E-NETT 13TH

การประชุมวิชาการ
เครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทยครั้งที่ 13

13TH CONFERRENCE ON ENERGY NETWORK OF THAILAND

" Sustainable Energy Development for Community and Innovation "

31 พ.ค. - 2 มิ.ย. 2560 ณ โรงแรม ดิเอ็มเพรส เชียงใหม่

MAEJO GO ECO UNIVERSITY

กำหนดการ

ส่งบทความวิจัยฉบับสมบูรณ์	ก่อน วันที่ 17 เมษายน 2560
ตอบรับบทความวิจัยฉบับสมบูรณ์	วันที่ 30 เมษายน 2560
ส่งบทความวิจัยฉบับสมบูรณ์ (แก้ไข)	ก่อน วันที่ 12 พฤษภาคม 2560
ลงทะเบียนล่วงหน้า	วันที่ 1-26 พฤษภาคม 2560
จัดงานประชุม E-NETT 13	วันที่ 31 พฤษภาคม - 2 มิถุนายน 2560

จัดการประชุมโดย : วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ร่วมกับ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

www.e-nett.org Enett13.mju@gmail.com 053 875590 fax : 053 875599

วันที่ 1 มิถุนายน 2560 ห้อง Ballroom

Session 3

ประธานการนำเสนอบทความ ผศ.ดร.วิบูลย์ ช่างเรือ

10.45 น.	CE-198	การวิเคราะห์และจำลองชุดควบคุมการประจุไฟฟ้าแบบสมาร์ทสาหรับแบตเตอรี่ในระบบไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์	ยุทธพงษ์ ทองช่วง บริพัฒน์ อมรพิทักษ์วัฒนา และ บุญยัง ปลั่งกลาง
11.00 น.	CE-199	การจำลองการทำงานของวงจรอินเวอร์เตอร์เอชบริดจ์หลายระดับสำหรับระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์โดยใช้การมอดูเลตแบบ PD-PWM และ PS-PWM	มนทล นาวงษ์ และพึงใจ พิชยอนุตรัตน์
11.15 น.	CE-202	วิธีการลดการสูญเสียจากการสวิตช์ของตัวเรียงกระแสสองระดับชนิดทิศทางเดียวแบบเดลต้าบนพื้นฐานวิธีการมอดูเลตเชิงสเปซเวกเตอร์	พีรวัฒน์ อาทิตย์ตั้ง องอาจ ทับบุรี และ วรรณกร สุปิงคลัด
11.30 น.	CE-204	วิธีการสร้างสัญญาณขับนำสวิตช์แบบไม่ต่อเนื่องบนฐานการมอดูเลตเชิงสเปซเวกเตอร์ เพื่อลดการสูญเสียจากการสวิตช์ของสวิตช์กำลังสำหรับอินเวอร์เตอร์สามระดับชนิดตรึงจุดนิวทรัล	กันยารัตน์ เอกเอี่ยม และ ภุมรินทร์ ทวิชศรี
11.45 น.	CE-210	ระบบระบายความร้อน สำหรับ RGB แอลอีดีกำลังงานสูงด้วยการใช้ เทอร์โมอิเล็กทริกร่วมกับระบบระบายความร้อนด้วยน้ำแบบวงปิด	ประดิษฐ์ นิลรัตน์ และธงชัย มณีชูเกตุ

