

เอกสารอ้างอิง

1. Thai Boiler Processing Exporters Association, **STATISTIC** [Online], Available: <http://www.thaipoultry.org/STATISTIC/tabid/248/Default.aspx> [2008, June 24].
2. Yahav , S., Rusal , M., and Shinder, D., 2008, “The Effect of Ventilation on Performance Body and Surface Temperature of Young Turkeys”, **Poultry Science Association Inc.**, [Electronic], Vol.87, pp.133–137, Available: Poultry Science [2009, December 25].
3. Yahav , S., Straschnow, A., Luger, D., Shinder, D., Tanny, J. and Cohen, S., 2004, “Ventilation Sensible Heat Loss, Broiler Energy, and Water Balance Under Harsh Environmental Condition”, **Poultry Science Association Inc .**, [Electronic], Vol 83, pp.253–258, Available : Poultry Science [2009, December 25].
4. Thai Livestock farm Database, **Data and Statistic** [Online] Available: <https://survey.dld.go.th/> [2010, June 24].
5. Bangkokbiznew, **Creative Enterprise: Innovative** [Online], Available: <http://www.creativeenterprise.in.th> , [2010, July 15].
6. Chao, K., Gates, R.S., 1996, “Design of Switching Control Systems for Ventilated Greenhouses”, **Transactions of the ASAE** [Electronic], Vol. 39, No. 4, pp. 1513-1523, Available : The American Society of Agricultural and Biological Engineers (ASABE) [2009, December 25].
7. Ford, S.E., Riskowski, G.L., Funk, T.L., Zhivov, A.M., 1998, “Evaluation of variable drives for agricultural ventilation fan speed control”, **ASAE Annual International Meeting** [Electronic], Vol. 8, Paper No. 984041. Available : The American Society of Agricultural and Biological Engineers (ASABE) [2009, December 25].

8. Teitel , M., Levi , A., Zhao ,Y., Barak, M., Bar-lev ,E., and Shmuel ,D., 2008, “Energy saving in agricultural buildings through fan motor control by variable frequency drives”, **Energy and Buildings** [Electronic], Vol. 40, pp. 953–960, Available : Elsevier / Science Direct [2009, October 15].
9. Taylora, C.J., Leigh, P., Price, L., Young, P.C., Vranken, E. and Berckmans, D., 2004, “Proportional-integral-plus (PIP) control of ventilation rate in agricultural buildings”, **Elsevier Science, Control Engineering Practice** [Electronic], Vol. 12, pp. 225–233, Available : Elsevier / Science Direct [2010, October 1].
10. Schauburger, G., Piringer , M., Petz, E., 2000, “Steady-state balance model to calculate the indoor climate of livestock buildings, demonstrated for finishing pigs”, **Int J Biometeorol** [Electronic], Vol. 43, pp. 154–162, Available : SpringerLink [2010 June 6].
11. Gates, R.S., Chao, K., and Sigrimis, N., 2001, “Identifying design parameters for fuzzy control of staged ventilation control systems”, **Elsevier Science, Computers and Electronics in Agriculture** [Electronic], Vol. 31, pp. 61–74, Available : Elsevier / Science Direct [2009, December 27].
12. Wu , Z., Stoustrup, J., Trangbaek , K., Heiselberg , P., and Jensen ,M.R., 2006, “Model Predictive Control of the Hybrid Ventilation for Livestock”, **Proceedings of the 45th IEEE Conference on Decision & Control** [Electronic], pp. 1460-1465, Available : IEEE Xplore [2010, February 4].
13. Chapman, S.J., 1999, **Electric Machinery fundamental**, 3rd ed., The McGRAW-HILL INTERNATIONAL, McGRAW-HILL Interational Edition, pp. 357-440.
14. Hughes, A., 2006, **Electric Motor and Drive fundamental Type Applications**, 3rd ed., NNewnes is an imprint of Elsevier Press, pp. 170-191.
15. Krishnan, R., 2001, **Electric motor drives : modeling, analysis and control**, Prentice-Hall, New Jersey, pp. 325-366.

16. TOSHIBA Instruction Manual, **The new high-performance inverter TOSVER™ VF-AS1**, pp. E-11 and E-12.
17. ศิวะ หงษ์นภา, 2547, การควบคุมและการประยุกต์ใช้งานอินเวอร์เตอร์, วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, กรุงเทพฯ, หน้า 116-117.
18. B. International & Technology Co., Ltd., **New Blade Innovation Can save Electricity up 20%**, [Online], Available: <http://www.b-inter.com/file/download/20/fan.pdf>. [2010, October 22].
19. สมบูรณ์ แสงวงศ์วานิชย์, 2542, **สารานุกรมเกี่ยวกับพลังงานไฟฟ้า**, สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์, กรุงเทพฯ, หน้า 173.
20. Bose, B. K., 2002, **Modern Power Electronics and AC Drivers**, Prentice Hall, New Jersey Press, pp. 191-261.
21. Holmes, D. G. and Lipo, T. A., 2003, **Pulse Width Modulation for Power Converters**, IEEE Press, pp. 215-253.
22. Van der Broeck, H.W., Skudelny, H.-C., Stanke, G.V., 1988, "Analysis and realization of a pulsewidth modulator based on voltage space vectors", **Industry Applications, IEEE Transactions** [Electronic], Vol. 24, No. 1, pp. 142 – 150, Available : IEEE Xplore [2010, July 3].
23. B. International & Technology Co., Ltd., **Cooling Pad Brochure**, [Online], Available : <http://www.b-inter.com/file/download/22/coolingpad.pdf> [2010, October 22].
24. B. International & Technology Co., Ltd., **Ventilation Controller Brochure**, [Online], Available: <http://www.b-inter.com/file/download/19/ventilationeng.pdf> [2010, October 22].
25. B. International & Technology Co., Ltd., **Clients**, [Online], Available: <http://www.b-inter.com/thai/clients.asp> [2010, October 22].

26. กรมปศุสัตว์, 2542, ระเบียบกรมปศุสัตว์ว่าด้วยการคุ้มครองและดูแลสวัสดิภาพสัตว์ปีก ณ สถานที่เลี้ยง พ.ศ.2542, กรมปศุสัตว์ กระทรวงเกษตรและสหกรณ์
27. กรมปศุสัตว์, 2542, ระเบียบกรมปศุสัตว์ว่าด้วยการคุ้มครองและดูแลสวัสดิภาพสุกร ณ สถานที่เลี้ยง พ.ศ.2544, กรมปศุสัตว์ กระทรวงเกษตรและสหกรณ์
28. IEEE Standard No. 1159-1995, 1995, **IEEE Recommended Practice for Monitoring Electric Power Quality**, pp. 9-12.

ภาคผนวก ก
ผลงานที่ได้รับการตีพิมพ์

บทความที่ 1

การประชุมวิชาการประจำปี 2551 4-5 ธันวาคม 2551 ณ ศูนย์การศึกษาและฝึกอบรม
นานาชาติ มหาวิทยาลัยแม่โจ้

การประหยัดพลังงานและการควบคุมสภาวะอากาศภายในโรงเรือนปิดปศุสัตว์ โดยใช้อินเวอร์เตอร์

Energy Savings and Climate Control by Inverter-Driven Fans in a Closed Livestock House

ธีรพงษ์ ศรีเชียงสา¹ วุฒิชัย พลวิเศษ² และมงคล กงศ์หิรัญ¹

¹ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี กรุงเทพฯ 10140

²ภาควิชาวิศวกรรมระบบควบคุมและเครื่องมือวัด คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี กรุงเทพฯ 10140

E-mail: neung_kmutt@hotmail.com

บทคัดย่อ

ประเทศไทยเป็นผู้ส่งออกผลิตภัณฑ์ไก่มากที่สุดเป็นอันดับต้นๆ ของโลก ความต้องการส่งออกผลิตภัณฑ์ไก่ที่มีคุณภาพจึงมีความสำคัญเป็นอย่างมาก องค์ประกอบอย่างหนึ่งที่จะได้มาซึ่งคุณภาพของเนื้อไก่หรือเนื้อสัตว์ฟาร์มอื่นๆ คือการเลี้ยงดูสัตว์ฟาร์มในสภาวะอากาศและอัตราเร็วลมที่เหมาะสม โดยใช้มอเตอร์พัดลมเป็นตัวระบายอากาศ ซึ่งระบบควบคุมสภาวะอากาศในโรงเรือนปิดปศุสัตว์ โดยทั่วไปจะเป็นการควบคุมแบบเปิด-ปิด ซึ่งระบบการควบคุมแบบนี้จะทำให้ต้องสูญเสียพลังงานไฟฟ้าไปกับการเปิดๆ ปิดๆ อยู่ตลอดเวลาและยังสูญเสียพลังงานไฟฟ้าขณะเริ่มสตาร์ทมอเตอร์ เป็นสาเหตุให้ค่าไฟฟ้าสูงแล้วส่งผลให้ต้นทุนการผลิตเนื้อสัตว์สูงตามไปด้วย ในปัจจุบันจึงมีการลดต้นทุนทางพลังงานไฟฟ้าโดยใช้ใบพัดลมประสิทธิภาพสูง มอเตอร์ประสิทธิภาพสูง และแผ่นรังผึ้ง (Cooling pad) ที่ถูกออกแบบให้มีประสิทธิภาพสูง ถึงแม้ว่าจะช่วยลดพลังงานไฟฟ้าได้ แต่ก็ยังไม่มากนัก ทุกวันนี้จึงมีการนำเครื่องอินเวอร์เตอร์เข้ามามีบทบาทมากขึ้นในภาคอุตสาหกรรมและภาคเกษตรกรรมเพื่อช่วยประหยัดพลังงานไฟฟ้าได้ เนื่องจากเครื่องอินเวอร์เตอร์ช่วยลดกระแสขณะสตาร์ทและลดความเร็วรอบมอเตอร์พัดลมที่เหมาะสม บทความวิจัยนี้จึงได้นำทฤษฎีอินเวอร์เตอร์และการควบคุมความเร็วมอเตอร์ พร้อมกับทดสอบการใช้อินเวอร์เตอร์ในระบบควบคุมอุณหภูมิในโรงเรือนปิดจำลอง จากผลการทดลองยืนยันได้ว่าอินเวอร์เตอร์สามารถช่วยประหยัดพลังงานไฟฟ้าได้อย่างชัดเจนเมื่อเปรียบเทียบกับระบบควบคุมแบบเดิมที่เป็นแบบเปิด-ปิด

คำสำคัญ: การประหยัดพลังงาน โรงเรือนปิดปศุสัตว์ อินเวอร์เตอร์ การควบคุมความเร็วมอเตอร์

Abstract

Thailand is one of the leading chicken-product exporters in the world. Therefore, the need of exporting chicken products or other livestock is very important. One of the key factors for good quality livestock is to raise animals in suitable weather and wind speed in which the livestock house uses the fan motors as ventilators. In each house, a number of 1.5-hp fan motors could be up to twelve, depending on the size of house. Generally, the climate control system in the closed

livestock house uses the on/off control of fan motors. In this control scheme, the electric energy is unnecessarily wasting because of two reasons: (i) high starting current (known as in-rush current) during direct-start, and (ii) only full-speed operation during run-time. Presently, highly efficient equipments such as fan bland, motor, and cooling pad have been employed to reduce the electricity consumption. However, the reduction of electricity cost from these equipments is not significant. Nowadays, inverter is getting more role in industrial and agricultural sectors for energy savings. Because it can lessen the in-rush current by soft-start and properly operate motor in the lower speed range during run-time. In this paper, the theories of inverter and motor speed control are presented as well as the testing results of climate control performance and energy consumption in a closed livestock house. According to preliminary testing results, inverter can save energy more or less depending on the controlled temperature and climate conditions outside house. The full article will present the energy saving data by inverter in the closed livestock house and the control performance of temperature, humidity, and ventilation

Key words: energy saving, closed livestock house, inverter, motor speed control

คำนำ

ปัจจุบันอุตสาหกรรมการเลี้ยงสัตว์ฟาร์มในโรงเรือนปิดของประเทศไทยทำกันอย่างแพร่หลาย ซึ่งเป็นอุตสาหกรรมที่มีความสำคัญต่อระบบเศรษฐกิจไทยเป็นอย่างมาก ที่เห็นได้ชัดเจนคือ อุตสาหกรรมการเลี้ยงไก่ฟาร์ม ประเทศไทยเป็นผู้ส่งออกผลิตภัณฑ์ไก่มากที่สุดเป็นอันดับ 5 ของโลก ในปี 2546 ก่อนเกิดโรคไข้หวัดนก ประเทศไทยส่งออกไก่สดและไก่แปรรูป 545,990 ตัน ถึงแม้ประเทศไทยจะประสบปัญหาโรคไข้หวัดนกระบาดในหมู่นกปีก แต่ในปี 2550 ประเทศไทยยังคงส่งออกไก่สดและไก่แปรรูป 333,523 ตัน (Thai Broiler Processing Exporters Association, 2008) ปัจจุบันไก่สดและไก่ปรุงสุกมีราคาโลกรับละ 48 และ 123.64 บาท ตามลำดับ ดังนั้นความต้องการส่งออกผลิตภัณฑ์ไก่หรือผลิตภัณฑ์สัตว์ฟาร์มอื่นๆ ที่มีคุณภาพ จึงมีความสำคัญเป็นอย่างมาก องค์ประกอบอย่างหนึ่งที่ได้มาซึ่งคุณภาพของเนื้อสัตว์ฟาร์มคือการเลี้ยงดูสัตว์ฟาร์มในสภาวะอากาศและอัตราเร็วลมที่เหมาะสม (ธัญญา, 2546) โดยใช้มอเตอร์พัดลมเป็นตัวระบายอากาศ การเลี้ยงสัตว์ฟาร์มในโรงเรือนปิดนั้นจึงจำเป็นต้องใช้พลังงานไฟฟ้า เพื่อควบคุมสภาวะอากาศภายในโรงเรือน ดังนั้นการประหยัดพลังงานไฟฟ้าจึงมีความสำคัญต่อผู้ประกอบการเลี้ยงสัตว์ฟาร์มเพื่อช่วยลดต้นทุนการผลิตได้ อินเวอร์เตอร์เป็นเครื่องมือทางไฟฟ้าอีกอย่างหนึ่งที่สามารถช่วยประหยัดพลังงานไฟฟ้าได้ ซึ่งปัจจุบันมีการประยุกต์ใช้อินเวอร์เตอร์เพื่อการประหยัดพลังงานอยู่มาก เช่น การประยุกต์ใช้อินเวอร์เตอร์กับระบบปรับอากาศ พัดลม ระบบปั๊มน้ำ ฯลฯ อินเวอร์เตอร์จะช่วยลดกระแสตาร์ทของมอเตอร์เหนี่ยวนำ ด้วยเหตุนี้จึงประหยัดพลังงานลงอย่างมากเมื่อเทียบกับการสตาร์ทมอเตอร์เหนี่ยวนำด้วยระบบเปิด-ปิด บทความวิจัยนี้ได้เสนอการนำทฤษฎีอินเวอร์เตอร์สำหรับการปรับสภาวะอากาศภายในโรงเรือนปิดเพื่อการประหยัดพลังงาน ซึ่งเป็นทางเลือกหนึ่งที่จำเป็นให้กับผู้ประกอบการเลี้ยงสัตว์ฟาร์ม ในงานวิจัยนี้ทำการศึกษาการควบคุมสภาวะอากาศภายในโรงเรือนปิดจำลองโดยการ

ใช้อินเวอร์เตอร์เป็นตัวปรับความเร็วรอบมอเตอร์พัดลมอัตโนมัติ ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากบทความวิจัยนี้ ได้แก่ ผู้ประกอบการเลี้ยงสัตว์ฟาร์มได้รับความรู้ทางด้านเทคนิคการประหยัดพลังงานไฟฟ้าของมอเตอร์เหนียวนาโดยการใช้อินเวอร์เตอร์ และจูงใจให้ผู้ประกอบการตัดสินใจลงทุนซื้อเครื่องอินเวอร์เตอร์มาใช้งานแทนระบบควบคุมแบบเดิม โดยคาดว่าจะคุ้มทุนประมาณ 1.5 ปี เมื่อเทียบกับค่าไฟฟ้าเดิมที่เป็นแบบระบบเปิด-ปิด

อุปกรณ์และวิธีการ

บทความนี้ได้นำเอาทฤษฎีการปรับความเร็วรอบมอเตอร์ด้วยอินเวอร์เตอร์มาประยุกต์ใช้งานภายในโรงเรือนปิดปลุสค์ร์ เพื่อที่จะปรับความเร็วรอบมอเตอร์พัดลมทำงานตามความจำเป็นของโหลด ด้วยเหตุผลดังกล่าวก็จะสามารถประหยัดพลังงานไฟฟ้าลงได้มาก เนื่องจากอินเวอร์เตอร์ช่วยลดกระแสไฟฟ้าขณะสตาร์ทและลดการใช้กำลังไฟฟ้าลงขณะที่ลดความเร็วรอบมอเตอร์ลง การที่อินเวอร์เตอร์สามารถปรับความเร็วรอบมอเตอร์ลดลงหรือเพิ่มขึ้นได้นั้น อาศัยวิธีการควบคุมแรงดันต่อความถี่ (v/f control) อินเวอร์เตอร์ 3 เฟสนี้ประกอบด้วยสวิทช์กำลัง 6 ตัว ตัวอย่างของสวิทช์กำลังนี้ เช่น IGBT MOSFET สวิทช์ทั้ง 6 นี้จะถูกควบคุมให้เปิด-ปิด เพื่อที่จะสร้างแรงดันและความถี่ด้านออกให้กับมอเตอร์เหนียวนา เมื่อสร้างอินเวอร์เตอร์ขึ้นมาตามทฤษฎีแล้ว นำอินเวอร์เตอร์ไปทดสอบภายในโรงเรือนปิดปลุสค์ร์จำลอง เพื่อทดสอบหาความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับความเร็วมอเตอร์พัดลม และยังทดสอบกำลังไฟฟ้าและพลังงานไฟฟ้าของมอเตอร์พัดลมที่ใช้ไป ที่ความเร็วรอบมอเตอร์ 100, 80, 60, 40 และ 20% และวัดพลังงานไฟฟ้าจากระบบที่เป็นแบบเปิด-ปิด ทำการศึกษาเปรียบเทียบค่าไฟฟ้าระหว่างระบบที่ใช้อินเวอร์เตอร์กับระบบที่เป็นแบบเปิด-ปิด

