วิธีการปรับความกว้างพัลส์อย่างง่ายสำหรับอินเวอร์เตอร์สามระดับ

นายสุธี ริ้วจรูญ

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2540

ISBN 974-638-156-3

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

i 17867010

A SIMPLE PWM METHOD FOR THREE LEVEL INVERTERS

Mr. Sutee Riewcharoon

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

Acadamic Year 1997
ISBN 974-638-156-3

หัวข้อวิทยานิพนธ์ : วิธีการปรับความกว้างพัลส์อย่างง่ายสำหรับอินเวอร์เตอร์สามระดับ
โดย : นายสุธี ริ้วจรูญ
ภาควิชา : วิศวกรรมไฟฟ้า
อาจารย์ที่ปรึกษา : อาจารย์ ดร.สมบูรณ์ แสงวงค์วาณิชย์

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

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

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(ศาสตราจารย์ ดร. มงคล เดชนครินทร์)

..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(อาจารย์ ดร. สมบูรณ์ แสงวงค์วาณิชย์)

..... กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.ยุทธนา กุลวิทิต)

..... กรรมการ
(อาจารย์ เจิดกุล โสภาวนิตย์)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทคัดย่อและบทคัดย่อวิทยานิพนธ์ภายในกรอบสีเขียวนี้เพียงแผ่นเดียว

สุธี ริ้วจรูญ : วิธีการปรับความกว้างพัลส์อย่างง่ายสำหรับอินเวอร์เตอร์สามระดับ
(A SIMPLE PWM METHOD FOR THREE LEVEL INVERTERS)
อ. ที่ปรึกษา : อ.ดร. สมบูรณ์ แสงวงค์วาณิชย์, 84 หน้า. ISBN 974-638-156-3.

วิทยานิพนธ์นี้กล่าวถึง หลักการทำงานของอินเวอร์เตอร์สามระดับ ซึ่งใช้วิธีการปรับความกว้างพัลส์วิธีอย่างง่ายที่พัฒนาขึ้นใหม่ วิธีดังกล่าวสามารถนำไปใช้ควบคุมแรงดันนิวทรัลของแรงดันบัสไฟตรงได้โดยง่ายในลักษณะฮิสเตอริซิส วิธีการที่ได้พัฒนาขึ้นนี้ นำลักษณะเด่นของอินเวอร์เตอร์สามระดับคือ มีเวกเตอร์ 2 กลุ่มที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของแรงดันนิวทรัลในทิศทางตรงข้ามกันมาใช้ในการควบคุมแรงดันนิวทรัลให้อยู่ในขอบเขตค่าหนึ่ง วงจรควบคุมที่ใช้ไม่ซับซ้อนเมื่อเทียบกับงานวิจัยที่ผ่านมา นอกจากนี้ วิธีการปรับความกว้างพัลส์ที่นำเสนอใหม่นี้ ยังมีรูปแบบการสวิตช์ที่ง่ายซึ่งสามารถลดกำลังสูญเสียของอุปกรณ์สวิตชิง เนื่องจากในแต่ละรูปแบบการสวิตช์สำหรับทั้งสามเฟส จะมีเพียงแค่สองเฟสเท่านั้นที่เกิดการสวิตช์ ผลการวิเคราะห์ทางทฤษฎีเกี่ยวกับการเปลี่ยนแปลงของแรงดันนิวทรัลสอดคล้องกับผลที่ได้จากการทดสอบจริง

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา วิศวกรรมไฟฟ้า ลายมือชื่อนิสิต .....
สาขาวิชา วิศวกรรมไฟฟ้า ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา .....
ปีการศึกษา 2540 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม .....

C815747 : MAJOR ELECTRICAL POWER
KEY WORD: Three Level Inverters / Neutral Potential / PWM / Neutral-Point-Clamped (NPC) Inverter
SUTEE RIEWCHAROON : A SIMPLE PWM METHOD FOR THREE LEVEL INVERTERS.
THESIS ADVISOR : DR. SOMBOON SANGWONGWANICH. 84 pp. ISBN 974-638-156-3.

