ห้องสมุดงานวิจัย สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ
246661

การพัฒนาเครื่องดีนเวอร์เตอร์พร้อมตัวควบคุมสภาวะอากาศและระบายอากาศในโรงเรือนปิดปศุสัตว์เพื่อการประหยัดพลังงาน

นายธีรพงษ์ ศรีเขียงหา

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
พ.ศ. 2554

b00251296

ห้องสมุดงานวิจัย สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ
246661

การพัฒนาเครื่องอินเวอร์เตอร์พร้อมตัวควบคุมสภาวะอากาศและระบายอากาศในโรงเรือนปิดปศุสัตว์เพื่อการประหยัดพลังงาน

นายธีรพงษ์ ศรีเชียงสา วศ.บ. (วิศวกรรมไฟฟ้า)

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
พ.ศ. 2554

สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ห้องสมุดงานวิจัย

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์
(ผศ.ดร.อนวัช แสงสว่าง)

..... กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์
(ผศ.ดร.มงคล กงศ์หิรัญ)

..... กรรมการ
(ดร.ณัฐพล ชโยพิทักษ์)

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การพัฒนาเครื่องอินเวอร์เตอร์พร้อมตัวควบคุมสภาวะอากาศและระบายอากาศในเรือนปิดปศุสัตว์ เพื่อการประหยัดพลังงาน
หน่วยกิต	12
ผู้เขียน	นายธีรพงษ์ ศรีเชียงสา
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผศ.ดร. มงคล กงศ์หิรัญ
หลักสูตร	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมไฟฟ้า
ภาควิชา	วิศวกรรมไฟฟ้า
คณะ	วิศวกรรมศาสตร์
พ.ศ.	2554

บทคัดย่อ

246661

การควบคุมสภาวะอากาศและการระบายอากาศในโรงเรือนปิดปศุสัตว์ มีความจำเป็น เพื่อรักษาสภาพแวดล้อมในโรงเรือนให้เหมาะสม เพื่อสุขภาพที่ดีของสัตว์ โดยทั่วไปมอเตอร์พัดลมเป็นอุปกรณ์หลักที่ใช้ในโรงเรือน ซึ่งถูกควบคุมโดยวิธีการเปิด-ปิด วิธีการนี้มีข้อเสียต่างๆ ดังนี้ (ก) เกิดกระแสที่สูงขณะเริ่มสตาร์ท (Inrush Current) มอเตอร์พัดลม ซึ่งจะทำให้อายุการใช้งานมอเตอร์สั้นลง (ข) สิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้าอย่างมาก และ (ค) ไม่มีการควบคุมความเร็วลมและการกระจายของลม ดังนั้นในงานวิจัยนี้ ได้ออกแบบอินเวอร์เตอร์ที่รวมการควบคุมสภาวะอากาศและระบายอากาศสำหรับโรงเรือนปิดปศุสัตว์ อินเวอร์เตอร์นี้ จะปรับความเร็วมอเตอร์พัดลมและควบคุมปั๊มน้ำโดยวิธีเปิด-ปิด ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า อินเวอร์เตอร์ที่นำเสนอมีประโยชน์หลายอย่าง เช่น 1) สามารถลดกระแสที่สูงขณะเริ่มสตาร์ทมอเตอร์พัดลม ลดลงเหลือ 1/8 เท่าของกระแสสตาร์ทด้วยวิธีเปิด-ปิด 2) สามารถลดการใช้พลังงานไฟฟ้าโดยการลดความเร็วมอเตอร์พัดลม และ 3) สามารถควบคุมความเร็วลมได้

คำสำคัญ : การปรับความเร็ว / การประหยัดพลังงาน / การควบคุมสภาวะอากาศและระบายอากาศ / วิธีเปิด-ปิด / อินเวอร์เตอร์ / มอเตอร์พัดลม

Thesis Title	Development of Inverter with Climate and Ventilation Controller in Closed Livestock House for Energy Savings
Thesis Credits	12
Candidate	Mr. Theeraphong Srichiangsa
Thesis Advisor	Asst. Prof. Dr. Mongkol Konghirun
Program	Master of Engineering
Field of Study	Electrical Engineering
Department	Electrical Engineering
Faculty	Engineering
B.E.	2554

Abstract

246661

The climate and ventilation controls in a closed livestock house are necessary to maintain suitable environment for good healthy animals. Typically, the fan motors are mainly used in the house and they are operated by ON-OFF method. This method has several disadvantages such as (a) a high in-rush motor current, shortening the lifetime of fan motors, (b) high electric energy consumption, and (c) lack of controllability and good distribution of wind velocity. Therefore, this research proposes the designing of an inverter to incorporate the climate and ventilation controls for a closed livestock house. The inverter varies the speed of fan motors and the water pump is controlled by means of an ON-OFF method. The experiment results show that the proposed inverter has several benefits such as 1) reducing the in-rush motor current by 1/8 of the one using an ON-OFF method, 2) reducing the electric energy consumption by means of lowering the speed of the fan motor and 3) better controllability of wind velocity.

Keywords : Variable Speed Drive (VSD) / Energy Saving / Climate and Ventilation Controls / ON-OFF Method / Inverter / Fan Motors