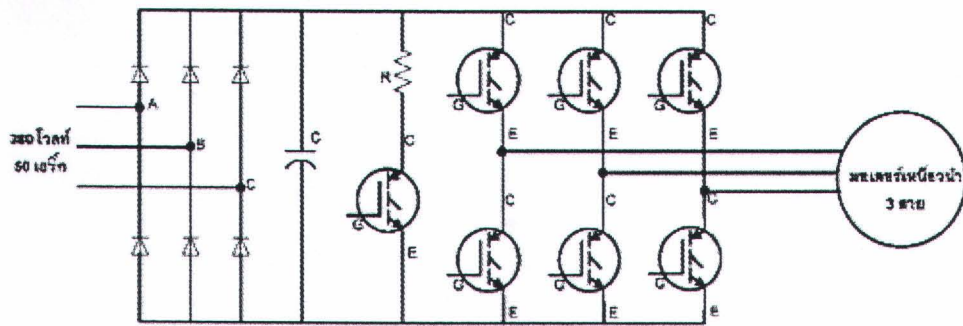
ความหมายของอินเวอร์เตอร์

อินเวอร์เตอร์ในทางวิชาการ หมายถึง วงจรไฟฟ้าที่ทำหน้าที่แปลงไฟฟ้ากระแสตรง ให้เป็นไฟฟ้ากระแสสลับ ส่วนในทางอุตสาหกรรม อินเวอร์เตอร์จะหมายถึง อุปกรณ์ที่ใช้ปรับเปลี่ยนความเร็วรอบมอเตอร์ (สมบุรณ์ 2542) ซึ่งประกอบไปด้วยวงจรแปลงไฟฟ้ากระแสตรงให้เป็นกระแสสลับ (Rectifier) อินเวอร์เตอร์ (Inverter) ชุดป้องกันแรงดันเกิน (Dynamic breaking) และ Dc bus capacitor โครงสร้างโดยทั่วไปของอินเวอร์เตอร์จะเป็นดังภาพที่ 1

หลักการทำงานของเครื่องอินเวอร์เตอร์

เมื่อจ่ายไฟที่เป็นรูปคลื่นไซน์ผ่านชุดแปลงแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับให้เป็นกระแสตรง(Rectifier) แล้วผ่านไปยัง Dc Bus capacitor ซึ่งทำหน้าที่กรองแรงดันไฟฟ้าตรงให้เรียบ แล้วผ่านต่อไปยัง Dynamic braking ที่ทำหน้าที่ควบคุมแรงดันไฟฟ้าตกคร่อมคาปาซิเตอร์ไม่ให้สูงเกินพิกัดในขณะที่มอเตอร์ถูกเบรกอย่างรวดเร็ว หลังจากนั้นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงก็จะจ่ายให้กับอินเวอร์เตอร์ ซึ่งอินเวอร์เตอร์ประกอบด้วยสวิทช์ 6 ตัว โดยสวิทช์ทั้ง 6 ตัวนี้จะทำการสวิตซ์ให้แรงดันดันที่ Dc bus เพื่อสร้างแรงดันกระแสสลับ 3 เฟส ทั้งขนาดและความถี่ปรับค่าได้ให้แก่มอเตอร์เหนียวนา โดยสวิทช์ทั้ง 6 จะถูกสั่งเปิด-ปิด ด้วยสัญญาณ

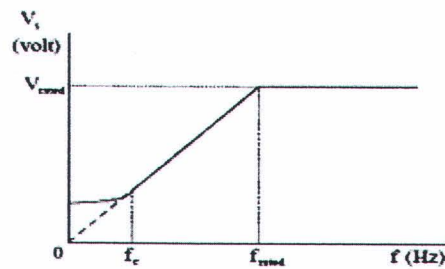
Pulse Width Modulation (PWM) ซึ่งวิธีควบคุมสวิตช์ทั้ง 6 มีอยู่หลายวิธีด้วยกัน เช่น Sine Triangle PWM และ Space-vector PWM เป็นต้น แต่ละวิธีนั้นจะมีทั้งข้อดีและข้อเสียที่ต่างกันไป ในบทความนี้จะไม่ได้กล่าวถึงในรายละเอียดของแต่ละวิธีดังกล่าว วิธีที่เป็นที่นิยมมากที่สุดคือวิธี Sine Triangle PWM เนื่องจากวิธีนี้ เป็นวิธีการที่ไม่ซับซ้อนและง่าย



ภาพที่ 1 โครงสร้างโดยทั่วไปของอินเวอร์เตอร์

การควบคุมความเร็วมอเตอร์โดยวิธีแรงดันต่อความถี่ (Novotny and Lipo, 1996)

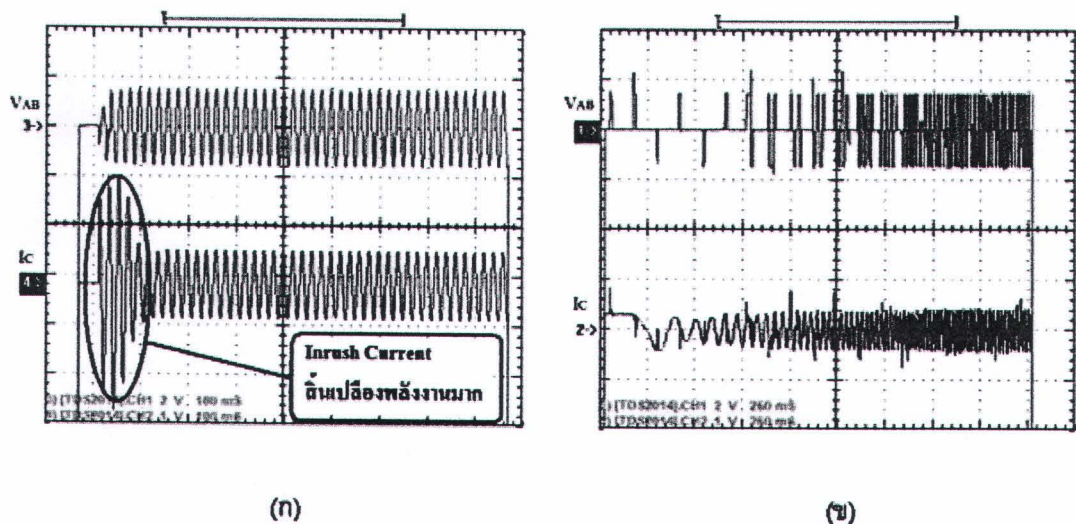
การควบคุมความเร็วมอเตอร์ด้วยวิธีแรงดันต่อความถี่ (v/f control) ความเร็วมอเตอร์จะถูกควบคุมโดยการปรับทั้งขนาดแรงดันและความถี่ที่สเตเตอร์ไปพร้อมๆกัน คือให้อัตราส่วนแรงดันต่อความถี่มีค่าคงที่ เพื่อที่จะรักษาระดับเส้นแรงแม่เหล็กในช่องอากาศ (Air gap flux, λ_m) ให้คงที่ ที่สภาวะคงตัว หรือกล่าวได้ว่า λ_m มีค่าเท่ากับอัตราส่วนแรงดันต่อความถี่โดยประมาณ ถ้าอัตราส่วน V_s / f มากไปจะทำให้แกนแม่เหล็กภายในมอเตอร์เกิดการอิ่มตัว มอเตอร์จะร้อนเกิดความเสียหายแก่มอเตอร์ แต่ถ้าอัตราส่วน V_s / f น้อยไปมอเตอร์จะไม่สามารถขับโหลดได้ เนื่องจากแรงบิดที่เกิดขึ้นต่ำมาก ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันสเตเตอร์กับความถี่ ของอัตราส่วน V_s / f สามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ช่วงดังภาพที่ 2 คือ ช่วงความถี่ต่ำ ($0 - f_c$ Hz) หรือเรียกว่า ช่วงทอร์คบูส (Torque boost region), ช่วงความถี่ปกติ ($f_c - f_{rated}$ Hz) และช่วงความถี่มากกว่าความเร็วพิกัด (มากกว่า f_{rated} Hz) หรือเรียกว่า ช่วงฟีลด์วีกนิง (Field weakening region)



ภาพที่ 2 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันสเตเตอร์กับความถี่ในการควบคุมแบบ V_o / f

การประหยัดพลังงานของอินเวอร์เตอร์

มอเตอร์เหนี่ยวนำที่ใช้ขับใบพัดลมระบายอากาศภายในโรงเรือนปิดนั้น ในขณะเริ่มเดินมอเตอร์นั้น จะเกิดกระแสสูงและเกิดการกระชากของมอเตอร์หรือที่เรียกว่า Inrush current ดังภาพที่ 3(ก) ช่วงนี้เองจะทำให้เกิดการสูญเสียพลังงานไฟฟ้าอย่างมากและยังทำให้อายุการใช้งานของมอเตอร์พัดลมต้นลงเมื่อมีการนำไปใช้งานในลักษณะที่มีการเปิด-ปิดตลอดเวลา แต่เมื่อนำอินเวอร์เตอร์มาใช้กับมอเตอร์เหนี่ยวนำ อินเวอร์เตอร์จะสามารถลดกระแสและการกระชากของมอเตอร์ในขณะสตาร์ทได้ ดังภาพที่ 3 (ข) ซึ่งจะทำให้การสตาร์ทและการหยุดมอเตอร์เป็นไปอย่างนุ่มนวล ดังนั้นอินเวอร์เตอร์จึงช่วยลดการสูญเสียพลังงานไฟฟ้าอย่างมาก ช่วยลดค่าไฟฟ้าและยังยืดอายุการใช้งานของมอเตอร์ได้ การที่ปรับความเร็วรอบมอเตอร์ให้ลดลงนั้นถือเป็นการประหยัดพลังงาน หรือกล่าวได้ว่าเป็นการใช้พลังงานตามความจำเป็นของโหลด



ภาพที่ 3 กระแสและแรงดันขณะสตาร์ทมอเตอร์

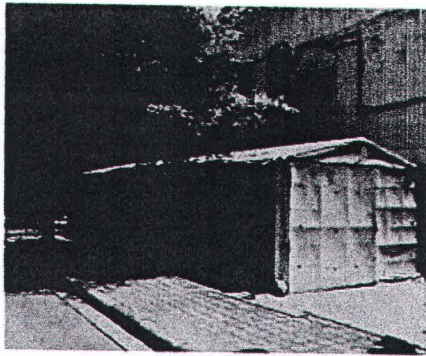
(ก) เมื่อไม่มีอินเวอร์เตอร์

(ข) เมื่อมีอินเวอร์เตอร์

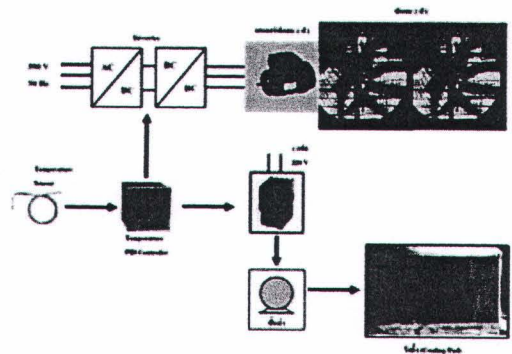
ระบบการควบคุมสภาวะอากาศภายในโรงเรือนปิดจำลอง

โรงเรือนปิดปลูกสัตว์จำลองที่ใช้ทำการทดสอบอินเวอร์เตอร์แสดงดังภาพที่ 4 ซึ่งภายในมีระบบการควบคุมสภาวะอากาศภายในโรงเรือนปิดจำลองที่ใช้ทำการทดสอบแสดงไว้ดังภาพที่ 5 ซึ่งประกอบด้วย อินเวอร์เตอร์ มอเตอร์พัดลม 2 ตัว ตัวควบคุมอุณหภูมิ (Temperature PID controller) เซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิ (Temperature sensor) มอเตอร์ปั๊มน้ำ 1 ตัว และรังผึ้ง (cooling pad) ซึ่งอุปกรณ์แต่ละตัวภายในโรงเรือนปิดทำหน้าที่ต่างกันดังนี้ อินเวอร์เตอร์ทำหน้าที่ปรับลดหรือเพิ่มความเร็วมอเตอร์พัดลม มอเตอร์พัดลมมีหน้าที่ระบายอากาศภายในโรงเรือนปิด ตัวควบคุมอุณหภูมิมีหน้าที่ควบคุมอุณหภูมิให้ได้ตามที่ตั้งไว้ เซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิทำหน้าที่วัดอุณหภูมิภายในโรงเรือนและส่งไปยังตัวควบคุมอุณหภูมิ มอเตอร์ปั๊มน้ำทำหน้าที่สูบน้ำส่งไปรังผึ้ง ส่วนรังผึ้งทำหน้าที่ระบายความร้อนและความชื้นและเพิ่มความชื้นสัมพัทธ์ในโรงเรือน โดยอาศัยน้ำจากที่มอเตอร์ปั๊มน้ำสูบมาให้

ระบบมีหลักการทำงานโดยสังเขปดังนี้ ทำการตั้งอุณหภูมิที่ต้องการที่ตัวควบคุมอุณหภูมิ ตัววัดอุณหภูมิ จะทำการวัดอุณหภูมิภายในโรงเรือนปิด แล้วจะส่งค่าอุณหภูมิไปยังตัวควบคุมอุณหภูมิเพื่อให้ประมวลผล ถ้าอุณหภูมิภายในโรงเรือนสูงกว่าอุณหภูมิที่ตั้งไว้ (Temperature Set point) ตัวควบคุมอุณหภูมิจะส่งสัญญาณ 0-10 V ไปยังอินเวอร์เตอร์เพื่อให้อินเวอร์เตอร์ทำการเพิ่มความเร็วมอเตอร์พัดลม อินเวอร์เตอร์ก็จะทำการเพิ่มความเร็วมอเตอร์เพื่อให้ระบายอากาศภายในโรงเรือนปิดและลดอุณหภูมิลงมาให้ใกล้เคียงกับอุณหภูมิที่ตั้งไว้ ในขณะเดียวกันตัวควบคุมอุณหภูมิก็สั่งให้แมกเนติกคอนแทคเตอร์ทำงานเพื่อที่จะให้ปั๊มน้ำทำงาน เพื่อที่จะสูบน้ำไปยังรังผึ้ง เพื่อที่จะช่วยเพิ่มความชื้นและความเย็นในโรงเรือน อากาศที่ร้อนจะถูกทำให้เย็นลงโดยน้ำที่ผ่านรังผึ้งที่ต้นโรงเรือน ซึ่งพัดลมจะดึงอากาศที่เย็นและชื้นออกนอกโรงเรือนปิดที่ปลายโรง อากาศร้อนภายนอกโรงเรือนถูกถ่ายเทเข้าไปในโรงเรือนโดยผ่านรังผึ้งซึ่งมีสภาพเปียกหรือมีน้ำไหล ความร้อนแฝงที่อยู่ในอากาศร้อนจะถูกถ่ายเทไปกับน้ำ อากาศที่ผ่านรังผึ้งจึงเย็นลง ในขณะนั้นก็จะมีความชื้นสัมพัทธ์สูงขึ้นด้วย การที่รังผึ้งเป็นตัวช่วยระบายอากาศร้อนจะทำให้มอเตอร์พัดลมไม่ต้องทำงานที่ความเร็วรอบสูง ซึ่งก็จะเป็นการประหยัดพลังงานไฟฟ้า ในอีกทางหนึ่ง ถ้าอุณหภูมิภายในโรงเรือนต่ำกว่าอุณหภูมิที่ตั้งไว้ ตัวควบคุมอุณหภูมิจะทำการประมวลผลและสั่งให้อินเวอร์เตอร์ปรับความเร็วมอเตอร์พัดลมลดลง ช่วงที่มอเตอร์พัดลมลดลง กำลังไฟฟ้าและพลังงานไฟฟ้าที่ถูกใช้กับมอเตอร์พัดลมก็จะถูกลดลง ส่วนปั๊มน้ำก็จะถูกปิดโดยตัวควบคุมอุณหภูมิเป็นตัวสั่ง



