



PROCEEDINGS

7th PHAYAO RESEARCH CONFERENCE

รายงานสืบเนื่องจากการ
ประชุมทางวิชาการระดับชาติ

พะเยาวิจัยครั้งที่ 7

25-26 มกราคม 2561

ณ หอประชุมพญางำเมือง
มหาวิทยาลัยพะเยา

ISBN : 978-616-7820-58-3

รายงานสืบเนื่องจากการประชุมวิชาการระดับชาติ พะเยาวิจัครั้งที่ 7

“Entrepreneurial University โอกาส ความหวัง อนาคต ?”

วันที่ 25-26 มกราคม 2561 ณ หอประชุมพญางำเมือง มหาวิทยาลัยพะเยา

ISBN: 978-616-7820-58-3

จัดทำโดย: กองบริหารงานวิจัยและประกันคุณภาพการศึกษา มหาวิทยาลัยพะเยา 19 หมู่ 2 ตำบลแม่กา
อำเภอเมืองพะเยา จังหวัดพะเยา 56000 โทร 054-466-666 ต่อ 1047-1048

ปีที่พิมพ์: มีนาคม 2560

จำนวนพิมพ์: 500 แผ่น

คณะผู้จัดทำ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิบูลย์ วัฒนาร	รองอธิการบดีฝ่ายวิจัยและประกันคุณภาพ
ศาสตราจารย์ เกียรติคุณ ดร.ไมตรี สุทนต์จิตต์	คณะผู้จัดทำ
รองศาสตราจารย์ ดร.เจิดหล้า สุนทรวิภาต	คณะผู้จัดทำ
รองศาสตราจารย์ ดร.บุษบง จำเริญดงารักษ์	คณะผู้จัดทำ
รองศาสตราจารย์ ดร.เชวศักดิ์ รักเป็นไทย	คณะผู้จัดทำ
รองศาสตราจารย์เปรมวิทย์ วิวัฒน์เศรษฐ์	คณะผู้จัดทำ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ยุทธนา หมั่นดี	คณะผู้จัดทำ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วัชร แลน้อย	คณะผู้จัดทำ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อนุรักษ์ ประสาทเขตรการ	คณะผู้จัดทำ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นครินทร์ ชัยแก้ว	คณะผู้จัดทำ
ดร.ปิยะพงษ์ แสงแก้ว	คณะผู้จัดทำ
นายชำนาญ แสงแก้ว	คณะผู้จัดทำ

ผู้จัดพิมพ์: มหาวิทยาลัยพะเยา 19 หมู่ 2 ตำบลแม่กา อำเภอเมืองพะเยา จังหวัดพะเยา 56000



สารจากนายกสภามหาวิทยาลัยพะเยา

ศาสตราจารย์เกียรติคุณ คุณหญิงไขศรี ศรีอรุณ



มหาวิทยาลัยพะเยามีนโยบายส่งเสริมการวิจัยในทุกด้าน โดยให้ความสำคัญทั้งการวิจัยพื้นฐาน และการวิจัยประยุกต์ในสาขาต่าง ๆ ที่มีการเรียนการสอนใน 15 คณะวิชา และ 3 วิทยาลัย ในปี 2560 ที่ผ่านมามีโครงการวิจัยเกือบ 400 โครงการ และในปี 2561 มหาวิทยาลัยได้รับการสนับสนุนทุนวิจัยจากงบประมาณแผ่นดิน จำนวนทั้งสิ้น 93 โครงการ งบประมาณกว่า 66 ล้านบาทมีงานวิจัยเป็นจำนวนมากได้รับการตีพิมพ์ทั้งในระดับชาติ และระดับนานาชาติ

สำหรับในการประชุมทางวิชาการพะเยาวิจัยครั้งที่ 7 “Entrepreneurial University: โอกาส ความหวัง อนาคต?” ในปีนี้มหาวิทยาลัยมุ่งหวังว่าจะเป็นหนึ่งในสถาบันอุดมศึกษาที่ร่วมกระตุ้นและผลักดันแนวคิดการสร้างผลงานวิจัยที่มีคุณภาพ เพื่อสร้างองค์ความรู้ นวัตกรรมใหม่ ๆ ในการพัฒนาประเทศต่อไป มหาวิทยาลัยพะเยาหวังว่า เวทีทางวิชาการที่จัดขึ้นในครั้งนี้จะประสบความสำเร็จเหมือนครั้งก่อน ๆ ที่เคยจัดมา กล่าวคือ มีอาจารย์ นักวิจัย นิสิต และนักศึกษาจำนวนมากมานำเสนอผลงานวิจัย และผลงานการศึกษาค้นคว้าที่หลากหลาย ซึ่งมหาวิทยาลัยพะเยาหวังว่าผลงานเหล่านั้น จะสามารถสร้างนวัตกรรมที่นำไปสู่การสานปณิธานของมหาวิทยาลัยที่ว่า “ปัญญาเพื่อความเข้มแข็งของชุมชน” และการพัฒนาประเทศ

ขอขอบคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิบูลย์ วัฒนารัตน รองอธิการบดีฝ่ายวิจัยและประกันคุณภาพ และขอบคุณคณะทำงานจัดการประชุมของมหาวิทยาลัยพะเยาทุกคน ขอขอบคุณทุกท่านที่ให้ความสนใจมาร่วมเสนอผลงานวิจัยในการจัดประชุมที่มหาวิทยาลัยพะเยาจัดขึ้นในครั้งนี้

ศาสตราจารย์เกียรติคุณ คุณหญิงไขศรี ศรีอรุณ

นายกสภามหาวิทยาลัยพะเยา

สารจากอธิการบดีมหาวิทยาลัยพะเยา

ศาสตราจารย์พิเศษ ดร.มณฑล สงวนเสริมศรี



มหาวิทยาลัยพะเยาในฐานะที่เป็นสถาบันอุดมศึกษา ได้ตระหนักถึงความสำคัญในการสะสมองค์ความรู้เพื่อนำไปพัฒนาชุมชนทั้งเชิงพื้นที่และเชิงประเด็น โดยหวังเป็นส่วนหนึ่งที่จะช่วยให้ชุมชนเกิดความเข้มแข็ง มีคุณภาพชีวิตที่ดีขึ้น ดังปณิธานของมหาวิทยาลัย “ปัญญาเพื่อความเข้มแข็งของชุมชน” ดังนั้นเพื่อเป็นการขับเคลื่อน และสร้างกลไกให้นำไปสู่เป้าหมายดังกล่าว มหาวิทยาลัยจึงได้ส่งเสริมกิจกรรมทางวิชาการ โดยจัดให้มีการประชุมทางวิชาการ “พะเยาวิจัย” ขึ้นอย่างต่อเนื่อง เพื่อเป็นเวทีให้กับคณาจารย์ นักวิจัย บุคลากร นิสิตและนักศึกษาในระดับบัณฑิตศึกษา ทั้งภายในและภายนอก ได้ร่วมเรียนรู้ประสบการณ์พร้อมทั้งแลกเปลี่ยนความคิดเห็น

ตลอดจนเปิดโอกาสให้มีการเผยแพร่ผลงานทางวิชาการสู่สาธารณะ และเป็นการกระตุ้นให้นักวิจัยผลิตผลงานวิจัยที่มีคุณภาพ เพื่อสร้างองค์ความรู้นวัตกรรมใหม่ ๆ ไปประยุกต์ใช้ให้เกิดประโยชน์แก่ชุมชนและสังคม

ในปีนี้มีการจัดงานภายใต้แนวคิด “Entrepreneurial University: โอกาส ความหวัง อนาคต?” โดยมุ่งหวังว่าจะเป็นหนึ่งในสถาบันอุดมศึกษาที่ร่วมกระตุ้นและผลักดันแนวคิดที่ก้าวสู่การเป็น “Entrepreneurial University” โดยได้เชิญวิทยากรพิเศษที่มีความเชี่ยวชาญดังกล่าวถึง 4 ท่านเพื่อร่วมเสวนาพิเศษเกี่ยวกับความท้าทายของสถาบันอุดมศึกษาที่ต้องปรับบทบาทและพัฒนากลไก เพื่อรองรับสนับสนุน และเพิ่มช่องทางให้นิสิต/ นักศึกษามองเห็นโอกาส เห็นการแก้ปัญหา รู้จักคิดและพัฒนานวัตกรรมใหม่ ๆ เพื่อแก้ไขปัญหาตามความต้องการได้อย่างตรงจุดตรงประเด็น เพื่อให้เห็นโอกาสและแนวทางสู่การก้าวไปเป็น “Entrepreneurial University” ได้อย่างแท้จริง