Session 4

ประธานการนำเสนอบทความ ดร.มุสตาฟา ยะภา

13.00 น.	CE-211	อุปกรณ์ตรวจสอบสมรรถนะการทำความเย็นเบื้องต้นโดยพิจารณาคุณสมบัติของสารทำความเย็น ชนิด R22 ของเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน และชนิด R134a ของเครื่องปรับอากาศในรถยนต์	นเรศ สุยะโรจน์ นฤเบศร์ หนูใส เพ็ชร ณัฐ สงคราม สรัล หน่อทิม วรวัฒน์ สมคำปา และ อนุพงศ์ ประจวบจันทร์
13.15 น.	CE-214	การวิเคราะห์สัญญาณเวลาที่เครื่องรับสัญญาณ GNSS กับสัญญาณเวลาระบบ	ปวิตร ฏิระวณิชย์กุล พรชนิตว์ มูลอักษร ทยาทิพย์ ทองตัน และ เฉลิมชนม์ สถิระพจน์
13.30 น.	CE-229	การออกแบบและสร้างอินเวอร์เตอร์รูปคลื่นไซน์ความถี่สูงโดยใช้เทคนิคยูนิโพลาเอสพีดับบลิวเอ็ม สำหรับวงจรส่งกำลังไฟฟ้าไร้สาย	ธเนศ ศรีพรมพุฒิพงษ์ เบ็ญชา เอกชัย ชัยดี และอนนท์ นำอิน
13.45 น.	CE-230	การวิเคราะห์จุดกำลังงานสูงสุดของระบบส่งกำลังไฟฟ้าไร้สายเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงระยะส่ง	จตุพงษ์ สีสายทอง ณัฐสิทธิ์ เชื้อเมืองพาน เอกชัย ชัยดี และอนนท์ นำอิน
14.00 น.	CE-231	ต้นแบบเครื่องวัดค่าความต้านทานการต่อลงดินแบบแคลมป์ด้วยบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino	ชนกนันท์ หอนิรันดร์พงศ์ สุทธิพงศ์ บุญทากลาง และ เชาว์ ชมภูอินไหว
14.15 น.	CE-245	วงจรแปลงผันกำลังงานไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสตรงแบบเรโซแนนซ์อนุกรมโดยใช้การต่อหม้อแปลงไฟฟ้าแบบอนุกรมด้านทุติยภูมิ	วทัญญู มีศรีสุข และ อนุวัฒน์ จางวนิชเลิศ
14.30 น.	CE-246	เครื่องทำความสะอาดแผงวงจรอิเล็กทรอนิกส์แบบคลื่นอัลตร้าโซนิคพร้อมการให้ความร้อนแบบเหนี่ยวนำ	บัญชา หิรัญสิงห์ สุภกิต อัจฉริยวนิช ธนาวัฒน์ เกิ่งชา เนตร วทัญญู มีศรีสุข และ อนุวัฒน์ จางวนิชเลิศ
14.45 น.	CE-262	การเปรียบเทียบสมรรถนะไดโอดแคลมป์และฟลายอิ้งคาปาซิเตอร์ในอินเวอร์เตอร์ 5 ระดับ ด้วยเทคนิคพีดับบลิวเอ็มแบบเลื่อนระดับหลายแคเรียร์	สถิตย์พร เกตุสกุล สุรสิทธิ์ ประกอบกิจ และ ธาดา คำแดง

0 - ธาดา

การเปรียบเทียบสมรรถนะไดโอดแคลมป์และฟลายอิ้งคาปาซิเตอร์ในอินเวอร์เตอร์ 5 ระดับ ด้วยเทคนิคพีดับบลิวเอ็มแบบเลื่อนระดับหลายแคเรียร์

Performance Comparison Diode-clamped and Flying-capacitor in Five-level Inverter With Level-shift Multi-carrier PWM Schemes Technique

สถิตย์พร เกตุสกุล[1,*], สุรสิทธิ์ ประกอบกิจ[2] และ ธาดา คำแดง[1]

[1] สาขาวิชาเทคโนโลยีอุตสาหกรรม คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏเทพสตรี 321 ต.ทะเลชุบศร อ.เมือง จ.ลพบุรี 15000
[2] สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
1381 ถนนประชาราษฎร์ 1 แขวงวงศ์สว่าง เขตบางซื่อ กรุงเทพมหานครฯ 10800
*โทรศัพท์ 081-4005018 E-mail: satitporn123g@gmail.com

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอการเปรียบเทียบสมรรถนะไดโอดแคลมป์และฟลายอิ้งคาปาซิเตอร์ในอินเวอร์เตอร์ 5 ระดับด้วยเทคนิคพีดับบลิวเอ็มแบบเลื่อนระดับหลายแคเรียร์ชนิดเฟสตรงกัน โดยทำการศึกษาเปรียบเทียบด้านคุณภาพของแรงดันขาออกที่ได้ และความสามารถในการสมดุลพลังงานที่ตัวเก็บประจุ โดยได้นำเสนอเป็นการจำลอง ซึ่งผลที่ได้เพื่อเป็นข้อมูลสนับสนุนสำหรับการศึกษาอินเวอร์เตอร์หลายระดับต่อไป

คำหลัก: ไดโอดแคลมป์, ฟลายอิ้งคาปาซิเตอร์, พีดับบลิวเอ็ม

Abstract

This paper proposes performance comparison Diode-clamped and Flying-capacitor in Five-level Inverter with Level-shift Multi-carrier PWM Schemes Technique. Chooses modulation control strategies is multilevel sinusoidal pulse width modulation (SPWM). The comparison focuses on output voltage THDv and capacitor voltage balancing. The results of the comparison will be used to aid the design of multi-level inverter in the future.

