

การศึกษาเปรียบเทียบสมรรถนะเทคนิค SPWM และการป้อนฮาร์มอนิกลำดับที่ 3 ในสัญญาณอ้างอิง สำหรับอินเวอร์เตอร์ 5 ระดับ ชนิดฟลายอิงคาปาซิเตอร์

สถิตย์พร เกตุสกุล¹ และสุรสิทธิ์ ประกอบกิจ²

¹สาขาเทคโนโลยีอุตสาหกรรม คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏเทพสตรี 321 ถนนนารายณ์มหาราช ตำบลทะเลชุบศร อำเภอเมือง จังหวัดลพบุรี 15000

²สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร 1381 ถนนประชาราษฎร์ 1 แขวงวงศ์สว่าง เขตบางซื่อ กรุงเทพมหานคร 10800

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอการเปรียบเทียบสมรรถนะของไซน์พีดับลิวเอ็ม (SPWM) และการป้อนฮาร์มอนิกลำดับที่ 3 เข้าในสัญญาณอ้างอิง เทคนิคการพีดับลิวเอ็มที่นำมาเปรียบเทียบ คือ แบบ IPD (In-Phase Disposition) POD (Phase Opposite Disposition) APOD (Alternative Phase Opposite Disposition) ทดสอบบนอินเวอร์เตอร์ 5 ระดับ ชนิดฟลายอิงคาปาซิเตอร์ขณะจ่ายโหลด R-L ซึ่งการทดสอบจะดำเนินการจำลองและสร้างแบบจำลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ ผลที่ได้นำมาคำนวณและแสดงค่า THD_v (Total harmonic distortion) ของแรงดันด้านออกระหว่างสายโดยเปรียบเทียบร่วมกับเทคนิค HIPWM (การป้อนฮาร์มอนิกลำดับที่ 3 เข้าในสัญญาณอ้างอิง) ซึ่งผลที่ได้จากเทคนิค HIPWM ให้ผลสมรรถนะด้านออก THD_v ดีกว่าเทคนิค SPWM เฉลี่ยลดลง 4.1%

คำสำคัญ: ไซน์พีดับลิวเอ็ม, ฮาร์มอนิกลำดับที่ 3, อินเวอร์เตอร์ 5 ระดับ, ฟลายอิงคาปาซิเตอร์อินเวอร์เตอร์

A Comparative Study of Sinusoidal PWM and Third Harmonic Injected PWM Reference Signal on Five Level Flying-Capacitor Inverter

Satitporn Ketsakoon¹ and Surasit Prakrobkit²

¹Department of Industrial Technology, Faculty of Industrial Technology, Thepsatri Rajabhat University, Lopburi 15000

²Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology PhraNakhon, Bangkok 10800

Abstract

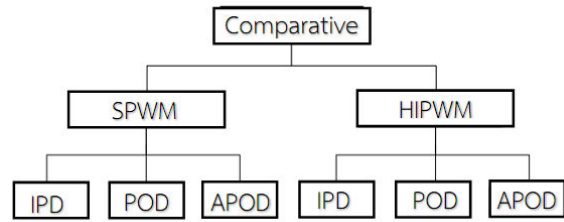
This paper present the comparative modulation of Sinusoidal PWM and Third Harmonic Injected PWM Reference signal with carrier signal IPD, POD, and APOD on 5 Level Flying-Capacitor Inverter (FCI) on a R-L load. All of processes are simulated with computer program. The result of simulation has shown value of THD_v (Total harmonic distortion) line-line output voltage on both SPWM inverter and Third Harmonic Injection modulation inverter with HIPWM (Harmonic Injection Pulse Width Modulation) carrier signal. The THD_v results from the HIPWM technique were better than the SPWM technique, which decreased by an average of 4.1%.

Keywords: Sinusoidal PWM, Third Harmonic, 5-level inverter, Flying-capacitor inverter

1. บทนำ

อินเวอร์เตอร์หลายระดับ (Multilevel inverter, MLI) มีการศึกษาสมรรถนะด้านการนำมาประยุกต์ใช้กับอุปกรณ์ขับเคลื่อนขับเคลื่อน (AC Drive) กำลังสูงในอุตสาหกรรมด้วยคุณสมบัติที่ดีหลายประการ ทำให้ MLI ที่ได้รับความสนใจในการศึกษาวิจัยมีด้วยกัน 3 ชนิด คือ อินเวอร์เตอร์ไดโอดแคดป์ (DCI) อินเวอร์เตอร์คาสเคดมีลติเซลล์ (CMI) และอินเวอร์เตอร์ฟลายอิงคาปาซิเตอร์ (FCI) ซึ่ง Manasa S. [1] ได้ทำการออกแบบและการจำลองอินเวอร์เตอร์หลายระดับชนิดคาสเคดเอชบริดจ์เซลล์ หรือ CMI ต่อมา Anil D. Matkar [2] ทำการศึกษาเปรียบเทียบเทคนิค PWM สำหรับอินเวอร์เตอร์หลายระดับชนิดไดโอดแคดป์ หรือ DCI และ Neha Vijayrao Kautkar [3] ได้ทำการวิจัยด้านการวิเคราะห์สมรรถนะของอินเวอร์เตอร์หลายระดับชนิดฟลายอิงคาปาซิเตอร์ (FCI)