มหาวิทยาลัยพะเยา หวังเป็นอย่างยิ่งว่าการประชุมทางวิชาการครั้งนี้ จะเป็นเครื่องมือในการสร้างเครือข่ายเพื่อพัฒนานักวิจัยของมหาวิทยาลัยพะเยาและนักวิจัยของประเทศ ให้สามารถนำความรู้และประสบการณ์ที่เกิดจากแลกเปลี่ยนเรียนรู้ ไปช่วยส่งเสริมพัฒนาและแก้ปัญหาให้กับชุมชนและสังคม เพื่อความยั่งยืนของประเทศชาติต่อไป กระผมจึงขอขอบคุณวิทยากร ผู้ทรงคุณวุฒิ ผู้บริหาร คณาจารย์ บุคลากร รวมทั้งผู้มีส่วนสนับสนุนการจัดกิจกรรมครั้งนี้ทุกท่านเป็นอย่างสูง ที่ให้การสนับสนุนการประชุมทางวิชาการพะเยาวิจัย ด้วยดีตลอดมา

ศาสตราจารย์พิเศษ ดร.มณฑล สงวนเสริมศรี
อธิการบดีมหาวิทยาลัยพะเยา

สารบัญ (ต่อ)

กลุ่มการวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี การนำเสนอแบบ Oral Presentation

SCI – 001	การออกแบบอะแดปเตอร์สแตนด์บายในระบบส่งกำลังของรถฟอร์มูล่านักศึกษา โดย นเรนท ชัยธานี	739
SCI – 002	การออกแบบและวิเคราะห์ความแข็งแรงของคอกม้าอะลูมิเนียมเกรด 7075 สำหรับรถฟอร์มูล่านักศึกษาด้วย วิธีทางไฟไนต์เอลิเมนต์ โดย จิรพงศ์ สุชาติพิทย์ สุระ ลาภทวี และภาสกร พันธุ์โอภาส	748
SCI – 003	การลดของเสียในกระบวนการเคลือบกราเวียร์ กรณีศึกษา โรงงานผลิตกระสอบพลาสติกสาน โดย วรุทัย เดชตานนท์ จิรวัดณ์ โสพนัง จุฑามณี วิทยา ชนาภา เชือกโคกกรวด และนุชรา หาญสูงเนิน	760
SCI – 004	การลดของเสียในกระบวนการฉีดพลาสติก กรณีศึกษา บริษัทผลิตชิ้นส่วนนาฬิกา โดย ณรงค์ฤทธิ์ ร่วมสุข ณัฐภูมิ ศักดิ์วัฒนพงษ์ สุรนนท์ หงวนกระโทก อภิเดช นนทะคำจันทร์ และละอองดาว ขุนจ้าว	769
SCI – 005	การจัดการขยะพลาสติกชนิดพลาสติกชนิดพีอีที กรณีศึกษา สถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น โดย อนุชา บรรจง เสรีย์ ตูประกาย และสุรเดช ภัทรวชิร	781
SCI – 006	การตรวจสอบและบำรุงรักษาเชิงป้องกันหม้อแปลงไฟฟ้าระบบจำหน่ายอย่างมีประสิทธิภาพ: กรณีศึกษา บริษัท ชุมรับ เบอร์ ไทยอีสเทิร์น คอร์ปอเรชั่น จำกัด โดย บรรจง จุริพงษ์ และเลิศเลขา ศรีรัตน์	789
SCI – 007	การออกแบบระบบไฟฟ้าสำหรับรถฟอร์มูล่าไฟฟ้านักศึกษา โดย วิศิษฐ์ สองเมือง และสุระ ลาภทวี	797
SCI – 008	การศึกษาอินเวอร์เตอร์ 5 ระดับชนิดฟลายอิงคาปาซิเตอร์ด้วยเทคนิค SPWM ที่การฉีด ฮาร์โมนิกลำดับที่ 3 ในสัญญาณอ้างอิง โดย สติยพร เกตุสกุล สุรสิทธิ์ ประกอบกิจ กุลสมทรัพย์ เย็นฉ่ำขลิต และวิฑูรย์ ชิงถ้วยทอง	804
SCI – 009	การประเมินประสิทธิภาพมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟสขณะใช้งาน ภายใต้สภาวะแรงดัน ไม่สมดุล ด้วยวิธีเชิงพันธุกรรม แบบหลายวัตถุประสงค์ โดย ชีระวัฒน์ ผุสดี กฤษดา ทศกานีเนตร์ อนันต์ชัย ขอบเตชะ และวิวัฒน์ ทิพจร	817
SCI – 010	ชุดฝึกฉีดยาบริเวณต้นแขนสำหรับนักศึกษาพยาบาล โดย เสนอ สะอาด และดรุณี ชายทอง	830
SCI – 011	อิทธิพลของมุมและจำนวนชั้นเส้นใยของท่อคาร์บอนไฟเบอร์เติมโพลีเมที่มีต่อความสามารถในการดูดซับพลังงานภายใต้ แรงกระแทก โดย นิรุติ อ่อนสรวง วศรายุทธ ลำดวน คุณานนต์ ศักดิ์กำปัง และวิศิษฐ์ จันทร์ชื่น	841
SCI – 012	ปัจจัยที่มีผลกระทบต่อประสิทธิภาพการควบคุมงานก่อสร้าง ถนนคอนกรีตเสริมเหล็ก กรณีศึกษาองค์การบริหารส่วน ตำบลคลองสาม จังหวัดปทุมธานี โดย วิชากร จันทร์ชนะ	854
SCI – 013	การออกแบบและพัฒนาสายการปกคลุมมะพร้าวอ่อน โดย กษิตีเดช เกษมณี	863
SCI – 015	การศึกษามรรณะเชิงความร้อนของโมดูลเทอร์โมอิเล็กทริก โดย พชร ว่องไพศาลกิจ กระวี ตรีอำรรค และเทวรัตน์ ตรีอำรรค	870
SCI – 016	การทดสอบความเป็นฉนวนของหม้อแปลงด้วยวิธีกระแสโพลาร์-ดีโพลาร์และวิธีหาความชื้นในน้ำมันหม้อแปลง โดย สาคร วุฒิพัฒน์พันธุ์ มนัส บุญเกียรติทอง และเจนณรงค์ มีสมพงษ์	883
SCI – 017	พฤติกรรมของผิวสัมผัสระหว่างทรายกับโครงสร้าง โดย ปรัชญา แสนแปง ณัฐนนท์ ยืนอินทร์ นิพันธ์ อินสุข สุภาภรณ์ มาละสุทธิ และสุริยาจุฑา ประชัย	892
SCI – 018	ระบบแผ้วถางสำหรับโรงเพาะเห็ดผ่านระบบเครือข่าย โดย ตระกูลพันธ์ แสงเจริญวัฒนา พชรินทร์ ประจวบแท่น และจักรพันธ์ ออบมา	900
SCI – 019	การศึกษาแนวทางการออกแบบเครื่องจักรกึ่งอัตโนมัติสำหรับการผลิตวัสดุผสมหลังจากจากหญ้าแฝก โดยกฤษดา สายแสง กระวี ตรีอำรรค และเทวรัตน์ ตรีอำรรค	912
SCI – 020	การลดการสิ้นเปลืองของเครื่องประกอบหัวอ่านฮาร์ดดิสก์ด้วยวิธีการด้านการสิ้นเปลืองแบบแอคทีฟโดยใช้ตัวขับเปีย โซโดย อภิสิทธิ์ แก้วหนู	923
SCI – 021	การศึกษาปัจจัยที่เป็นสาเหตุที่ส่งผลต่อความล่าช้าในการก่อสร้างกำแพงกันดิน กรณีศึกษา องค์การบริหารส่วนตำบล คลองสาม จังหวัดปทุมธานี โดย อุสินท์ บัวพุด วัณฐกานต์ รัตนธีรวงศ์ และเอนก เนมิตร์บุรี	935



A study of five level flying-Capacitor inverter base on Sinusoidal PWM and Third Harmonic Injected PWM reference signal

Satitporn Ketsakoon^{1*} Surasit Prakobkit² Kulsomsap Yenchamchalit¹ and Witoon Chingtuaythong¹

บทความนี้นำเสนอการศึกษาอินเวอร์เตอร์ 5 ระดับชนิดฟลายอิงคาปาซิเตอร์ด้วยเทคนิค SPWM ที่การฉีดสาร์มอนิกลำดับที่ 3 เข้าในสัญญาณอ้างอิง เทคนิคการพิัดบลิวเอ็มที่นำมาเปรียบเทียบ คือ แบบ IPD (In-Phase Disposition) POD (Phase Opposite Disposition) APOD (Alternative Phase Opposite Disposition) ทดสอบบนอินเตอร์ 5 ชนิดฟลายอิงคาปาซิเตอร์ (FCI) ขณะจ่ายโหลด R-L ซึ่งการทดสอบจะดำเนินการจำลองและสร้างแบบจำลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ ผลที่ได้นำมาคำนวณและแสดงค่า THD_v ของแรงดันด้านออกกระหว่างสายที่ใช้เทคนิค SPWM ที่มีการฉีดสาร์มอนิกลำดับที่ 3 เข้าในสัญญาณอ้างอิง (HIPWM)

Abstract

This paper presents the A Study of Five Level Flying-Capacitor Inverter Base on Sinusoidal PWM and Third Harmonic Injected PWM Reference Signal with carrier signal IPD, POD, and APD on 5 Level Flying-Capacitor Inverter (FCI) on a R-L load. All of process are simulate with computer program. The result of simulation has shown value of THD_v line-line output voltage on both SPWM inverter and Third Harmonic Injection modulation inverter with HIPWM carrier signal.