Keywords: Diode-clamped, Flying-capacitor, SPWM.

1. บทนำ

อินเวอร์เตอร์หลายระดับ (Multilevel inverter) [1] ได้ถูกนำมาประยุกต์ใช้กับอุปกรณ์ขับกระแสสลับ (AC Drive) กำลังสูงในอุตสาหกรรมเพื่อทำหน้าที่แทนวงจรขับกระแสสลับแบบ 2 ระดับ (Two-level inverter) ด้วยคุณสมบัติที่ดีหลายประการ ทำให้อินเวอร์เตอร์หลายระดับจึงได้รับความสนใจในการศึกษาและวิจัยอย่างต่อเนื่อง วงจรพื้นฐานของอินเวอร์เตอร์หลายระดับที่ได้รับความสนใจเป็นอย่างมากมีด้วยกัน 3 ชนิด คือ อินเวอร์เตอร์ไดโอดแคลป์ (DCI) อินเวอร์เตอร์คาสเคดมัลติเซลล์ (CMI) และอินเวอร์เตอร์ฟลายอิ้งคาปาซิเตอร์ (FCI) [2] หากมองในแง่ของการนำไปใช้งานกับอินเวอร์เตอร์ขับมอเตอร์กระแสสลับได้ง่ายนั้น อินเวอร์เตอร์ที่มีแหล่งจ่ายดีซีลิ้งค์ (DC link) เพียงแหล่งเดียวคือ อินเวอร์เตอร์แบบ DCI และแบบ FCI ทางกลุ่มผู้วิจัยจึงได้เลือกวงจรอินเวอร์เตอร์ทั้ง 2 ชนิดมาทำการศึกษา ซึ่งงานวิจัยก่อนหน้า ได้จำลองการทำงานเพื่อเปรียบเทียบสมรรถนะระหว่างเทคนิคพีดับบลิวเอ็มแบบเลื่อนเฟสและแบบเลื่อนระดับชนิดหลายแคเรียร์สำหรับอินเวอร์เตอร์หลายระดับชนิดฟลายอิ้งคาปาซิเตอร์ [3-5] ส่วนบทความนี้ได้นำเสนอผลการจำลองโดยทำการศึกษาเปรียบเทียบด้านคุณภาพของแรงดันด้านขาออกที่ได้ ความสามารถในด้านการรักษาสมดุลพลังงานที่ตัวเก็บประจุระหว่างอินเวอร์เตอร์แบบ DCI และแบบ FCI

2. โครงสร้างของอินเวอร์เตอร์

2.1 ฟลายอิ้งคาปาซิเตอร์อินเวอร์เตอร์

โครงสร้างของอินเวอร์เตอร์หลายระดับชนิดฟลายอิ้งคาปาซิเตอร์ หรือเรียกว่า คาปาซิเตอร์แคลมป์ แสดงดังรูปที่ 1 ซึ่งจะมีส่วนประกอบหลักด้วยกัน 2 ส่วน คือ ตัวเก็บประจุ และอุปกรณ์สวิตช์กำลัง โดยตัวเก็บประจุวงนอกสุดเรียกว่า คอมมอนดีซีลิ้งเป็นตัวสะสมพลังงาน ขณะที่ตัวเก็บประจุตัวอื่นๆ เรียกว่า ตัวเก็บประจุฟลายอิ้งค์ เป็นตัวสร้างแรงดันระดับต่างกัน โดยแรงดันที่ได้ในแต่ละระดับ เกิดจากผลรวมของ

