอัลตราโซนิก” *การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ครั้งที่ 7* วันที่ 21 – 22 พฤษภาคม 2552
- [7] **ประสพโชค ให้ทองคำ**, ปิตักันต์ รักราชการ, วิจิตร กิณเรศ “การวิเคราะห์วงจร 3-เฟส พีดับบลิวเอ็ม เอซี-เอซี เมตริกซ์คอนเวอร์เตอร์แบบรูปคลื่น 6 พัลส์เชิงทฤษฎีและเชิงปฏิบัติ” *การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 29 (EECON-29)* วันที่ 9 – 10 พฤศจิกายน 2549 ณ โรงแรมแอมบาสซาเดอร์ พัทยา จ.ชลบุรี จัดโดย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี(คลองหก)
- [8] **ประสพโชค ให้ทองคำ**, วิจิตร กิณเรศ “การสังเคราะห์และออกแบบวงจร 3-เฟส พีดับบลิวเอ็ม เอซี-เอซี เมตริกซ์คอนเวอร์เตอร์แบบรูปคลื่น 6 พัลส์” *การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 29 (EECON-29)* วันที่ 9 – 10 พฤศจิกายน 2549 ณ โรงแรมแอมบาสซาเดอร์ พัทยา จ.ชลบุรี จัดโดย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี(คลองหก)

- [9] วิโชค ไททองคำ “วงจรมetriกร์คอนเวอร์เตอร์หนึ่งเฟส” การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 28 (EECON-28) วันที่ 20 – 21 ตุลาคม 2548 ณ โรงแรมเพิร์ล วิลเลจ จ.ภูเก็ต จัดโดย มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์