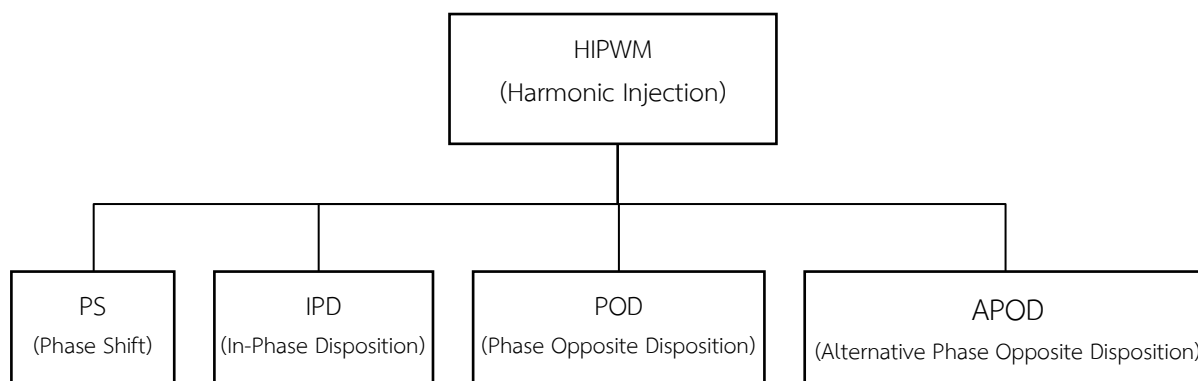
Keywords: SPWM, HIPWM, IPD, POD, APOD, FCI

* Corresponding author e-mail: satitporn123q@gmail.com

บทนำ

อินเวอร์เตอร์หลายระดับ (Multilevel inverter, MLI) มีการศึกษาสมรรถนะด้านการนำมาประยุกต์ใช้กับอุปกรณ์ขับเคลื่อน (AC Drive) กำลังสูงในอุตสาหกรรมเพื่อทำหน้าที่แทนวงจรขับเคลื่อนแบบ 2 ระดับ (Two-level inverter) ด้วยคุณสมบัติที่ดีหลายประการ ทำให้ MLI ที่ได้รับความสนใจในการศึกษามีด้วยกัน 3 ชนิด คือ อินเวอร์เตอร์ไดโอดแคสแคด (DCI) อินเวอร์เตอร์แคสเคดแมสดีเซลส์ (CMI) หรือเอชบริดจ์เซลส์ (HBC) และอินเวอร์เตอร์ฟลายอิงคาปาซิเตอร์ (FCI) ซึ่ง Manasa S. [1] ได้ทำการออกแบบและการจำลองอินเวอร์เตอร์หลายระดับชนิดแคสเคดเอชบริดจ์เซลส์ หรือ CMI เป็นการเปรียบเทียบระหว่างอินเวอร์เตอร์ 5 ระดับ และอินเวอร์เตอร์ชนิดเดียวกันที่ 7 ระดับด้วยการจำลองผลโดยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ %THDv จะแปรผันตามจำนวนระดับของแรงดันทางด้านออก ต่อมา Anil D. Matkar [2] ทำการศึกษาเปรียบเทียบเทคนิค PWM สำหรับอินเวอร์เตอร์หลายระดับชนิดไดโอดแคสแคด หรือ DCI เป็นการจำลองโดยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ เทคนิค PWM ที่นำมาใช้จำลองแบ่งเป็น SPWM (Sinusoidal PWM) และ SVPWM (Space Vector PWM) เปรียบเทียบเทคนิคการควบคุมบนอินเวอร์เตอร์ 5 ระดับชนิดไดโอดแคสแคด และ Neha Vijayrao Kautkar [3] ได้ทำการวิจัยด้านการวิเคราะห์สมรรถนะของอินเวอร์เตอร์หลายระดับชนิดฟลายอิงคาปาซิเตอร์ (FCI) เป็นการจำลองโดยโปรแกรมคอมพิวเตอร์เช่นกัน โดยมุ่งเน้นการเปรียบเทียบเทคนิคการ PWM จำลองบนอินเวอร์เตอร์ 5 ระดับชนิดฟลายอิงคาปาซิเตอร์ แบบ 3 เฟส %THDv ที่ 22.91%

จากงานวิจัยข้างต้นแสดงให้เห็นว่าการศึกษามีเกี่ยวกับอินเวอร์เตอร์หลายระดับกันอย่างต่อเนื่อง และเนื่องด้วยอินเวอร์เตอร์ประเภทดังกล่าวมีจำนวนสวิตช์กำลังจำนวนมากทำให้ความซับซ้อนในการควบคุมมีมากตามไปด้วย เทคนิคการ PWM จึงถูกนำมาประยุกต์ทดสอบร่วมกับอินเวอร์เตอร์หลายระดับและศึกษาวิจัยกันอย่างแพร่หลาย โดย Wanchai Subsingha [4] ได้นำเทคนิค SPWM (Sinusoidal Pulse Width Modulation) แบบ PD (Phase Disposition) POD (Phase Opposite Disposition) และ APOD (Alternative Phase Opposite Disposition) ร่วมกับเทคนิคการฉีดฮาร์โมนิกลำดับที่ 3 (Third Harmonic Injection) มาทำการทดสอบกับอินเวอร์เตอร์หลายระดับชนิดไดโอดแคสแคดจากผลจำลองในการวิจัยพบว่าความเพี้ยนของสัญญาณด้านออกจากเทคนิคการฉีดฮาร์โมนิกลำดับที่ 3 ร่วมในสัญญาณอ้างอิง สัญญาณพาหะแบบ PD ให้ผล THDv ดีที่สุด 12.38% Harin.M.Mohan [5] ทำการศึกษารูปแบบการเปรียบเทียบเทคนิค LS-PWM (Level-Shift PWM) สำหรับอินเวอร์เตอร์หลายระดับที่มีการปรับโครงสร้างแบบโมดูลาร์โดยเป็นการจำลองบนโปรแกรม MATLAB / Simulink จากผลการวิจัยพบว่าเทคนิค PD ดีที่สุด



ภาพที่ 1 โครงสร้างของรูปแบบการมอดูเลตสัญญาณที่ใช้ในบทความนี้ [4]

หลักการพื้นฐาน

1. โครงสร้างฟลายอิงคาปาซิเตอร์อินเวอร์เตอร์

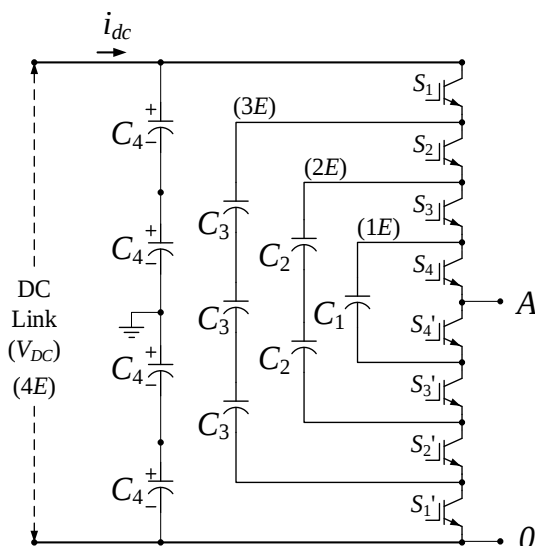
โครงสร้างของอินเวอร์เตอร์หลายระดับชนิดฟลายอิงคาปาซิเตอร์ หรือเรียกว่า คาปาซิเตอร์แคลมป์ แสดงดังภาพที่ 2 ซึ่งจะมีส่วนประกอบหลักด้วยกัน 2 ส่วน คือ ตัวเก็บประจุ และอุปกรณ์สวิตช์กำลัง โดยตัวเก็บประจุนอกสุดเรียกว่า คอมมอนดีซีลิงก์เป็นตัวยกสมพลังงาน ขณะที่ตัวเก็บประจุตัวอื่น ๆ เรียกว่า ตัวเก็บประจุฟลายอิงคัป เป็นตัวสร้างแรงดันระดับต่างกัน โดยแรงดันที่ได้ในแต่ละระดับ เกิดจากผลรวมของแรงดันที่ตกคร่อมที่ตัวเก็บประจุฟลายอิงคัปแต่ละตัว ที่ต่ออนุกรมกันตามสถานะการสวิตช์นั้น ซึ่งแรงดันที่ตกคร่อมตัวเก็บประจุ ฟลายอิงคัปในแต่ละตัว คือ $1E$ โดยอินเวอร์เตอร์ที่ศึกษาในบทความนี้เป็นอินเวอร์เตอร์ประเภท 5 ระดับ ($m = 5$) ซึ่งสมการของวงจรสามารถสรุปได้ดังนี้