ภาพที่ 4 โรงเรียนปิดประตูจำลองที่ทำการทดสอบอินเวอร์เตอร์



ภาพที่ 5 ระบบการควบคุมสภาวะอากาศภายในโรงเรียนปิดที่ใช้ทดลอง

ผลการทดลอง

การศึกษาการปรับความเร็วรอบมอเตอร์พัฒลกับการประหยัดพลังงาน

จากการศึกษาความเร็วรอบมอเตอร์กับการประหยัดพลังงาน โดยศึกษาอุณหภูมิกับความเร็วรอบมอเตอร์ที่เปลี่ยนไปดังตารางที่ 1 พบว่าการควบคุมอุณหภูมิที่ต่ำความเร็วรอบมอเตอร์จะสูง แต่ถ้การควบคุมอุณหภูมิที่สูงความเร็วรอบมอเตอร์จะต่ำ ความเร็วรอบมอเตอร์ที่ลดลงนั้นแสดงให้เห็นถึงพลังงานไฟฟ้าที่ลดลงตามไปด้วย จากผลในตารางที่ 1 ถ้ต้องการควบคุมอุณหภูมิภายในโรงเรียนปิดประมาณ 28°C มอเตอร์พัฒลลก็จะหมุนอยู่ที่ 70% ของความเร็วที่พิกัด เพื่อให้ชัดเจนมากขึ้นว่ามอเตอร์ประหยัดพลังงานมากแค่ไหน จึงทำการนำมิตอร์วัดพลังงานไฟฟ้ามาวัดพลังงานไฟฟ้าของมอเตอร์ ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 2 พบว่าความเร็วรอบมอเตอร์พัฒลลแปรเปลี่ยนตามกำลังไฟฟ้า กล่าวคือ ถ้ความเร็วรอบมอเตอร์ต่ำ กำลังไฟฟ้าที่มอเตอร์พัฒลลใช้ก็จะต่ำตามไปด้วย เช่น ที่ความเร็ว 80% หรือความถี่ 40 Hz กำลังไฟฟ้าที่ใช้ คือ 87 วัตต์ ซึ่งคิดเป็น 80% ของกำลังไฟฟ้าที่พิกัด และในทางตรงกันข้ามถ้ความเร็วรอบมอเตอร์พัฒลลมาก กำลังไฟฟ้าที่มอเตอร์พัฒลลใช้ก็จะมากตามไปด้วย หลังจากนั้นทำการศึกษาหาพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ 8 ชั่วโมงไปกับมอเตอร์พัฒลลที่ความเร็วพัฒลลต่างๆ ดังตารางที่ 3 และสามารถแสดงเป็นกราฟดังภาพที่ 6 พบว่า ที่ความเร็วรอบมอเตอร์พัฒลลสูงก็จะใช้พลังงานไฟฟ้าสูง และเมื่อลดความเร็วรอบมอเตอร์ลดลงโดยใช้อินเวอร์เตอร์ก็จะใช้พลังงานไฟฟ้าลดลง

ตารางที่ 1 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิภายในโรงเรือนปิดกับความเร็วมอเตอร์พัดลม

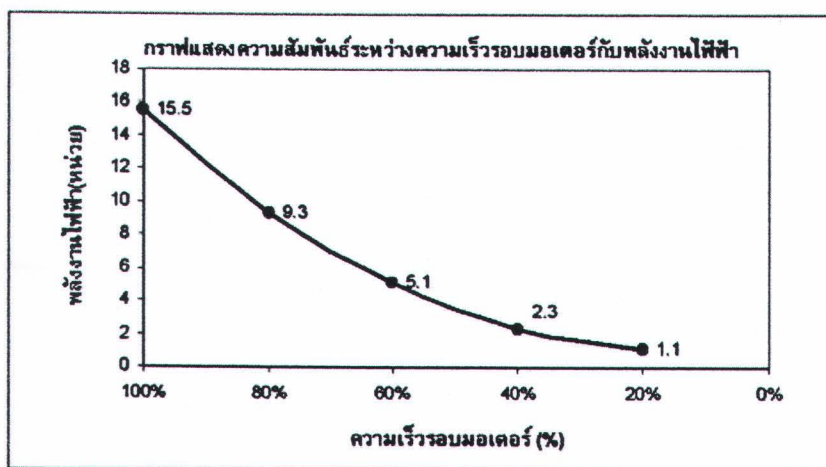
อุณหภูมิ (°C)	ความเร็วมอเตอร์พัดลม (%)
26	95
27	80
28	70
29	60
30	45

ตารางที่ 2 ความสัมพันธ์ของความเร็วมอเตอร์พัดลม ความถี่ กำลังไฟฟ้าที่ใช้

ความเร็วมอเตอร์พัดลม (%)	ความถี่ (Hz)	กำลังไฟฟ้าที่ใช้ (Watt)	กำลังไฟฟ้าที่ใช้ (%)
20	10	27	25
40	20	52	48
60	30	73	67
80	40	87	80
100	50	108	100

ตารางที่ 3 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วมอเตอร์พัดลมกับพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ 8 ชั่วโมง

การทดลอง	พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ (kW-hr)
เปิด (100%) ตลอดเวลา	17
เปิด 8 นาที ปิด 2 นาที	14
ความเร็วพัดลม 100%(50Hz)	15.5
ความเร็วพัดลม 80%(40Hz)	9.3
ความเร็วพัดลม 60%(30Hz)	5.1
ความเร็วพัดลม 40%(20Hz)	2.3
ความเร็วพัดลม 20%(10Hz)	1.1



ภาพที่ 6 ความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ 8 ชั่วโมงกับความเร็วมอเตอร์พัฒนา

กรณีศึกษาของโรงเรือนปิดที่มีการควบคุมแบบเปิด-ปิดและแบบใช้อินเวอร์เตอร์

โรงเรือนปิดคู่สัปดาห์แห่งหนึ่งมีการเปิดพัดลมระบายอากาศให้สัปดาห์ละภายในโรงเรือน โดยเป็นระบบควบคุมแบบเปิด-ปิด เปิดพัดลมระบายอากาศ 24 ชม. ที่ความเร็วมอเตอร์พัฒนา 100%

$$\begin{aligned}
 \text{ค่าพลังงานไฟฟ้า} &= \text{พลังงานไฟฟ้าที่ใช้} \times \text{พลังงานไฟฟ้าต่อหน่วย} \\
 &= (17.2 \text{ kWh}/8 \times 24 \text{ ชม.} \times 365 \text{ วัน}) \times 2.5 \text{ บาท} \\
 &= 18,834 \text{ หน่วย} \times 2.5 \text{ บาท} \\
 &= 47,085 \text{ บาท}
 \end{aligned}$$

ระบบที่ใช้อินเวอร์เตอร์ กับความเร็วพัฒนาที่ 80%

$$\begin{aligned}
 \text{ค่าพลังงานไฟฟ้า} &= \text{พลังงานไฟฟ้าที่ใช้} \times \text{พลังงานไฟฟ้าต่อหน่วย} \\
 &= (9.3 \text{ kWh}/8 \times 24 \text{ ชม.} \times 365 \text{ วัน}) \times 2.5 \text{ บาท} \\
 &= 10,183.5 \text{ หน่วย} \times 2.5 \text{ บาท} \\
 &= 25,458.75 \text{ บาท}
 \end{aligned}$$

ดังนั้นในระยะเวลา 1 ปี สามารถประหยัดค่าไฟฟ้า = $47,085 - 25,458.75 = 21,626.25$ บาท

กรณีศึกษาจุดคุ้มทุนของการใช้อินเวอร์เตอร์ในโรงเรือนปิด

ในส่วนนี้จะทำการหาระยะเวลาคู่ทุนของการลงทุนเครื่องอินเวอร์เตอร์ที่ใช้ในโรงเรือนปิดแทนระบบควบคุมแบบเปิดปิดเมื่อเทียบกับค่าไฟที่ลดลง โดยใช้ข้อมูลค่าไฟฟ้าจริงและราคาเครื่องตัวควบคุมระบบแบบเปิดปิด (เครื่อง VenTech รุ่น VC-1) จาก บริษัท เบทาโกร จำกัด ดังนี้

- ต้นทุนค่าไฟฟ้าคิดเป็น 2 บาท ต่อไก่ 1 ตัว ต่อ 1 รอบการเลี้ยง
- ราคาเครื่อง VenTech 15,000 บาท

สมมุติว่าหนึ่งรอบการเลี้ยงมีไก่ทั้งหมด 20,000 ตัว และมีรอบการเลี้ยงภายในหนึ่งปี 5 รอบ

กรณีใช้ระบบแบบเปิดปิด (เครื่อง VenTech รุ่น VC-1)

ปีที่หนึ่ง

- ค่าเครื่อง VenTech 15,000 บาท
- ค่าไฟฟ้าต่อปี = 2 (บาทต่อไร่ 1 ตัวต่อ 1 รอบการเลี้ยง) x 20,000 (ตัว) x 5 (รอบ)
= 200,000 บาท
- รวม = 215,000 บาท

ปีที่สอง (คิดครึ่งปี)

- ค่าไฟฟ้าต่อครึ่งปี = 100,000 บาท

รวมค่าใช้จ่ายทั้งหมดสำหรับหนึ่งปีครึ่ง = 215,000 + 100,000 = 315,000 บาท

กรณีใช้ระบบอินเวอร์เตอร์ (สมมุติว่าประหยัดไฟ 30%)

ปีที่หนึ่ง

- ค่าเครื่องอินเวอร์เตอร์ 100,000 บาท (โดยประมาณ)
- ค่าไฟฟ้าต่อปี = 1.4 (บาทต่อไร่ 1 ตัวต่อ 1 รอบการเลี้ยง) x 20,000 (ตัว) x 5 (รอบ)
= 140,000 บาท
- รวม = 240,000 บาท

ปีที่สอง (คิดครึ่งปี)

- ค่าไฟฟ้าต่อครึ่งปี = 70,000 บาท

รวมค่าใช้จ่ายทั้งหมดสำหรับหนึ่งปีครึ่ง = 240,000 + 70,000 = 310,000 บาท

ดังนั้นสรุปได้ว่าการลงทุนเครื่องอินเวอร์เตอร์สามารถคุ้มทุนได้ประมาณหนึ่งปีครึ่ง หลังจากนั้นก็จะได้กำไรจากค่าไฟฟ้าที่ลดลง 35,000 บาท เมื่อสิ้นสุดที่ระยะเวลาสองปี

วิจารณ์ผลการทดลอง

จากผลการทดลองตารางที่ 1 พบว่าถ้าต้องการให้อุณหภูมิต่ำๆ มอเตอร์พัดลมก็จะหมุนที่ความเร็วรอบสูง และเมื่อนำอินเวอร์เตอร์ไปทดลองในฤดูหนาวหรือฤดูฝน ความเร็วรอบมอเตอร์ก็จะลดต่ำลงกว่านี้ เมื่อเทียบกับใช้งานในฤดูร้อน ผลการทดลองจากตารางที่ 2 จะเห็นได้ชัดเจนยิ่งขึ้นว่ากำลังไฟฟ้าที่มอเตอร์พัดลมใช้นั้น เปลี่ยนแปลงตามความเร็วรอบมอเตอร์ ถ้าความเร็วรอบมอเตอร์ต่ำๆ กำลังไฟฟ้าที่ใช้ก็จะต่ำด้วย และจากตารางที่ 3 และภาพที่ 6 แสดงให้เห็นชัดเจนว่า พลังงานไฟฟ้าลดลงตามความเร็วรอบมอเตอร์ที่ต่ำลง

สรุปผลการทดลอง

อินเวอร์เตอร์สามารถปรับลดความเร็วรอบมอเตอร์ แล้วทำให้การใช้พลังงานไฟฟ้าลดลง โดยที่ไม่ทำให้เกิดความเสียหายแก่มอเตอร์พัฒนาแต่อย่างใด แต่ยังสามารถยืดอายุการใช้งานมอเตอร์พัฒนาได้ เนื่องจากอินเวอร์เตอร์ช่วยลดกระแสสตาร์ทมอเตอร์พัฒนา ขณะเดียวกันในระบบเปิด-ปิดกระแสสตาร์ทมอเตอร์จะสูงทำให้สิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้า จากผลการทดลองการประหยัดงานโดยใช้อินเวอร์เตอร์และจากกรณีศึกษา ยืนยันได้ว่าระบบควบคุมสภาวะอากาศภายในโรงเรือนปิดแบบใช้อินเวอร์เตอร์ประหยัดพลังงานไฟฟ้ามากกว่าระบบที่เป็นแบบเปิด-ปิด

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์และศูนย์บริการเทคโนโลยีเพื่ออุตสาหกรรมไทย (TITEC) มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ที่เอื้อเฟื้อสถานที่และอุปกรณ์ในการทำวิจัย

เอกสารอ้างอิง

- Thai Broiler Processing Exporters Association. 2008. **Thai chicken Meat Export Statistic**.
 ธันวา ไวยบท. 2546. ภาควิชาเทคโนโลยีการเกษตร คณะเทคโนโลยีการเกษตรฯ มหาวิทยาลัยราชภัฏ
 นครสวรรค์. **วารสารเกษตรพระจอมเกล้า**.
 สมบูรณ์ แสงวงศ์วานิชย์. 2542. **สารานุกรมเกี่ยวกับพลังงานไฟฟ้า**. สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์: กรุงเทพฯ.
 Novotny, D.W. and T.A. Lipo. 1996. **Vector Control and Dynamics of AC Drives**. Oxford
 University Press: New York.

บทความที่ 2

The 5th PSU-UNS International Conference on Engineering and Technology (ICET-2011), Phuket, May 2-3, 2011 Prince of Songkla University, Faculty of Engineering Hat Yai, Songkhla, Thailand 90112



The 5th PSU-UNS International Conference on Engineering and
Technology (ICET-2011), Phuket, May 2-3, 2011
Prince of Songkla University, Faculty of Engineering
Hat Yai, Songkhla, Thailand 90112

DESIGN OF CLIMATE AND VENTILATION CONTROLS IN CLOSED LIVESTOCK HOUSE USING VARIABLE SPEED DRIVE FOR ENERGY SAVING

Theeraphong Srichiangsa* and Mongkol Konghirun

King Mongkut's University of Technology Thonburi (KMUTT), Faculty of Engineering
Department of Electrical Engineering, Thailand

*Authors to correspondence should be addressed via email: neung_kmutt@hotmail.com

Abstract: *The climate and ventilation controls are necessary in closed livestock house to maintain the suitable environment for good healthy animals. Typically, fan motors used in this house are operated basing on the ON-OFF method. This method has three main disadvantages such as (i) high oscillation of temperature & humidity (ii) high electric energy consumption, and (iii) uncontrollability of wind velocity. Therefore, this paper proposes the climate and ventilation controls based on variable speed drive (VSD) in closed livestock house to overcome these disadvantages of the existing ON-OFF method. The experiment results show the reduction of electric energy, tendency to reduced oscillation of temperature & humidity and controllability of wind velocity, when compared with the ON-OFF method.*

Key Words: *Climate control / Closed livestock house / Energy Saving / Ventilation control / VSD*

1. INTRODUCTION

Climate and ventilation controls are necessary in closed livestock house to maintain the suitable environment for good healthy animals. Thus, this is very important to remove the ammonia gases from dung. The proper environment mainly affects the grownup rate, animal weight and death rate [1]. Nowadays, there are approximately 20,000 closed livestock houses in Thailand [2]. Most of these houses have been controlled basing on the conventional ON-OFF method. By nature, this method gives the relatively high oscillation of temperature & humidity responses and uncontrollability of wind velocity.

Recently, there are relevant papers about climate and ventilation controls in livestock and green houses. For example, S. Yahav and et. al., had studied the optimal wind velocity involved with the grownup of animal [3-4]. Chao and Gates [5] presented the ON-OFF method to

control fan motor. They indicated that it is difficult for ON-OFF method to maintain the precise set-point conditions. Ford and et al. [6] have shown that VSD method gives the ventilation and airflow more stable than the triac method. Teitel, Levi and Zhao [7] had compared between ON-OFF and VSD method to control ventilation fans in greenhouse and poultry houses. They showed that VSD method can reduce the electricity consumption and lower the oscillation of temperature & humidity, compared with ON-OFF method. In addition, some other complicated algorithms had also been proposed. Sigrimis and Gates [8] proposed the fuzzy logic based controller for ventilation control. In [9], Taylor suggested that the mechanically ventilated agricultural buildings can be redesigned using proportional-integral-plus (PIP) control. In [10], A.G. Soldatos and et. al, developed the regulating scheme for the indoor temperature and humidity in livestock house using the robust nonlinear feedback control. Unfortunately, these advanced methods may not be practical and difficult to implement.

Thus, this paper proposed the relatively simple algorithms and system for efficient controls both climate and ventilation using VSD for energy saving. The experimental results show the reduction of electric energy, tendency to reduced oscillation of temperature & humidity and wind velocity controlled, when compared with the ON-OFF method.

2. VARIABLE SPEED DRIVE FOR APPLICATION LIVESTOCK

2.1. Configuration of closed livestock house

Typically, overall closed livestock house can be shown in Fig.1. The livestock house has the following main components. Firstly, fan motors (i.e., three-phase induction motors rated 1.5 hp, 380 VAC, 50Hz) are employed to move air from outside to the end of livestock house. Secondly, the cooling

pad moist by water is used for cooling inside house. Thirdly, single-phase water pump rated 220 VAC 50 Hz is used for supplying water to the cooling pad. As a result, air can be flowed from outside of house through wet cooling pad through the end of house. This process would reduce the temperature in the house. Fourthly, the T1-T3 and H1 sensors are used to measure the temperature and humidity inside the house, respectively. These sensors would send the 4-20 mA signals to the master inverter. Lastly, three inverters (each rated three-phase, 7.5 hp, 380 VAC, 50Hz). These inverters are communicated to each other via RS485. Inverter which is connected to sensors is "Master inverter" and other inverters are "Slave inverter".

2.2 Proposed VSD for closed livestock house

The proposed VSD is specially designed for livestock house application as shown in Fig. 2. The proposed VSD consists of the following main components. Three-phase rectifier/IGBT module, gate-drive circuit board, 24- and 12-Vdc switching power supply, microcontroller boards, signal conditioning circuits for temperature/humidity/motor current/dc-bus voltage measurements and the user interface board (i.e., graphic LCD and buttons). In addition, this VSD includes one output relay to control the magnetic contactor to turned ON or OFF water pump, using the hysteresis control.