This thesis presents an operation principle of three level inverters with a simple pulse-width modulation (PWM) method which is newly developed. This PWM method can be easily applied to control the neutral voltage of the DC bus in a hysteresis manner. The method developed utilizes an important characteristic of the three level inverter that there exists two vector groups which cause the deviation of neutral voltage in the opposite direction; and by using the two vector groups alternately the neutral voltage can be controlled to lie within a tolerance limit. The required control circuit for the proposed method is also simple compared to other methods developed in the past. Moreover, the new PWM method can decrease switching losses in power devices owing to its simple switching patterns by which only two of the three phases are switched in each switching pattern. Analytical results concerning the variation of the neutral voltage are confirmed by the experimental results.

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา วิศวกรรมไฟฟ้า ลายมือชื่อนิสิต .....

สาขาวิชา วิศวกรรมไฟฟ้า ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา .....

ปีการศึกษา 2540 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม .....

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ ด้วยความช่วยเหลือและเอาใจใส่อย่างดียิ่งของ อาจารย์ ดร.สมบูรณ์ แสงวงค์วาณิชย์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ท่านได้ให้แนวทาง ข้อแนะนำ และความรู้ที่มีคุณค่าในการวิจัยด้วยดีตลอดมา ทั้งยังดูแลเอาใจใส่และให้โอกาสแก่ผู้วิจัยในการหาประสบการณ์ทางวิชาการอันเป็นประสบการณ์ที่ล้ำค่าสำหรับผู้วิจัย

กราบขอบพระคุณคณาจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมศาสตร์ทุกท่าน และคุณครูทุกท่านที่ได้มอบความรู้อันเป็นเครื่องมือสำคัญในการวิจัยตั้งแต่อดีตจนกระทั่งปัจจุบัน

ขอบพระคุณคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ทุกท่านที่ได้ให้ความรู้และข้อเสนอแนะที่มีคุณค่า ทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบคุณบริษัท A.P.Y ที่ให้ความช่วยเหลือในด้านฮาร์ดแวร์ในการทำวิจัย และบัณฑิตวิทยาลัยสำหรับทุนอุดหนุนการวิจัย

ขอขอบคุณคุณวารุณี ลักษโชคดี และเพื่อนทุกคนสำหรับกำลังใจ คำแนะนำ และความช่วยเหลือที่ดียิ่ง

ท้ายนี้ ผู้วิจัยใคร่ขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ ซึ่งสนับสนุนด้านการเงิน และ ให้ความรัก ความอบอุ่น และกำลังใจแก่ผู้วิจัยมาโดยตลอด

สุธี ริ้วจรูญ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญเรื่อง

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ

กิตติกรรมประกาศ ..... ฉ

สารบัญเรื่อง ..... ช

สารบัญตาราง ..... ซ

สารบัญภาพ ..... ฌ

บทที่

1 บทนำ 1

2 อินเวอร์เตอร์สามระดับ 4

3 วิธีการปรับความกว้างพัลส์อย่างง่ายสำหรับอินเวอร์เตอร์สามระดับ 14

4 โครงสร้างฮาร์ดแวร์และซอฟต์แวร์ของระบบ 39

5 ผลการทดสอบการทำงานของระบบ 44

6 บทสรุปและข้อเสนอแนะ 69

รายการอ้างอิง 71

ประวัติผู้วิจัย 73

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2.1	สถานะการสวิตช์ของแต่ละเฟส	5
2.2	ลักษณะการสวิตช์ของเวกเตอร์ในแต่ละกลุ่ม	7
2.3	กระแสนิวทรัล(i_0) อันเป็นผลจากการเลือกใช้เวกเตอร์กลุ่ม b กลุ่ม c และกลุ่ม d	12
3.1	การเพิ่มลดของแรงดันนิวทรัล(Vo) กับโหมดการทำงาน	17
3.2	เกณฑ์ในการเลือกโหมดการทำงาน	18