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

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

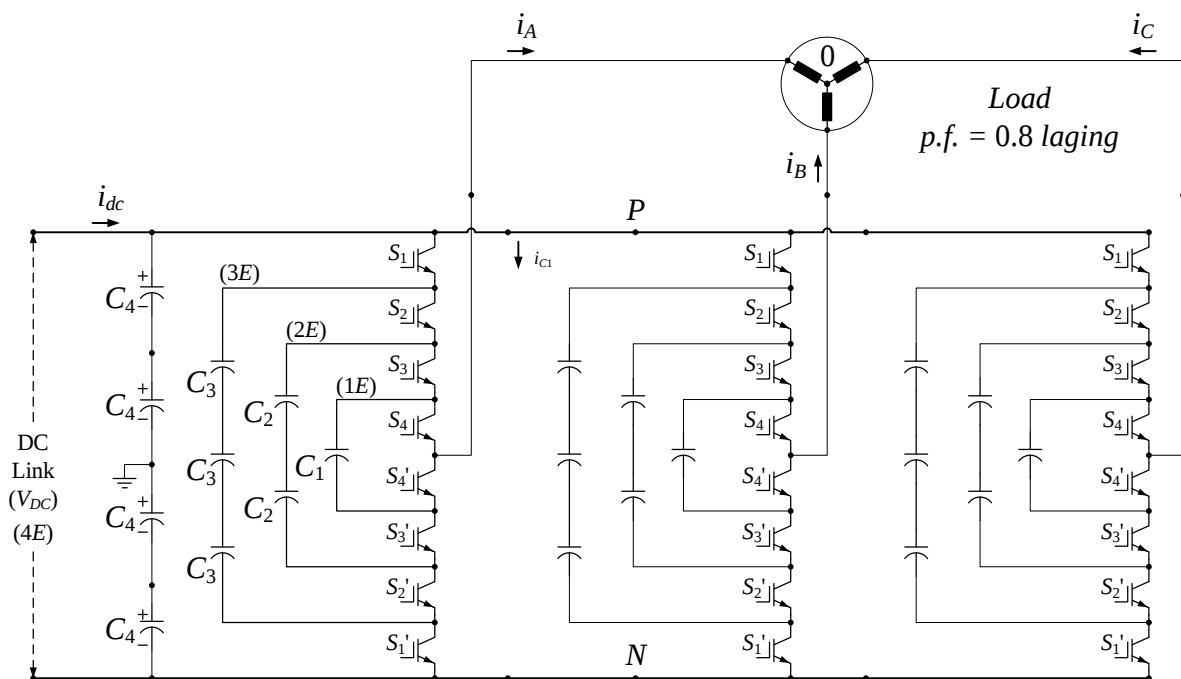
$$m = \frac{SW}{2} + 1 \quad (3)$$

เมื่อ SW คือ จำนวนสวิตช์กำลัง, Each
 C คือ จำนวนตัวเก็บประจุที่ใช้, Each
 m คือ ระดับแรงดัน, Level



ภาพที่ 2 อินเวอร์เตอร์ 5 ระดับ ชนิดฟลายอิงคาปาซิเตอร์ 1 กิ่ง

หากเลือกการขับเคลื่อนสวิตช์กำลังจำนวน 3 ตัวจากทั้งหมด 4 ตัวแรงดันทางด้านออกจะได้เท่ากับ 3 ใน 4 ของแรงดันดีซีลิงก์ หากเลือกการขับเคลื่อนสวิตช์กำลังจำนวน 1 ตัวจากทั้งหมด 4 ตัว แรงดันทางด้านออกจะได้เท่ากับ 1 ใน 4 ของแรงดันดีซีลิงก์ โดยรูปแบบการสวิตช์กำลังสามารถทำได้หลายรูปแบบ แล้วแต่ลักษณะการจัดเรียงสัญญาณแคเรียร์ ซึ่งรูปแบบการสวิตช์กำลังจะทำให้เกิดแรงดันด้านออกที่มีคุณภาพสูงหรือต่ำได้ และยังมีผลต่อการรักษาระดับแรงดันที่ตัวเก็บประจุแบบฟลายอิงคัปอีกด้วย ตารางที่ 1 แสดงรูปแบบการสวิตช์ของอินเวอร์เตอร์



ภาพที่ 3 แบบจำลองทางไฟฟ้าอินเวอร์เตอร์ชนิด FCI

ตารางที่ 1 รูปแบบการสวิตช์กำลังและการสร้างแรงดันอินเวอร์เตอร์

สถานะการสวิตช์				การสร้างแรงดันด้านออก	แรงดันด้านออกอินเวอร์เตอร์ V_{aN}
S1	S2	S3	S4		
1	1	1	1	4E	4E (DC-link)
1	1	1	0	4E-1E	3E
1	1	0	1	4E-2E+1E	
1	0	1	1	4E-3E+2E	
0	1	1	1	3E	
1	1	0	0	4E-2E	2E
1	0	0	1	4E-3E+1E	
0	0	1	1	2E	
0	1	1	0	3E-1E	
1	0	1	0	4E-3E+2E-1E	
0	1	0	1	3E-2E+1E	
1	0	0	0	4E-3E	1E
0	1	0	0	3E-2E	
0	0	1	0	2E-1E	
0	0	0	1	1E	
0	0	0	0	0	0

หมายเหตุ: 1 แทนสวิตช์กำลังทำงาน และ 0 แทนสวิตช์กำลังหยุดทำงาน

2. เทคนิคการพิดับลิวิเอ็ม

เทคนิคพิดับลิวิเอ็มสำหรับอินเวอร์เตอร์หลายระดับนั้นสามารถทำได้ โดยอาศัยพื้นฐานการสร้างสัญญาณพิดับลิวิเอ็มของวงจรขับแบบ 2 ระดับ เพียงแต่จะเพิ่มจำนวนของแคเรียร์ขึ้นตามจำนวนของสวิตช์กำลัง สำหรับในอินเวอร์เตอร์ 5 ระดับ จะใช้สวิตช์กำลังจำนวน 4 ตัว จึงใช้สัญญาณแคเรียร์จำนวน 4 แคเรียร์ ในการมอดดูเลตเพื่อสร้างสัญญาณเกตในรูปที่ 4 ซึ่งเป็นตัวอย่างการสร้างสัญญาณเกตของเทคนิคการพิดับลิวิเอ็มแบบเลื่อนระดับหลายแคเรียร์ที่ใช้ในการศึกษาและเปรียบเทียบสมการที่เกี่ยวข้องกับเทคนิคการพิดับลิวิเอ็ม

จากข้างต้นความถี่การสวิตช์ของอินเวอร์เตอร์ส่งผลโดยตรงต่อการปรากฏของประมาณฮาร์โมนิกส์ในแรงดันด้านออกของอินเวอร์เตอร์โดยจะปรากฏขึ้นรอบๆ m_f

$$m_a = \frac{V_m}{V_{cr}(m-1)} \quad \text{สำหรับ } 0 \leq m_a \leq 1 \quad (4)$$

$$f_{sw,dev} = \frac{f_{cr}}{(m-1)} \quad (5)$$

$$f_{sw,inv} = (m-1) f_{sw,dev} \quad (6)$$

$$m_f = \frac{f_{cr}}{f_m} \quad (7)$$

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 ความถี่การมอดดูเลตชั้นอินเด็กซ์
	m_a	คือ มอดดูเลตชั้นอินเด็กซ์
	m	คือ ระดับแรงดัน, Level

ในการสร้างสัญญาณ PWM แบบฮาร์โมนิกนั้น จะพิจารณาในสัญญาณอ้างอิงซึ่งความถี่ของสัญญาณอ้างอิงต้องเหมือนกับความถี่เอาต์พุตที่ต้องการ และสัญญาณอ้างอิงประกอบไปด้วยองค์ประกอบความถี่พื้นฐานและความถี่ฮาร์โมนิกที่สามตามสมการต่อไปนี้ [4]