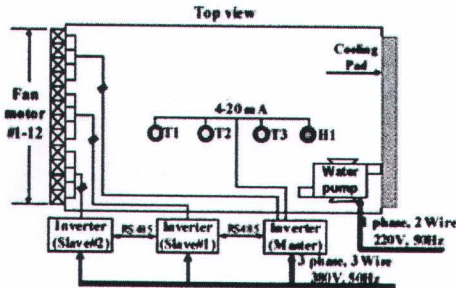


Fig. 1. Overall closed livestock house

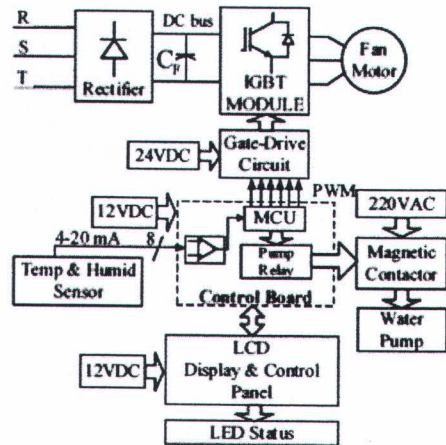


Fig.2. Block diagram of proposed VSD

3. CLIMATE AND VENTILATION CONTROLS

3.1 ON-OFF Method

Algorithm of the conventional ON-OFF method can be shown in Fig.3. The fan motors are turned ON or OFF from the direct three-phase source with 50 Hz. The motor speed cannot be therefore controlled. In this Fig., there are two control modes to operate, i.e., ventilation and humidity control modes. Ventilation control mode will be active when the measured humidity is less than its set point, otherwise the humidity control mode will be active which will turn ON motor by one additional step. In both control modes, the fan motors can be turned ON with the maximum steps of 7. Each step can refer to a number of fan motors to be turned ON or OFF simultaneously. Fan motors will be turned ON or OFF according to the temperature error between the set point and measured temperature. For example, if the measured temperature is higher 1° C than the set point temperature and then one step of fan motors will be turned ON. This operation is so called "one step". For two steps, the measured temperature is higher 2°C than the setpoint temperature. In another way, when the measured temperature is lower than the setpoint temperature and then fan motors will be turned OFF. The experimental result of temperature response in the closed livestock house when using ON-OFF method can be shown in the Fig. 4. In this experiment, the total duration is 1 day and the set point temperature is nearly constant set about 24.6 °C. The temperatures are sampled in every hour. As clearly seen, the measured temperature has high oscillation upto ± 3.2 °C.

3.2 VSD Method

The VSD algorithms of climate and ventilation controls can be depicted in Fig. 5. Similarly, the VSD method has ventilation and humidity control modes same as ON-OFF method. The dash line in this Fig. is referred to the humidity mode. Instead of increasing the step, the speed of fan motor would be increased by predetermined speed when the measured humidity is higher than its set point. On the other ways, when the measured humidity is lower than its set point then the another normal line in Fig. 5 is used instead. This is so called ventilation mode. In each inverter, fan motors are synchronously operated. Speed of these fan motors will be adjusted according to the temperature error as shown in this Fig. This speed-temperature error relationship can be configurable by user. In the ventilation control mode, the temperature error of 9 °C would result in the linearly increasing speed of fan motors from 22% to 100% (or 11Hz to 50Hz). In case of humidity control mode, the speed of fan motor would be increased more by 12% (or 6 Hz) from the speed in ventilation control mode. In another case, when the temperature error is negative (i.e., the measured temperature is less than its set point), the speed of fan motor would be maintained at a constant minimum speed. This is so called minimum ventilation control.

Next, the hysteresis control for water pump can be shown in Fig. 6. Water pump will be turned ON or OFF with conditional user settings.

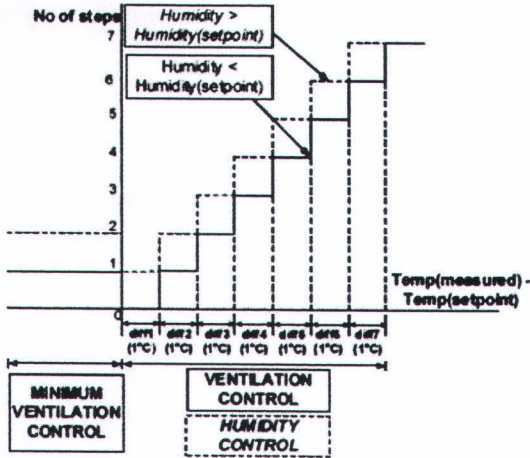


Fig.3. Algorithm of ON-OFF method

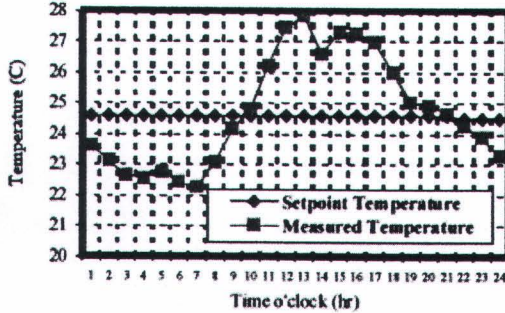


Fig.4. Temperature response in ON-OFF method

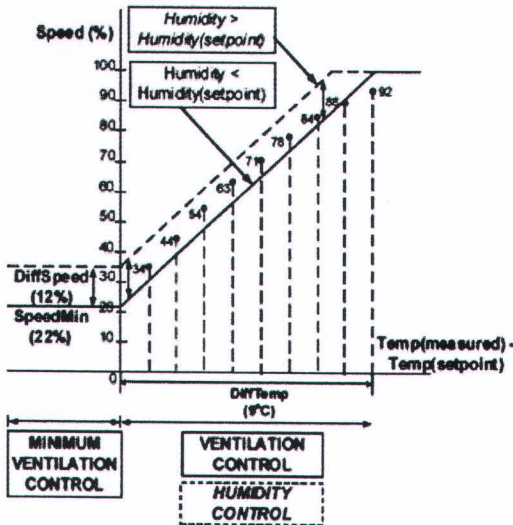


Fig.5. Algorithm of VSD method

In the ventilation control mode, as an example, temp pump ON and OFF are given as 6 and 4°C, respectively. Water pump will be turned ON and OFF when the temperature error is 6 and 4°C, respectively. As for the humidity control mode, the water pump will be always turned OFF.

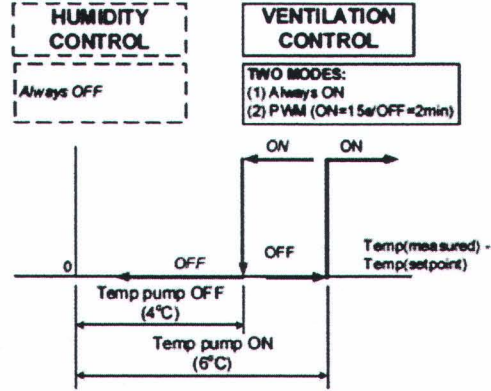


Fig.6. Hysteresis control for water pump in ventilation control mode

4. EXPERIMENTAL RESULTS

To evaluate the proposed VSD system compared with the ON-OFF system, the experiments were separately conducted for these two systems. Electric energy consumption, wind velocity measurement and temperature & humidity controls are focused. Firstly, the electric energy consumption of fan motors has been tested. Table 1 shows speed, frequency, current, power factor, power and electric energy when two fan motors are driven in 30 minutes by ON-OFF and VSD methods. As expected, the electric power and energy of ON-OFF method are constant 2,929 Watt and 1,460 W-hr, which are always higher than ones of the VSD method at different frequencies. Thus, the VSD method can reduce the electric energy consumption by speed reduction. In Fig. 7, the electric energy consumptions of one and two fan motors in 30 minutes are plotted in terms of different speeds. As seen, the electric energy consumption at any speed is roughly reduced by half when decreasing one fan motor. Next, a fan motor has been tested in a tube tunnel of 16 meter in length and 1.30 meter in diameter. Fig. 8 shows the photograph of this tube tunnel. Measurement positions of wind velocity in tube tunnel are marked as X1, X3 and X5 as shown in Fig.9. The X1, X3 and X5 positions are 127, 225 and 545 mm in length, respectively. The wind velocity was tested with ON-OFF method and testing results gave the constant wind velocity of X1, X3 and X5 positions as 4.62, 5.48 and 6.35 m/s, respectively. Then, the wind velocities in the same tube tunnel have been measured with VSD method. The wind velocity versus speeds at different positions (X1, X3 and X5) can be shown in Fig. 10. The wind velocities of X1, X3 and X5 positions in tube tunnel would be varied according to speeds of fan motor. Notice that the X5 position (central tube tunnel) had the wind velocity more than ones of X1 and X3 positions. These results clearly indicate the controllability of wind velocity with VSD method by adjusting speed of fan motor. Finally, the temperature and humidity controls are considered. In the house, the temperature response with ON-OFF method was already presented in Fig. 4. The humidity response with ON-OFF method can be shown in Fig. 11. In this Fig, the test was performed 1 day on

November 3, 2010 starting from 1:00 through 24:00. These results show high oscillations of measured temperature and humidity when compared with their set points.

Table 1. Speed, frequency, current, power factor, power and energy in 30 minutes for two fan motors in ON-OFF and VSD methods

Method	Speed of Fan Motor (%)	Freq (Hz)	Current (A)	PF	Power (watt)	Energy 30 min. (W-hr)
ON-OFF	100%	50	5.22	0.82	2920.0	1460.00
	20	10	0.47	0.50	121.61	60.81
	30	15	0.79	0.58	215.78	107.89
	40	20	1.18	0.65	350.08	175.05
VSD	50	25	1.72	0.69	548.81	274.41
	60	30	2.43	0.72	818.41	409.21
	70	35	3.16	0.82	1167.31	583.66
	80	40	4.29	0.83	1625.22	812.62
	90	45	5.440	0.88	2184.90	1091.85
	100	50	6.865	0.91	2843.88	1421.95

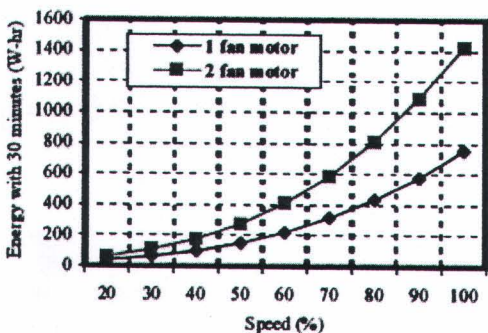


Fig. 7 Electric energy consumption of one and two fan motors in 30 minutes

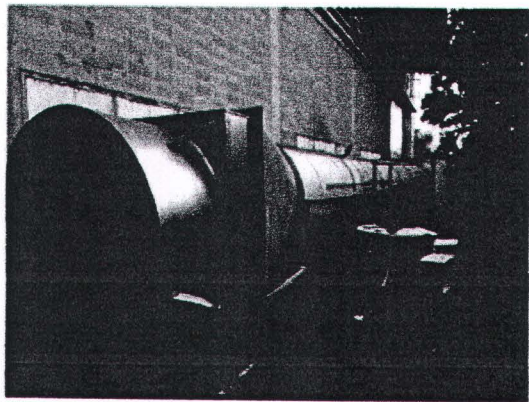


Fig. 8 Tube tunnel for wind velocity measurement

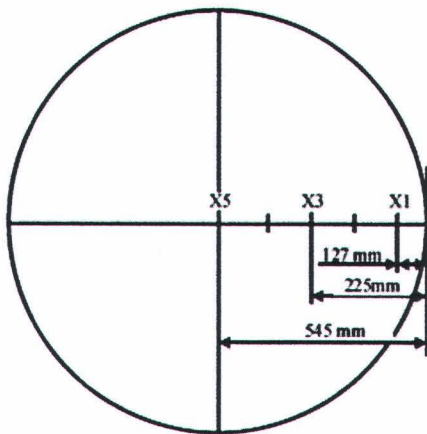


Fig. 9 Measurement positions of wind velocity in tube tunnel

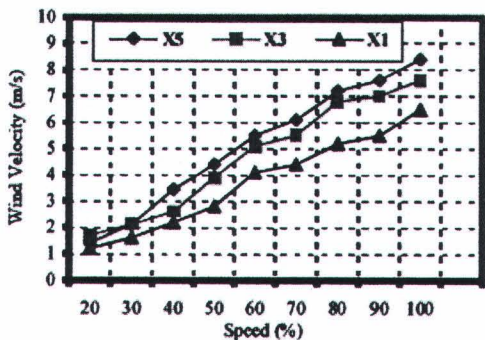


Fig. 10 Wind velocity versus speeds at different positions

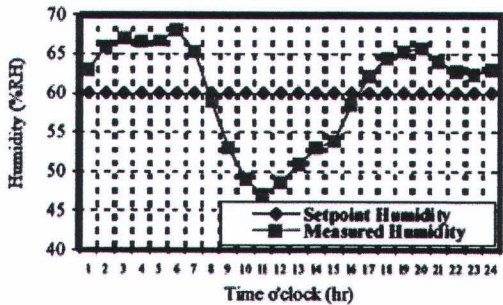


Fig.11 Humidity response in ON-OFF method

5. CONCLUSIONS AND FUTURE WORKS

5.1 Conclusions

This paper proposed the design of the climate and ventilation controls in closed livestock house applications based on VSD method to overcome disadvantages of existing ON-OFF method. The VSD algorithms of controlling speed of fan motors are presented. The VSD is specially designed for easy uses. The experimental results shown the reduction of electric energy, tendency to reduced oscillation of temperature &

humidity and wind velocity controlled, when compared with the ON-OFF method.

5.2 Future Works

Electric energy consumption, air flow and temperature and humidity will be fully tested in the closed livestock house with comparative experimental results between ON-OFF and VSD methods.

6. ACKNOWLEDGMENT

The financial support from University - Industry Research Collaboration (U-IRC) is acknowledged. The scholarship recipient code is the U-IRC-1-07-19-01.

7. REFERENCES

- [1] J.A. Clark, *Environmental Aspects of Housing for Animal*, Butterworth Heinemann, England; 1981.
- [2] Thai Livestock farm Database, [Online] Available :<https://survey.dld.go.th/>
- [3] S. Yahav, M. Rusal, and D. Shinder, "The Effect of Ventilation on Performance Body and Surface Temperature of Young Turkeys," 2008 Poultry Science 87:133-137
- [4] S. Yahav, A. Straschnow, D. Luger, D. Shinder, J. Tanny, and S. Cohen, "Ventilation, Sensible Heat Loss, Broiler Energy, and Water Balance Under Harsh Environmental Conditions," 2004 Poultry Science 83:253-258.
- [5] K.Chao, R. S. Gates, "Design of Switching Control Systems for Ventilated Greenhouses," Transactions of the ASAE. 39(4): 1513-1523. @1996.
- [6] S.E. Ford, G.L. Riskowski, T.L. Funk, A.M. Zhivov, Evaluation of variable drives for agricultural ventilation fan speed control. Paper no. 984041, in: ASAE Annual International Meeting, Orlando, Florida, USA, 1998, 8 pp.
- [7] Meir Teitel, Asher Levi, Yun Zhao, Moti Barak, Eli Bar-lev, David Shmuel, "Energy saving in agricultural buildings through fan motor control by variable frequency drives," Elsevier, Energy and Buildings 40 (2008) 953-960. ASAE Annual International Meeting, Orlando, Florida, USA, 1998, 8 pp.
- [8] R.S. Gates, K. Chao, N. Sigrimis, "Identifying design parameters for fuzzy control of staged ventilation control systems," Elsevier Science, *Computers and Electronics in Agriculture* 31 (2001) 61-74.
- [9] C.J. Taylora, P. Leigh, L. Price, P.C. Young, E. Vranken, D. Berckmans, "Proportional-integral-plus (PIP) control of ventilation rate in agricultural buildings" Elsevier Science, *Control Engineering Practice* 12 (2004) 225-233.
- [10] A.G. Soldatos, K.G. Arvanitis, P.I. Daskalov, G.D. Pasgianos, N.A. Sigrimis "Nonlinear robust temperature-humidity control in livestock buildings"

Elsevier Science, *Computers and Electronics in Agriculture* 49 (2005) 357-376.