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญภาพ

รูปที่		หน้า
1.1	วงจรสมมูลของอินเวอร์เตอร์สองระดับ	1
1.2	วงจรสมมูลของอินเวอร์เตอร์สามระดับ	2
2.1	วงจรสมมูลของอินเวอร์เตอร์สามระดับ	4
2.2	วงจรอินเวอร์เตอร์สามระดับ	5
2.3	เวกเตอร์แรงดันของอินเวอร์เตอร์สามระดับ	7
2.4	การเชื่อมต่อโหลดของเวกเตอร์กลุ่ม a	8
2.5	การเชื่อมต่อโหลดของเวกเตอร์ $\vec{b}_1$	9
2.6	การเชื่อมต่อโหลดของเวกเตอร์กลุ่ม c	9
2.7	การเชื่อมต่อโหลดของเวกเตอร์กลุ่ม d	10
2.8	การเชื่อมต่อโหลดของเวกเตอร์กลุ่ม z	10
2.9	การเชื่อมต่อโหลดตัวเก็บประจุกับโหลดในกรณีที่ใช้เวกเตอร์กลุ่ม $\vec{b}_1$, $\vec{c}_1$ และ $\vec{d}_1$	11
3.1	เวกเตอร์แรงดันที่ใช้ในโหมดการทำงานในโหมด 1 และ 2	14
3.2	วงจรสมมูลเมื่อแหล่งจ่ายไฟตรงจ่ายพลังงานแก่โหลด	15
3.3	วงจรสมมูลเมื่อแหล่งจ่ายไฟตรงรับพลังงานจากโหลด	16
3.4	บล็อกไดอะแกรมแสดงวงจรการทำงาน	18
3.5	สัญญาณการสวิตช์ที่ได้จากเวกเตอร์กลุ่ม z เวกเตอร์ $\vec{c}_1$ (POP) และ $\vec{c}_2$ (POO)	19
3.6	สัญญาณการสวิตช์ที่ได้จากเวกเตอร์กลุ่ม z เวกเตอร์ $\vec{d}_1$ (ONO) และ $\vec{d}_2$ (ONN)	19
3.7	สัญญาณการสวิตช์ที่ได้จากเวกเตอร์ $\vec{a}_1$ (PNP), $\vec{b}_1$ (PNO) และ $\vec{c}_1$ (POP)	20
3.8	สัญญาณการสวิตช์ที่ได้จากเวกเตอร์ $\vec{b}_1$ (PNO) $\vec{c}_1$ (POP) และ $\vec{c}_2$ (POO)	20
3.9	สัญญาณการสวิตช์ที่ได้จากเวกเตอร์ $\vec{a}_2$ (PNN) $\vec{b}_1$ (PNO) และ $\vec{c}_2$ (POO)	21
3.10	สัญญาณการสวิตช์ที่ได้จากเวกเตอร์ $\vec{a}_1$ (PNP), $\vec{b}_1$ (PNO) และ $\vec{d}_1$ (ONO)	21
3.11	สัญญาณการสวิตช์ที่ได้จากเวกเตอร์ $\vec{b}_1$ (PNO) $\vec{d}_1$ (ONO) และ $\vec{d}_2$ (ONN)	21
3.12	สัญญาณการสวิตช์ที่ได้จากเวกเตอร์ $\vec{a}_2$ (PNN) $\vec{b}_1$ (PNO) และ $\vec{d}_2$ (ONN)	22
3.13	การแบ่งโซนของเวกเตอร์แรงดันของอินเวอร์เตอร์สามระดับ	23
3.14	การแบ่งเซกเตอร์ย่อยของแต่ละโซน	23
3.15	เวกเตอร์อ้างอิงอยู่ในสามเหลี่ยมย่อยใด ๆ ในสเปซเวกเตอร์	25
3.16	การแตกเวกเตอร์คำสั่งออกในแนวแกนเวกเตอร์ $V_{\alpha 1}$ และเวกเตอร์ $V_{\alpha 2}$	26

สารบัญภาพ (ต่อ)