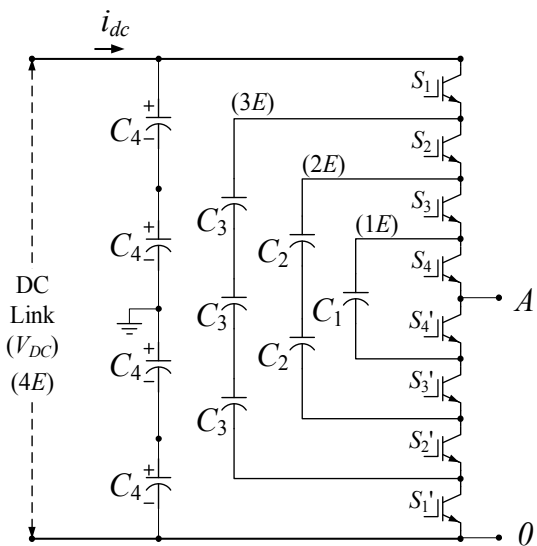
จากงานวิจัยข้างต้นแสดงให้เห็นว่าการศึกษาวิจัยเกี่ยวกับ MLI กันอย่างต่อเนื่อง และเนื่องด้วยอินเวอร์เตอร์ประเภทดังกล่าวมีจำนวนสวิตช์กำลังจำนวนมากทำให้ความซับซ้อนในการควบคุมมีมากตามไปด้วย เทคนิคการ PWM จึงถูกนำมาประยุกต์ทดสอบร่วมกับอินเวอร์เตอร์หลายระดับ และศึกษาวิจัยกันอย่างแพร่หลาย โดย Wanchai Subsingha [4] ได้นำเทคนิค SPWM (Sinusoidal Pulse Width Modulation) แบบ PD (Phase Disposition) POD (Phase Opposite Disposition) และ APOD (Alternative Phase Opposite Disposition) ร่วมกับเทคนิคการป้อนฮาร์โมนิกลำดับที่ 3 (Third Harmonic Injection) มาทำการทดสอบกับอินเวอร์เตอร์หลายระดับชนิดไดโอดแคดป์จากผลจำลองในการวิจัยพบว่าความเพี้ยนของสัญญาณด้านออกจากเทคนิคการป้อนฮาร์โมนิกลำดับที่ 3 ร่วมในสัญญาณอ้างอิง สัญญาณพาหะแบบ PD ให้ผล THD_v ดีที่สุด 12.38% Harin.M.Mohan [5] ทำการศึกษาการเปรียบเทียบเทคนิค LS-PWM (Level-Shift PWM) สำหรับอินเวอร์เตอร์หลายระดับที่มีการปรับโครงสร้างแบบโมดูลาร์โดยเป็นการจำลองบนโปรแกรม MATLAB/Simulink จากผลการวิจัยพบว่าเทคนิค PD ดีที่สุด



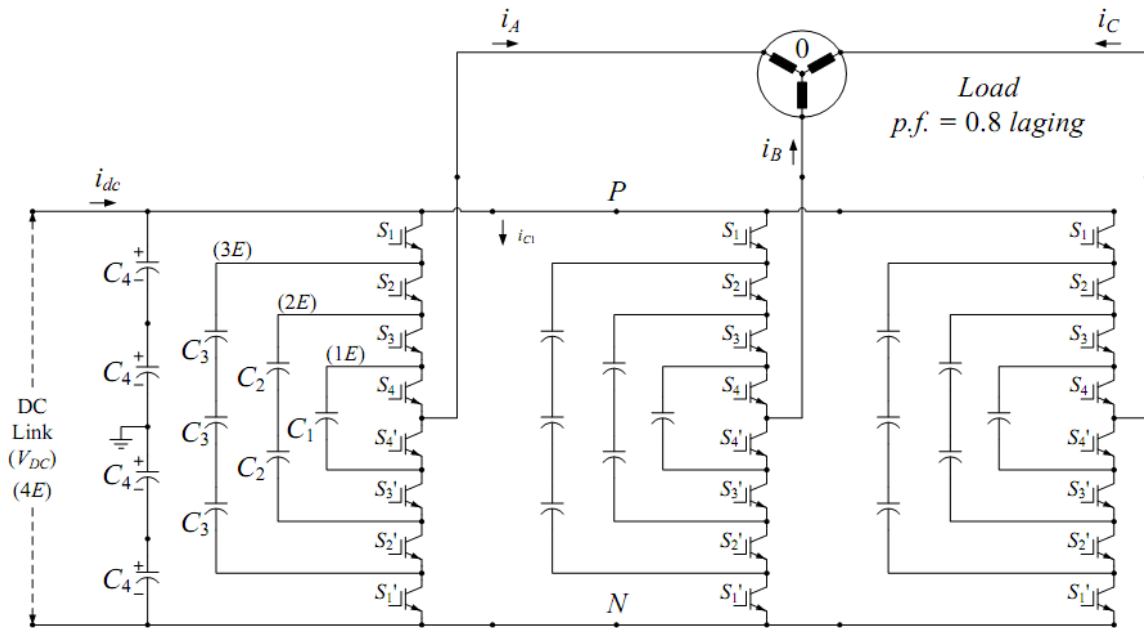
รูปที่ 1 โครงสร้างของรูปแบบการมอดูเลตสัญญาณที่นำเสนอ

2. โครงสร้างอินเวอร์เตอร์

โครงสร้างของอินเวอร์เตอร์หลายระดับชนิดฟลายอิงคาปาซิเตอร์ หรือเรียกว่า คาปาซิเตอร์แคดป์ แสดงดังรูปที่ 2 ซึ่งจะมีส่วนประกอบหลักด้วยกัน 2 ส่วน คือ ตัวเก็บประจุและอุปกรณ์สวิตช์กำลัง โดยตัวเก็บประจุขนาดสูงสุดเรียกว่าคอมมอนดีซี-ลิงก์เป็นตัวสะสมพลังงาน ขณะที่ตัวเก็บประจุตัวอื่นๆ เรียกว่า ตัวเก็บประจุฟลายอิงค์ เป็นตัวสร้างแรงดันระดับต่างกัน โดยแรงดันที่ได้ในแต่ละระดับ เกิดจากผลรวมของแรงดันที่ตกคร่อมที่ตัวเก็บประจุฟลายอิงค์แต่ละตัว ที่ต่ออนุกรมกันตามสถานะการสวิตช์ชิ่ง ซึ่งแรงดันที่ตกคร่อมตัวเก็บประจุฟลายอิงค์ในแต่ละตัว คือ $1E$ โดยอินเวอร์เตอร์ที่ศึกษาในบทความนี้เป็นอินเวอร์เตอร์ประเภท 5 ระดับ ($m = 5$) ซึ่งสมการของวงจรสามารถสรุปได้ดังนี้



รูปที่ 2 อินเวอร์เตอร์ 5 ระดับ ชนิดฟลายอิงคาปาซิเตอร์ 1 กิ่ง



รูปที่ 3 แบบจำลองทางไฟฟ้าฟลายอิงคาปาซิเตอร์อินเวอร์เตอร์ 3 เฟส

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

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

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

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

หากเลือกการขับเคลื่อนสวิตช์กำลังจำนวน 3 ตัวจากทั้งหมด 4 ตัวแรงดันทางด้านออกจะได้เท่ากับ 3 ใน 4 ของแรงดันดีซี-ลิงค์ หากเลือกการขับเคลื่อนสวิตช์กำลังจำนวน 1 ตัวจากทั้งหมด 4 ตัว แรงดันทางด้านออกจะได้เท่ากับ 1 ใน 4 ของแรงดันดีซี-ลิงค์ โดยรูปแบบการสวิตช์กำลังสามารถทำได้หลายรูปแบบ แล้วแต่ลักษณะการจัดเรียงสัญญาณแคเรียร์ ซึ่งรูปแบบการสวิตช์กำลังจะทำให้เกิดแรงดันด้านออกที่มีคุณภาพสูงหรือต่ำได้ และยังมีผลต่อการรักษาระดับแรงดันที่ตัวเก็บประจุแบบฟลายอิงอีกด้วย ตารางที่ 1 แสดงรูปแบบการสวิตช์ของอินเวอร์เตอร์

ตารางที่ 1 รูปแบบการสวิตช์กำลังและการสร้างแรงดัน

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	1E
0	1	0	1	3E-2E+1E	
1	0	0	0	4E-3E	
0	1	0	0	3E-2E	
0	0	1	0	2E-1E	0
0	0	0	1	1E	
0	0	0	0	0	

หมายเหตุ : 1 แทนสวิตช์ “On” และ 0 แทนสวิตช์ “Off”

3. เทคนิคของ SPWM

เทคนิคพีดับลิแวมสำหรับอินเวอร์เตอร์หลายระดับนั้นสามารถทำได้ โดยอาศัยพื้นฐานการสร้างสัญญาณพีดับลิแวมของวงจรขับแบบ 2 ระดับ เพียงแต่จะเพิ่มจำนวนของแคเรียร์ขึ้นตามจำนวนของสวิทช์กำลัง สำหรับในอินเวอร์เตอร์ 5 ระดับ จะใช้สวิทช์กำลังจำนวน 4 ตัว จึงใช้สัญญาณแคเรียร์จำนวน 4 แคเรียร์ ในการมอดูเลตเพื่อสร้างสัญญาณเกตในรูปที่ 5 ซึ่งเป็นตัวอย่างการสร้างสัญญาณเกตของเทคนิคการพีดับลิแวมแบบเลื่อนระดับหลายแคเรียร์ที่ใช้ในการศึกษาและเปรียบเทียบสมการที่เกี่ยวข้องกับเทคนิคการพีดับลิแวม

จากข้างต้นความถี่การสวิทช์ของอินเวอร์เตอร์ส่งผลโดยตรงต่อการปรากฏของประมาณฮาร์โมนิกส์ในแรงดันด้านออกของอินเวอร์เตอร์โดยจะปรากฏขึ้นรอบๆ m_f

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

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

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

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

- เมื่อ f_m คือ ความถี่ของสัญญาณมูลฐาน (Hz)
 f_{cr} คือ ความถี่ของสัญญาณพาหะ (Hz)
 $f_{sw,dev}$ คือ ความถี่ของอุปกรณ์สวิทช์กำลัง (Hz)
 $f_{sw,inv}$ คือ ความถี่การสวิทช์ของอินเวอร์เตอร์ (Hz)
 m_f คือ ความถี่การมอดูเลตขั้นอินเด็กซ์
 m_a คือ มอดูเลตขั้นอินเด็กซ์
 m คือ ระดับแรงดัน (Level)

ในการสร้างสัญญาณ PWM แบบฮาร์โมนิกนั้น จะพิจารณาในสัญญาณอ้างอิงซึ่งความถี่ของสัญญาณอ้างอิงต้องเหมือนกับความถี่เอาต์พุตที่ต้องการ และสัญญาณ

อ้างอิงประกอบไปด้วยองค์ประกอบความถี่พื้นฐานและความถี่ฮาร์โมนิกที่สามตามสมการต่อไปนี้ [4]

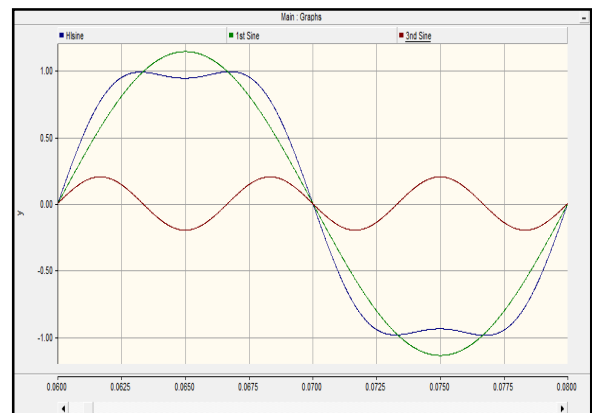
$$v_{mA}(t) = V_m \{ \sin(\omega_0 t + 0^\circ) + k \cdot \sin(3\omega_0 t) \} \quad (8)$$

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

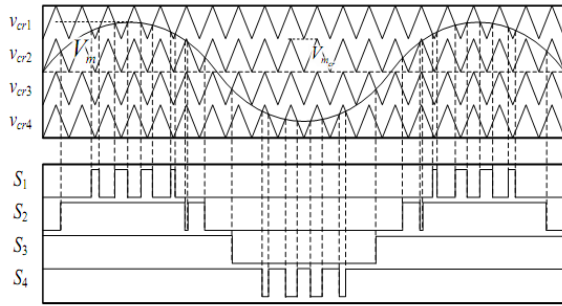
$$v_{mC}(t) = V_m \{ \sin(\omega_0 t + 240^\circ) + k \cdot \sin(3\omega_0 t) \} \quad (10)$$

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

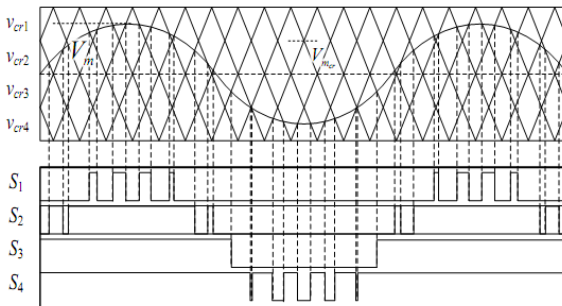
- เมื่อ $v_{mA}(t)$ คือ แรงดันสัญญาณอ้างอิง เฟส A (V)
 $v_{mB}(t)$ คือ แรงดันสัญญาณอ้างอิง เฟส B (V)
 $v_{mC}(t)$ คือ แรงดันสัญญาณอ้างอิง เฟส C (V)
 $v_{mk}(t)$ คือ แรงดันสัญญาณฮาร์โมนิกลำดับที่ 3 (V)
 V_m คือ แรงดันยอดคลื่นของสัญญาณอ้างอิง (V)
 ω_0 คือ ความถี่เชิงมุม (rad/s)
 k คือ ค่ายอดคลื่นของฮาร์โมนิกลำดับที่ 3 (V)



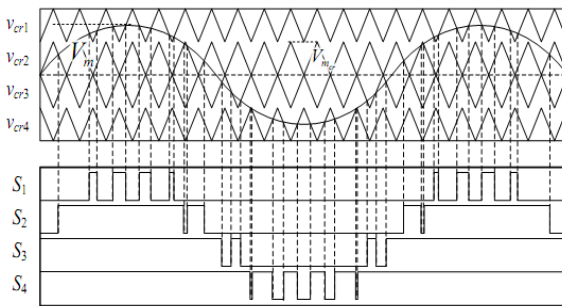
รูปที่ 4 การป้อนฮาร์โมนิกลำดับที่ 3 เข้าในสัญญาณอ้างอิง



(ก) PWM แบบ IPD



(ข) PWM แบบ APOD



(ค) PWM แบบ POD

รูปที่ 5 ตัวอย่างเทคนิคการพิตดับลิแวมชนิด SPWM

4. การจำลองและผลการจำลอง

แบบจำลองทางไฟฟ้าที่ใช้ในการจำลองอินเวอร์เตอร์ฟลายอิงคาปาซิเตอร์ ตามที่แสดงในรูปที่ 6 โครงสร้างรวม 3 เฟส ซึ่งจะเห็นได้ว่าอินเวอร์เตอร์ชนิดดังกล่าวมีจำนวนสวิตช์กำลังจำนวนมากจึงมีความซับซ้อนในการสร้างสัญญาณขับนำสวิตช์กำลัง ในบทความได้นำเทคนิคการพิตดับลิแวมชนิด SPWM มาทำการทดสอบร่วมกับเทคนิค PWM แบบมีการป้อนฮาร์มอนิกลำดับที่ 3 เข้าไปในสัญญาณอ้างอิงร่วมด้วยเพื่อทำการเปรียบเทียบ ซึ่งได้กำหนดเงื่อนไขการทำงานดังแสดงในตารางที่ 2 (เป็นพารามิเตอร์เดียวกันกับบทความก่อนหน้า [6])

4.1 ผลจำลองการสร้างสัญญาณขับเกต

รูปแบบสัญญาณแคเรียร์ที่ใช้เปรียบเทียบกับบทความนี้มี 3 แบบ คือ IPD (In-Phase Disposition) APOD (Alternative Phase Opposition) และ POD (Phase Opposition) ซึ่งในรูปที่ 7 เป็นการมอดูเลตสัญญาณด้วยเทคนิค SPWM แบบปกติและรูปที่ 8 เป็นการมอดูเลตสัญญาณด้วยเทคนิค HIPWM (เทคนิคที่บทความนำเสนอ) พบว่าความถี่เฉลี่ยการสวิตช์ของ S1 และ S4 สูงกว่าเทคนิค SPWM

ตารางที่ 2 กำหนดการทำงานของอินเวอร์เตอร์

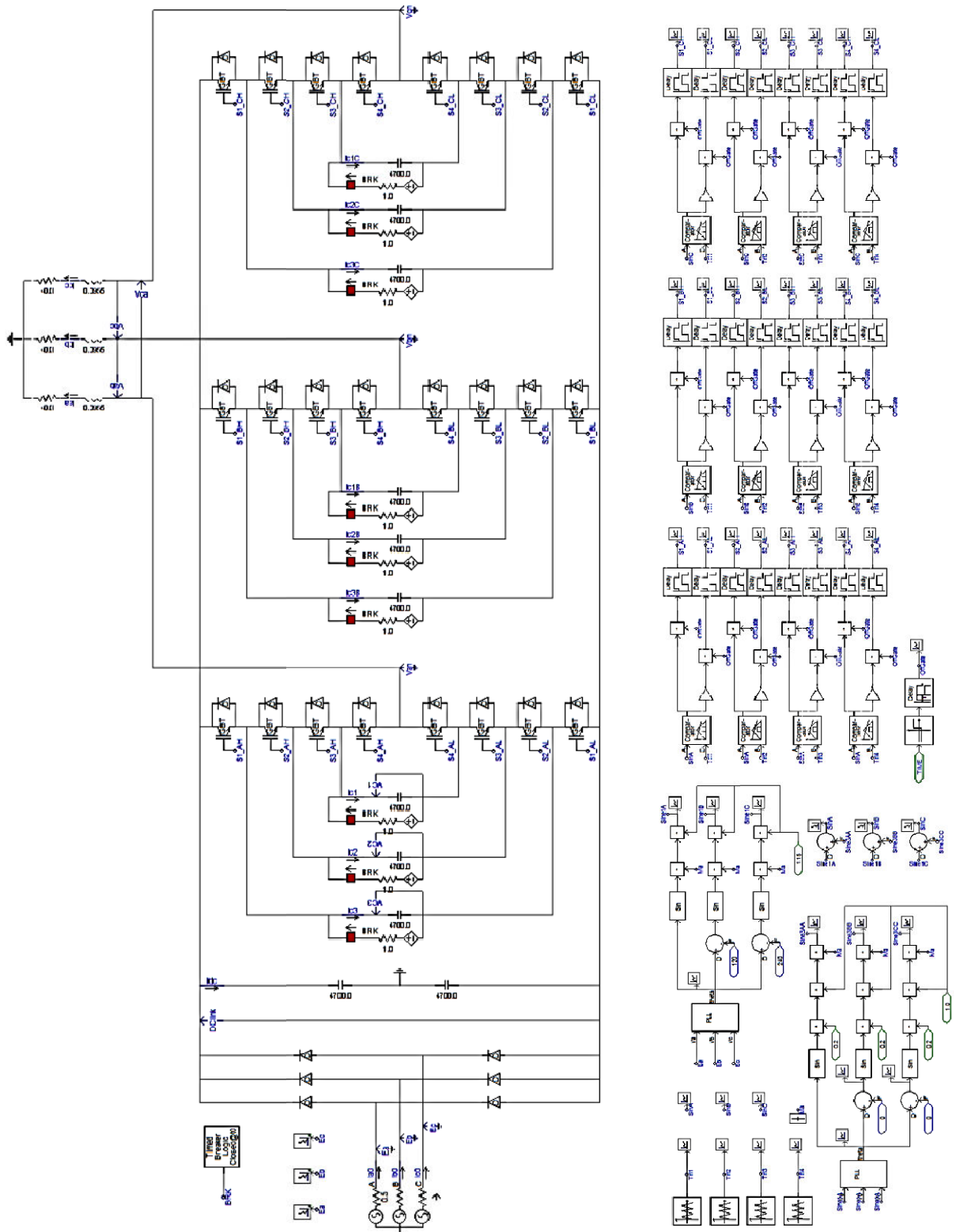
พารามิเตอร์	ปริมาณ
แรงดันดีซี-ลิงค์	400 V
ความถี่ของสัญญาณด้านออก	50 Hz
อัตราส่วนความถี่	60
ความถี่สัญญาณแคเรียร์ (f_{cr} / f_m)	3 kHz
มอดูเลตชันอินเด็กซ์	$0.1 < m_o < 1.0$
ตัวเก็บประจุ	4,700 μ F
โหลดตัวต้านทานต่อเฟส	40 Ω
โหลดตัวเหนี่ยวนำต่อเฟส	0.0955 mH
ตัวประกอบกำลัง	0.8 lagging

4.2 ผลจำลองและผลการวิเคราะห์แรงดันทางด้านออก

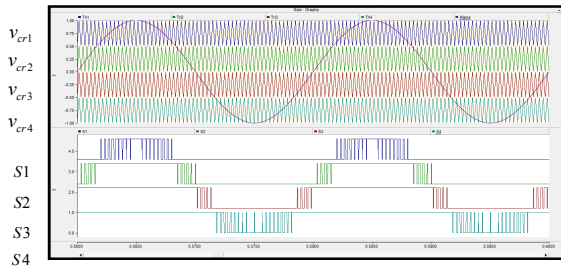
ผลจำลองแรงดันด้านออกที่ได้มาทำการคำนวณพิจารณาฮาร์มอนิกถึงอันดับที่ 100th รูปที่ 9 ผลจากเทคนิค SPWM และรูปที่ 10 ผลจากเทคนิค HIPWM นำมาคำนวณด้วยสมการ

$$THD_v = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^N V_{h,rms}^2}}{V_{1,rms}} \times 100 \quad (12)$$

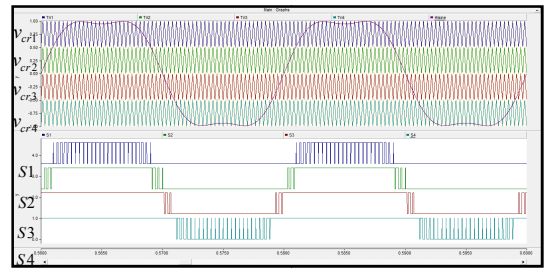
เมื่อ $V_{h,rms}$ คือ แรงดันยอดคลื่นฮาร์มอนิกใดๆ



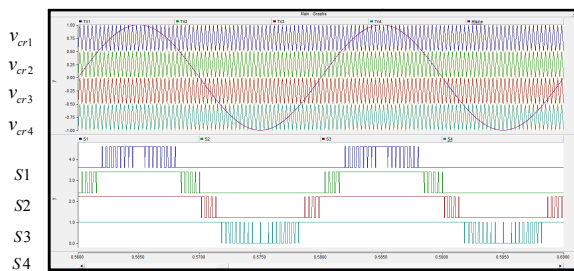
รูปที่ 6 แบบจำลองทางไฟฟ้าอินเวอร์เตอร์ชนิดฟลายอิงคาปาซิเตอร์อินเวอร์เตอร์