ภาคผนวก ข

การแสดงผลและการตั้งค่าใช้งานอินเวอร์เตอร์ที่นำเสนอ

ข.1 การทำงานของอินเวอร์เตอร์ในแต่ละโหมด

ในหัวข้อนี้จะอธิบายขั้นตอนการทำงานของอินเวอร์เตอร์สำหรับควบคุมสถานะอากาศและการระบายอากาศในโรงเรือนปิดปลูกสัตว์ ซึ่งแบ่งเป็นการทำงานเป็น 5 โหมดดังนี้ โหมด Manual (Manual Mode) โหมดการเชื่อมต่อ VC-1 (ON-OFF Controller Link) โหมดอัตโนมัติ (Auto Mode) โหมด Ext (Ext. Mode) ในแต่ละโหมดมีการทำงานที่แตกต่างกัน ดังมีรายละเอียดแต่ละโหมดดังนี้

ข.1.1 โหมด Manual (Manual Mode)

โหมด Manual คือ โหมดสำหรับการตั้งค่าการทำงานของอินเวอร์เตอร์ ให้สามารถปรับความเร็วพัดลมโดยผู้ใช้เป็นคนสามารถกำหนดความเร็วที่ต้องการเองได้ โดยที่ผู้ใช้งาน สามารถกำหนดความเร็วพัดลมได้ตั้งแต่ 15 ถึง 100 % หน้าจอแสดงผลการทำงานในโหมด Manual นี้ แสดงดังรูปที่ ข.1 ความหมายในแต่ละค่า ในหน้าจอเป็นดังนี้

Mode Manual หมายถึง ขณะนี้อินเวอร์เตอร์กำลังทำงานในโหมด Manual

Stop หมายถึง ขณะนี้อินเวอร์เตอร์กำลังหยุดทำงาน

Run หมายถึง ขณะนี้อินเวอร์เตอร์กำลังทำงาน

Voltage หมายถึง ขนาดแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ (rms) ที่จ่ายให้อินเวอร์เตอร์

Current หมายถึง ขนาดกระแสไฟฟ้า (rms) ที่อินเวอร์เตอร์จ่ายให้มอเตอร์

Freq หมายถึง ความถี่ (%) ที่อินเวอร์เตอร์จ่ายให้มอเตอร์หรือหมายถึงความเร็วมอเตอร์ขณะนั้น

Mode Manual	Run
Voltage	402.4 V
Current	1.2 A
Freq	50.0 %

รูปที่ ข.1 หน้าจอแสดงผลของอินเวอร์เตอร์ในโหมด Manual

ข.1.2 โหมด VC-1

โหมด VC-1 คือ โหมดที่อินเวอร์เตอร์ทำงานร่วมกับเครื่องควบคุมสถานะอากาศและระบายอากาศแบบเปิด-ปิด (ON-OFF Controller) โดยมีเครื่องเชื่อมต่อ (ON-OFF Interface Module) เป็นตัวเชื่อมต่อการทำงาน สำหรับการเชื่อมต่ออินเวอร์เตอร์เข้าเครื่องควบคุมสถานะอากาศและระบายอากาศแบบเปิด-ปิด สามารถทำได้ 2 รูปแบบดังนี้

1. เครื่องควบคุมสถานะอากาศและระบายอากาศแบบเปิด-ปิด จำนวน 1 เครื่องเชื่อมต่อกับอินเวอร์เตอร์ที่นำเสนอ 1 เครื่อง
2. เครื่องควบคุมสถานะอากาศและระบายอากาศแบบเปิด-ปิด จำนวน 1 เครื่องเชื่อมต่อกับอินเวอร์เตอร์ที่นำเสนอหลายเครื่อง

ข.1.2.1 หน้าจอแสดงผลของอินเวอร์เตอร์ตัวหลักในโหมด VC-1M

หน้าจอแสดงผลของอินเวอร์เตอร์ตัวหลักในโหมด VC-1M แสดงดังรูปที่ ข.2 ซึ่งความหมายในแต่ละค่า ในหน้าจอเป็นดังนี้

Mode VC-1M หมายถึง อินเวอร์เตอร์นี้กำลังทำงานเป็นอินเวอร์เตอร์ตัวหลัก (Master Inverter) และทำงานในโหมด VC-1

Stop หมายถึง ขณะนี้อินเวอร์เตอร์กำลังหยุดทำงาน

Run หมายถึง ขณะนี้อินเวอร์เตอร์กำลังทำงาน

Voltage หมายถึง ขนาดแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ (rms) ที่จ่ายให้อินเวอร์เตอร์

Current หมายถึง ขนาดกระแสไฟฟ้า (rms) ที่อินเวอร์เตอร์จ่ายให้มอเตอร์

Freq หมายถึง ความถี่ (%) ที่อินเวอร์เตอร์จ่ายให้มอเตอร์หรือหมายถึงความเร็วมอเตอร์ขณะนั้น

Freq Adj. หมายถึง ความถี่ (%) ที่ต้องการปรับเพิ่มหรือลดจาก Freq

ข.1.2.2 หน้าจอแสดงผลของอินเวอร์เตอร์ตัวหลักในโหมด VC-1S

หน้าจอแสดงผลของอินเวอร์เตอร์ตัวหลักในโหมด VC-1S แสดงดังรูปที่ ข.3 ซึ่งความหมายในแต่ละค่า ในหน้าจอเป็นดังนี้

Mode VC-1S หมายถึง อินเวอร์เตอร์นี้กำลังทำงานเป็นอินเวอร์เตอร์ตัวรองและทำงานในโหมด VC-1

Stop หมายถึง ขณะนี้อินเวอร์เตอร์กำลังหยุดทำงาน

Run หมายถึง ขณะนี้อินเวอร์เตอร์กำลังทำงาน

Voltage หมายถึง ขนาดแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ (rms) ที่จ่ายให้อินเวอร์เตอร์

Current หมายถึง ขนาดกระแสไฟฟ้า (rms) ที่อินเวอร์เตอร์จ่ายให้มอเตอร์

Mode VC-1M	Stop
Voltage	388.5 V
Current	0.0 A
Freq	0.0 %
Freq Adj.	0.0 %

รูปที่ ข.2 หน้าจอแสดงผลในโหมด VC-1M ของอินเวอร์เตอร์ตัวหลัก (Master Inverter)

Mode VC-1S	Stop
Voltage	383.6 V
Current	0.0 A
Freq	0.0 %

รูปที่ ข.3 หน้าจอแสดงผลในโหมด VC-1S ของอินเวอร์เตอร์ตัวรอง (Slave Inverter)

ข.1.3 โหมดอัตโนมัติ (AUTO MODE)

การทำงานในโหมด AUTO หมายถึง การทำงานของอินเวอร์เตอร์ ที่ควบคุมสภาวะอากาศและระบายอากาศโดยอัตโนมัติตามที่ผู้ใช้งานกำหนดรูปแบบการทำงาน ซึ่งผู้ใช้งานต้องกำหนดค่าจำนวนวันที่เลี้ยง (Grown Day) รูปแบบการทำงานพัดลม (Ventilation) การทำงานของปั้มน้ำ (Water Pump) การทำงานควบคุมความชื้น (Humidity Control) การตั้งค่าแจ้งเตือน (Alarm) การตั้งค่าใช้งานตัวตรวจวัด (Sensor) รายละเอียดการตั้งค่าเหล่านี้ได้กล่าวไว้ในบทที่ 2 สำหรับหน้าจอแสดงผลของอินเวอร์เตอร์ในโหมด AUTO นี้ แสดงดังรูปที่ ข.4 ซึ่งแบ่ง 8 หน้าย่อยดังนี้

ในรูปที่ ข.4 (ก) หน้า **Mode Auto (M)** แสดงให้ทราบว่า อินเวอร์เตอร์นี้กำลังทำงานในโหมด Auto และทำงานเป็นอินเวอร์เตอร์ตัวหลัก (Master Inverter)

Growth Day หมายถึง จำนวนวันที่เลี้ยงสัตว์

Temperature หมายถึง อุณหภูมิเฉลี่ยภายในโรงเรือนที่วัดได้

Humidity หมายถึง ความชื้นเฉลี่ยภายในโรงเรือนที่วัดได้

ในรูปที่ ข.4 (ข) หน้าจอแสดงผลในโหมด Auto ในหน้า **INVERTER** เพื่อดูสถานะต่างๆทางไฟฟ้าของอินเวอร์เตอร์ดังนี้

Voltage หมายถึง ขนาดแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ (rms) ที่จ่ายให้อินเวอร์เตอร์

Current หมายถึง ขนาดกระแสไฟฟ้า (rms) ที่อินเวอร์เตอร์จ่ายให้มอเตอร์

Freq หมายถึง ความถี่ (%) ที่อินเวอร์เตอร์จ่ายให้มอเตอร์หรือหมายถึงความเร็วมอเตอร์ขณะนั้น

ในรูปที่ ข.4 (ก) หน้า **TEMP CONTROL** ในโหมดการทำงาน Auto ของอินเวอร์เตอร์ หน้านี้จะแสดงสถานะของอุณหภูมิที่ต้องการควบคุม (Setpoint) อุณหภูมิที่วัดได้ (Feedback) และการควบคุมอุณหภูมิตาม T-Curve ตัวอย่างการตั้งค่า T-Curve แสดงดังรูปที่ 3.19

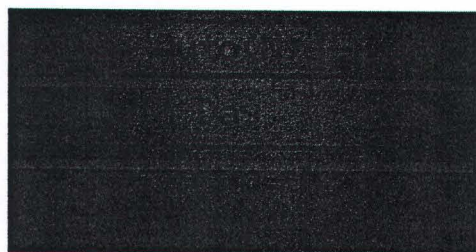
ในรูปที่ ข.4 (ง) หน้า **HUMID CONTROL (1)** แสดงค่าความชื้นที่วัดได้ (Feedback) กับความชื้นที่ต้องการควบคุม (setpoint)

ในรูปที่ ข.4 (จ) หน้า **HUMID CONTROL (2)** หน้านี้จะแสดงการทำงานของปั้มน้ำ การตั้งค่าการทำงานมีรายละเอียดดังกล่าวมาแล้วในบทที่ 2

ในรูปที่ ข.4 (ฉ) หน้า **TEMP SENSOR** มีสำหรับเพื่อแสดงค่าอุณหภูมิ (Temperature) จากตัววัดอุณหภูมิที่วัดได้ทั้ง 4 ตัว ประกอบด้วย ตัววัดอุณหภูมิตัวที่ 1 (Temp #1) ตัววัดอุณหภูมิตัวที่ 1 (Temp #2) ตัววัดอุณหภูมิตัวที่ 3 (Temp #-) และตัววัดอุณหภูมิตัวภายนอก (Temp Out)

ในรูปที่ ข.4 (ซ) หน้า **HUMID SENSOR** เพื่อแสดงค่าความชื้น (Humidity) จากตัววัดความชื้นที่วัดได้ มีทั้ง 2 ตัว คือตัววัดความชื้นสำหรับภายในโรงเรือน (Humid In) และตัววัดความชื้นสำหรับนอกโรงเรือน (Humid Out)

ในรูปที่ ข.4 (ซ) หน้า **ALARM** เพื่อให้อินเวอร์เตอร์แจ้งเตือนว่า อุณหภูมิหรือความชื้นเกิน (High) หรือต่ำกว่า (Low) ค่าที่ผู้ใช้งานกำหนดไว้ ถ้าหากอุณหภูมิหรือความชื้นอยู่ในระดับไม่เกินหรือต่ำกว่าค่าที่ผู้ใช้งานกำหนดไว้ หน้านี้จะแสดงคำว่า Normal



(ก)



(ข)



(ค)



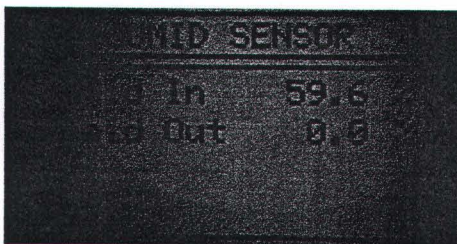
(ง)



(จ)



(ฉ)



(ช)



(ซ)

รูปที่ ข.4 หน้าจอแสดงผลของอินเวอร์เตอร์ เมื่อทำงานในโหมด AUTO

- (ก) หน้า AUTO MODE (M)
- (ข) หน้า INVERTER
- (ค) หน้า TEMP CONTROL
- (ง) หน้า HUMID CONTROL (1)
- (จ) หน้า HUMID CONTROL (2)
- (ฉ) หน้า TEMP SENSOR
- (ช) หน้า HUMID SENSOR
- (ซ) หน้า ALARM

ภาคผนวก ก

การทดลองปรับเปลี่ยนโหลดของอินเวอร์เตอร์ที่นำเสนอ

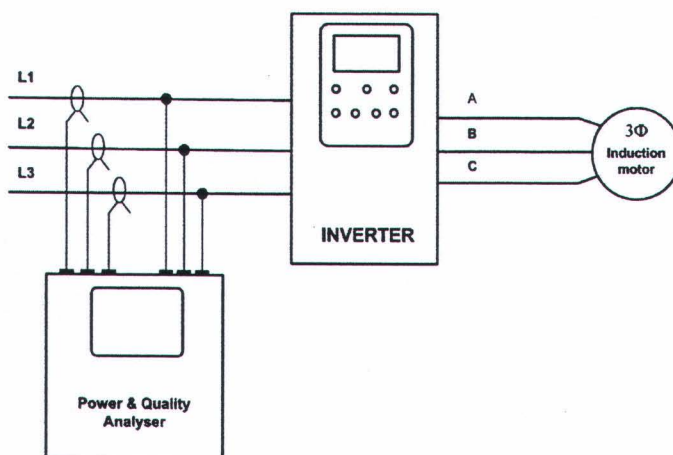
ค การทดลองปรับเปลี่ยนโหลดของอินเวอร์เตอร์

ในหัวข้อนี้ เป็นการทดลองวัดแรงดันไฟฟ้าระหว่างสาย กระแสไฟฟ้าแต่ละเฟส กระแสไฟฟ้ารวม 3 เฟส กำลังไฟฟ้าแต่ละเฟส กำลังไฟฟ้ารวม 3 เฟส และพลังงานไฟฟ้ารวม 3 เฟส ซึ่งวัดทางด้านเข้าของอินเวอร์เตอร์ขณะที่ขับมอเตอร์เหนี่ยวนำขณะมีและไม่มีโหลดพัฒนา ซึ่งการทดลองได้แบ่งเป็นดังนี้

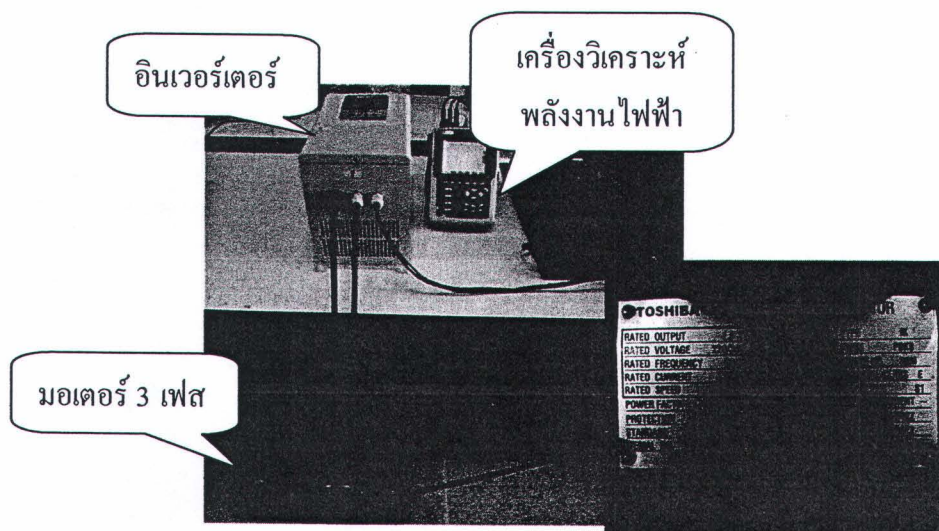
- ค.1 อินเวอร์เตอร์ขับมอเตอร์ 1.5 แรงม้า ขณะไม่มีโหลดพัฒนา 1 และ 2 ตัว
- ค.2 อินเวอร์เตอร์ขับมอเตอร์ 1.5 แรงม้า ขณะมีโหลดพัฒนา 1 ถึง 5 ตัว

ค.1 อินเวอร์เตอร์ขับมอเตอร์ 1.5 แรงม้า ขณะไม่มีโหลดพัฒนา 1 และ 2 ตัว

รูปที่ ค.1 แสดงการเชื่อมต่อวงจร สำหรับการทดลอง ค.1 และรูปที่ ค.2 การทดลองจริง



รูปที่ ค.1 การเชื่อมต่อวงจรสำหรับการทดลอง ค.1



รูปที่ ค.2 การเชื่อมต่อวงจรการทดลองจริงของการทดลองค.1

ตารางที่ ค.1 แรงดันไฟฟ้าระหว่างสาย กระแสไฟฟ้า กำลังไฟฟ้า พลังงานไฟฟ้าภายใน 30 นาที และ
เพาเวอร์แฟกเตอร์ ของทางด้านเข้าอินเวอร์เตอร์ เมื่อขับมอเตอร์ 1.5 แรงม้า 1 ตัว ขณะ
ไม่มีโหลดพัฒนา

Speed (%)	V _{LI-L2} (V)	A1 (A)	A2 (A)	A3 (A)	P1 (W)	P2 (W)	P3 (W)	P (3 ϕ) (W)	E (3 ϕ) 30min (W-hr)	PF 3 ϕ (ave)
15	385.2	0.200	0.300	0.003	16.890	22.370	0.170	39.430	19.730	0.32
20	387.5	0.300	0.300	0.200	21.980	26.820	14.140	62.940	31.480	0.36
25	386.3	0.300	0.330	0.200	27.200	31.020	16.890	75.110	37.570	0.38
30	385.0	0.375	0.400	0.200	30.297	34.929	19.360	84.586	42.290	0.39
35	385.5	0.400	0.400	0.276	34.020	38.700	22.600	95.320	47.660	0.39
40	386.2	0.401	0.407	0.300	36.680	40.889	24.660	102.229	51.120	0.40
45	386.5	0.402	0.496	0.300	37.460	44.612	27.920	109.992	55.000	0.41
50	385.7	0.473	0.502	0.301	40.733	49.458	28.000	118.191	58.980	0.41
55	386.1	0.500	0.600	0.370	42.214	55.907	29.880	128.001	64.000	0.40
60	388.2	0.517	0.700	0.430	39.990	67.145	32.524	139.659	69.790	0.38
65	386.1	0.528	0.700	0.450	43.807	66.145	33.615	143.567	71.780	0.39
70	386.7	0.650	0.770	0.414	48.730	72.544	29.406	150.680	75.340	0.39
75	387.0	0.653	0.800	0.452	48.965	77.855	32.041	158.861	79.430	0.37
80	386.6	0.642	0.800	0.487	49.027	80.605	35.221	164.853	82.520	0.37
85	386.4	0.675	0.800	0.500	51.240	83.675	36.090	171.005	85.500	0.38
90	387.5	0.695	0.844	0.506	53.595	85.888	39.454	178.937	89.470	0.38
95	387.7	0.673	0.881	0.594	52.917	88.117	44.960	185.994	93.000	0.38
100	387.5	0.660	0.900	0.602	53.400	89.854	48.982	192.236	96.110	0.39