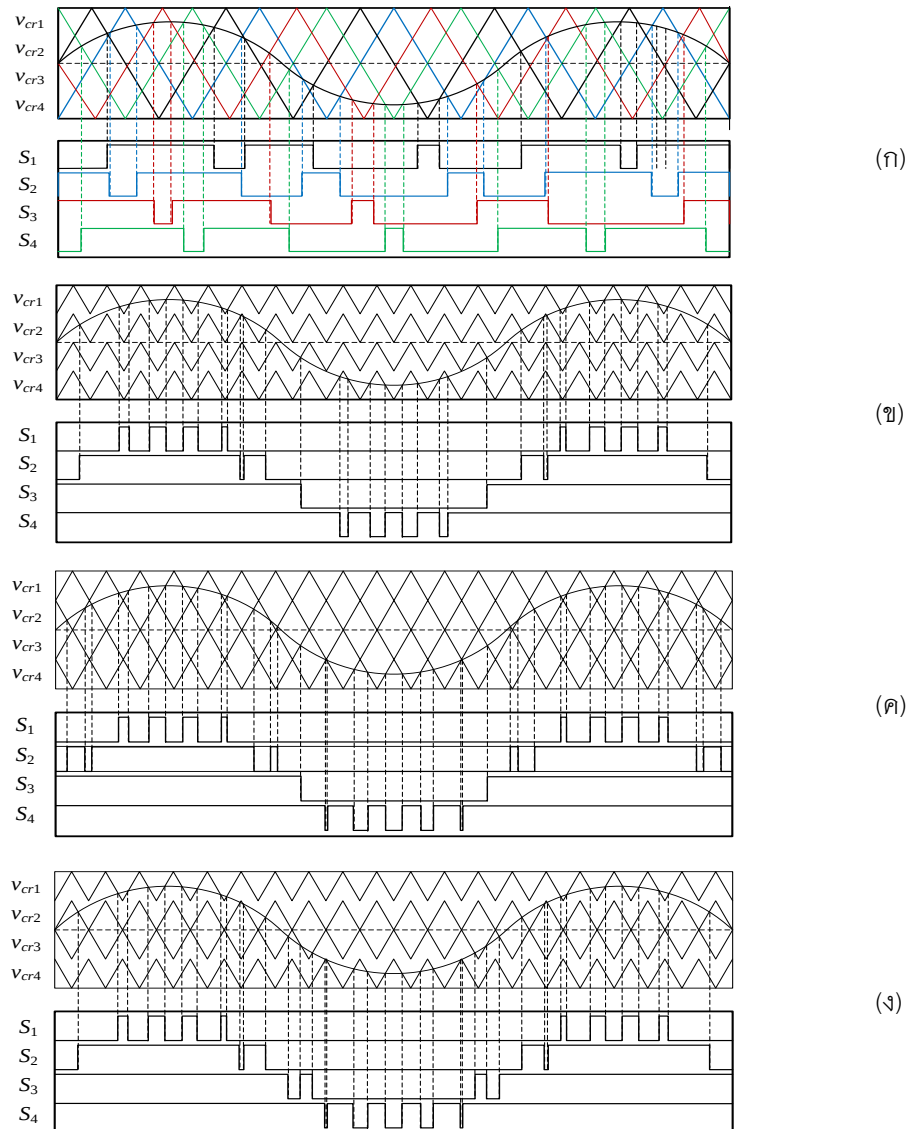
$$v_{mA}(t) = V_m \{ \sin(\omega_0 t + 0^\circ) + k \cdot \sin(3\omega_0 t) \} \quad (8)$$

$$v_{mB}(t) = V_m \{ \sin(\omega_0 t + 120^\circ) + k \cdot \sin(3\omega_0 t) \} \quad (9)$$

$$v_{mC}(t) = V_m \{ \sin(\omega_0 t + 240^\circ) + k \cdot \sin(3\omega_0 t) \} \quad (10)$$

$$v_{mk}(t) = k \cdot \sin(3\omega_0 t) \quad (11)$$

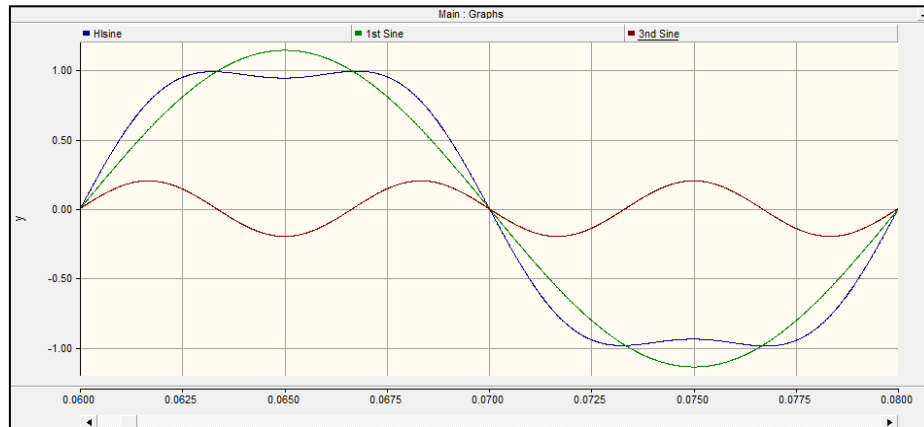
เมื่อ $v_{mA}(t)$ คือ แรงดันสัญญาณอ้างอิง เฟส A, V
 $v_{mB}(t)$ คือ แรงดันสัญญาณอ้างอิง เฟส B, V
 $v_{mC}(t)$ คือ แรงดันสัญญาณอ้างอิง เฟส C, V
 $v_{mk}(t)$ คือ แรงดันสัญญาณฮาร์มอนิกลำดับที่ 3, V
 V_m คือ แรงดันยอดคลื่นของสัญญาณอ้างอิง, V
 ω_0 คือ ความถี่เชิงมุม, rad
 k คือ แรงดันยอดคลื่นของสัญญาณฮาร์มอนิกลำดับที่ 3, V



ภาพที่ 4 ตัวอย่างที่ดับบลิวเอ็มชนิดเลื่อนระดับแบบหลายแคเรียร์สำหรับอินเวอร์เตอร์ 5 ระดับ

- (ก) PWM แบบ PS (Phase-Shift)
- (ข) PWM แบบ IPD (In-Phase Disposition)
- (ค) PWM แบบ APOD (Alternative Phase Opposite Disposition)
- (ง) PWM แบบ POD (Phase Opposite Disposition)

แรงดันขดคลื่นของ k ระหว่าง 0.15 และ 0.2 ซึ่งผลที่ได้ของสัญญาณอ้างอิงที่ได้แสดงดังภาพที่ 5



ภาพที่ 5 ผลจากการฉีดฮาร์โมนิกลำดับที่ 3 เข้าในสัญญาณอ้างอิง

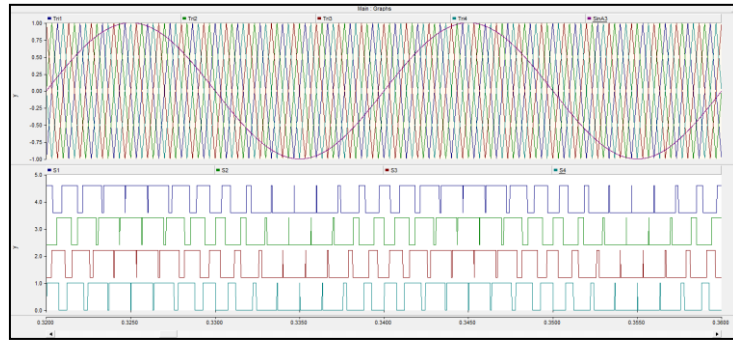
ผลการจำลอง

แบบจำลองทางไฟฟ้าที่ใช้ในการจำลองอินเวอร์เตอร์ฟลายอิงคาปาซิเตอร์ ตามที่แสดงในภาพที่ 3 โครงสร้างรวม 3 เฟส ซึ่งจะเห็นได้ว่าอินเวอร์เตอร์ชนิดดังกล่าวมีจำนวนสวิตช์กำลังจำนวนมากจึงมีความซับซ้อนในการสร้างสัญญาณขับนำสวิตช์กำลัง ในบทความได้นำเทคนิคการพิชิตบลิวเอ็มชนิด SPWM มาทำการทดสอบร่วมกับเทคนิค PWM แบบมีการฉีดฮาร์โมนิกลำดับที่ 3 เข้าไปในสัญญาณอ้างอิงร่วมด้วยเพื่อทำการเปรียบเทียบ ซึ่งได้กำหนดเงื่อนไขการทำงานดังแสดงในตารางที่ 2