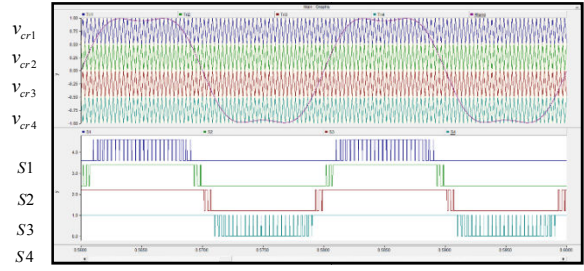
(ก) สัญญาณเกตที่ได้จากเทคนิค SPWM แบบ IPD



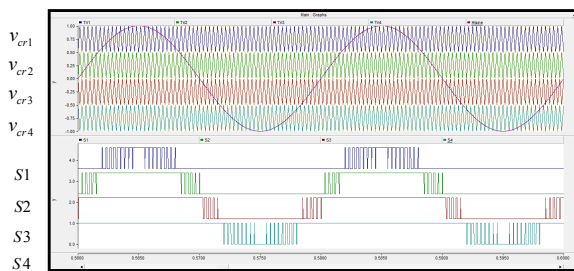
(ก) สัญญาณเกตที่ได้จากเทคนิค HIPWM แบบ IPD



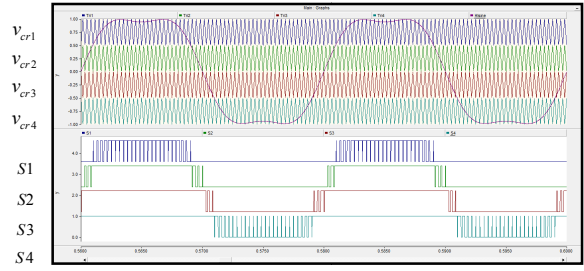
(ข) สัญญาณเกตที่ได้จากเทคนิค SPWM แบบ APOD



(ข) สัญญาณเกตที่ได้จากเทคนิค HIPWM แบบ APOD



(ค) สัญญาณเกตที่ได้จากเทคนิค SPWM แบบ POD



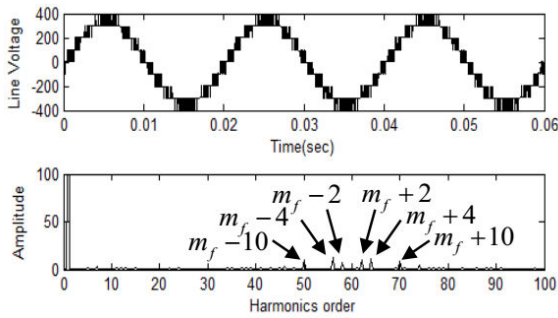
(ค) สัญญาณเกตที่ได้จากเทคนิค HIPWM แบบ POD

รูปที่ 7 ผลจำลองการสร้างสัญญาณขับเคลื่อนด้วยเทคนิค

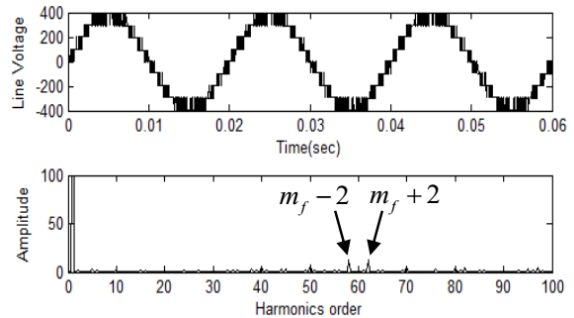
SPWM ($m_a = 1.0$, $f_m = 50\text{Hz}$, $f_{cr} = 3\text{kHz}$)

รูปที่ 8 ผลจำลองการสร้างสัญญาณขับเคลื่อนด้วยเทคนิค

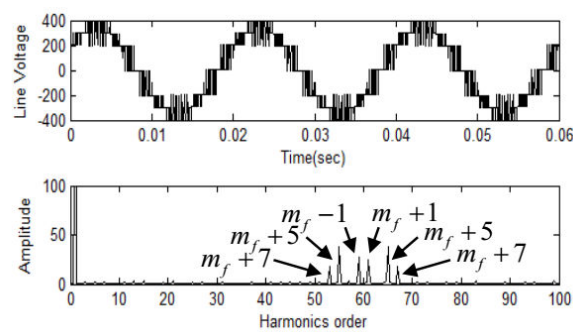
HIPWM ($m_a = 1.0$, $f_m = 50\text{Hz}$, $f_{cr} = 3\text{kHz}$)