หมายเหตุ *

Hz คือ ความถี่ของไฟฟ้ากระแสสลับ 3 เฟส ที่จ่ายให้มอเตอร์

V_{LI-L2} คือ แรงดันไฟฟ้าระหว่างเฟส 1 และเฟส 2 ทางด้านเข้าของอินเวอร์เตอร์

A1 A2 A3 คือ กระแสไฟฟ้าเฟสที่ 1 เฟสที่ 2 และ เฟสที่ 3 ทางด้านเข้าของอินเวอร์เตอร์

P1, P2, P3 คือ กำลังไฟฟ้าเฟสที่ 1 เฟสที่ 2 และ เฟสที่ 3 ตามลำดับ

$P(3\phi)$ คือ กำลังไฟฟ้ารวม 3 เฟส

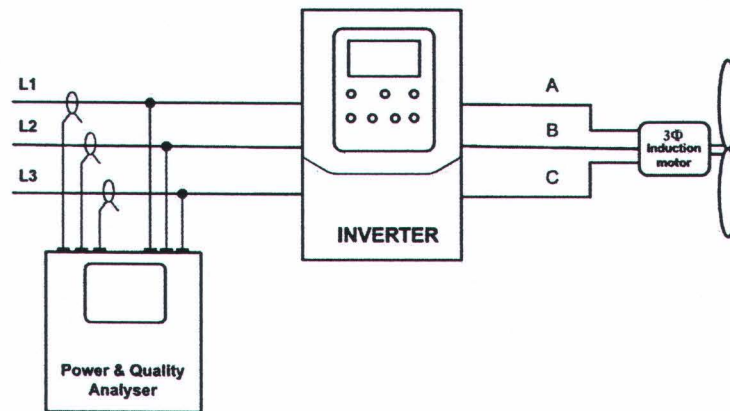
$E(3\phi)$ คือ พลังงานไฟฟ้ารวม 3 เฟส ในช่วงเวลา 2 นาที

ตารางที่ ค.2 ผลแรงดันไฟฟ้าระหว่างสาย กระแสไฟฟ้า กำลังไฟฟ้า พลังงานไฟฟ้าภายใน 30 นาที และเพาเวอร์แฟกเตอร์ ของทางเดินเข้าอินเวอร์เตอร์ขณะขับมอเตอร์ 1.5 แรงม้า 2 ตัว ขณะไม่มีโหลดพัดลม

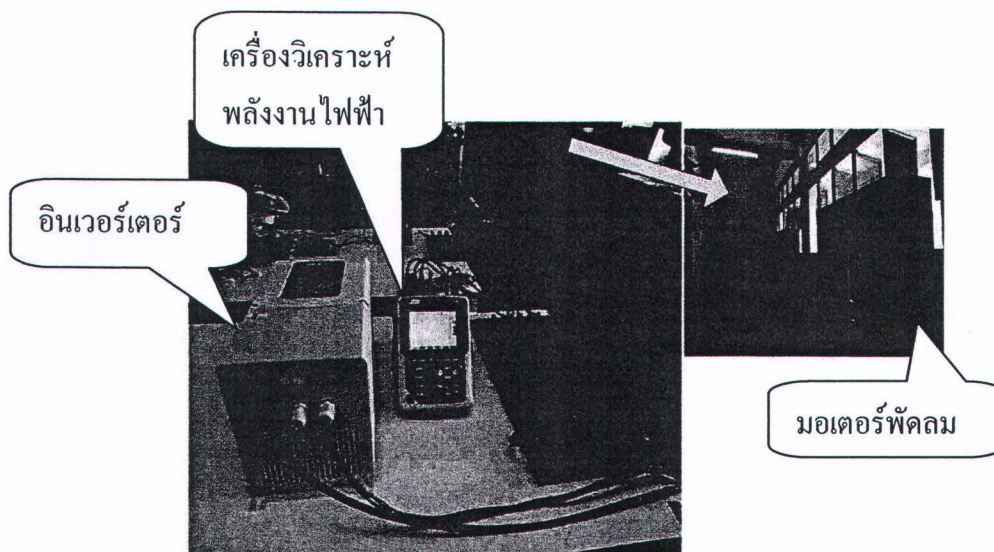
Speed (%)	V_{L-L} (V)	A1 (A)	A2 (A)	A3 (A)	P1 (W)	P2 (W)	P3 (W)	$P(3\phi)$ (W)	$E(3\phi)$ 30 min (W-hr)	PF 3ϕ (ave)
15	387.4	0.300	0.300	0.227	25.689	24.236	19.730	69.655	34.830	0.36
20	389.1	0.400	0.485	0.300	33.088	42.567	24.058	99.713	48.860	0.38
25	393.0	0.500	0.600	0.306	42.700	55.925	27.894	126.519	63.260	0.38
30	392.8	0.599	0.666	0.395	51.841	63.476	33.179	148.496	74.250	0.40
35	385.9	0.623	0.705	0.500	54.468	64.705	41.946	161.119	80.56	0.40
40	387.4	0.677	0.776	0.597	59.142	70.86	52.300	182.302	91.150	0.40
45	386.9	0.699	0.860	0.662	60.820	80.980	57.344	199.144	99.580	0.41
50	387.9	0.709	0.879	0.716	65.891	83.171	63.386	212.448	108.22	0.41
55	386.0	0.718	0.897	0.798	67.596	86.257	74.294	228.147	114.07	0.42
60	385.3	0.785	0.910	0.800	72.359	93.380	75.302	241.041	120.52	0.43
65	389.4	0.899	1.090	0.716	81.52	111.14	67.820	260.48	130.24	0.43
70	390.8	0.900	1.122	0.797	82.029	120.18	74.111	276.32	138.16	0.44
75	390.0	0.919	1.160	0.807	86.542	122.89	78.842	288.274	144.14	0.44
80	383.6	0.996	1.194	0.869	92.131	118.08	79.816	290.027	145.02	0.44
85	381.2	1.040	1.182	0.901	98.326	114.92	86.269	299.515	149.76	0.44
90	381.3	1.033	1.195	0.980	100.48	117.95	94.090	312.520	156.26	0.44
95	384.4	1.086	1.220	1.033	105.05	124.42	102.16	331.630	165.82	0.45
100	383.7	1.147	1.289	1.030	111.99	128.71	102.19	342.890	171.45	0.45

ค.2 อินเวอร์เตอร์ขับมอเตอร์ 1.5 แรงม้าขณะมีโหลดพัฒนา 1 ถึง 5 ตัว

ในรูปที่ ค.3 แสดงการเชื่อมต่อวงจรการทดลอง ค.2 และในรูปที่ ค.4 แสดงการเชื่อมต่อการทดลองจริงสำหรับการทดลอง ค.2



รูปที่ ค.3 การเชื่อมต่อวงจรการทดลอง ค.2



รูปที่ ค.4 การเชื่อมต่อวงจรการทดลองจริงในการทดลอง ค.2

ตารางที่ ก.3 แรงดันไฟฟ้าระหว่างสาย กระแสไฟฟ้า กำลังไฟฟ้า พลังงานไฟฟ้าภายใน 30 นาทีและ
เพาเวอร์แฟกเตอร์ ของทางเดินเข้าอินเวอร์เตอร์เมื่อขับมอเตอร์ 1.5 แรงม้า 1 ตัว
ขณะมีโหลดพัฒนา 1 ตัว

Speed (%)	V _{L-L} (V)	A1 (A)	A2 (A)	A3 (A)	P1 (W)	P2 (W)	P3 (W)	P (3 ϕ) (W)	Energy (3 ϕ) (W-hr)	PF
15	388.8	0.350	0.071	0.398	21.560	3.320	27.854	52.734	26.370	0.30
20	388.0	0.480	0.183	0.499	30.318	9.950	36.440	76.708	38.350	0.31
25	387.7	0.532	0.255	0.596	37.704	17.089	45.380	100.173	50.090	0.32
30	388.5	0.569	0.396	0.692	41.952	27.812	57.111	126.875	63.440	0.34
35	384.6	0.633	0.509	0.799	48.457	37.932	71.020	157.410	78.710	0.35
40	385.8	0.674	0.722	0.903	53.878	58.374	84.716	196.968	98.480	0.36
45	387.4	0.835	0.827	1.062	73.397	71.999	101.99	247.386	123.700	0.39
50	386.3	0.982	0.998	1.289	86.300	88.102	128.98	303.382	151.27	0.41
55	386.1	1.180	1.109	1.523	106.73	100.63	159.52	366.88	183.44	0.43
60	386.9	1.330	1.310	1.793	123.83	120.47	195.43	439.73	219.87	0.44
65	389.5	1.544	1.535	2.076	147.07	146.48	232.74	526.29	263.16	0.45
70	393.5	1.758	1.793	2.309	179.12	181.82	269.61	630.55	315.28	0.46
75	390.9	2.000	2.104	2.602	214.41	223.86	307.26	745.53	372.78	0.48
80	385.2	2.320	2.446	2.626	271.67	282.43	314.04	868.14	434.08	0.52
85	385.0	2.733	2.751	3.015	317.77	320.67	359.70	998.14	499.08	0.53
90	381.8	3.086	3.078	3.392	370.14	363.17	414.57	1147.88	573.95	0.54
95	382.8	3.480	3.476	3.781	426.45	419.99	470.20	1316.64	658.32	0.55
100	385.0	3.882	3.919	4.203	485.50	484.59	533.98	1477.07	752.04	0.56

ตารางที่ ก.4 ผลแรงดันไฟฟ้าระหว่างสาย กระแสไฟฟ้า กำลังไฟฟ้า พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ 30 นาทีและ
เพาเวอร์แฟกเตอร์ ของทางเดินเข้าอินเวอร์เตอร์เมื่อขับมอเตอร์ 1.5 แรงม้า 2 ตัว ขณะมี
โหลดพัฒนา

Speed (%)	V _{L1-L2} (V)	A1 (A)	A2 (A)	A3 (A)	P1 (W)	P2 (W)	P3 (W)	P (3 ϕ) (W)	Energy (3 ϕ) (W-hr)	PF
15	389.1	0.399	0.401	0.215	29.575	35.772	18.392	83.739	41.180	0.34
20	389.8	0.502	0.599	0.335	40.784	52.934	27.893	121.611	60.810	0.37
25	392.0	0.690	0.798	0.406	55.215	75.928	33.524	164.667	82.330	0.39
30	393.1	0.882	0.989	0.500	75.059	96.473	44.252	215.784	107.890	0.40
35	394.2	0.999	1.101	0.695	93.484	119.07	65.770	278.324	139.160	0.43
40	384.3	1.156	1.297	1.089	112.31	130.90	106.87	350.080	175.050	0.45
45	386.2	1.407	1.582	1.333	142.97	163.98	135.93	442.880	221.450	0.46
50	383.6	1.705	1.864	1.608	179.57	199.61	169.63	548.810	274.410	0.47
55	384.2	2.061	2.177	1.907	226.04	241.59	207.85	675.480	337.750	0.49
60	381.5	2.407	2.590	2.293	271.17	294.24	253.00	818.410	409.210	0.51
65	381.3	2.755	2.967	2.675	322.51	349.80	308.68	980.990	490.500	0.53
70	380.1	3.025	3.406	3.066	388.01	415.69	363.61	1167.31	583.660	0.54
75	381.9	3.630	3.899	3.651	449.58	487.76	447.75	1385.09	692.550	0.56
80	380.4	4.138	4.521	4.230	518.94	577.42	528.86	1625.22	812.620	0.57
85	382.3	4.682	5.152	4.712	603.82	680.76	609.70	1894.28	947.150	0.59
90	384.8	5.289	5.726	5.306	700.69	778.38	705.83	2184.9	1091.85	0.60
95	385.5	5.970	6.415	5.914	811.01	891.20	804.21	2506.42	1253.21	0.61
100	380.7	6.753	7.168	6.865	927.10	983.41	933.37	2843.88	1421.95	0.62

ตารางที่ ค.5 ผลแรงดันไฟฟ้าระหว่างสาย กระแสไฟฟ้า กำลังไฟฟ้าและเพาเวอร์แฟกเตอร์ของทาง
 ด้านเข้าอินเวอร์เตอร์เมื่อขับมอเตอร์ 1.5 แรงม้า 3 ตัว ขณะมีโหลดปกติ

Speed (%)	V _{L-L} (V)	A1 (A)	A2 (A)	A3 (A)	P1 (W)	P2 (W)	P3 (W)	P (3 ϕ) (W)	Energy (3 ϕ) (W-hr)	PF (3 ϕ) ()
15	398.5	1.200	0.112	1.200	88.701	8.436	95.400	192.53	96.265	0.33
20	398.4	1.605	0.330	1.600	124.43	25.620	131.15	282.20	141.1	0.35
25	392.7	1.935	0.520	2.000	159.09	42.165	166.89	368.14	184.07	0.36
30	396.8	2.358	0.842	2.356	206.08	74.772	216.93	497.78	248.89	0.39
35	396.9	2.703	1.193	2.703	252.9	114.20	270.88	637.98	318.99	0.40
40	397.0	3.105	1.400	3.102	305.53	140.38	328.26	744.17	372.085	0.44
45	393.8	3.406	1.780	3.418	362.76	190.07	380.09	932.92	466.46	0.46
50	395.3	3.805	2.121	3.831	423.32	236.01	440.72	1100.05	550.025	0.47
55	394.9	4.353	2.608	4.388	500.80	300.86	521.80	1323.46	661.73	0.49
60	395.2	4.910	3.310	4.921	589.50	360.50	606.66	1556.66	778.33	0.50
65	395.6	5.480	3.973	5.456	681.40	451.33	690.32	1823.05	911.525	0.52
70	394.8	6.161	4.763	6.120	788.83	539.65	788.40	2116.88	1058.44	0.53
75	394.8	6.778	5.720	6.756	892.6	674.00	893.00	2459.6	1229.8	0.55
80	394.9	7.640	6.390	7.591	1038.2	811.58	1035.0	2884.78	1442.39	0.56
85	394.8	8.645	7.328	8.400	1185.1	946.91	1152.3	3284.31	1642.15	0.57
90	394.6	9.765	8.102	9.466	1320.7	1027.6	1266.7	3615.0	1807.5	0.58
95	394.0	10.90	9.430	10.61	1500.3	1215.8	1452.9	4169.0	2084.5	0.59
100	394.6	11.83	10.05	11.60	1649.7	1320.9	1621.1	4591.7	2295.85	0.60

ตารางที่ ก.6 ผลแรงดันไฟฟ้าระหว่างสาย กระแสไฟฟ้า กำลังไฟฟ้าและเพาเวอร์แฟกเตอร์ของทาง
ด้านเข้าอินเวอร์เตอร์เมื่อขับมอเตอร์ 1.5 แรงม้า 4 ตัว ขณะมีโหลดพัฒนา ที่ความเร็ว
ต่างๆ

Speed (%)	V _{L-L} (V)	A1 (A)	A2 (A)	A3 (A)	P1 (W)	P2 (W)	P3 (W)	P (3 ϕ) (W)	Energy (3 ϕ) (W-hr)	PF (3 ϕ))
15	393.8	1.400	1.140	1.400	113.85	89.820	113.34	317.01	158.505	0.35
20	393.8	2.000	1.820	2.000	168.67	147.47	165.68	481.82	240.91	0.37
25	393.3	2.400	2.240	2.395	216.80	191.38	204.92	613.10	306.55	0.38
30	393.9	2.805	2.740	2.761	278.96	222.20	241.18	742.34	371.17	0.39
35	393.1	3.200	3.080	3.100	337.82	276.83	281.70	896.35	448.175	0.42
40	393.4	3.626	3.360	3.383	409.76	324.93	327.17	1061.86	530.93	0.45
45	389.8	4.128	3.850	3.900	475.86	398.80	400.17	1274.83	637.415	0.47
50	393.3	4.780	4.400	4.430	564.46	475.26	479.89	1519.6	759.8	0.48
55	393.1	5.420	5.048	5.108	657.45	556.54	573.80	1787.80	893.9	0.50
60	392.1	5.950	5.410	5.470	762.14	643.50	665.20	2070.84	1035.42	0.53
65	391.5	6.840	6.120	6.310	892.53	726.89	792.77	2412.2	1206.1	0.55
70	391.6	7.688	7.100	7.200	1018.5	859.40	928.81	2806.7	1403.35	0.56
75	397.1	8.805	8.120	8.310	1201.2	1015.1	1114.7	3331.0	1665.5	0.57
80	398.5	9.900	9.320	9.402	1371.3	1191.2	1282.1	3844.6	1922.3	0.58
85	398.5	10.90	10.10	10.40	1512.1	1314.0	1441.8	4267.9	2133.95	0.59
90	397.0	12.20	11.03	11.90	1723.0	1454.7	1666.0	4843.7	2421.85	0.60
95	396.8	13.66	12.80	13.23	1952.7	1716.5	1899.4	5568.6	2784.3	0.61
100	397.2	15.40	14.83	15.10	2182.8	1800.5	2160.2	6143.5	3071.75	0.62

ตารางที่ ก.7 ผลแรงดันไฟฟ้าระหว่างสาย กระแสไฟฟ้า กำลังไฟฟ้าและเพาเวอร์แฟกเตอร์ของ
ทางด้านเข้าอินเวอร์เตอร์เมื่อขับมอเตอร์ 1.5 แรงม้า 5 ตัว ขณะมีโหลดพัดลม