แรงดันที่ตกคร่อมที่ตัวเก็บประจุฟลายอิ้งค์แต่ละตัว ที่ต่ออนุกรมกันตามสถานะการสวิตช์นั้น ซึ่งแรงดันที่ตกคร่อมตัวเก็บประจุ ฟลายอิ้งค์ในแต่ละตัว คือ 1E โดยอินเวอร์เตอร์ที่ศึกษาในบทความนี้เป็นอินเวอร์เตอร์ประเภท 5 ระดับ (m = 5) ซึ่งสมการของวงจรสามารถสรุปได้ดังนี้

$$SW = (m-1)\times 2 \quad (1)$$

$$C = \frac{(m-1)\times(m-2)}{2} \quad (2)$$

$$m = \frac{SW}{2}+1 \quad (3)$$

เมื่อ SW คือ จำนวนสวิตช์กำลัง, Each

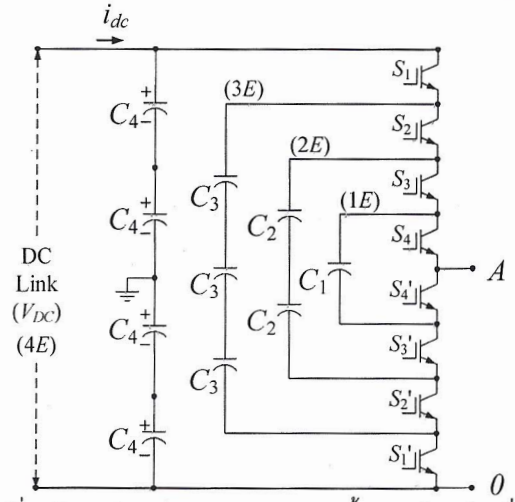
C คือ จำนวนตัวเก็บประจุที่ใช้, Each

m คือ ระดับแรงดัน, Level

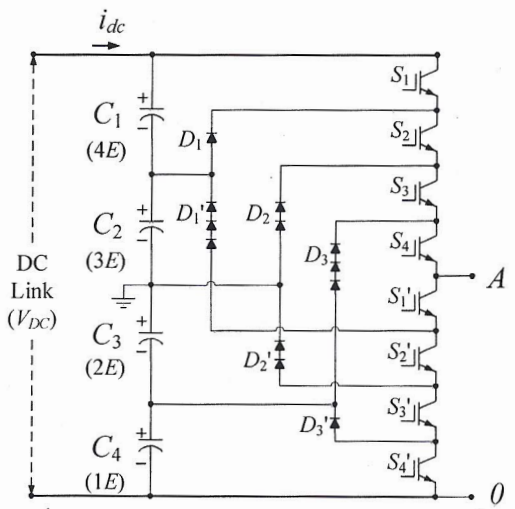
หากเลือกการขับเกตสวิตช์กำลังจำนวน 3 ตัวจากทั้งหมด 4 ตัวแรงดันทางด้านออกจะได้เท่ากับ 3 ใน 4 ของแรงดันดีซีลิ้งค์ หากเลือกการขับเกตสวิตช์กำลังจำนวน 1 ตัวจากทั้งหมด 4 ตัว แรงดันทางด้านออกจะได้เท่ากับ 1 ใน 4 ของแรงดันดีซีลิ้งค์ โดยรูปแบบการสวิตช์กำลังสามารถทำได้หลายรูปแบบ แล้วแต่ลักษณะการจัดเรียงสัญญาณแคเรียร์ ซึ่งรูปแบบการสวิตช์กำลังจะทำให้เกิดแรงดันด้านออกที่มีคุณภาพสูงหรือต่ำได้ และยังมีผลต่อการรักษาระดับแรงดันที่ตัวเก็บประจุแบบฟลายอิ้งค์อีกด้วย

2.2. ไดโอดแคลมป์อินเวอร์เตอร์

โครงสร้างของอินเวอร์เตอร์หลายระดับไดโอดแคลมป์ หรือเรียกว่า นิวทรัลพอยท์อินเวอร์เตอร์ แสดงดังรูปที่ 2 ซึ่งจะมีส่วนประกอบหลักด้วยกัน 2 ส่วน คือ ตัวเก็บประจุ ไดโอด และอุปกรณ์สวิตช์กำลัง โดยตัวเก็บประจุวงนอกสุดเรียกว่า คอมมอนดีซีลิ้งเป็นตัวสะสมพลังงาน ซึ่งตัวเก็บประจุจะประกอบด้วยกัน 4 ตัว หรือ 4 ระดับแรงดัน โดยแรงดันที่ได้ในแต่ละระดับทางด้านออกจะเกิดจากเลือกรูปแบบการสวิตช์โดยกำหนดทิศทางการไหลของกระแสด้วยไดโอดแคลมป์ ซึ่งแรงดันที่ตกคร่อมตัวเก็บประจุแต่ละตัว คือ 1E เช่นกัน