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จได้ด้วยดี ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ ผศ.ดร.มงคล กงศ์หิรัญ อาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ซึ่งเป็นอาจารย์ผู้ควบคุมในการทำวิทยานิพนธ์และกรุณาแนะนำพร้อมให้คำปรึกษา อีกทั้งช่วยแก้ไขข้อบกพร่องรวมทั้งปัญหาต่างๆ ขอขอบพระคุณ ผศ.ดร.อนวัช แสงสว่าง อาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี และ ดร.ณัฐพล ชโยพิทักษ์ นักวิจัยประจำศูนย์เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์แห่งชาติ ที่ได้กรุณาเป็นกรรมการสอบวิทยานิพนธ์นี้ ขอขอบพระคุณอาจารย์วุฒิชัย พลวิเศษ อาจารย์ประจำภาควิชาภาควิชาวิศวกรรมระบบควบคุมและเครื่องมือวัด คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี คุณสิทธิชัย สมานทอง และคุณชวกร ยอดสันติ ที่ให้ความช่วยเหลือและคำปรึกษาตลอดมา ขอขอบพระคุณ คุณเชิดชาย สินธุ์สังข์ และทีมวิศวกรฝ่ายวิจัยและพัฒนา บริษัท บี.อินเตอร์เนชั่นแนล แอนด์ เทคโนโลยี จำกัด ที่สนับสนุนอุปกรณ์ สถานที่ในการทดลองและด้านต่างๆของโครงการวิจัย และขอขอบพระคุณโครงการสร้างขีดความสามารถด้านการวิจัยและพัฒนาและการแข่งขันของภาคอุตสาหกรรมโดยกลไกความร่วมมือระหว่างภาครัฐ เอกชนและมหาวิทยาลัย (U-IRC) ของสำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ (สวทช.) ที่ให้ทุนสนับสนุนการศึกษา

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณคณาจารย์ทุกท่านที่ถ่ายทอดความรู้ เจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการ และเจ้าหน้าที่ของภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ทุกท่านที่อำนวยความสะดวกทั้งในด้านเอกสารและเครื่องมืออุปกรณ์ที่ใช้ในวิทยานิพนธ์นี้ ขอขอบคุณพี่ๆ เพื่อนๆ น้องๆ ในห้องวิจัยระบบขับเคลื่อนเครื่องกลไฟฟ้าทุกคนที่มีส่วนช่วยเหลือ โดยเฉพาะอย่างยิ่ง คุณวีระศักดิ์ ไชยชาญ และคุณภัทร ภูมิรา ขอขอบพระคุณบิดา-มารดา คุณอุดม-คุณยง ศรีเชียงสา ตลอดจน คุณประภาพรรณ-คุณคุณข้าว ศรีเชียงสา คุณพนิดา-คุณเสาวลักษณ์ เรืองสุวรรณ คุณสาโรจน์ ปทุมทิพย์ และทุกคนในครอบครัวที่เป็นกำลังใจและแรงผลักดันอันสำคัญอย่างยิ่งยวดในการศึกษาตลอดมา กราบขอบพระคุณพ่อท่านสมณะโพธิรักษ์ โพธิรักษ์ขิโต ผู้ให้ความรู้ทางธรรมและแนวทางปฏิบัติ ขอขอบพระคุณสมณะ สิกขมาตุ คณะครูอาจารย์ โรงเรียนสัมมาสิกขาปฐมอโศก และโรงเรียนสัมมาสิกขา สาขาอื่นๆ ทุกท่านที่คอยอบรมสั่งสอนในสิ่งที่ดีเสมอมา ขอขอบพระคุณ คุณเฉลิมฉัตร ลิขิตธรรมสาร ผู้ชี้แนะ แนวทางการศึกษา และอีกหลายๆ ท่านที่ไม่สามารถกล่าวไว้ในที่นี้ได้ทั้งหมด คุณประโยชน์อันใดที่เกิดจากวิทยานิพนธ์นี้เป็นผลมาจากความกรุณาของทุกท่านที่กล่าวมาข้างต้น ผู้วิจัยซาบซึ้งเป็นอย่างยิ่ง จึงใคร่ขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ค
กิตติกรรมประกาศ ง
สารบัญ จ
รายการตาราง ช
รายการรูปประกอบ ฌ
รายการสัญลักษณ์ ฒ
ประมวลศัพท์และคำย่อ ด

บทที่

1. บทนำ **1**
1.1 ความสำคัญและที่มาของงานวิจัย 1
1.2 วัตถุประสงค์และขอบเขตของงานวิจัย 2
1.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 2
1.4 ขั้นตอนการดำเนินงาน 6
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 6

2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง **7**
2.1 มอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟส 7
2.2 อินเวอร์เตอร์ 19
2.3 โรงเรือนปิดปศุสัตว์ 29
2.4 วิธีการควบคุมสภาวะอากาศและการระบายอากาศในโรงเรือนปิดปศุสัตว์ 35
2.5 ขั้นตอนการออกแบบรูปแบบการควบคุมพัดลมระบายอากาศสำหรับวิธีอินเวอร์เตอร์ 45

3. ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงานวิจัย **53**
3.1 โครงสร้างทางฮาร์ดแวร์ของอินเวอร์เตอร์ที่นำเสนอ 53
3.2 คุณสมบัติและข้อมูลจำเพาะของเครื่องอินเวอร์เตอร์ที่นำเสนอ 69

4. การทดลองและผลการทดลอง **74**

4.1 การลดกระแสที่สูงขณะเริ่มสตาร์ทของมอเตอร์ 74

4.2 การใช้พลังงานไฟฟ้าโดยขับมอเตอร์ 1.5 แรงม้า 77

4.3 ระบบป้องกันของอินเวอร์เตอร์ที่นำเสนอ 85

4.4 การปรับเปลี่ยนความเร็วลมและความเร็วรอบพัดลม 89

5. สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ **102**

5.1 สรุปผลการวิจัย 102

5.2 ข้อเสนอแนะ 104

เอกสารอ้างอิง **106**

ภาคผนวก **110**

ก ผลงานที่ได้รับการตีพิมพ์ 110

ข การแสดงผลและการตั้งค่าใช้งานอินเวอร์เตอร์ที่นำเสนอ 129

ค การทดลองปรับเปลี่ยนโหลดของอินเวอร์เตอร์ที่นำเสนอ 135

ง การทดลองความเร็วลม 145

จ การทดลองสายไฟยาว 151

ฉ โหมดการทำงานของอินเวอร์เตอร์ที่นำเสนอ 158

ช ประสิทธิภาพของเครื่องอินเวอร์เตอร์ที่นำเสนอ 167

ซ ผลตอบสนองของอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ในวิธีเปิด-ปิด 170