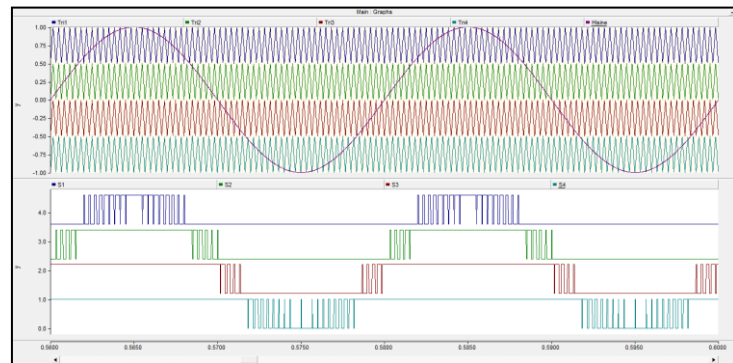
ตารางที่ 2 กำหนดการทำงานของอินเวอร์เตอร์

พารามิเตอร์	ปริมาณ
แรงดันดีซีลิงค์	400 V
ความถี่ของสัญญาณด้านออก	50 Hz
อัตราส่วนความถี่แคเรียร์ต่อสัญญาณมูลฐาน	60
ความถี่สัญญาณแคเรียร์ (LS-PWM, PS-PWM)	3 kHz , 750 Hz
มอดดูเลชันอินเด็กซ์	$0.1 < m_o < 1.0$
ตัวเก็บประจุ	4,700 μ F
โหลดตัวต้านทานต่อเฟส	40 Ω
โหลดตัวเหนี่ยวนำต่อเฟส	0.0955 mH
ตัวประกอบกำลัง	0.8 lagging

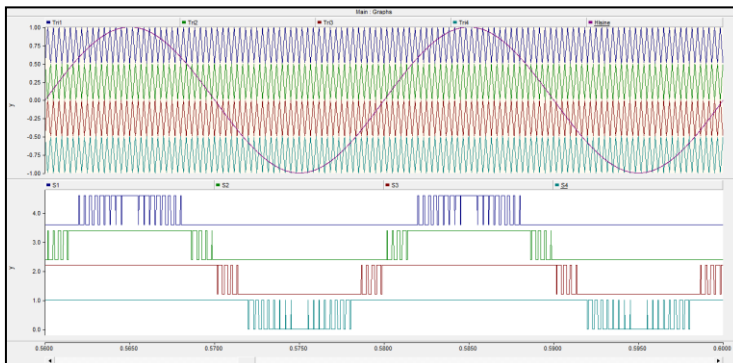
เทคนิคการมอดูเลชันที่ใช้ในบทความนี้มี 3 แบบ คือ IPD (In-Phase Disposition) APOD (Alternative Phase Opposition) และ POD (Phase Opposition) [5] (เทคนิค SPWM ภาพที่ 6 และเทคนิค HIPWM ภาพที่ 7) ผลจำลองและผลการวิเคราะห์แรงดันทางด้านออกเมื่อนำผลจำลองของแรงดันด้านออกที่ได้มาทำการคำนวณโดยพิจารณาฮาร์โมนิกถึงอันดับที่ 100th ภาพที่ 8 (ผลจากเทคนิค SPWM) และภาพที่ 9 (ผลจากเทคนิค HIPWM)



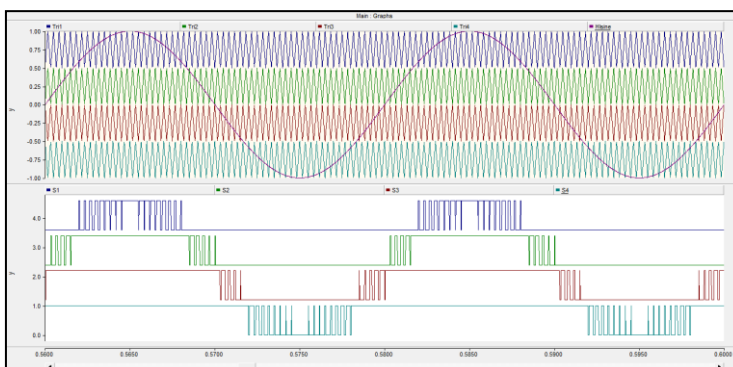
(ก)



(ข)



(ค)



(ง)

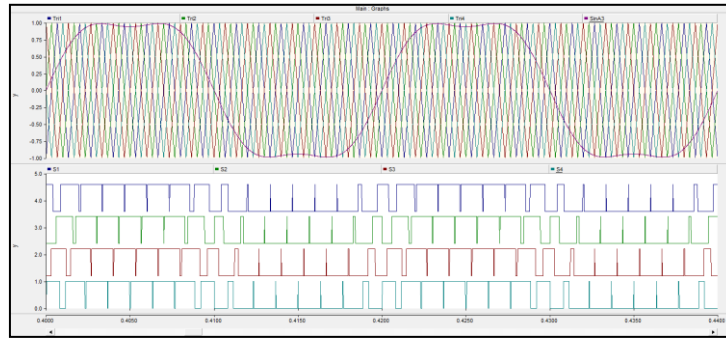
ภาพที่ 6 ผลจำลองการสัญญาณขับเคลื่อนด้วยเทคนิค SPWM ($m_a = 1.0$, $f_m = 50\text{Hz}$, $f_{cr,LS} = 3\text{kHz}$, $f_{cr,PS} = 750\text{Hz}$)

(ก) สัญญาณเกตที่ได้จากเทคนิค SPWM แบบ PS

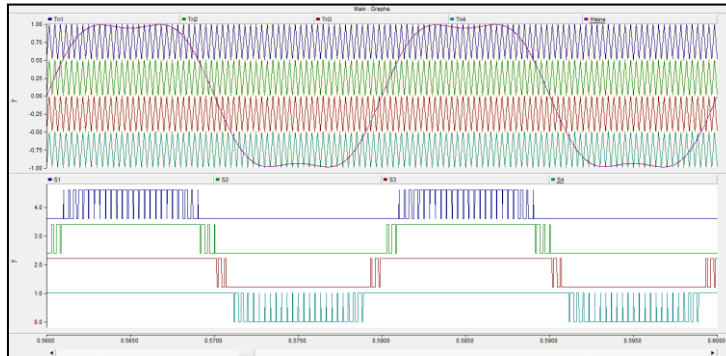
(ข) สัญญาณเกตที่ได้จากเทคนิค SPWM แบบ IPD

(ค) สัญญาณเกตที่ได้จากเทคนิค SPWM แบบ APOD

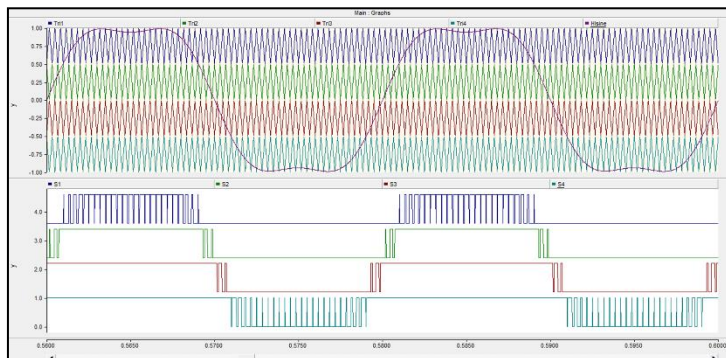
(ง) สัญญาณเกตที่ได้จากเทคนิค SPWM แบบ POD



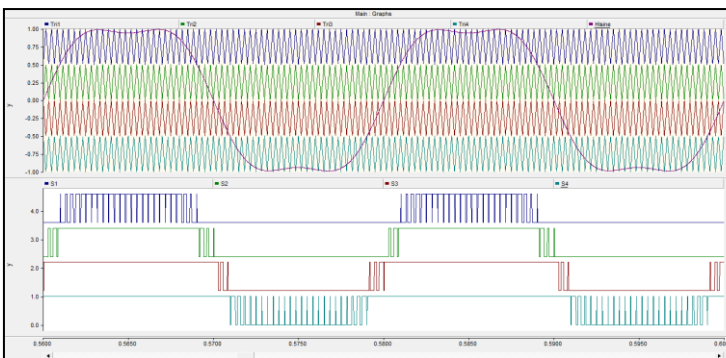
(ก)



(ข)