รูปที่ 1 อินเวอร์เตอร์ 5 ระดับ ชนิดฟลายอิ้งคาปาซิเตอร์ 1 กิ่ง



รูปที่ 2 อินเวอร์เตอร์ 5 ระดับ ชนิดไดโอดแคลมป์ 1 กิ่ง

ผลรวมของแรงดันที่ตกคร่อมที่ตัวเก็บประจุฟลายอิ้งค์แต่ละตัว ที่ต่ออนุกรมกันตามสถานะการสวิตช์นั้น ซึ่งแรงดันที่ตกคร่อมตัวเก็บประจุฟลายอิ้งค์ในแต่ละตว คือ 1E โดยอินเวอร์เตอร์ที่ศึกษาในบทความนี้เป็นอินเวอร์เตอร์ประเภท 5 ระดับ (m = 5) ซึ่งสมการของวงจรสามารถสรุปได้ดังนี้

$$SW = (m-1)\times 2 \quad (4)$$

$$C = (m-1) \quad (5)$$

$$m = \frac{SW}{2}+1 \quad (6)$$

เมื่อ SW คือ จำนวนสวิตช์กำลัง, Each

C คือ จำนวนตัวเก็บประจุที่ใช้, Each

m คือ ระดับแรงดัน, Level

หากต้องการเลือกระดับแรงดันเท่ากับดีซีลิ้งค์ จะต้องเลือกการขับเกตสวิตช์กำลัง S1 ถึง S4 รวมทั้งหมด 4 ตัว (ด้าน High) หากต้องการแรงดันทางด้านออกจะได้เท่ากับ 1 ใน 4 ของแรงดันดีซีลิ้งค์ จะต้องเลือกการขับเกตสวิตช์กำลัง S4 เพียงตัวเดียว โดยรูปแบบการสวิตช์กำลังจะไม่สามารถทำได้หลายรูปแบบ ซึ่งทำให้มีข้อจำกัดในการจัดเรียงสัญญาณแคเรียร์ ซึ่งรูปแบบการสวิตช์กำลังจะทำให้เกิดแรงดันด้านออกที่มีคุณภาพสูงหรือต่ำได้ และยังมีผลต่อการรักษาระดับแรงดันที่ตัวเก็บประจุอีกด้วย

3. เทคนิคการพีดับบลิวเอ็ม

เทคนิคพีดับบลิวเอ็มสำหรับอินเวอร์เตอร์หลายระดับนั้นสามารถทำได้ โดยอาศัยพื้นฐานการสร้างสัญญาณพีดับบลิวเอ็มของวงจรขับแบบ 2 ระดับ เพียงแต่จะเพิ่มจำนวนของแคเรียร์ขึ้นตามจำนวนของสวิตช์กำลัง สำหรับในอินเวอร์เตอร์ 5 ระดับ จะใช้สวิตช์กำลังจำนวน 4 ตัว จึงใช้สัญญาณแคเรียร์จำนวน 4 แคเรียร์ ในการม็อดดูเลตเพื่อสร้างสัญญาณเกตในรูปที่ 3 ซึ่งเป็นตัวอย่างการสร้างสัญญาณเกตของเทคนิคการพีดับบลิวเอ็มแบบเลื่อนระดับหลายแคเรียร์ที่ใช้ในการศึกษาและเปรียบเทียบสมการที่เกี่ยวข้องกับเทคนิคการพีดับบลิวเอ็ม

จากข้างต้นความถี่การสวิตช์ของอินเวอร์เตอร์ส่งผลโดยตรงต่อการปรากฏของประมาณฮาร์โมนิกส์ในแรงดันด้านออกของอินเวอร์เตอร์โดยจะปรากฏขึ้นรอบๆ m_f

$$m_a = \frac{V_m}{V_{cr}(\mathrm{m}-1)} \quad \text{สำหรับ} \quad 0 \le m_a \le 1 \qquad (7)$$

$$f_{sw,dev} = \frac{f_{cr}}{(m-1)} \qquad (8)$$

$$f_{sw,inv} = (m-1) f_{sw,dev} \qquad (9)$$

เมื่อ f_m คือ ความถี่ของสัญญาณมูลฐาน, Hz

f_{cr} คือ ความถี่ของสัญญาณพาหะ, Hz

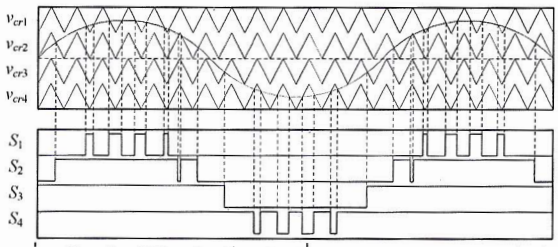
$f_{sw,dev}$ คือ ความถี่ของอุปกรณ์สวิตช์กำลัง, Hz