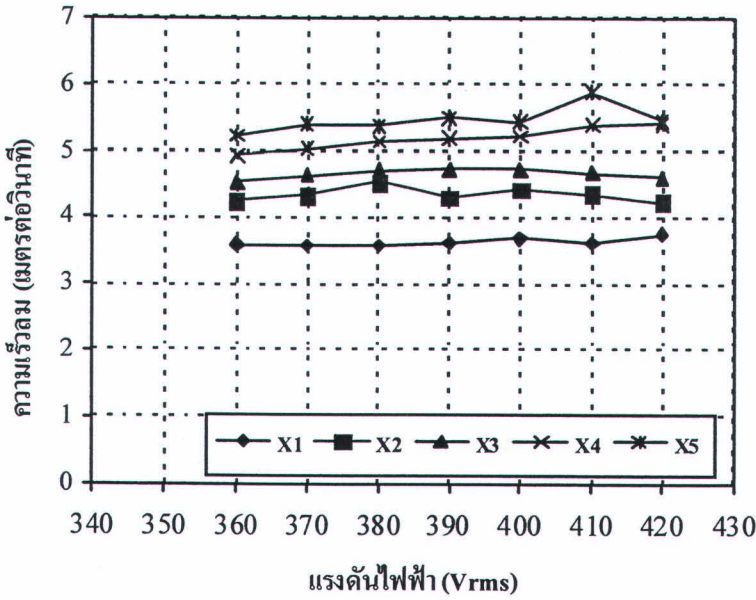
Speed (%)	V _{L-L} (V)	A1 (A)	A2 (A)	A3 (A)	P1 (W)	P2 (W)	P3 (W)	P (3 ϕ) (W)	Energy (3 ϕ) (W-hr)	PF
15	392.5	1.630	1.30	1.628	132.50	105.01	137.72	375.23	187.615	0.35
20	392.9	2.400	2.380	2.390	206.11	197.85	207.98	611.94	305.97	0.37
25	391.7	2.806	2.793	2.800	259.08	237.74	249.50	746.32	373.16	0.39
30	392.4	3.450	3.250	3.300	373.92	298.80	302.44	975.16	487.58	0.41
35	393.9	3.600	3.360	3.402	399.01	324.80	328.34	1052.15	526.075	0.44
40	392.9	4.200	3.845	3.900	493.58	388.10	394.30	1280.98	640.49	0.46
45	392.7	4.928	4.450	4.500	590.30	459.34	457.93	1507.57	753.785	0.48
50	393.1	5.630	5.085	5.100	687.08	571.04	575.30	1833.42	916.71	0.50
55	394.3	6.445	5.216	5.820	803.8	611.20	710.20	2125.2	1062.6	0.52
60	393.7	7.353	5.760	6.667	882.30	686.88	801.08	2370.26	1185.13	0.53
65	393.9	8.480	6.210	7.720	1094.8	769.20	965.6	2829.6	1414.8	0.54
70	393.8	9.700	7.688	8.980	1274.3	951.40	1122.2	3347.9	1673.95	0.55
75	391.0	10.95	8.980	10.50	1410.5	1124.0	1354.2	3888.7	1944.35	0.56
80	390.7	12.40	11.70	12.10	1616.0	1435.0	1585.6	4636.6	2318.3	0.57
85	392.6	13.62	12.47	13.10	1842.7	1652.4	1754.7	5249.8	2624.9	0.58
90	391.9	15.46	13.85	14.96	2125.6	1862.2	2069.7	6057.5	3028.75	0.59
95	392.5	17.20	15.10	16.50	2407.9	2067.8	2370.3	6846.0	3423	0.61
100	392.3	18.88	16.90	18.20	2642.3	2347.0	2608.0	7597.3	3798.65	0.62

ภาคผนวก ง
การทดลองความเร็วลม

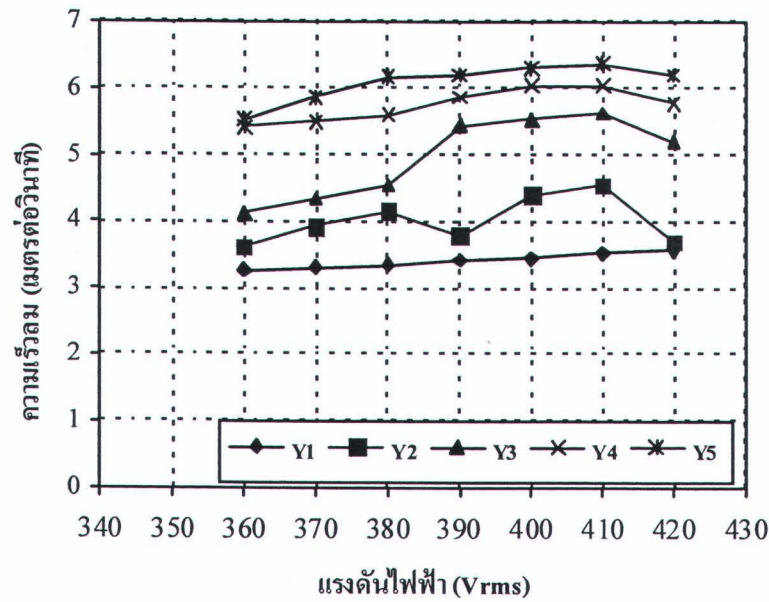
ง.1 ความเร็วลมขณะที่ยินเวอร์เตอร์ขับเคลื่อนที่ความถี่ 80 % เมื่อแรงดันไฟฟ้าเข้าอินเวอร์เตอร์เปลี่ยนระหว่าง 360-420 Vrms

ตารางที่ ง.1 ความเร็วลมแต่ละตำแหน่งในอุโมงค์ตามแนวแกน X และแกน Y กับแรงดันไฟฟ้าเข้าอินเวอร์เตอร์ ขณะที่ยินเวอร์เตอร์ขับเคลื่อนที่ความถี่ 80 %

แรงดันไฟฟ้าเข้าอินเวอร์เตอร์ (V _{L-L} Input)	ความเร็วลมแต่ละตำแหน่งในอุโมงค์ลม (m/s)									
	X1	X2	X3	X4	X5	Y1	Y2	Y3	Y4	Y5
360	3.596	4.236	4.52	4.928	5.224	3.264	3.6	4.128	5.416	5.518
370	3.576	4.32	4.64	5.032	5.396	3.30	3.925	4.34	5.492	5.856
380	3.568	4.52	4.708	5.144	5.376	3.352	4.148	4.54	5.592	6.168
390	3.612	4.30	4.72	5.201	5.5	3.408	3.788	5.436	5.868	6.196
400	3.688	4.404	4.728	5.230	5.428	3.450	4.388	5.524	6.056	6.30
410	3.608	4.352	4.68	5.40	5.876	3.520	4.544	5.621	6.04	6.36
420	3.748	4.228	4.608	5.416	5.456	3.560	3.684	5.20	5.772	6.20



รูปที่ ง.1 แรงดันไฟฟ้าเข้าอินเวอร์เตอร์และความเร็วลมแต่ละตำแหน่งในอุโมงค์ลมตามแกน X ในวิธีอินเวอร์เตอร์ที่นำเสนอ ขณะที่ยินเวอร์เตอร์ขับเคลื่อนด้วยความถี่ 80 %

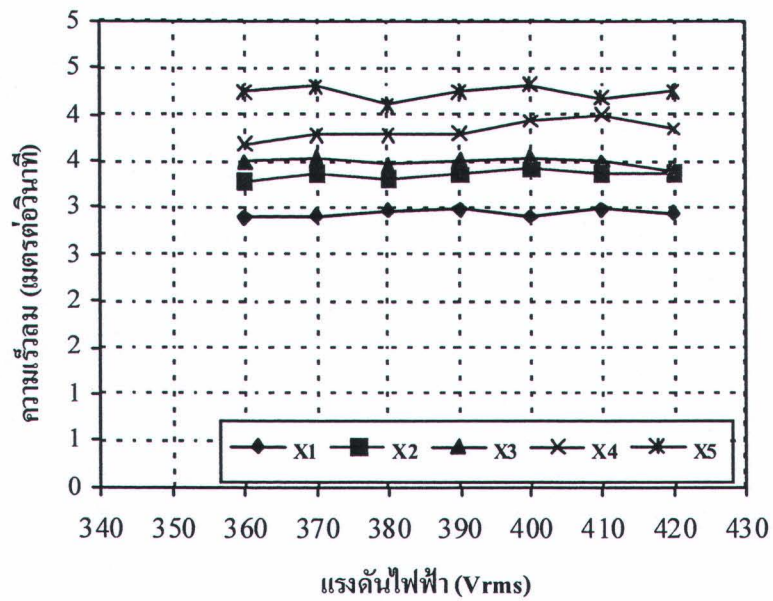


รูปที่ ง.2 แรงดันไฟฟ้าเข้าอินเวอร์เตอร์และความเร็วลมแต่ละตำแหน่งในอุโมงค์ลมตามแกน Y ในวิธีอินเวอร์เตอร์ที่นำเสนอ ขณะที่ขับมอเตอร์พัดลมด้วยความถี่ 80 %

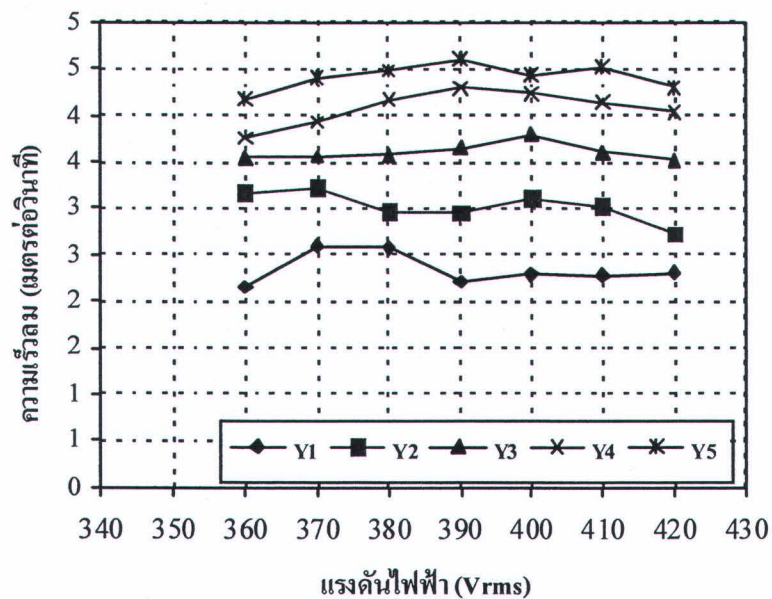
ง.2 ความเร็วลมขณะที่อินเวอร์เตอร์ขับมอเตอร์พัดลมที่ความถี่ 60 % เมื่อแรงดันไฟฟ้าเข้าอินเวอร์เตอร์เปลี่ยนระหว่าง 360-420 Vrms

ตารางที่ ง.2 ความเร็วลมแต่ละตำแหน่งในอุโมงค์ตามแนวแกน X และแกน Y กับแรงดันไฟฟ้าด้านเข้าอินเวอร์เตอร์ ขณะที่อินเวอร์เตอร์ขับมอเตอร์พัดลมที่ความถี่ 60 %

แรงดันไฟฟ้าเข้าอินเวอร์เตอร์ (V _{L-L} Input)	ความเร็วลมแต่ละตำแหน่งในอุโมงค์ลม (m/s)									
	X1	X2	X3	X4	X5	Y1	Y2	Y3	Y4	Y5
360	2.892	3.276	3.492	3.68	4.244	2.152	3.164	3.556	3.76	4.172
370	2.904	3.368	3.532	3.76	4.300	2.592	3.22	3.564	3.932	4.408
380	2.96	3.312	3.468	3.776	4.104	2.572	2.968	3.576	4.168	4.48
390	2.972	3.356	3.508	3.801	4.24	2.208	2.952	3.656	4.304	4.6
400	2.90	3.408	3.540	3.932	4.324	2.284	3.112	3.796	4.248	4.432
410	2.984	3.368	3.500	4.000	4.176	2.276	3.016	3.604	4.14	4.516
420	2.932	3.364	3.392	3.844	4.24	2.296	2.716	3.52	4.036	4.30



รูปที่ 3.3 แรงดันไฟฟ้าเข้าอินเวอร์เตอร์และความเร็วลมแต่ละตำแหน่งในอุโมงค์ลมตามแกน X ในวิธีอินเวอร์เตอร์ที่นำเสนอ ขณะที่ขับมอเตอร์พัฒนาด้วยความถี่ 60 %

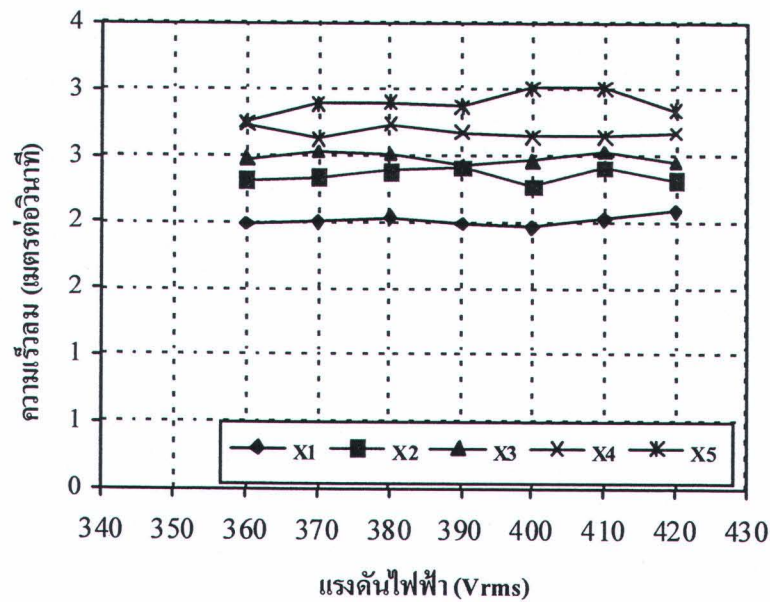


รูปที่ 3.4 แรงดันไฟฟ้าเข้าอินเวอร์เตอร์และความเร็วลมแต่ละตำแหน่งในอุโมงค์ลมตามแกน Y ในวิธีอินเวอร์เตอร์ที่นำเสนอ ขณะที่ขับมอเตอร์พัฒนาด้วยความถี่ 60 %

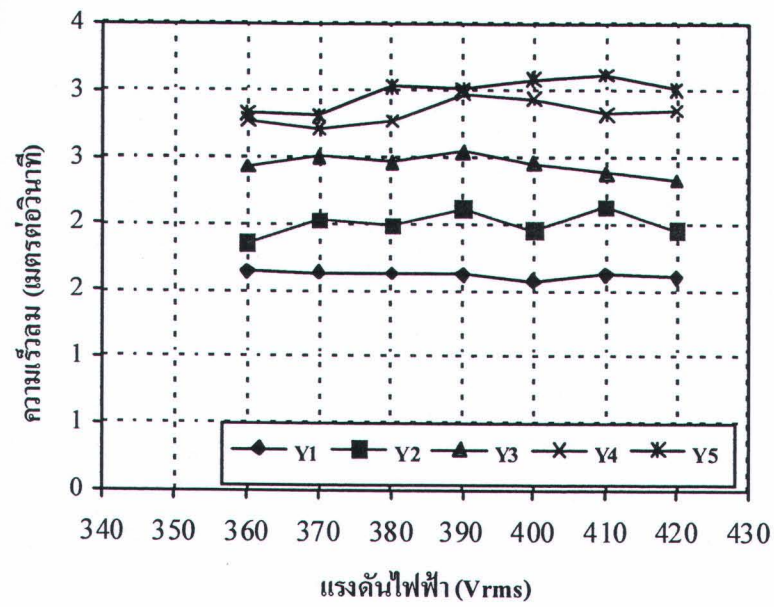
3.3 ความเร็วลมขณะที่อินเวอร์เตอร์ขับมอเตอร์พัดลมที่ความถี่ 40 % เมื่อ แรงดันไฟฟ้าเข้าอินเวอร์เตอร์เปลี่ยนระหว่าง 360-420 Vrms

ตารางที่ 3.3 ความเร็วลมแต่ละตำแหน่งในอุโมงค์ตามแนวแกน X และแกน Y กับแรงดันไฟฟ้าด้าน
เข้าอินเวอร์เตอร์ ขณะที่อินเวอร์เตอร์ขับมอเตอร์พัดลมที่ความถี่ 40 %

แรงดันไฟฟ้าเข้า อินเวอร์เตอร์ (V_{L-L} Input)	ความเร็วลมแต่ละตำแหน่งในอุโมงค์ลม (m/s)									
	X1	X2	X3	X4	X5	Y1	Y2	Y3	Y4	Y5
360	1.988	2.328	2.472	2.74	2.756	1.64	1.848	2.432	2.784	2.828
370	2.000	2.332	2.532	2.628	2.892	1.63	2.024	2.504	2.72	2.808
380	2.032	2.38	2.512	2.742	2.904	1.628	1.992	2.464	2.776	3.032
390	1.988	2.412	2.432	2.676	2.864	1.62	2.116	2.548	2.98	3.004
400	1.96	2.268	2.464	2.644	3.008	1.572	1.956	2.456	2.944	3.08
410	2.02	2.412	2.532	2.648	3.004	1.616	2.132	2.38	2.832	3.116
420	2.08	2.312	2.448	2.674	2.844	1.600	1.956	2.328	2.856	3.012



รูปที่ 3.5 แรงดันไฟฟ้าเข้าอินเวอร์เตอร์และความเร็วลมแต่ละตำแหน่งในอุโมงค์ลมตามแกน X ใน
วิธีอินเวอร์เตอร์ที่นำเสนอ ขณะที่ขับมอเตอร์พัดลมด้วยความถี่ 40 %