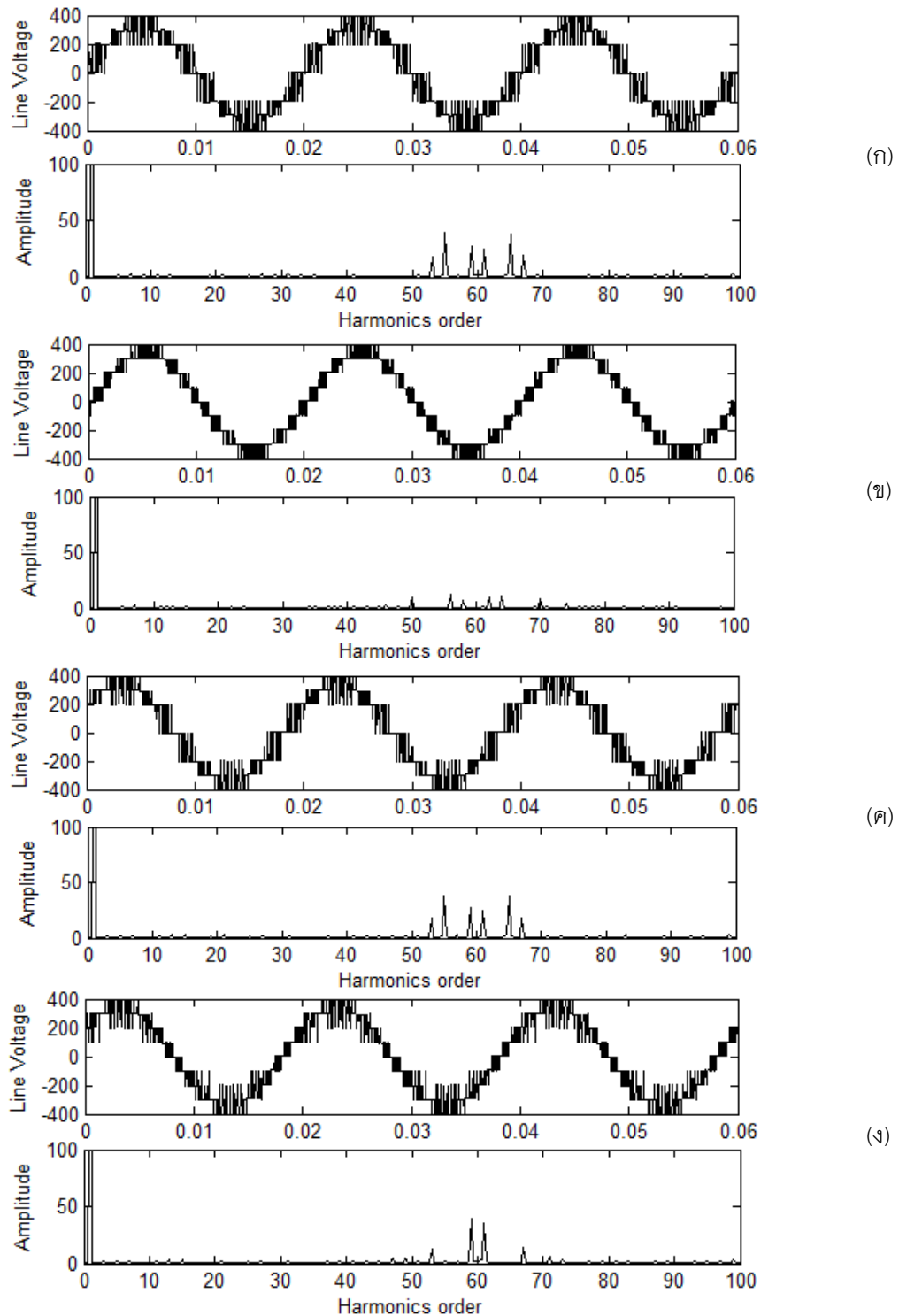
(ค)



(ง)

ภาพที่ 7 ผลจำลองการสัญญาณขับเคลื่อนด้วยเทคนิค SPWM ($m_a = 1.0$, $f_m = 50\text{Hz}$, $f_{cr,LS} = 3\text{kHz}$, $f_{cr,PS} = 750\text{Hz}$)

- (ก) สัญญาณเกิดที่ได้จากเทคนิค HIPWM แบบ PS
- (ข) สัญญาณเกิดที่ได้จากเทคนิค HIPWM แบบ IPD
- (ค) สัญญาณเกิดที่ได้จากเทคนิค HIPWM แบบ APOD
- (ง) สัญญาณเกิดที่ได้จากเทคนิค HIPWM แบบ POD



ภาพที่ 8 ผลการจำลองแรงดันด้านออกระหว่างสายและผลวิเคราะห์สเปกตรัมฮาร์มอนิกด้วยเทคนิค SPWM

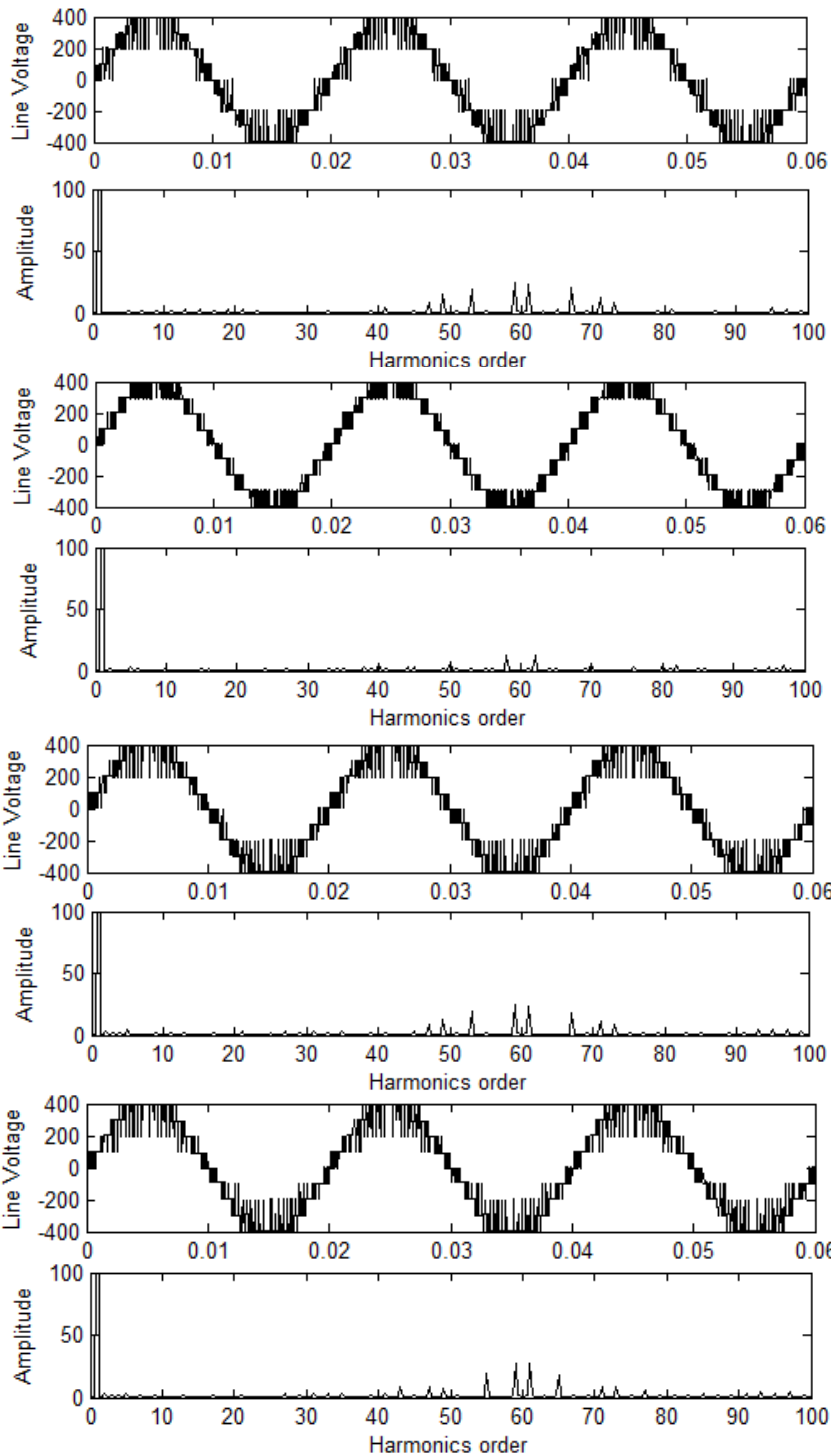
($m_f = 60, m_a = 1.0, f_m = 50\text{Hz}, f_{cr,LS} = 3\text{kHz}, f_{cr,PS} = 750\text{Hz}, f_{sw,dev} = 750\text{Hz}$)

(ก) ผลจำลองจากเทคนิค SPWM แบบ PS

(ข) ผลจำลองจากเทคนิค SPWM แบบ IPD

(ค) ผลจำลองจากเทคนิค SPWM แบบ APOD

(ง) ผลจำลองจากเทคนิค SPWM แบบ POD



(ก)

(ข)

(ค)

(ง)

ภาพที่ 9 ผลการจำลองแรงดันด้านออกกระหว่างสายและผลวิเคราะห์สเปกตรัมฮาร์มอนิกด้วยเทคนิค HIPWM