$f_{sw,inv}$ คือ ความถี่การสวิตช์ของอินเวอร์เตอร์, Hz

m_f คือ ความถี่การม็อดดูเลตชั่นอินเด็กซ์ (f_{cr}/f_m)

m_a คือ ม็อดดูเลตชั่นอินเด็กซ์

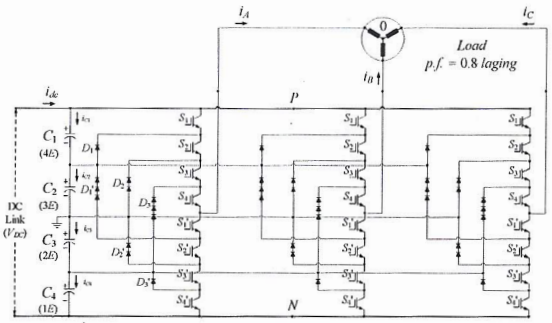
m คือ ระดับแรงดัน, Level



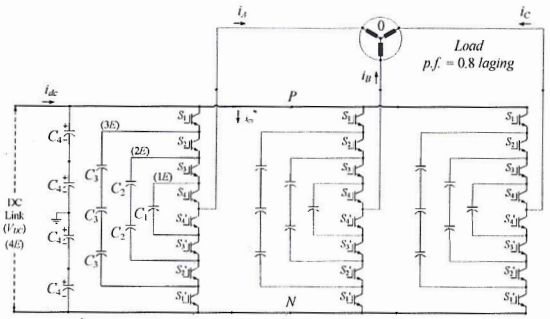
รูปที่ 3 ตัวอย่างพีดับบลิวเอ็มชนิดเลื่อนระดับแบบหลายแคเรียร์ในการสร้างสัญญาณขับนำสวิตช์กำลัง

4. ผลการจำลอง

แบบจำลองทางไฟฟ้าที่ใช้ในการจำลองเปรียบเทียบสมรรถนะการทำงานระหว่างอินเวอร์เตอร์ชนิด DCI แสดงดังรูปที่ 4 และชนิด FCI แสดงดังรูปที่ 5 ด้วยเทคนิคการพีดับบลิวเอ็มชนิดเลื่อนระดับหลายแคเรียร์แบบเฟสตรงกัน ได้กำหนดเงื่อนการทำงานดังแสดงในตารางที่ 1



รูปที่ 4 แบบจำลองทางไฟฟ้าอินเวอร์เตอร์ชนิด DCI



รูปที่ 5 แบบจำลองทางไฟฟ้าอินเวอร์เตอร์ชนิด FCI

ตารางที่ 1 กำหนดการทำงานของอินเวอร์เตอร์

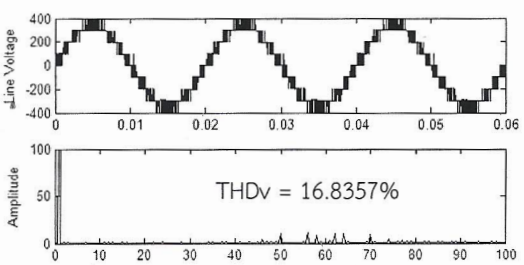
พารามิเตอร์	ปริมาณ
แรงดันดีซีลิ้งค์	400 V
ความถี่ของสัญญาณด้านออก	50 Hz
อัตราส่วนความถี่แคเรียร์ต่อสัญญาณมูลฐาน	60
ความถี่สัญญาณแคเรียร์	3 kHz
มอดดูเลตชันอินเด็กซ์	1.0
ตัวเก็บประจุ	4,700 μF
โหลดตัวต้านทานต่อเฟส	40 Ω
โหลดตัวเหนี่ยวนำต่อเฟส	0.0955 mH
ตัวประกอบกำลัง	0.8 lagging

4.1 การจำลองด้านคุณภาพของแรงดันทางด้านออก

เมื่อนำผลการจำลองทางด้านออกของอินเวอร์เตอร์ทั้ง 2 ชนิด มาทำการคำนวณโดยพิจารณาฮาร์มอนิกส์ถึงอันดับที่ 100th รูปที่ 6 แสดงผลการจำลองที่ได้จากอินเวอร์เตอร์ชนิด DCI ส่วนรูปที่ 7 แสดงผลการจำลองที่ได้จากอินเวอร์เตอร์ชนิด FCI ซึ่งผลที่ได้อินเวอร์เตอร์ทั้ง 2 ชนิดให้ผลที่ดีคล้ายกันมาก เมื่อนำผลการจำลองในทุกค่ามอดดูเลตชั่นอินเด็กตั้งแต่ 0.1 ถึง 1.0 นำมาสรุปรวมพล็อตกราฟเปรียบเทียบกัน ดังแสดงในรูปที่ 8 จะเห็นได้ว่าอินเวอร์เตอร์ชนิด FCI และชนิด DCI ให้ผล %THDv ดีสอดคล้องกันตลอดย่านการมอดดูเลต

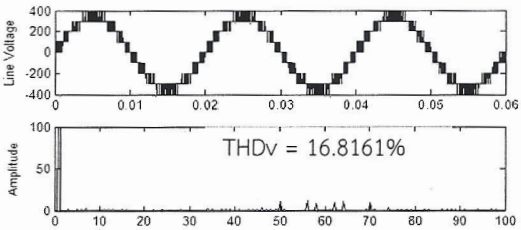
4.2 การจำลองการรักษาสมดุลพลังงานที่ตัวเก็บประจุ

การจำลองสมรรถนะด้านการรักษาสมดุลด้านพลังงานที่ตัวเก็บประจุ โดยการนำผลของแรงดันและกระแสที่ตัวเก็บประจุแต่ละลูกมาทำการวิเคราะห์ แล้วนำมาพล็อตกราฟ ในรูปที่ 9-10 แสดงผลกาจำลองของระดับพลังงานที่ตัวเก็บประจุซึ่งอินเวอร์เตอร์ทั้ง 2 ชนิดไม่สามารถรักษาสมดุลพลังงานที่ตัวเก็บประจุได้ มีเพียงอินเวอร์เตอร์ชนิดฟลายอิ้งคาปาซิเตอร์ที่มีโอกาสในการปรับปรุงเทคนิคการสวิตช์ได้ เนื่องด้วยลักษณะทางด้านโครงสร้างของแบบจำลองทางไฟฟ้ามีความหยืดหยุ่นตัวในการเลือกรูปแบบการสวิตช์กำลังได้หลากหลาย



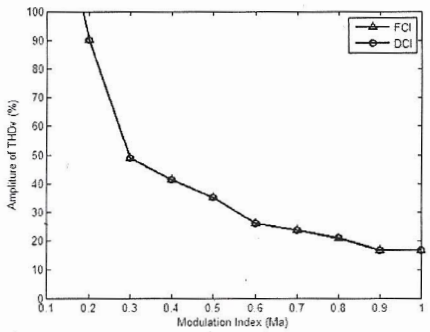
รูปที่ 6 ผลการจำลองอินเวอร์เตอร์ชนิด FCI

$(m_f = 60, m_a = 1.0, f_m = 50\text{Hz}, f_{cr} = 3\text{kHz}, fsw, dev = 750\text{Hz})$

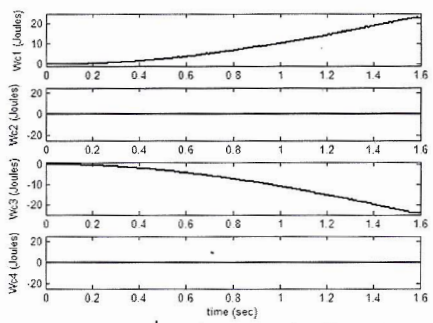


รูปที่ 7 ผลการจำลองอินเวอร์เตอร์ชนิด DCI

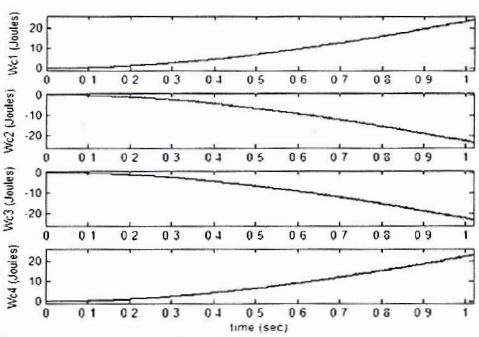
$(m_f = 60, m_a = 1.0, f_m = 50\text{Hz}, f_{cr} = 3\text{kHz}, fsw, dev = 750\text{Hz})$