ประวัติผู้วิจัย **173**

รายการตาราง

ตาราง		หน้า
2.1	คุณสมบัติต่างๆของพัดลมระบายอากาศ 50 นิ้ว ประเภท 3 และ 6 ใบพัด	18
2.2	รูปแบบสวิตช์แรงดันเฟสที่มอเตอร์และแรงดันเทียบจุดอ้างอิงศูนย์ (0) ของอินเวอร์เตอร์	25
2.3	อัตราการแลกเปลี่ยนอากาศที่เหมาะสมภายในโรงเรือนสำหรับสุกร (cfm/ตัว)	32
2.4	ผลการใช้พลังงานไฟฟ้าภายใน 8 ชั่วโมง ในวิธีเปิด-ปิดและวิธีอินเวอร์เตอร์ เมื่อทั้งสองวิธีขับมอเตอร์พัดลม 1.5 แรงม้า 2 ตัว	47
2.5	ผลการคำนวณการใช้พลังงานไฟฟ้าภายในเวลา 8 ชั่วโมง ตามจำนวนการเปิดมอเตอร์พัดลม ในวิธีเปิด-ปิด	51
2.6	ผลการคำนวณความเร็วมอเตอร์พัดลมในวิธีอินเวอร์เตอร์ ที่ลดการใช้พลังงานไฟฟ้าลง 30 % จากวิธีเปิด-ปิด	52
3.1	คุณสมบัติและข้อมูลจำเพาะของเครื่องอินเวอร์เตอร์ที่นำเสนอ	69
4.1	พัดกัดของมอเตอร์และจำนวนมอเตอร์ที่ใช้ทดลองในหัวข้อ 4.1	75
4.2	ความถี่ แรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า กำลังไฟฟ้า (3ϕ) พลังงานไฟฟ้า (3ϕ) 30 นาที และเพาเวอร์แฟกเตอร์ ในวิธีการควบคุมแบบเปิด-ปิดและวิธีอินเวอร์เตอร์ที่นำเสนอ ขณะขับมอเตอร์ที่มีโหลดพัดลมจำนวน 2 ตัว	79
4.3	ความเร็วลมแต่ละตำแหน่งในอุโมงค์ตามแนวแกน X และแกน Y ของวิธีเปิด-ปิด	90
4.4	ความเร็วลมแต่ละตำแหน่งในอุโมงค์ตามแนวแกน X และแกน Y กับความถี่กระแสไฟฟ้ามอเตอร์พัดลม ของวิธีอินเวอร์เตอร์ที่นำเสนอ	91
4.5	ความเร็วลมแต่ละตำแหน่งในอุโมงค์ตามแนวแกน X และแกน Y กับแรงดันไฟฟ้าด้านเข้ามอเตอร์พัดลม ในวิธีเปิด-ปิด	95
4.6	ความเร็วลมแต่ละตำแหน่งในอุโมงค์ตามแนวแกน X และแกน Y กับแรงดันไฟฟ้าด้านเข้าอินเวอร์เตอร์ ขณะที่อินเวอร์เตอร์ขับมอเตอร์พัดลมที่ความถี่ 100 %	97
4.7	ผลของความเร็วลมแต่ละตำแหน่งในอุโมงค์ตามแนวแกน X และแกน Y กับแรงดันไฟฟ้าด้านเข้าอินเวอร์เตอร์ ขณะที่อินเวอร์เตอร์ขับมอเตอร์พัดลมที่ 20 %	98
4.8	ความสัมพันธ์ของความเร็วรอบใบพัดลมและความถี่ที่อินเวอร์เตอร์ขับมอเตอร์พัดลม	101
ค.1	แรงดันไฟฟ้าระหว่างสาย กระแสไฟฟ้า กำลังไฟฟ้า พลังงานไฟฟ้าภายใน 30 นาที และเพาเวอร์แฟกเตอร์ ของทางด้านเข้าอินเวอร์เตอร์ เมื่อขับมอเตอร์ 1.5 แรงม้า 1 ตัว ขณะไม่มีโหลดพัดลม	137
ค.2	ผลแรงดันไฟฟ้าระหว่างสาย กระแสไฟฟ้า กำลังไฟฟ้า พลังงานไฟฟ้าภายใน 30 นาที	138

	และเพาเวอร์แฟกเตอร์ ของทางด้านเข้าอินเวอร์เตอร์ขณะขับมอเตอร์ 1.5 แรงม้า 2 ตัว ขณะไม่มีโหลดพัดลม	
ค.3	แรงดันไฟฟ้าระหว่างสาย กระแสไฟฟ้า กำลังไฟฟ้า พลังงานไฟฟ้าภายใน 30 นาทีและเพาเวอร์แฟกเตอร์ ของทางด้านเข้าอินเวอร์เตอร์เมื่อขับมอเตอร์ 1.5 แรงม้า 1 ตัว ขณะมีโหลดพัดลม 1 ตัว	140
ค.4	ผลแรงดันไฟฟ้าระหว่างสาย กระแสไฟฟ้า กำลังไฟฟ้า พลังงานไฟฟ้าทีใช้ 30 นาทีและเพาเวอร์แฟกเตอร์ ของทางด้านเข้าอินเวอร์เตอร์เมื่อขับมอเตอร์ 1.5 แรงม้า 2 ตัว ขณะมีโหลดพัดลม	141
ค.5	ผลแรงดันไฟฟ้าระหว่างสาย กระแสไฟฟ้า กำลังไฟฟ้าและเพาเวอร์แฟกเตอร์ของทางด้านเข้าอินเวอร์เตอร์เมื่อขับมอเตอร์ 1.5 แรงม้า 3 ตัว ขณะมีโหลดพัดลม	142
ค.6	ผลแรงดันไฟฟ้าระหว่างสาย กระแสไฟฟ้า กำลังไฟฟ้าและเพาเวอร์แฟกเตอร์ของทางด้านเข้าอินเวอร์เตอร์เมื่อขับมอเตอร์ 1.5 แรงม้า 4 ตัว ขณะมีโหลดพัดลม ที่ความเร็วต่างๆ	143
ค.7	ผลแรงดันไฟฟ้าระหว่างสาย กระแสไฟฟ้า กำลังไฟฟ้าและเพาเวอร์แฟกเตอร์ของทางด้านเข้าอินเวอร์เตอร์เมื่อขับมอเตอร์ 1.5 แรงม้า 5 ตัว ขณะมีโหลดพัดลม	144
ง.1	ความเร็วลมแต่ละตำแหน่งในอุโมงค์ตามแนวแกน X และแกน Y กับแรงดันไฟฟ้าด้านเข้าอินเวอร์เตอร์ ขณะที่อินเวอร์เตอร์ขับมอเตอร์พัดลมที่ความถี่ 80 %	146
ง.2	ความเร็วลมแต่ละตำแหน่งในอุโมงค์ตามแนวแกน X และแกน Y กับแรงดันไฟฟ้าด้านเข้าอินเวอร์เตอร์ ขณะที่อินเวอร์เตอร์ขับมอเตอร์พัดลมที่ความถี่ 60 %	147
ง.3	ความเร็วลมแต่ละตำแหน่งในอุโมงค์ตามแนวแกน X และแกน Y กับแรงดันไฟฟ้าด้านเข้าอินเวอร์เตอร์ ขณะที่อินเวอร์เตอร์ขับมอเตอร์พัดลมที่ความถี่ 40 %	149
จ.1	ผลเปรียบเทียบแรงดันไฟฟ้าที่ขั้วมอเตอร์พัดลม ขณะมีและไม่มีฟิลเตอร์กับรีแอคเตอร์เมื่ออินเวอร์เตอร์ต่อกับมอเตอร์พัดลมด้วยความยาวสายไฟต่างๆ	157
จ.2	ผลเปรียบเทียบกระแสและค่า THD ของกระแสทางด้านเข้าอินเวอร์เตอร์ขณะมีและไม่มีฟิลเตอร์กับรีแอคเตอร์ เมื่ออินเวอร์เตอร์ต่อกับมอเตอร์พัดลมที่ความยาวสายไฟต่างๆ	157
ฉ.1	ความสัมพันธ์จำนวนขั้นจากเครื่องควบคุมสภาวะอากาศและระบายอากาศแบบเปิด-ปิดความถี่ที่ต้องการควบคุมและความถี่มอเตอร์ที่วัดได้	162
ฉ.2	ค่าพารามิเตอร์ที่กำหนดให้อินเวอร์เตอร์สำหรับโหมดอัตโนมัติในการทดลองในหัวข้อ ฉ.3	165
ฉ.3	ความสัมพันธ์ของกระแส 4-20 mA อุณหภูมิ และความถี่ (ความเร็ว) ของมอเตอร์ขณะที่อินเวอร์เตอร์ทำงานในโหมดอัตโนมัติ	166
ช.1	แรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า เพาเวอร์แฟกเตอร์และกำลังไฟฟ้า ทั้งทางด้านเข้าและด้านออกของอินเวอร์เตอร์ที่นำเสนอ เมื่อเปรียบเทียบกับความถี่	169

รายการรูปประกอบ

รูป		หน้า
1.1	ลักษณะกราฟการควบคุมของอัตราการไหลของอากาศ	5
2.1	โครงสร้างของมอเตอร์เหนี่ยวนำ	8
2.2	การต่อความต้านทานภายนอกกับมอเตอร์เหนี่ยวนำแบบวาด์วโรเตอร์	10
2.3	ความสัมพันธ์ความเร็วมอเตอร์กับแรงบิดที่เกิดขึ้นเมื่อเปลี่ยนแรงดันทางด้านเข้ามอเตอร์	11
2.4	วงจรสมมูลย์อย่างง่ายที่สภาวะคงที่ของมอเตอร์เหนี่ยวนำ	12
2.5	ความสัมพันธ์ระหว่างแรงบิดและความเร็วมอเตอร์เหนี่ยวนำ	13
2.6	ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันที่สเตเตอร์และความถี่ (V_s / f)	14
2.7	ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันที่สเตเตอร์และความถี่ (V_s / f) ชนิดต่างๆ	15
2.8	ความสัมพันธ์ของความเร็วพัดลมกับแรงบิดและกำลังไฟฟ้า	16
2.9	พัดลมระบายอากาศทางด้านหน้าและด้านหลัง ขนาด 50 นิ้ว ประเภท 3 ใบพัด	18
2.10	ส่วนประกอบต่างๆของอินเวอร์เตอร์โดยทั่วไป	20
2.11	หลักการพัลส์วัดมอดดูเลชั่นแบบไซน์สามเหลี่ยม (Sine-Triangle PWM)	23
2.12	ตำแหน่งสถานะสวิตช์ของอินเวอร์เตอร์แบบแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้า	23
2.13	สเปซเวกเตอร์ของแรงดัน	25
2.14	แรงดันเวกเตอร์	28
2.15	ลำดับการสวิตช์ของเทคนิคสเปซเวกเตอร์ ในเซกเตอร์ที่ 1	28
2.16	แรงดันด้านออกของอินเวอร์เตอร์ที่เทียบกับจุดศูนย์เมื่อมีการสวิตช์แบบสเปซเวกเตอร์	29
2.17	โรงเรือนและอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องสำหรับควบคุมสภาวะอากาศและระบายอากาศ	30
2.18	โครงสร้างการควบคุมสภาวะอากาศและการระบายอากาศ โดยวิธีเปิด-ปิด	37
2.19	รูปแบบการควบคุมพัดลมระบายอากาศของวิธีเปิด-ปิด	40
2.20	การทำงานของปั๊มน้ำในโหมดควบคุมการระบายอากาศ (VENTILATION CONTROL)	40
2.21	การทำงานของปั๊มน้ำในโหมดควบคุมความชื้น (HUMIDITY CONTROL)	41
2.22	โครงสร้างของระบบควบคุมสภาวะอากาศและระบายอากาศโดยวิธีใช้อินเวอร์เตอร์ที่นำเสนอ	42
2.23	รูปแบบการควบคุมการทำงานของพัดลมระบายอากาศโดยวิธีใช้อินเวอร์เตอร์ที่นำเสนอ	45
2.24	การเชื่อมต่อการทดลองวัดค่าพลังงานไฟฟ้าของระบบเปิด-ปิด	46
2.25	การเชื่อมต่อการทดลองวัดค่าพลังงานไฟฟ้าของระบบที่ใช้อินเวอร์เตอร์	47