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

(ก) ผลจำลองจากเทคนิค HIPWM แบบ PS

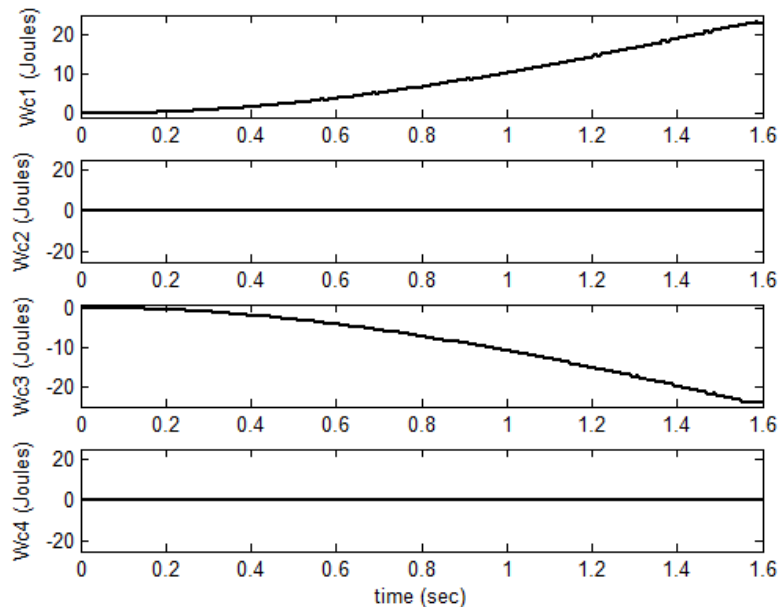
(ก) ผลจำลองจากเทคนิค HIPWM แบบ IPD

(ข) ผลจำลองจากเทคนิค HIPWM แบบ APOD

(ค) ผลจำลองจากเทคนิค HIPWM แบบ POD

การจำลองการรักษาสมดุลพลังงานที่ตัวเก็บประจุ

การจำลองสมรรถนะด้านการรักษาสมดุลด้านพลังงานที่ตัวเก็บประจุ โดยการนำผลของแรงดันและกระแสที่ตัวเก็บประจุแต่ละลูกมาทำการวิเคราะห์ แล้วนำมาพล็อตกราฟ ในภาพที่ 10 แสดงผลการจำลองของระดับพลังงานที่ตัวเก็บประจุของอินเวอร์เตอร์ไม่สามารถรักษาสมดุลพลังงานที่ตัวเก็บประจุได้ (C_1 และ C_3) ถ้าไม่มีการปรับปรุงเทคนิคการสวิตช์ร่วมด้วย เช่น เทคนิคการหมุนวนสัญญาณขับเคลื่อน (Pulse rotation) [6] เป็นต้น



ภาพที่ 10 ระดับพลังงานที่ตัวเก็บประจุแต่ละตัวของอินเวอร์เตอร์ชนิด FCI ขณะทำงานที่ $m_f = 60$, $m_a = 1.0$

วิจารณ์และสรุปผล

ตารางที่ 3 เปรียบเทียบผลจำลอง THDV ของแรงดันด้านออกระหว่างสาย

Type of Modulation technique	HIPWM (Third Harmonic)
PS	19.77%
IPD	14.46%
APOD	18.85%
POD	19.33%

จากตารางที่ 3 ผลจำลองที่ได้จากเทคนิคการมอดูเลตระหว่าง SPWM ที่มีการฉีดฮาร์โมนิกลำดับที่ 3 เข้าในสัญญาณอ้างอิง ซึ่งเทคนิคการ PWM ดังกล่าวจะประกอบด้วย PS, IPD, APOD และ POD มาทำการทดสอบบนอินเวอร์เตอร์ 5 ระดับ ชนิดฟลายอิงคาปาซิเตอร์อินเวอร์เตอร์ในสภาวะจ่ายโหลดทางไฟฟ้าตามที่เสนอในบทความนี้ ซึ่งผลจำลองที่ได้แสดงให้เห็นว่า แบบ IPD นั้นให้ผลของ THDV ของแรงดันด้านออกระหว่างสายต่ำที่สุดที่ 14.46% โดยไม่คำนึงถึงผลด้านการสมดุลพลังงานของตัวเก็บประจุแต่ละตัว



กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏเทพสตรี ที่ให้ทุนสนับสนุนการเข้าร่วมประชุมวิชาการ สถานที่ในการทำงาน สิ่งอำนวยความสะดวกในการศึกษาค้นคว้าข้อมูล และขอขอบพระคุณสาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร สำหรับความร่วมมือนักวิจัย

เอกสารอ้างอิง

1. Manasa S., Balaji Ramakrishna S., Madhura S. and Mohan H. M., "Design and Simulation of Three Phase Five Level and Seven Level Inverter Fed Induction Motor Drive with Two Cascaded H-Bridge Configuration," International Journal of Electrical and Electronics Engineering (IJEET), Vol-1, ISSN (PRINT): 2231 – 5284, 2012.
2. Anil D. Matkar and Prasad M. Joshi, "COMPARATIVE STUDY OF PWM TECHNIQUES FOR DIODECLAMPED MULTILEVEL-INVERTER," International Journal of Industrial Electronics and Electrical Engineering, ISSN: 2347 – 6982, 2015.
3. Neha Vijayrao Kautkar and Dr. R. A. Keswani, "Performance Analysis of Flying Capacitor Multilevel Inverter," International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT), Vol. 5, ISSN: 2278–0181, 2016.
4. Wanchai Subsingha, "A Comparative study of sinusoidal PWM and third harmonic injected PWM reference signal on five level diode clamp inverter," Research Journal of Elsevier Ltd., Energy Procedia 89 (2016), pp.137 – 148, 2016.
5. Harin.M.Mohan, Vanitha. V and M.Jayakumar, "Comparison of PWM Techniques for a three level Modular Multilevel Inverter," Research Journal of Elsevier Ltd., Energy Procedia 117 (2017), pp.666–673, 2017.
6. S. Ketsakoon, S. Polmai, "Comparison Between Phase- and Level-shifted PWM Schemes for Flying Capacitor Multilevel Inverter," The 2007 International Conference on Electrical Engineering Electronics Computer Telecommunications and Information Technology (ECTI-CON2007), 370–373 pp, 2007.

มหาวิทยาลัยพะเยา

ขอมอบเกียรติบัตรเพื่อรับรองว่าผลงานวิจัย

เรื่อง การศึกษาอินเวอร์เตอร์ 5 ระดับชนิดฟลายอิงคาปาซิเตอร์
ด้วยเทคนิค SPWM ที่การบิดฮาร์โมนิกส์ลำดับที่ 3 ในสัญญาณอ้างอิง
โดย สติത്യพร เกตุสกุล

ได้ผ่านการพิจารณาจากคณะกรรมการผู้ทรงคุณวุฒิ และได้นำเสนอผลงานประเภท Oral Presentation
กลุ่มการวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (ด้านวิศวกรรม 1) วันพฤหัสบดีที่ 25 มกราคม 2561
ในการประชุมทางวิชาการระดับชาติพะเยาวิจัย ครั้งที่ 7 ระหว่างวันที่ 25 - 26 มกราคม พ.ศ. 2561
ณ หอประชุมพญางำเมือง มหาวิทยาลัยพะเยา จังหวัดพะเยา

วิบูล รัตนพร

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิบูลย์ วัฒนาร)

รองอธิการบดีฝ่ายวิจัยและประกันคุณภาพ มหาวิทยาลัยพะเยา



มหาวิทยาลัยพะเยา

ขอมอบเกียรติบัตรเพื่อรับรองว่าผลงานวิจัย

เรื่อง การศึกษาอินเวอร์เตอร์ 5 ระดับชนิดฟลายอิงคาปาซิเตอร์
ด้วยเทคนิค SPWM ที่การฉีดฮาร์โมนิกส์ลำดับที่ 3 ในสัญญาณอ้างอิง
โดย สติത്യพร เกตุสกุล

ได้รับรางวัลดีเด่น การนำเสนอผลงานประเภท Oral Presentation

กลุ่มการวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (ด้านวิศวกรรม 1) วันพฤหัสบดีที่ 25 มกราคม 2561
ในการประชุมทางวิชาการระดับชาติพะเยาวิจัย ครั้งที่ 7 ระหว่างวันที่ 25 - 26 มกราคม พ.ศ. 2561
ณ หอประชุมพญางำเมือง มหาวิทยาลัยพะเยา จังหวัดพะเยา

(ศาสตราจารย์พิเศษ ดร.มนทล สงวนเสริมศรี)

อธิการบดีมหาวิทยาลัยพะเยา