รูปที่ 8 สรุปผล %THDv ที่มอดดูเลตชันอินเด็กซ์ค่าต่างๆ



รูปที่ 9 ระดับพลังงานที่ตัวเก็บประจุแต่ละตัวของอินเวอร์เตอร์ชนิด FCI ขณะทำงานที่ m_f = 60 , m_a = 1.0



รูปที่ 10 ระดับพลังงานที่ตัวเก็บประจุแต่ละตัวของอินเวอร์เตอร์ชนิด DCI ขณะทำงาน m_f = 60 , m_a = 1.0

5. สรุป

จากผลการจำลองประเด็นสำคัญทางด้านการรักษาสมดุลพลังงานที่ตัวเก็บประจุนั้น มีเพียงอินเวอร์เตอร์ชนิดฟลายอิ้งคาปาซิเตอร์ (Flying capacitor inverter: FCI) สามารถรักษาสมดุลระดับพลังงานที่ตัวเก็บประจุได้ โดยจะต้องปรับปรุงสัญญาณขับนำสวิตช์กำลัง ด้วยเทคนิคการหมุนวนสัญญาณเกต (Plus rotation) [5] อย่างไรก็ตามจากงานวิจัยก่อนหน้ายังพบการกระเพื่อมของแรงดันในทุกช่วง 4 ไซเคิลของสัญญาณมูลฐาน ในแง่ของคุณภาพของแรงดันด้านออกพบว่าอินเวอร์เตอร์ทั้ง 2 ชนิดให้ %THDv ที่ดีเหมือนกันตลอดช่วงการมอดดูเลต และด้วยคุณสมบัติของอินเวอร์เตอร์ตามที่นำเสนอในบทความข้างต้น แรงดันด้านออกมีความใกล้เคียงไซน์ แรงดันที่ถูกสร้างขึ้นจึงมีความผิดเพี้ยนน้อย และ dv/dt ต่ำ กระแสด้านออกจึงมีความผิดเพี้ยนน้อยตามด้วย และแรงดันตกคร่อมที่สวิตช์กำลังแต่ละตัวมีค่าต่ำ เป็นผลมาจากการนำสวิตช์กำลังหลายตัวมาต่ออนุกรมกันส่งผลให้กำลังงานสูญเสียที่เกิดขึ้นกับสวิตช์กำลังลดต่ำลง จึงส่งผลให้ประหยัดพลังงานมากขึ้น โดยที่อินเวอร์เตอร์ยังคงประสิทธิภาพในขณะทำงานไว้ได้

6. เอกสารอ้างอิง

[1] Bin Wu. (2006) High-Power Converters and ac Drives. The Institute of Electrical and Electronics Engineering, Inc., pp.127-136.

[2] F. Zheng Peng, J. Rodriguez, and J. Sheng Lai. (2002) "Multilevel Inverter," A Survey of Topologies, Control and Application, IEEE Trans. Ind. Applicat., Vol. 49, No. 4, August 2002.

[3] L. Tolbert, F.-Z. Peng, and T. Habetler. (1999). Mulitlevel converter for large electric drives. IEEE Trans. Ind. Applicat., vol. 35, pp. 36-44, Jan./Feb. 1999.

[4] S. Ketsakoon, S. Polmai. (2007). Comparison between phase- and level-shifted PWM schemes for flying capacitor multilevel inverter, The 2007 ECTI International Conference (ECTI-CON2007), Mae Fah Luang University, Chiang rai, Thailand.

[5] สถิตย์พร เกตุสกุล วรรณวิมล ยอดเจริญ และสมภพ ผลไม้ (2551). การเปรียบเทียบสมรรถนะระหว่างเทคนิคพีดับบลิวเอ็มแบบเลื่อนเฟส และแบบเลื่อนระดับชนิดหลายแคเรียร์สำหรับอินเวอร์เตอร์หลายระดับชนิดฟลายอิ้งคาปาซิเตอร์, *การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 31 (EECON-31)*, จังหวัดนครนายก