2.26 ความเร็วมอเตอร์พัดลมและพลังงานไฟฟ้าเมื่อพล็อตในโปรแกรม Matlab และแสดงเป็นดังสมการที่ (2.29) 49

3.1 โครงสร้างทางฮาร์ดแวร์ของอินเวอร์เตอร์ที่นำเสนอสำหรับควบคุมสภาวะอากาศและระบายอากาศในโรงเรือนปิดปศุสัตว์ 53

3.2 ชุดวงจรเรียงกระแส 3 เฟส (3 phase Rectifier Circuit) 54

3.3 ชุดวงจรทางเดินไฟฟ้ากระแสตรง (DC Bus) 55

3.4 ชุดวงจรขับสวิตช์และป้องกัน (Gate-Drive and Protection Circuit) 56

3.5 ชุดวงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้า (Power Converter) 57

3.6 ชุดแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงหลัก (Main Switching Power Supply) 57

3.7 ตัวตรวจวัดอุณหภูมิและความชื้น 58

3.8 ความสัมพันธ์ของอุณหภูมิและความชื้นกับกระแสไฟฟ้าด้านออกของตัวตรวจวัด 59

3.9 โครงสร้างของตัวตรวจวัดกระแส ACS712ELCTR-30A-T 59

3.10 ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสที่ไหลเข้า (IP) กับ แรงดันด้านออก (V_{OUT}) ของตัวตรวจวัดกระแส ACS712ELCTR-30A-T 60

3.11 วงจรปรับระดับสัญญาณจากตัวตรวจจับกระแส 61

3.12 วงจรปรับระดับสัญญาณแรงดันจากวงจรทางเดินไฟฟ้ากระแสตรง 62

3.13 วงจรปรับระดับสัญญาณจากตัวตรวจวัดอุณหภูมิและความชื้น 63

3.14 วงจรการทำงานของปั๊มน้ำ 63

3.15 หน้าจอแสดงผลและปุ่มกดควบคุมการทำงานของอินเวอร์เตอร์ที่นำเสนอ 64

3.16 การเชื่อมต่อเครื่องควบคุมสภาวะอากาศและระบายอากาศแบบเปิด-ปิดกับอินเวอร์เตอร์ที่นำเสนอ โดยเครื่องเชื่อมต่อ (On-off interface) 67

3.17 ความสัมพันธ์ของจำนวนขั้น (No. of Step) จากเครื่องควบคุมสภาวะอากาศและระบายอากาศแบบเปิด-ปิดกับความถี่อินเวอร์เตอร์ 67

3.18 การเชื่อมต่ออินเวอร์เตอร์กับอินเวอร์เตอร์เครื่องอื่นๆ ด้วยการสื่อสารแบบ RS 485 68

3.19 ตัวอย่างการตั้งค่าอุณหภูมิที่ต้องการควบคุมล่วงหน้า (Temperature Curve Setting) 73

4.1 วงจรไฟฟ้าภาคกำลังของอินเวอร์เตอร์ที่นำเสนอและตำแหน่งวัดแรงดันไฟฟ้า 75

4.2 แรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าของมอเตอร์ขณะสตาร์ทด้วยวิธีเปิด-ปิด (V_{AB} : 0.500 kV/div : I_C : 10.00 A/div : 100ms/div) 76

4.3 แรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าของมอเตอร์ขณะสตาร์ทด้วยอินเวอร์เตอร์ที่นำเสนอ (V_{AB} : 0.500 kV/div : I_C : 10.00 A/div : 2s/div) 76

4.4 วงจรการทดลองสำหรับวัดการใช้พลังงานไฟฟ้าในวิธีเปิด-ปิด 78

4.5 วงจรการทดลองสำหรับวัดการใช้พลังงานไฟฟ้าในวิธีอินเวอร์เตอร์ที่นำเสนอ 78

4.6 ความถี่มอเตอร์และพลังงานไฟฟ้ารวม 3 เฟส ภายใน 30 นาที ด้านเข้าของอินเวอร์เตอร์ที่นำเสนอขณะขับมอเตอร์ขนาด 1.5 แรงม้า ที่มีโหลดพัดลม 2 ตัว 80

4.7 ความถี่ของมอเตอร์และกระแสไฟฟ้าเฉลี่ย 3 เฟสด้านเข้าของอินเวอร์เตอร์ที่นำเสนอขณะขับมอเตอร์ขนาด 1.5 แรงม้า ที่ไม่มีโหลดพัดลม 1 ตัว และ 2 ตัว 82

4.8 ความถี่ของมอเตอร์และกระแสไฟฟ้าเฉลี่ย 3 เฟสด้านเข้าของอินเวอร์เตอร์ที่นำเสนอขณะขับมอเตอร์ขนาด 1.5 แรงม้า ที่มีโหลดพัดลม 1 ตัว ถึง 5 ตัว 83

4.9 ความถี่ของมอเตอร์และกำลังไฟฟ้ารวม 3 เฟสด้านเข้าของอินเวอร์เตอร์ที่นำเสนอขณะมอเตอร์ขนาด 1.5 แรงม้า ที่ไม่มีโหลดพัดลม 1 ตัว และ 2 ตัว 83

4.10 ความถี่ของมอเตอร์และกำลังไฟฟ้ารวม 3 เฟสด้านเข้าของอินเวอร์เตอร์ที่นำเสนอขณะขับมอเตอร์ขนาด 1.5 แรงม้า ที่ไม่มีโหลดพัดลม 1 ตัว ถึง 5 ตัว 84

4.11 ความถี่ของมอเตอร์และพลังงานไฟฟ้ารวม 3 เฟส ภายใน 30 นาที ด้านเข้าของอินเวอร์เตอร์ที่นำเสนอ ขณะขับมอเตอร์ขนาด 1.5 แรงม้า ที่ไม่มีโหลดพัดลม 1ตัว และ 2 ตัว 84