รูปที่		หน้า
3.17	การแตกเวกเตอร์คำสั่งที่อยู่ภายในเซกเตอร์ที่ 1	27
3.18	การแตกเวกเตอร์คำสั่งที่อยู่ภายในเซกเตอร์ที่ 2	27
3.19	การแตกเวกเตอร์คำสั่งที่อยู่ภายในเซกเตอร์ที่ 3	29
3.20	การแตกเวกเตอร์คำสั่งที่อยู่ภายในเซกเตอร์ที่ 4	30
3.21	เวกเตอร์แรงดันของอินเวอร์เตอร์สามระดับ	31
3.22	สัญญาณที่ได้เมื่อแรงดันคำสั่งมีค่าเท่ากับ 140 V	37
3.23	สัญญาณที่ได้เมื่อแรงดันคำสั่งมีค่าเท่ากับ 325 V	38
4.1	ภาคกำลัง :	39
4.2	ภาคควบคุม	40
4.3	วงจรตรวจจับเครื่องหมายของแรงดันนิวทรัล	41
4.4	วงจรตรวจจับกระแสเพื่อป้องกันกระแสเกิน	41
4.5	ไดอะแกรมเวลาของซอฟต์แวร์โมดูล	43
5.1	ผลการทดลองกับโหลดมอเตอร์เมื่อแรงดันอ้างอิงมีค่าเท่ากับ 175 V ที่ความถี่ 25 Hz	45
5.2	ผลการทดลองกับโหลดมอเตอร์เมื่อแรงดันอ้างอิงมีค่าเท่ากับ 350 V ที่ความถี่ 50 Hz	46
5.3	ทิศทางการเปลี่ยนแปลงของแรงดันนิวทรัล เวกเตอร์กลุ่ม c และเวกเตอร์กลุ่ม d และการชดเชยด้วยแรงดันอ้างอิงตามโหมดการทำงาน	47
5.4	ผลการทดสอบกับโหลดมอเตอร์เหนี่ยวนำที่กระแสโหลด 1.4 A เมื่อแรงดันอ้างอิง 175 V ที่ความถี่ 25 Hz	49
5.5	ผลการทดสอบกับโหลดมอเตอร์เหนี่ยวนำที่กระแสโหลด 2.8 A เมื่อแรงดันอ้างอิง 175 V ที่ความถี่ 25 Hz	50
5.6	ผลการทดสอบกับโหลดความต้านทานที่กระแสโหลด 1.7 A เมื่อแรงดันอ้างอิง 175 V ที่ความถี่ 25 Hz	52
5.7	ผลการทดสอบกับโหลดความต้านทานที่กระแสโหลด 3.4 A เมื่อแรงดันอ้างอิง 175 V ที่ความถี่ 25 Hz	53
5.8	ผลการทดสอบกับโหลด RC ที่กระแสโหลด 1.4 A เมื่อแรงดันอ้างอิง 175 V ที่ความถี่ 25 Hz	55

สารบัญภาพ (ต่อ)

รูปที่ หน้า

5.9 ผลการทดสอบกับโหลด RC ที่กระแสโหลด 2.4 A
เมื่อแรงดันอ้างอิง 175 V ที่ความถี่ 25 Hz..... 56

5.10 ผลการทดสอบกับโหลดมอเตอร์เหนี่ยวนำที่กระแสโหลด 1.4 A
เมื่อแรงดันอ้างอิง 350 V ที่ความถี่ 50 Hz..... 57

5.11 ผลการทดสอบกับโหลดมอเตอร์เหนี่ยวนำที่กระแสโหลด 3.5 A
เมื่อแรงดันอ้างอิง 350 V ที่ความถี่ 50 Hz..... 59

5.12 ผลการทดสอบกับโหลดความต้านทานที่กระแสโหลด 1.7 A
เมื่อแรงดันอ้างอิง 350 V ที่ความถี่ 50 Hz..... 61

5.13 ผลการทดสอบกับโหลดความต้านทานที่กระแสโหลด 3.4 A
เมื่อแรงดันอ้างอิง 350 V ที่ความถี่ 50 Hz..... 62

5.14 ผลการทดสอบกับโหลด RC ที่กระแสโหลด 1.12 A
เมื่อแรงดันอ้างอิง 350 V ที่ความถี่ 50 Hz..... 64

5.15 ผลการทดสอบกับโหลด RC ที่กระแสโหลด2.7 A
เมื่อแรงดันอ้างอิง 350 V ที่ความถี่ 50 Hz..... 66

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย