

การออกแบบพีดับบลิวเอ็มอินเวอร์เตอร์แบบหลายระดับที่มี
ความเพี้ยนฮาร์โมนิกต่ำสำหรับงานผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์

Designing of Low Harmonics Distortion Multilevel PWM Inverter for PV Applications

วันชัย ทรัพย์สิงห์¹ และ เสถียร จันทร์จรัส²

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอการออกแบบและการวิเคราะห์อินเวอร์เตอร์หลายระดับรูปแบบใหม่ซึ่งเหมาะสมสำหรับผู้ผลิตไฟฟ้าโดยเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์ขนาดเล็กในการต่อเข้ากับระบบส่งจ่ายไฟฟ้า โดยเป็นการผสมระหว่างพีดับบลิวเอ็มอินเวอร์เตอร์ ชุดประกอบอินเวอร์เตอร์หลายระดับ และหม้อแปลงคาสเคด เพื่อสร้างแรงดันด้านออกแบบขั้นบันได ซึ่งสร้างรูปคลื่นแรงดันด้านออกที่มีคุณภาพสูง โดยการสร้างจำนวนระดับแรงดันจำนวนมากโดยใช้หม้อแปลงคาสเคด ซึ่งสามารถลดจำนวนอุปกรณ์สวิตซ์จกพีดับบลิวเอ็มอินเวอร์เตอร์หลายระดับที่มีอยู่เดิม การทวนสอบการออกแบบอินเวอร์เตอร์ที่นำเสนอทำโดยการใช้คอมพิวเตอร์ช่วยในการจำลองการทำงานโดยโปรแกรม Matlab/Simulink เพื่อวิเคราะห์รูปคลื่นและความเหมาะสมในการต่อเชื่อมเข้ากับระบบไฟฟ้าสาธารณะ

คำสำคัญ: อินเวอร์เตอร์หลายระดับแบบพีดับบลิวเอ็ม, อินเวอร์เตอร์สำหรับเซลล์แสงอาทิตย์

Abstract

This paper is presented the design and analysis of a new scheme multilevel Pulse Width Modulation (PWM) Inverters which may suitable to applied with a Grid connected Photovoltaic (PV) System as a Very Small Power Producer (VSPP). The proposed inverter consist of numbers of Multi level (PWM) inverter and cascade transformer. In order to produce an output wave form, it synthesized a large number of output voltage from each inverter using cascade transformer. It abated number of switching devices of the traditional style of Multilevel PWM Inverters. The validity of the proposed system is analyzed and verified through a computer-aided simulation by Matlab/Simulink software package.

Keywords: Multilevel PWM Inverter, Low THD., Grid connection

¹ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี อ.ธัญบุรี จ.ปทุมธานี 12110

² สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม ถ.พระรามที่ 6 ราชเทวี กรุงเทพฯ 10400 โทรศัพท์: 0-2202-3462

1. บทนำ

เนื่องจากความต้องการในการใช้พลังงานไฟฟ้ามีความต้องการเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องแล้วตัวตู้ควบคุมที่ใช้ในการผลิตมีจำนวนจำกัด และมีราคาเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง พลังงานแสงอาทิตย์จึงเป็นแหล่งพลังงานที่สำคัญทางเลือกหนึ่งในการผลิตไฟฟ้า เนื่องจากมีจำนวนมากและเป็นพลังงานที่ได้เปล่า การผลิตไฟฟ้าโดยเซลล์แสงอาทิตย์สามารถผลิตไฟฟ้าเป็นไฟฟ้ากระแสตรง จึงมีความจำเป็นอย่างมากที่จะต้องเปลี่ยนเป็นไฟฟ้ากระแสสลับ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในการต่อเข้ากับระบบไฟฟ้าหลักของประเทศ จะต้องเปลี่ยนเป็นไฟฟ้ากระแสสลับที่ระดับแรงดัน 220 โวลต์ 50 เฮิรตซ์ ตามระบบไฟฟ้าในประเทศไทย และในการต่อเข้ากับระบบไฟฟ้าของการไฟฟ้านครหลวง และการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค ได้มีข้อกำหนดให้ผู้ผลิตไฟฟ้ารายย่อยที่จะต่อเข้ากับระบบไฟฟ้ามีค่าความเพี้ยนฮาร์โมนิกส์รวม (Total Harmonic Distortion, THD) และค่าความเพี้ยนฮาร์โมนิกเฉพาะ (Individual Harmonic Distortion, IHD) ตามที่มาตรฐานกำหนด [1]-[4] ฉะนั้นการออกแบบอินเวอร์เตอร์สำหรับต่อเข้ากับระบบไฟฟ้าสาธารณะจะต้องออกแบบให้สัญญาณด้านออกของอินเวอร์เตอร์ใกล้เคียงกับไซน์ และมีค่าฮาร์โมนิกส์ตามมาตรฐานกำหนด