4.12 ความถี่ของมอเตอร์และพลังงานไฟฟ้ารวม 3 เฟส ภายใน 30 นาที ด้านเข้าของอินเวอร์เตอร์ที่นำเสนอ ขณะขับมอเตอร์ขนาด 1.5 แรงม้า ที่มีโหลดพัดลม 1 ตัว ถึง 5 ตัว 85

4.13 การเชื่อมต่อวงจรการทดลองสำหรับระป้องกันอินเวอร์เตอร์ที่นำเสนอ 87

4.14 แรงดันไฟฟ้าด้านเข้าอินเวอร์เตอร์ แรงดันไฟฟ้าตกคร่อมสวิตช์รีเลย์ กระแสไฟฟ้ามอเตอร์พัดลม ในกรณีที่แรงดันด้านเข้าเกินกว่ากำหนด (V_{L1-L2} : 0.500 kV/div; V_{SW} : 0.500 kV/div ; I_A : 5.00 A/div :10s/div) 87

4.15 แรงดันไฟฟ้าด้านเข้าอินเวอร์เตอร์ แรงดันไฟฟ้าตกคร่อมสวิตช์รีเลย์ กระแสไฟฟ้ามอเตอร์ ในกรณีที่แรงดันต่ำกว่าที่กำหนด (V_{L1-L2} : 1.00 kV/div ; V_{SW} : 1.00 kV/div ; I_A : 5.00 A/div : 10s/div) 88

4.16 แรงดันไฟฟ้าด้านเข้าอินเวอร์เตอร์ แรงดันตกไฟฟ้าคร่อมสวิตช์รีเลย์ กระแสไฟฟ้ามอเตอร์ ในกรณีที่กระแสไฟฟ้าเกินกว่าที่กำหนด (V_{L1-L2} : 1.00 kV/div ; V_{SW} : 1.00 kV/div ; I_A : 20.00 A/div : 10s/div) 88

4.17 สถานที่ อุโมงค์ลมและตำแหน่งที่ใช้วัดความเร็วลม 89

4.18 ความถี่ของมอเตอร์พัดลมกับความเร็วลมแต่ละตำแหน่งในอุโมงค์ลมตามแกน X ในวิธีอินเวอร์เตอร์ที่นำเสนอ 92

4.19 ความถี่ของมอเตอร์พัดลมกับความเร็วลมแต่ละตำแหน่งในอุโมงค์ลมตามแกน Y ในวิธีอินเวอร์เตอร์ที่นำเสนอ 92

4.20 แรงดันไฟฟ้าเข้ามอเตอร์พัดลมและความเร็วลมแต่ละตำแหน่งในอุโมงค์ลมตามแกน X ในวิธีเปิด-ปิด 96

4.21	แรงดันไฟฟ้าเข้ามอเตอร์พัดลมและความเร็วลมแต่ละตำแหน่งในอุโมงค์ลมตามแกน Y ในวิธีเปิด-ปิด	96
4.22	แรงดันไฟฟ้าเข้าอินเวอร์เตอร์และความเร็วลมแต่ละตำแหน่งในอุโมงค์ลมตามแกน X ในวิธีอินเวอร์เตอร์ที่นำเสนอ ขณะที่ขับมอเตอร์พัดลมด้วยความถี่ 100 %	97
4.23	แรงดันไฟฟ้าเข้าอินเวอร์เตอร์และความเร็วลมแต่ละตำแหน่งในอุโมงค์ลมตามแกน Y ในวิธีอินเวอร์เตอร์ที่นำเสนอ ขณะที่ขับมอเตอร์พัดลมด้วยความถี่ 100 %	98
4.24	แรงดันไฟฟ้าเข้าอินเวอร์เตอร์และความเร็วลมแต่ละตำแหน่งในอุโมงค์ลมตามแกน X ในวิธีอินเวอร์เตอร์ที่นำเสนอ ขณะที่ขับมอเตอร์พัดลมด้วยความถี่ 20 %	99
4.25	แรงดันไฟฟ้าเข้าอินเวอร์เตอร์และความเร็วลมแต่ละตำแหน่งในอุโมงค์ลมตามแกน Y ในวิธีอินเวอร์เตอร์ที่นำเสนอ ขณะที่ขับมอเตอร์พัดลมด้วยความถี่ 20 %	99
4.26	ความสัมพันธ์ของความเร็วรอบใบพัดลมกับความถี่ของมอเตอร์	100
ข.1	หน้าจอแสดงผลของอินเวอร์เตอร์ในโหมด Manual	130
ข.2	หน้าจอแสดงผลในโหมด VC-1M ของอินเวอร์เตอร์ตัวหลัก (Master Inverter)	132
ข.3	หน้าจอแสดงผลในโหมด VC-1S ของอินเวอร์เตอร์ตัวรอง (Slave Inverter)	132
ข.4	หน้าจอแสดงผลของอินเวอร์เตอร์ เมื่อทำงานในโหมด AUTO	133
ค.1	การเชื่อมต่อวงจรสำหรับการทดลอง ค.1	136
ค.2	การเชื่อมต่อวงจรการทดลองจริงของการทดลองค.1	136
ค.3	การเชื่อมต่อวงจรการทดลอง ค.2	139
ค.4	การเชื่อมต่อวงจรการทดลองจริงในการทดลอง ค.2	139
ง.1	แรงดันไฟฟ้าเข้าอินเวอร์เตอร์และความเร็วลมแต่ละตำแหน่งในอุโมงค์ลมตามแกน X ในวิธีอินเวอร์เตอร์ที่นำเสนอ ขณะที่ขับมอเตอร์พัดลมด้วยความถี่ 80 %	146
ง.2	แรงดันไฟฟ้าเข้าอินเวอร์เตอร์และความเร็วลมแต่ละตำแหน่งในอุโมงค์ลมตามแกน Y ในวิธีอินเวอร์เตอร์ที่นำเสนอ ขณะที่ขับมอเตอร์พัดลมด้วยความถี่ 80 %	147
ง.3	แรงดันไฟฟ้าเข้าอินเวอร์เตอร์และความเร็วลมแต่ละตำแหน่งในอุโมงค์ลมตามแกน X ในวิธีอินเวอร์เตอร์ที่นำเสนอ ขณะที่ขับมอเตอร์พัดลมด้วยความถี่ 60 %	148
ง.4	แรงดันไฟฟ้าเข้าอินเวอร์เตอร์และความเร็วลมแต่ละตำแหน่งในอุโมงค์ลมตามแกน Y ในวิธีอินเวอร์เตอร์ที่นำเสนอ ขณะที่ขับมอเตอร์พัดลมด้วยความถี่ 60 %	148
ง.5	แรงดันไฟฟ้าเข้าอินเวอร์เตอร์และความเร็วลมแต่ละตำแหน่งในอุโมงค์ลมตามแกน X ในวิธีอินเวอร์เตอร์ที่นำเสนอ ขณะที่ขับมอเตอร์พัดลมด้วยความถี่ 40 %	149
ง.6	แรงดันไฟฟ้าเข้าอินเวอร์เตอร์และความเร็วลมแต่ละตำแหน่งในอุโมงค์ลมตามแกน Y ในวิธีอินเวอร์เตอร์ที่นำเสนอ ขณะที่ขับมอเตอร์พัดลมด้วยความถี่ 40 %	150
จ.1	อินเวอร์เตอร์ขับโหลดมอเตอร์พัดลม 1 ตัว เมื่อไม่มีฟิลเตอร์กับรีแอคเตอร์	152

จ.2 อินเวอร์เตอร์ขับโหลดมอเตอร์พัดลม 1 ตัว เมื่อมีฟิลเตอร์กับรีแอคเตอร์ 152

จ.3 แรงดันไฟฟ้าที่ขั้วมอเตอร์พัดลม เมื่ออินเวอร์เตอร์ขับมอเตอร์พัดลมที่ความถี่ 50 Hz ด้วยสายไฟยาว 7 เมตร ขณะไม่มีฟิลเตอร์กับรีแอคเตอร์ (0.200kv/div: 50us/div) 153

จ.4 แรงดันไฟฟ้าที่ขั้วมอเตอร์พัดลม เมื่ออินเวอร์เตอร์ขับมอเตอร์พัดลมที่ความถี่ 50 Hz ด้วยสายไฟยาว 7 เมตร ขณะมีฟิลเตอร์กับรีแอคเตอร์ (0.200kv/div: 50us/div) 153

จ.5 แรงดันไฟฟ้าที่ขั้วมอเตอร์พัดลม เมื่ออินเวอร์เตอร์ขับมอเตอร์พัดลมที่ความถี่ 50 Hz ด้วยสายไฟยาว 14 เมตรขณะไม่มีฟิลเตอร์กับรีแอคเตอร์ (0.200kv/div: 50us/div) 154

จ.6 แรงดันไฟฟ้าที่ขั้วมอเตอร์พัดลม เมื่ออินเวอร์เตอร์ขับมอเตอร์พัดลมที่ความถี่ 50 Hz ด้วยสายไฟยาว 14 เมตรขณะมีฟิลเตอร์กับรีแอคเตอร์ (0.200kv/div: 50us/div) 154

จ.7 แรงดันไฟฟ้าที่ขั้วมอเตอร์พัดลม เมื่ออินเวอร์เตอร์ขับมอเตอร์พัดลมที่ความถี่ 50 Hz ด้วยสายไฟยาว 25 เมตรขณะไม่มีฟิลเตอร์กับรีแอคเตอร์ (0.200kv/div: 50us/div) 155

จ.8 แรงดันไฟฟ้าที่ขั้วมอเตอร์พัดลม เมื่ออินเวอร์เตอร์ขับมอเตอร์พัดลมที่ความถี่ 50 Hz ด้วยสายไฟยาว 25 เมตรขณะมีฟิลเตอร์กับรีแอคเตอร์ (0.200kv/div: 50us/div) 155

จ.9 แรงดันไฟฟ้าที่ขั้วมอเตอร์พัดลม เมื่ออินเวอร์เตอร์ขับมอเตอร์พัดลมที่ความถี่ 50 Hz ด้วยสายไฟยาว 40 เมตรขณะไม่มีฟิลเตอร์กับรีแอคเตอร์ (0.200kv/div: 50us/div) 156

จ.10 แรงดันไฟฟ้าที่ขั้วมอเตอร์พัดลม เมื่ออินเวอร์เตอร์ขับมอเตอร์พัดลมที่ความถี่ 50 Hz ด้วยสายไฟยาว 40 เมตรขณะมีฟิลเตอร์กับรีแอคเตอร์ (0.200kv/div: 50us/div) 156

ฉ.1 แรงดันและกระแสไฟฟ้าทางด้านออกของอินเวอร์เตอร์ที่ความถี่ 25 Hz (V_{AB} : 0.200 kV/div : V_{BC} : 0.200 kV/div : V_{CA} : 0.100 kV/div ; I_A : 2.00 A/div : 20ms/div) 159

ฉ.2 แรงดันและกระแสไฟฟ้าทางด้านออกของอินเวอร์เตอร์ที่ความถี่ 40 Hz (V_{AB} : 0.200 kV/div : V_{BC} : 0.200 kV/div : V_{CA} : 0.100 kV/div ; I_A : 2.00 A/div : 20ms/div) 160

ฉ.3 การเชื่อมต่อเครื่องควบคุมสภาวะอากาศและระบายอากาศแบบเปิด - ปิด (ON-OFF Controller) กับอินเวอร์เตอร์ 3 เครื่องด้วยเครื่อง ON-OFF Interface 161

ฉ.4 ความสัมพันธ์ของสัญญาณแบบขั้นจากเครื่องควบคุมสภาวะอากาศและระบายอากาศแบบเปิด-ปิด (ON-OFF Controller) กับความถี่อินเวอร์เตอร์ขับมอเตอร์ 161

ฉ.5 สัญญาณแบบขั้นทั้ง 7 ขั้น จากเครื่องควบคุมแบบเปิด-ปิด (V_{Step_Up} : 1 V/div :10s/div) 162

ฉ.6 ความสัมพันธ์ระหว่างสัญญาณแบบขั้นที่ 0 ถึง 6 จากเครื่องควบคุมสภาวะอากาศแบบเปิด-ปิด และกระแสไฟฟ้ามอเตอร์ (V_{Step_down} : 1 V/div ; I_{A_M1} : 2.00 A/div ; I_{B_M2} : 2.00 A/div ; I_{C_M3} : 2.00 A/div :10s/div 163

ฉ.7 ความสัมพันธ์ระหว่างสัญญาณแบบขั้นที่ 6 ถึง 0 จากเครื่องควบคุมสภาวะอากาศแบบเปิด-ปิด และกระแสไฟฟ้ามอเตอร์ (V_{Step_down}: 1 V/div ; I_{A_M1}: 2.00 A/div ; I_{B_M2}: 2.00 A/div ; I_{C_M3}: 2.00 A/div :10s/div 163

ฉ.8 ความสัมพันธ์ของสัญญาณแบบขั้นจากเครื่องควบคุมสภาวะอากาศแบบเปิด-ปิด (ON-OFF Controller) ความถี่มอเตอร์วัดได้ 164

ฉ.9 การเชื่อมต่อวงจรการทดลองในโหมดอัตโนมัติของอินเวอร์เตอร์ 165

ฉ.10 ความสัมพันธ์ผลต่างอุณหภูมิ (DiffTemp) และ-ความถี่ของมอเตอร์ที่วัดได้ 166

ช.1 การเชื่อมต่อการทดลองเพื่อหาประสิทธิภาพของอินเวอร์เตอร์ที่นำเสนอ 168

ช.2 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพและความถี่ของอินเวอร์เตอร์ที่นำเสนอ 169

ซ.1 ผลตอบสนองของอุณหภูมิที่วัดได้ในโรงเรือนปิดเมื่อเทียบกับอุณหภูมิที่ต้องการควบคุม 171

ซ.2 ผลตอบสนองของความชื้นที่วัดได้ในโรงเรือนปิดเมื่อเทียบกับความชื้นที่ต้องการควบคุม 172

รายการสัญลักษณ์

f_c	=	ความถี่คัตอ๊อฟ
f_e	=	ความถี่ของแรงดันไฟฟ้าของระบบ
I_m	=	กระแสที่ทำให้เกิดเส้นแรงแม่เหล็ก
I_{L1}, I_{L2}, I_{L3}	=	กระแสไฟฟ้าทางด้านเข้าของอินเวอร์เตอร์
I_A, I_B, I_C	=	กระแสไฟฟ้าทางด้านออกของอินเวอร์เตอร์
I_{A_M1}	=	กระแสไฟฟ้าเฟส A ทางด้านออกอินเวอร์เตอร์ของมอเตอร์เหนี่ยวนำตัวที่ 1
I_{B_M2}	=	กระแสไฟฟ้าเฟส B ทางด้านออกอินเวอร์เตอร์ของมอเตอร์เหนี่ยวนำตัวที่ 2
I_{C_M3}	=	กระแสไฟฟ้าเฟส C ทางด้านออกอินเวอร์เตอร์ของมอเตอร์เหนี่ยวนำตัวที่ 3
L_e	=	ค่าความเหนี่ยวนำร่วม
L_m	=	ค่าความเหนี่ยวทำแม่เหล็ก
n_r	=	ความเร็วโรเตอร์ของมอเตอร์
n_s	=	ความเร็วซิงโครนัสของมอเตอร์
n_{slip}	=	ความต่างระหว่างความเร็วซิงโครนัสและความเร็วโรเตอร์
R_S	=	ค่าความต้านทานสเตเตอร์
R_r	=	ค่าความต้านทานโรเตอร์
T_z	=	เวลารวมในการสับสวิตช์
T_z	=	เวลารวมในการสับสวิตช์
V_{as}, V_{bs}, V_{cs}	=	แรงดันไฟฟ้าสเตเตอร์เฟส a เฟส b และ เฟส c
V_A, V_B, V_C	=	แรงดันไฟฟ้าเฟสทางด้านออกของอินเวอร์เตอร์
$V_{Control}$	=	สัญญาณควบคุมหรือสัญญาณไซน์
V_{DC}	=	แรงดันไฟฟ้ากระแสตรง
$\vec{V}_{ref}$	=	แรงดันไฟฟ้าเวกเตอร์อ้างอิง
V_s	=	แรงดันไฟฟ้าที่ขั้วสเตเตอร์มอเตอร์

V_{SW}	=	แรงดันไฟฟ้าตกคร่อมสวิตช์รีเลย์
V_{Step_Up}	=	แรงดันขั้นขาขึ้น
V_{Step_down}	=	แรงดันขั้นขาลง
V_{L1}, V_{L2}, V_{L3}	=	แรงดันเฟสทางด้านเข้าของอินเวอร์เตอร์
$V_{tri.}$	=	สัญญาณแรงดันรูปสามเหลี่ยม
$V_{\alpha s}, V_{\beta s}$	=	แรงดันเฟสที่สเตเตอร์บนแกนอ้างอิง α, β (V)
λ_m	=	เส้นแรงแม่เหล็กในช่องอากาศ (Air gap flux)

ประมวลศัพท์และคำย่อ

A	=	Ampere
ADC	=	Analog to Digital Converter
CFM	=	Cubic Feet per Minute
CSI	=	Current Source Inverter
DAC	=	Digital to Analog Converter
HP	=	Horse Power
IGBT	=	Isolate Gate Bipolar Transistor
LCD	=	Liquid Crystal Display
mm	=	millimeter
mA	=	Milli Ampere
MCU	=	Microcontroller Unit
PI	=	Proportional-Integral
PID	=	Proportional-Integral- Derivative
PIP	=	Proportional-Integral-Plus
PPM	=	Part per Million
PWM	=	Pulse Width Modulation
RH	=	Relative Humidity
RPM	=	Revolutions per minute
SPWM	=	Sine Pulse Width Modulation
SVPWM	=	Space Vector Pulse Width Modulation
THD	=	Total Harmonic Distortion
V	=	Voltage
VFD	=	Variable Frequency Drive
VSI	=	Voltage Source Inverter
VSD	=	Variable Speed Drive