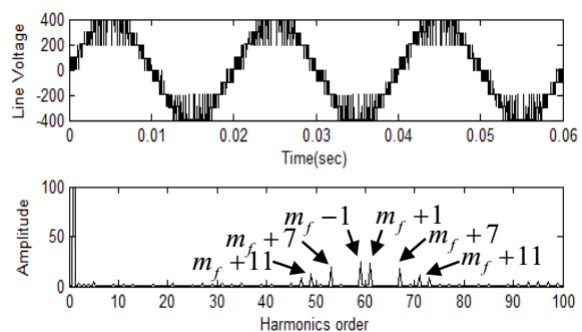
(ก) ผลจำลองจากเทคนิค SPWM แบบ IPD



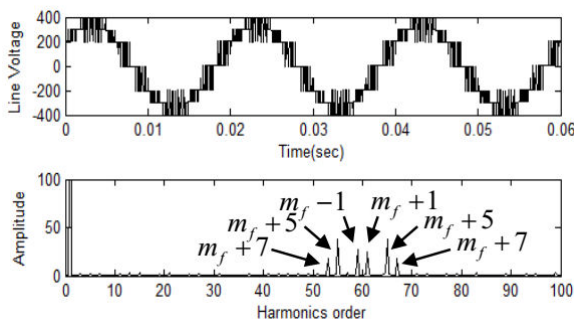
(ก) ผลจำลองจากเทคนิค HIPWM แบบ IPD



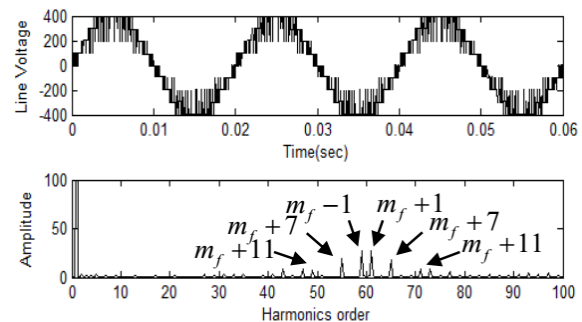
(ข) ผลจำลองจากเทคนิค SPWM แบบ APOD



(ข) ผลจำลองจากเทคนิค HIPWM แบบ APOD



(ค) ผลจำลองจากเทคนิค SPWM แบบ POD



(ค) ผลจำลองจากเทคนิค HIPWM แบบ POD

รูปที่ 9 ผลการจำลองแรงดันด้านออกระหว่างสายและผลวิเคราะห์สเปกตรัมฮาร์มอนิกด้วยเทคนิค SPWM แบบปกติ

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

รูปที่ 10 ผลการจำลองแรงดันด้านออกระหว่างสายและผลวิเคราะห์สเปกตรัมฮาร์มอนิกด้วยเทคนิค HIPWM แบบปกติ

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

5. สรุปผล

จากตารางที่ 3 การเปรียบเทียบผลที่ได้จากการนำเทคนิคการมอดูเลตระหว่าง SPWM และ HIPWM (ฉีดฮาร์โมนิกลำดับที่ 3 เข้าในสัญญาณอ้างอิง) ซึ่งเทคนิคการ PWM ดังกล่าวจะประกอบด้วย IPD, APOD และ POD มาทำการทดสอบบนอินเวอร์เตอร์ 5 ระดับ ชนิดฟลายอิงคาปาซิเตอร์ในสภาวะจ่ายโหลดทางไฟฟ้าตามที่เสนอในบทความนี้ ซึ่งผลจำลองที่ได้แสดงให้เห็นว่าเทคนิค HIPWM ซึ่งมีการป้อนฮาร์โมนิกลำดับที่ 3 เข้าในสัญญาณอ้างอิงร่วมด้วยนั้นส่งผลต่อ $THDv$ ลดลงอย่างชัดเจนกับทุกเทคนิคทุกแบบ ซึ่งเมื่อพิจารณาที่ผลของความเพี้ยนของแรงดันด้านออกเทคนิคแบบ IPD ให้ผล $THDv$ ดีที่สุด $THDv=14.46%$ จากผลการวิจัยก่อนหน้า [6] อยู่ที่ $THDv=16.81%$ ลดลง 2.35% ซึ่งถือว่าเป็นมีความเพี้ยนของแรงดันอินเวอร์เตอร์ต่ำมาก เนื่องจากเมื่อเทียบกับอินเวอร์เตอร์ประเภท 2 ระดับ (Two-Level inverter) ทัวไปก่อนทำการปรับปรุง $THDv=74.5%$ (ที่ความถี่การสวิตซ์ซึ่งเท่ากันที่ 3000 Hz)

ตารางที่ 3 เปรียบเทียบผลจำลอง $THDv$ ของแรงดันด้านออกระหว่างสาย

Type of Modulation technique	SPWM	HIPWM	Diff.
IPD	16.81%	14.46%	2.35%
APOD	25.49%	18.85%	6.64%
POD	22.69%	19.33%	3.36%

6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏเทพสตรีที่ให้การสนับสนุนสถานที่ในการทำงาน สิ่งอำนวยความสะดวกในการศึกษาค้นคว้า ข้อมูลวิจัย และขอขอบพระคุณสาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร สำหรับความร่วมมือนักวิจัยระหว่างสถาบัน

7. 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 ECTI International Conference (ECTI-CON2007), pp.370-373, 2007.