แรงดันไฟฟ้าที่ผลิตจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์มีค่าต่ำจะต้องเพิ่มแรงดันโดยปกติจะใช้โดยบูสต์คอนเวอร์เตอร์หรือบัค-บูสต์คอนเวอร์เตอร์เพื่อยกแรงดัน[5]-[6] และเปลี่ยนแรงดันไฟฟ้าเป็นกระแสสลับอีกครั้งหนึ่ง ในการเปลี่ยนแรงดันเป็นไฟฟ้ากระแสสลับปกติจะเปลี่ยนโดยใช้พีดีบีบลิวเอ็ม (PWM) อินเวอร์เตอร์ แต่เนื่องจากความถี่สูงใน

การสวิตชิงของพีดีบีบลิวเอ็มอินเวอร์เตอร์มีผลให้คุณภาพต่ำและเกิดปัญหาการสอดแทรกสนามแม่เหล็กรบกวน (EMI) การใช้อินเวอร์เตอร์หลายระดับ (Multilevel Inverter) จึงเป็นอีกวิธีหนึ่งที่ทำให้คุณภาพของแรงดันไฟฟ้าดีขึ้น อินเวอร์เตอร์ที่นิยมใช้คือ ไดโอด-แคปซิทอร์อินเวอร์เตอร์ ฟลายอิงคาปาซิเตอร์ และที่นิยมใช้มากคือคาสเคดฟูลบริดจ์อินเวอร์เตอร์ [7]-[9] ซึ่งสามารถลดฮาร์โมนิกส์ที่ทำให้รูปคลื่นเปลี่ยนไปได้ แต่ต้องใช้อุปกรณ์สวิตชิงจำนวนมาก

บทความนี้จึงนำเสนออินเวอร์เตอร์รูปแบบใหม่ ที่ประกอบด้วยส่วนที่เป็นพีดีบีบลิวเอ็มอินเวอร์เตอร์และ อินเวอร์เตอร์หลายระดับ และมีหม้อแปลงคาสเคดเพื่อแยกส่วนที่เป็นอุปกรณ์สวิตชิงกับโหลด โดยมีส่วนที่เป็นพีดีบีบลิวเอ็มเข้าไปช่วยให้แต่ละระดับของอินเวอร์เตอร์หลายระดับมีค่าใกล้เคียงไซน์มากขึ้น

จุดประสงค์ของอินเวอร์เตอร์ที่นำเสนอนี้มีประโยชน์หลายด้านคือ

1. สามารถเปลี่ยนแรงดันจากไฟตรงเป็นไฟสลับขนาดแรงดันต่ำโดยไม่ต้องใช้บูสต์คอนเวอร์
2. สามารถแยกส่วนวงจรแรงดันต่ำจากเซลล์แสงอาทิตย์และออกจากวงจรสวิตชิงซึ่งเป็นแรงดันสูงออกจากกัน โดยใช้หม้อแปลงคาสเคด
3. สามารถสร้างระดับแรงดันโดยลดจำนวนอุปกรณ์สวิตชิง
4. ไม่จำเป็นต้องมีวงจรกรองด้านออกเนื่องจากฮาร์โมนิกส์ลำดับที่สูงถูกกรองออกไปแล้ว ดังนั้นสามารถสร้างรูปคลื่นแรงดันด้านออกที่มีคุณภาพสูง และ
5. สามารถลดปัญหาการสอดแทรกแม่เหล็ก

ไฟฟ้า (EMI) หรือความเข้ากันได้ของแม่เหล็กไฟฟ้า (EMC) แม้ว่าพีคิบบลิวิตีเอ็มอินเวอร์เตอร์จะทำงานที่ความถี่สวิตซิ่งสูงก็ตาม

2. อินเวอร์เตอร์หลายระดับที่นำเสนอ

2.1 ลักษณะวงจร

บทความนี้แนะนำเสนอวงจรพีคิบบลิวิตีเอ็มอินเวอร์เตอร์หลายระดับรูปแบบใหม่ที่ 3, 5, 11 และ 29 ระดับ ซึ่งสามารถลดอุปกรณ์สวิตซิ่งลงและไม่ต้องใช้วงจรกระดัดแรงดันรายละเอียดจำนวนอุปกรณ์สวิตซิ่งดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 จำนวนอุปกรณ์สวิตซิ่ง

PWM Inverter	อินเวอร์เตอร์เดิม			อินเวอร์เตอร์ที่นำเสนอ	
	อก ระดับ	PWM Multilevel	รวม	PWM Multilevel	TR
3 Level	1	4	5	4	1
5 Level	1	8	9	8	2
11 Level	1	20	21	12	3
29 Level	1	56	57	16	4

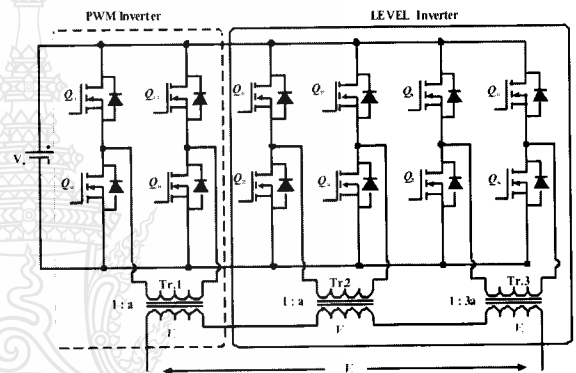
วงจรพีคิบบลิวิตีเอ็มอินเวอร์เตอร์หลายระดับที่นำเสนอคือให้อินเวอร์เตอร์และหม้อแปลงชุดแรกเป็นพีคิบบลิวิตีเอ็มอินเวอร์เตอร์ และอินเวอร์เตอร์และหม้อแปลงชุดต่อไปจะเป็นอินเวอร์เตอร์ระดับสามารถหาค่าระดับของแรงดันด้านออกสามารถหาได้โดย

$$N = 3^{n-1} + 2, \quad n = 1, 2, 3 \dots \quad (1)$$

เมื่อ N คือ จำนวนระดับด้านออก และ n คือ จำนวนชุดของฟูลบริดจ์ วงจรของพีคิบบลิวิตีเอ็มอินเวอร์เตอร์

ดังนั้นพีคิบบลิวิตีเอ็มอินเวอร์เตอร์ 3 ระดับจะประกอบด้วย PWM Inverter 1 ชุด ที่ 5 ระดับ

จะประกอบด้วย PWM Inverter 1 ชุด และ Level Inverter 1 ชุด ส่วนพีคิบบลิวิตีเอ็มอินเวอร์เตอร์ 11 ระดับ จะประกอบด้วย PWM Inverter 1 ชุด และ Level Inverter 2 ชุด และพีคิบบลิวิตีเอ็มอินเวอร์เตอร์ 29 ระดับจะประกอบด้วย PWM Inverter 1 ชุด และ Level Inverter 3 ชุด ตัวอย่างลักษณะการต่อวงจรของพีคิบบลิวิตีเอ็มอินเวอร์เตอร์ 11 ระดับจะเป็นดังแสดงในรูปที่ 1



รูปที่ 1 วงจรพีคิบบลิวิตีเอ็มอินเวอร์เตอร์ 11 ระดับ

สามารถหาอัตราส่วนจำนวนรอบของหม้อแปลง Transformer, Tr) ได้ เช่นหม้อแปลงตัวที่ 1 หรือ Tr เท่า กับ $1: a$ และสำหรับหม้อแปลงตัวอื่นสามารถหาได้โดย

$$Tr(n) = 1: (3^{n-1} \times a) \quad (2)$$

ในการออกแบบพีคิบบลิวิตีเอ็มอินเวอร์เตอร์ที่ 3, 5, 11 และ 29 ระดับ สามารถหาค่าอัตราส่วนหม้อแปลงได้ตามตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ระดับด้านออกจากหม้อแปลงคาสเคด

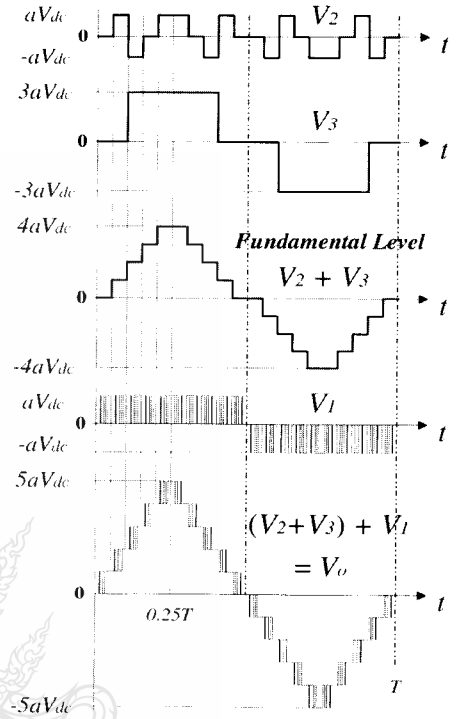
หม้อแปลงคาสเคด	PWM				
	Tr(1)	Tr(2)	Tr(3)	Tr(4)	..Tr(n)
อัตราส่วนหม้อแปลง	1:a	1:a	1:3a	1:9a	1:3 ⁿ⁻¹ a
ระดับด้านออก (Level)	3				
		5			
			11		
				29	
					N ตาม สมการ(1)

2.2 หลักการทำงาน

จากรูปที่ 1 ตัวอย่างวงจรพีดับบลิวเอ็มอินเวอร์เตอร์หลายระดับที่นำเสนอ 11 ระดับ ซึ่งประกอบด้วยวงจรฟูลบริดจ์อินเวอร์เตอร์ 4 ชุด แต่ละชุดต่อเข้ากับหม้อแปลง ซึ่งขดลวดด้านออกต่ออนุกรมกันอยู่ โดยหม้อแปลงคาสเคดจะทำหน้าที่ยกระดับแรงดันเพื่อสร้างจำนวนระดับของแรงดันด้านออก รูปที่ 2 แสดงรูปคลื่นของของพีดับบลิวเอ็มอินเวอร์เตอร์ 11 ระดับซึ่งประกอบด้วยแรงดันด้านออกของพีดับบลิวเอ็มอินเวอร์เตอร์ (V1) และแรงดันด้านออกของอินเวอร์เตอร์หลายระดับซึ่งในรูปนี้คือ 9 ระดับ (+4aV_{dc}, +3aV_{dc}, +2aV_{dc}, ± aV_{dc} และ 0) เป็นผลให้แรงดันด้านออกสุดท้าย (V_o) คือผลรวมของแรงดันดังกล่าวเป็น 11 ระดับ

ในกรณี 3 ระดับจะประกอบด้วยพีดับบลิวเอ็มอินเวอร์เตอร์ชุดเดียว กรณีของ 5 ระดับจะประกอบด้วยพีดับบลิวเอ็มร่วมกับแรงดันด้านออกจากหม้อแปลงชุดที่ 2 ที่เป็น 3 ระดับ และกรณีของ 29 ระดับจะประกอบด้วยชุดระดับคือแรงดันด้านออกของหม้อแปลงชุดที่ 2, 3 และ 4 รวมกันเป็น 27 ระดับและรวมกับพีดับบลิวเอ็มอีก 2 ระดับเป็น

29 ระดับ ตัวอย่างลักษณะรูปคลื่นที่ออกจากหม้อแปลงของ 11 ระดับเป็นไปตามรูปที่ 2



รูปที่ 2 รูปคลื่นแรงดันพีดับบลิวเอ็มอินเวอร์เตอร์ 11 ระดับ

2.3 สวิตชิงฟังก์ชัน

ในการสร้างวงจรควบคุมสามารถออกแบบแรงดันด้านออกของวงจรควบคุมตารางที่ 2 แสดงสวิตชิงฟังก์ชันด้านบวกของพีดับบลิวเอ็มอินเวอร์เตอร์ 3 ระดับ (n = 1) ถึง 29 ระดับ (n = 4) จากสมการที่ (1) ส่วนสวิตชิงฟังก์ชันด้านลบสามารถหาได้โดยการคูณค่าในตารางด้วยค่า -1 ซึ่งจากตารางสามารถหาสวิตชิงฟังก์ชันได้ตั้งแต่ 3 ระดับ (n = 1) 5 ระดับ (n = 2) 11 ระดับ (n = 3) และ 29 ระดับ (n = 4)

สำหรับการออกแบบพีดับบลิวเอ็มอินเวอร์เตอร์ 3 ระดับ จะมีสวิตชิงฟังก์ชันตามตารางที่ 2 โดย

เลือกเฉพาะ SF1 ในคลื่นบวกเพื่อไปควบคุมอุปกรณ์ สวิตซ์ขั้วที่ 1 ช่วงระดับ (Level) 0 ถึง 1 และเอา ค่าดังกล่าวคูณด้วย -1 สำหรับคลื่นช่วงลบ กรณีของ 5 ระดับจะใช้ SF1 และ SF2 ช่วงระดับ (Level) 0 ถึง 2 กรณีของ 11 ระดับจะใช้ SF1, SF2 และ SF3 ช่วงระดับ (Level) 0 ถึง 5 และกรณีของ 29 ระดับ จะใช้ SF1, SF2, SF3 และ SF4 ช่วงระดับ (Level) 0 ถึง 14 การกำหนดค่าเป็นไปตามตารางที่ 3

ตารางที่ 3 สวิตซ์ฟังก์ชันด้านบวก

Level l (n)	สวิตซ์ฟังก์ชัน				แรงดันที่ขั้ว				แรงดัน ด้านออก
	SF1	SF2	SF3	SF4	V1	V2	V3	V4	
0	0 ↔ 0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	0 ↔ 1	0	0	0	0 ↔ aVdc	0	0	0	aVdc
2	0 ↔ 1	1	0	0	0 ↔ aVdc	aVdc	0	0	2aVdc
3	0 ↔ 1	-1	1	0	0 ↔ aVdc	-aVdc	3aVdc	0	3aVdc
4	0 ↔ 1	0	1	0	0 ↔ aVdc	0	3aVdc	0	4aVdc
5	0 ↔ 1	1	1	0	0 ↔ aVdc	aVdc	3aVdc	0	5aVdc
6	0 ↔ 1	-1	-1	1	0 ↔ aVdc	-aVdc	-3aVdc	9aVdc	6aVdc
7	0 ↔ 1	0	-1	1	0 ↔ aVdc	0	-3aVdc	9aVdc	7aVdc
8	0 ↔ 1	1	-1	1	0 ↔ aVdc	aVdc	-3aVdc	9aVdc	8aVdc
9	0 ↔ 1	-1	0	1	0 ↔ aVdc	-aVdc	0	9aVdc	9aVdc
10	0 ↔ 1	0	0	1	0 ↔ aVdc	0	0	9aVdc	10aVdc
11	0 ↔ 1	1	0	1	0 ↔ aVdc	aVdc	0	9aVdc	11aVdc
12	0 ↔ 1	-1	1	1	0 ↔ aVdc	-aVdc	3aVdc	9aVdc	12aVdc
13	0 ↔ 1	0	1	1	0 ↔ aVdc	0	3aVdc	9aVdc	13aVdc
14	0 ↔ 1	1	1	1	0 ↔ aVdc	aVdc	3aVdc	9aVdc	14aVdc

2.4 กำลังไฟฟ้าที่จ่ายโดยหม้อแปลงแต่ละตัว

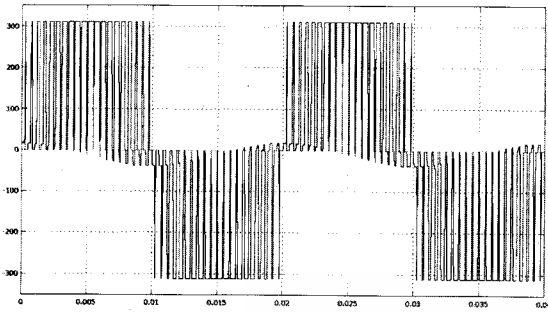
จุดประสงค์ของพีดีบับลิชเอ็มอินเวอร์เตอร์ที่ นำเสนอในบทความนี้ เพื่อปรับปรุงรูปคลื่นของ แรงดันให้ดีขึ้นเนื่องจากการส่งกำลังไฟฟ้าไปที่ โหลดส่วนใหญ่จะถูกส่งผ่านหม้อแปลงของ อินเวอร์เตอร์ชุดหลัง ซึ่งในกรณีของอินเวอร์เตอร์ 11 ระดับ ถ้าสมมุติให้หม้อแปลงเป็นอุดมคติ กำลัง ไฟฟ้าที่จ่ายให้โดยหม้อแปลงแต่ละตัวจะขึ้นกับ อัตราส่วนของขดลวดทางด้านทุติยภูมิ ดังนั้นกำลัง ไฟฟ้าที่จ่ายโดยหม้อแปลงสามารถหาได้โดย สมการที่ (3)

$$P_{Tr.n} = \frac{Tr.n_{sec}}{\sum_{n=1}^k Tr.n_{sec}} \times 100 (\%) \quad (3)$$

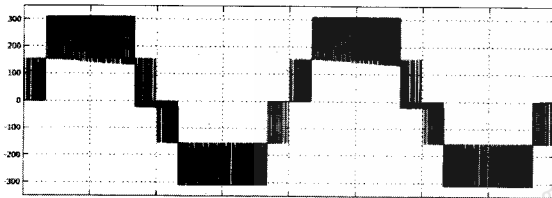
เมื่อ Tr._{n-sec} คืออัตราส่วนของหม้อแปลง ด้านทุติยภูมิของแต่ละหม้อแปลง จากสมการที่ (3) ในกรณีของ 11 ระดับการจ่ายกำลังของหม้อแปลง แต่ละตัวจะเป็น 20%, 20% และ 60% ตามลำดับ ในกรณีของ 29 ระดับกำลังไฟฟ้าที่จ่ายของ หม้อแปลงแต่ละตัวจะเป็น 7.14%, 7.14%, 21.43% และ 64.29% ตามลำดับ

3. ผลการจำลองและการประเมินผล

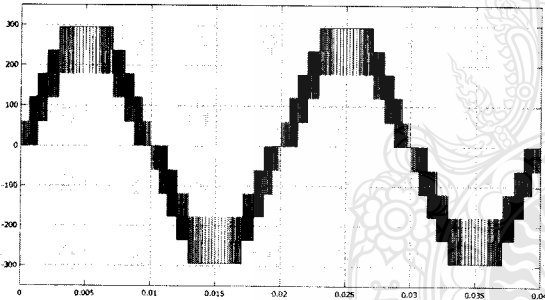
ในการทดสอบประสิทธิภาพของวงจรโดย ใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ Matlab/Simulink ช่วยใน การจำลองการทำงานผลรูปคลื่นของ 3, 5, 11 และ 29 ระดับเป็นดังรูปที่ 3 (ก) (ข) (ค) และ (ง) ตาม ลำดับ



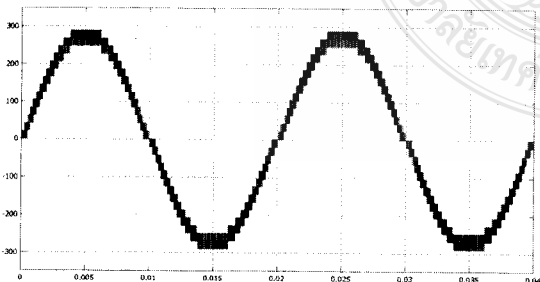
(ก)



(ข)



(ค)

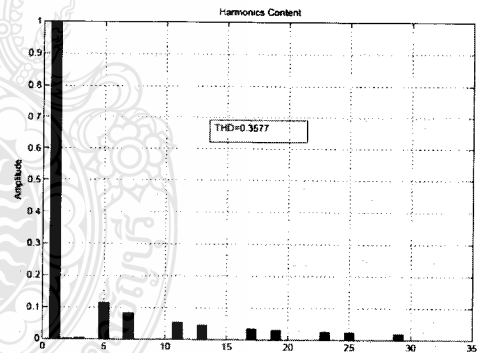


(ง)

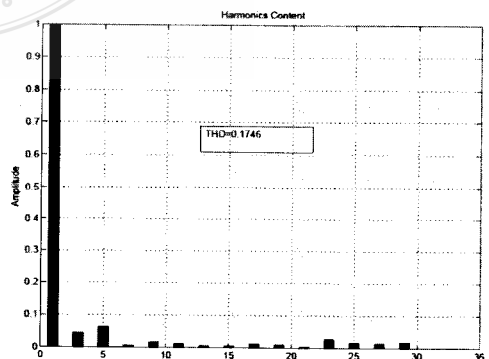
รูปที่ 3 รูปคลื่นแรงดันที่ 3, 5, 11 และ 29 ระดับ

จากรูปคลื่นในรูปที่ 3 จะเห็นว่ารูปคลื่นของ 3 ระดับก็จะเหมือนกับวงจรพีคดับลิวเอ็มแบบฟูลบริดจ์ธรรมดา และไม่สามารถช่วยลดจำนวนอุปกรณ์สวิตซ์ซึ่งได้มากนัก กล่าวคือช่วยลดได้เฉพาะวงจรระดับแรงดันเท่านั้น แต่ยังเพิ่มส่วนที่เป็นหม้อแปลง ส่วนที่เป็น 5 ระดับรูปคลื่นยังไม่ใกล้เคียงไซน์มากนัก กรณีของ 11 ระดับรูปคลื่นของวงจรจะใกล้เคียงไซน์และสามารถลดอุปกรณ์สวิตซ์ได้ตามที่ได้กล่าวมาแล้วจำนวน 9 ตัว ตามตารางที่ 1 และ 29 ระดับสามารถลดจำนวนอุปกรณ์สวิตซ์ได้ถึง 41 ตัว

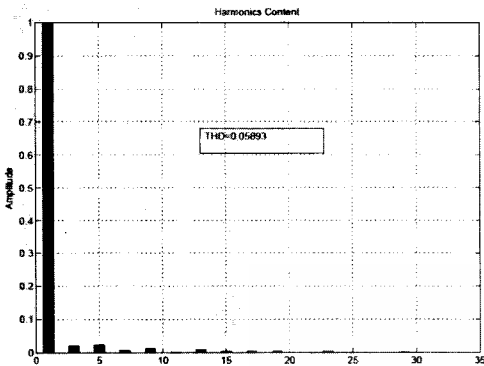
รูปที่ 4 แสดงค่าแรงดันของแต่ละฮาร์โมนิกส์ของแต่ละวงจร คือรูปที่ 4 คือแบบ 5 ระดับ (ก) 11 ระดับ (ข) และ 29 ระดับ (ค) ตามลำดับ



(ก)



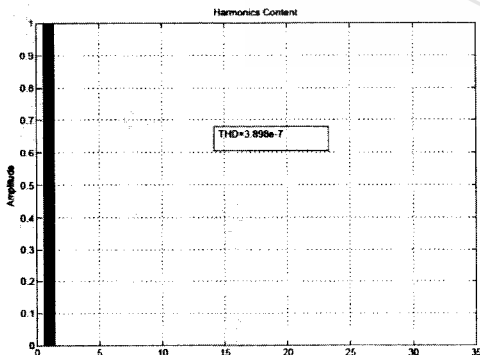
(ข)



(ก)

รูปที่ 4 ฮาร์โมนิกส์แรงดันขณะไม่มีโหลดของอินเวอร์เตอร์แบบ 5, 11 และ 29 ระดับ

โดยมีค่าความเพี้ยนฮาร์โมนิกส์รวม (THD) ของ 3, 5, 11 และ 29 ระดับเป็น 75.94%, 50.77%, 22.92% และ 11.21% ตามลำดับ ซึ่งยังเกินตามมาตรฐานกำหนดให้ไม่เกิน 5% อยู่ แต่เมื่อต่อเข้ากับระบบไฟฟ้า ซึ่งเป็นระบบที่ใหญ่กว่ามากการต่อโดยใช้งานจริงพีดีบีอินเวอร์เตอร์ 11 ระดับจะได้ค่าความเพี้ยนฮาร์โมนิกส์รวม (THD) และค่าความเพี้ยนฮาร์โมนิกส์เฉพาะ (IHD) เป็นไปตามที่มาตรฐานกำหนด ดังรูปที่ 5 แต่ทั้งนี้การวัดค่าฮาร์โมนิกส์ตามมาตรฐานดังกล่าวจะวัดค่าฮาร์โมนิกส์รวมทั้งฮาร์โมนิกส์ที่มีอยู่เดิมด้วย แต่จากการจำลองนี้ไม่ได้วัดค่าฮาร์โมนิกส์ที่มีอยู่เดิม



รูปที่ 5 รูปฮาร์โมนิกส์ของวงจรพีดีบีอินเวอร์เตอร์ 11 ระดับ ขณะต่อเข้าระบบไฟฟ้าสาธารณะ

4. สรุปผล

พีดีบีอินเวอร์เตอร์หลายระดับรูปแบบใหม่ที่น่าเสนอสำหรับใช้ในการต่อสำหรับผู้ผลิตไฟฟ้าขนาดเล็กมากโดยใช้เซลล์พลังงานแสงอาทิตย์สำหรับต่อเข้ากับระบบไฟฟ้าสาธารณะซึ่งสามารถสร้างรูปคลื่นแรงดันไฟฟ้าที่มีคุณภาพสูงตามจำนวนระดับที่สร้าง โดยสามารถลดอุปกรณ์สวิตซ์ และการใช้หม้อแปลงคาสเคดยังสามารถแยกส่วนที่เป็นอุปกรณ์สวิตซ์ออกจากส่วนที่เป็นแรงดันสูงและช่วยในการกรองความถี่สูงได้ด้วย สำหรับพีดีบีอินเวอร์เตอร์ 3 ระดับไม่สามารถช่วยลดจำนวนอุปกรณ์สวิตซ์ได้ และ 5 ระดับรูปคลื่นยังไม่ใกล้เคียงไซน์มากนัก ในกรณีของ 11 ระดับ และ 29 ระดับ จะได้รูปคลื่นใกล้เคียงกับไซน์ มีค่า THD และ IHD ต่ำ และเมื่อต่อเข้ากับระบบโดยไม่คิดค่าฮาร์โมนิกส์ที่ระบบมีอยู่เดิมจะเป็นไปตามมาตรฐานกำหนด

5. เอกสารอ้างอิง

- [1] IEEE Std 929-2000 “IEEE Recommended Practice for Utility Interface of Photovoltaic (PV) Systems” IEEE Std, New York, USA, 30th January 2000.
- [2] IEEE Std 519-1992 “IEEE Recommended Practice and Requirement for Harmonic Control in Electrical Power Systems” IEEE Std, New York, USA, 12th April 1993.
- [3] คณะกรรมการปรับปรุงความเชื่อถือได้ของระบบไฟฟ้า “ข้อกำหนดกฎเกณฑ์ฮาร์โมนิกเกี่ยวกับไฟฟ้าประเภทธุรกิจและอุตสาหกรรม” คณะกรรมการปรับปรุงความเชื่อถือได้ของระบบไฟฟ้า กรุงเทพมหานคร, 1998.

- [4] คณะกรรมการปรับปรุงความเชื่อถือได้ของระบบไฟฟ้าประเภทธุรกิจและอุตสาหกรรม “ระเบียบการไฟฟ้าฝ่ายจำหน่ายว่าด้วยการเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนานกับระบบของการไฟฟ้าฝ่ายจำหน่ายสำหรับปริมาณพลังงานไฟฟ้าไม่เกิน 1 เมกกะวัตต์”, การไฟฟ้านครหลวง/การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค กรุงเทพมหานคร, พฤษภาคม 2545.
- [5] Geoffrey R. Walker, Paul C. Sernia “Cascaded DC-DC Converter Connection of PV Module”. IEEE Transactions on Power Electronics, Vol.19, No.4, July 2004.
- [6] Juan Jose Negroni, Carlos Meza, Domingo Biel and Francesc Guinjoan “Control of a Buck Inverter for Grid-Connected PV System: a Digital and Sliding Mode Control Approach” IEEE ISIE 2005, Dubronik, Croatia, June 20-23, 2005
- [7] Leon M. Tolbert, Fang Z. Peng “Multilevel Converters as Utility Interface for Renewable Energy Systems” The University of Tennessee, USA, 18th May 1988.
- [8] Burak Ozpineci, Leon M. Tolbert, Zhong Du “Optimum Fuel Cell Utilization with Multilevel Inverters” 2004 35th Annual IEEE Power Electronics Specialists Conference, Aachen, Germany, 2004
- [9] S. Chandhaket, Y. Konishi, K. Ogura, E. Hiraki, M. Nakaoka “A Sinusoidal Pulse Width Modulated Inverter Using Three-Winding High-Frequency Flyback Transformer for PV Power Conditioner” Yamakuchi University, Yamaguchi, Japan, 2003
- [10] Li Li, Dariusz Czarkowski, Yaguang Lui, Pragasen Pillay “Multilevel Selective Harmonic Elimination PWM Technique in Series-Connected Voltage Inverters” IEEE Transactions on Industry Applications, Vol. 36, No.1, January/February 2000
- [11] Feel-Soon Kang, Sung-Jun Park, Su Eog Cho, Cheul-K Kim, Toshifumi Ise “Multilevel PWM Inverters Suitable for the Use of Stand-Alone Photovoltaic Power System” IEEE Transactions on Energy Conversion, Vol. 20, No.4, December 2005



วันชัย ทรัพย์สิงห์ สำเร็จการศึกษา คอ.บ. (วิศวกรรมไฟฟ้า) จากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ ป.บัณฑิต (วิศวกรรมไฟฟ้า) จากจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย วศ.ม.(วิศวกรรมไฟฟ้า) สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ Ph.D (Electrical Engineering), UNN, Newcastle, England, ปัจจุบันเป็นอาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี



เสี่ยม จันทรจรัส เกิดที่จังหวัดนครศรีธรรมราช ปี พ.ศ. 2515 ได้รับปริญญาตรี วศ.บ. ไฟฟ้ากำลังจากสถาบันเทคโนโลยีราชมงคลเมื่อปี พ.ศ. 2544 ปัจจุบันรับราชการตำแหน่งนักวิชาการมาตรฐาน ที่สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม และกำลังศึกษาระดับปริญญาโท (วศ.ม.) วิศวกรรมไฟฟ้า ที่มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี สนใจทำงานวิจัยด้านอิเล็กทรอนิกส์กำลัง ปัญหาความเข้ากันได้ของสนามแม่เหล็กไฟฟ้า และพลังงานทดแทน