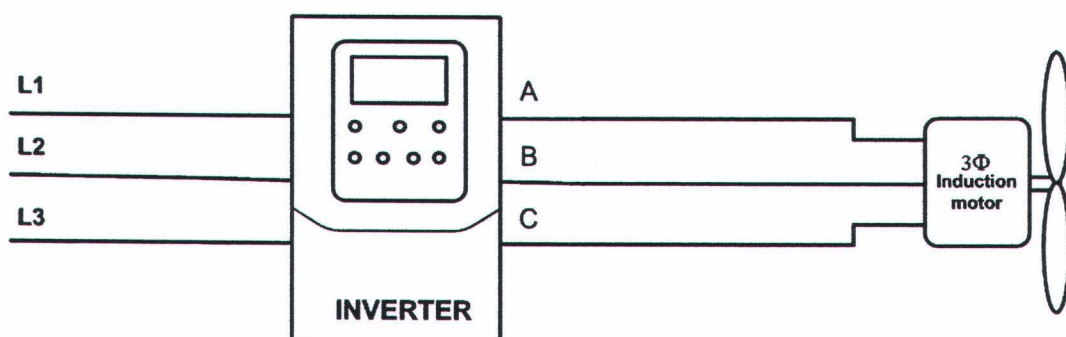


รูปที่ ง.6 แรงดันไฟฟ้าเข้าอินเวอร์เตอร์และความเร็วลมแต่ละตำแหน่งในอุโมงค์ลมตามแกน Y ใน
วิธีอินเวอร์เตอร์ที่นำเสนอ ขณะที่ขับมอเตอร์พัดลมด้วยความถี่ 40 %

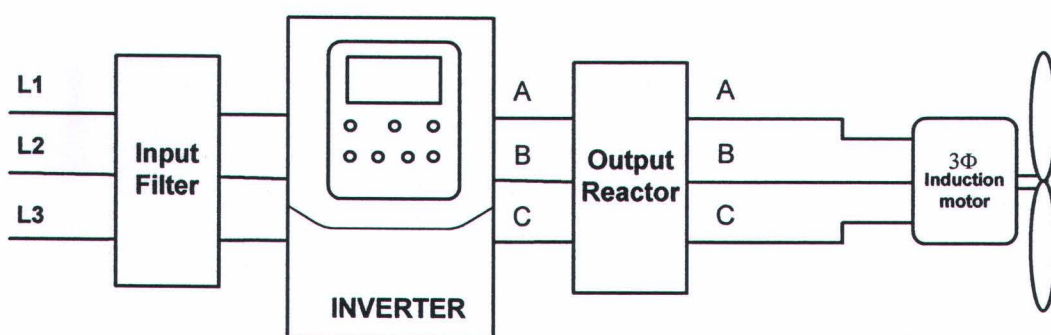
ภาคผนวก จ
การทดลองสายไฟยาว

จ การทดลองสายไฟยาว

การทดลองเรื่องสายไฟยาวสำหรับอินเวอร์เตอร์นี้ เป็นการวัดแรงดันไฟฟ้าสูงสุด กระแสไฟฟ้า ค่า THD % ของเครื่องอินเวอร์เตอร์เมื่อต่อกับมอเตอร์พัฒนาที่ความยาวสายไฟยาว 7 เมตร 14 เมตร 25 เมตร และ 40 เมตร ขณะมีและไม่มีฟิลเตอร์กับรีแอคเตอร์ ต่อรวมในวงจร สำหรับวงจรการทดลองนี้ แสดงดังรูปที่ จ.1 และ จ.2 การทดลองได้แบ่งการทดลองเป็นดังนี้

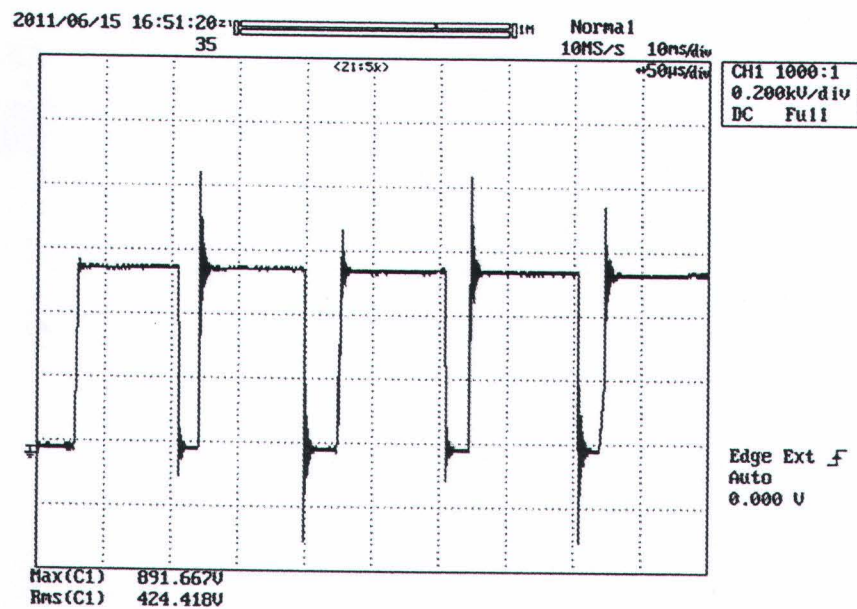


รูปที่ จ.1 อินเวอร์เตอร์ขับโหลดมอเตอร์พัฒนา 1 ตัว เมื่อไม่มีฟิลเตอร์กับรีแอคเตอร์

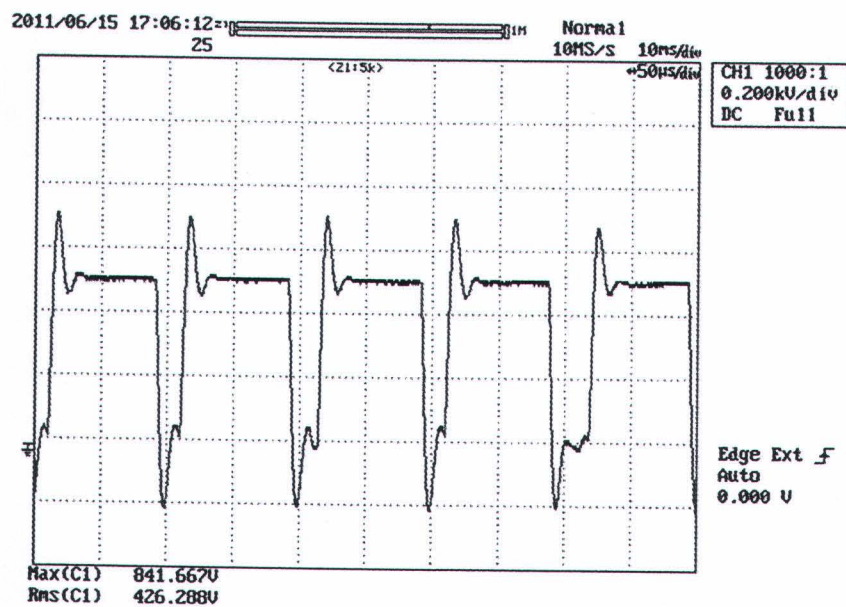


รูปที่ จ.2 อินเวอร์เตอร์ขับโหลดมอเตอร์พัฒนา 1 ตัว เมื่อมีฟิลเตอร์กับรีแอคเตอร์

จ.1 อินเวอร์เตอร์ต่อกับมอเตอร์พัดลมด้วยสายไฟยาว 7 เมตร เมื่อมีและไม่มี
ฟิลเตอร์กับรีแอคเตอร์

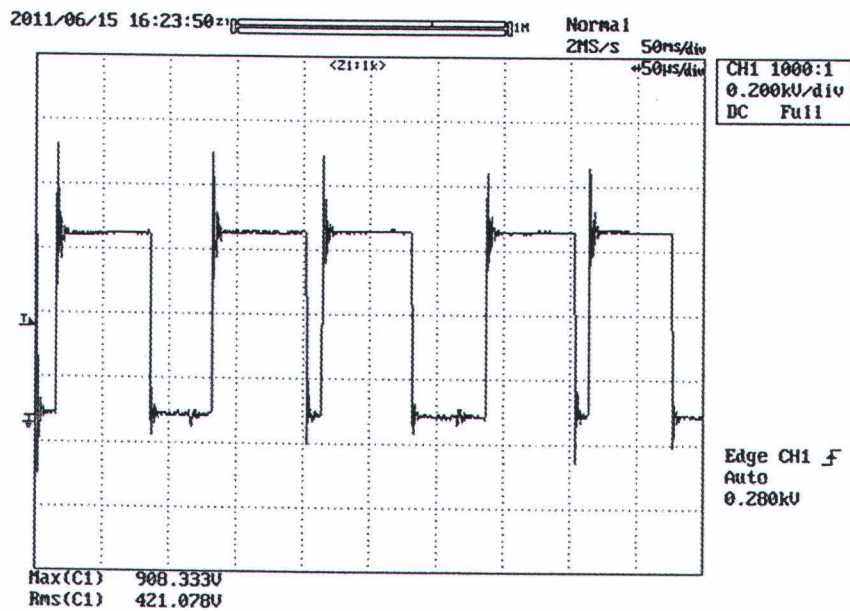


รูป จ.3 แรงดันไฟฟ้าที่ขั้วมอเตอร์พัดลม เมื่ออินเวอร์เตอร์ขับมอเตอร์พัดลมที่ความถี่ 50 Hz ด้วย
สายไฟยาว 7 เมตร ขณะไม่มีฟิลเตอร์กับรีแอคเตอร์ (0.200kv/div: 50us/div)

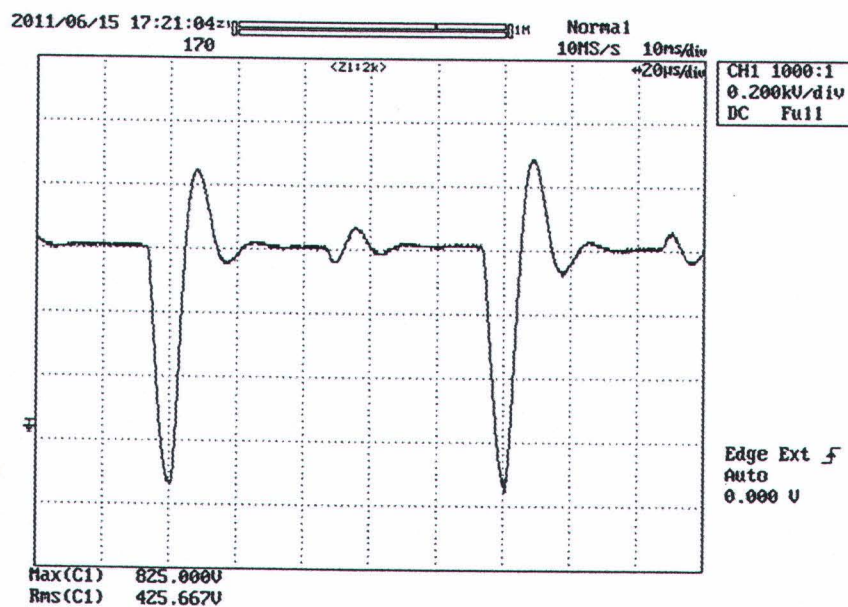


รูป จ.4 แรงดันไฟฟ้าที่ขั้วมอเตอร์พัดลม เมื่ออินเวอร์เตอร์ขับมอเตอร์พัดลมที่ความถี่ 50 Hz ด้วย
สายไฟยาว 7 เมตรขณะมีฟิลเตอร์กับรีแอคเตอร์ (0.200kv/div: 50us/div)

จ.1 อินเวอร์เตอร์ต่อกับมอเตอร์พัดลมด้วยสายไฟยาว 14 เมตร เมื่อมีและไม่มี
ฟิลเตอร์กับรีแอคเตอร์

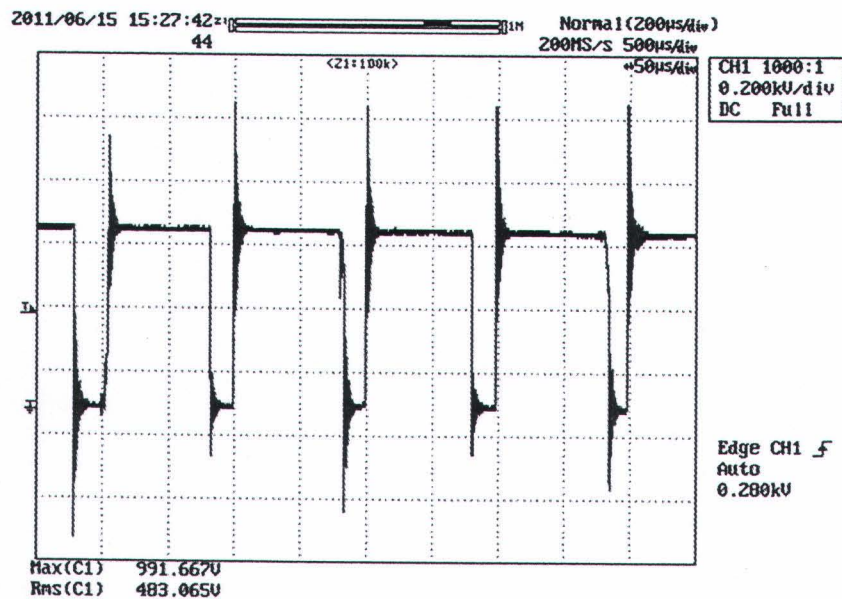


รูป จ.5 แรงดันไฟฟ้าที่ขั้วมอเตอร์พัดลม เมื่ออินเวอร์เตอร์ขับมอเตอร์พัดลมที่ความถี่ 50 Hz ด้วย
สายไฟยาว 14 เมตรขณะไม่มีฟิลเตอร์กับรีแอคเตอร์ (0.200kv/div: 50us/div)

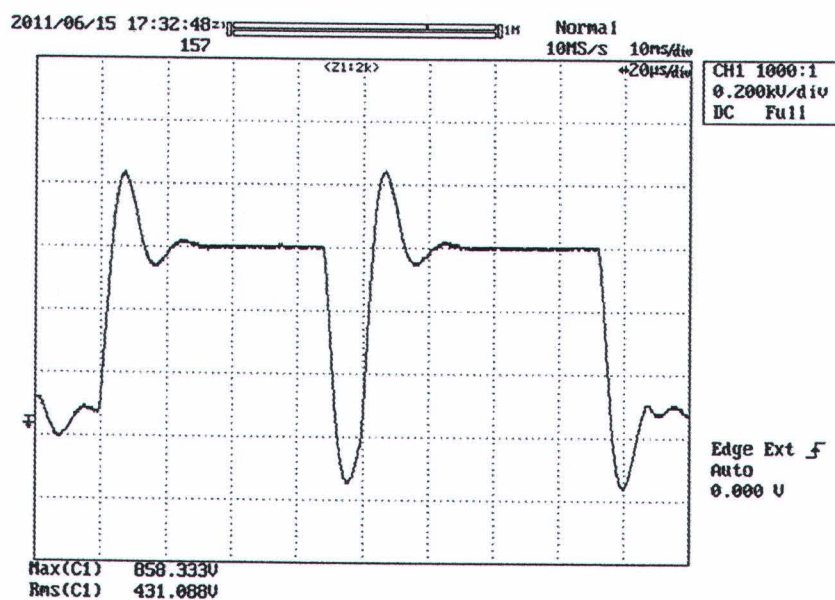


รูป จ.6 แรงดันไฟฟ้าที่ขั้วมอเตอร์พัดลม เมื่ออินเวอร์เตอร์ขับมอเตอร์พัดลมที่ความถี่ 50 Hz ด้วย
สายไฟยาว 14 เมตรขณะมีฟิลเตอร์กับรีแอคเตอร์ (0.200kv/div: 20us/div)

จ.3 อินเวอร์เตอร์ต่อกับมอเตอร์พัดลมด้วยสายไฟยาว 25 เมตร เมื่อมีและไม่มี
ฟิลเตอร์กับรีแอคเตอร์

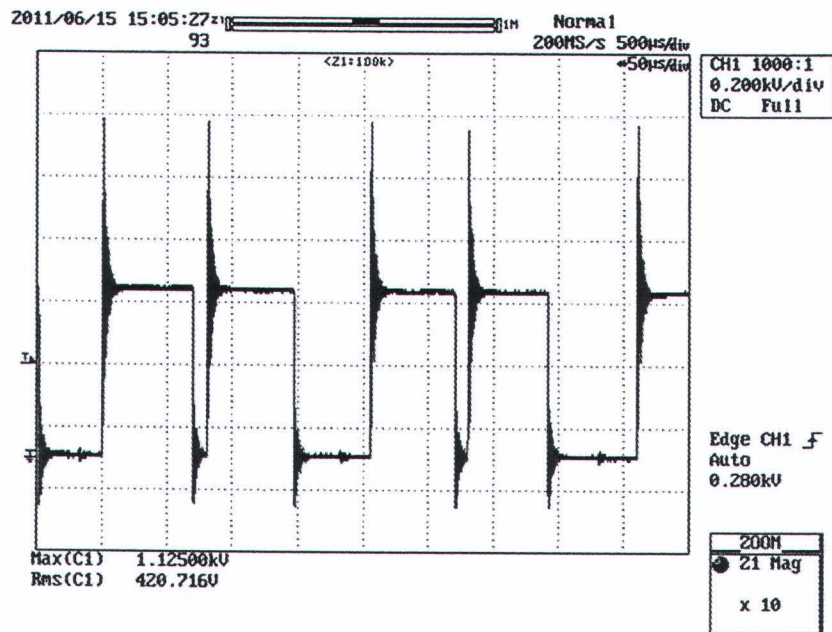


รูป จ.7 แรงดันไฟฟ้าที่ขั้วมอเตอร์พัดลม เมื่ออินเวอร์เตอร์ขับมอเตอร์พัดลมที่ความถี่ 50 Hz ด้วย
สายไฟยาว 25 เมตรขณะไม่มีฟิลเตอร์กับรีแอคเตอร์ (0.200kV/div: 50us/div)

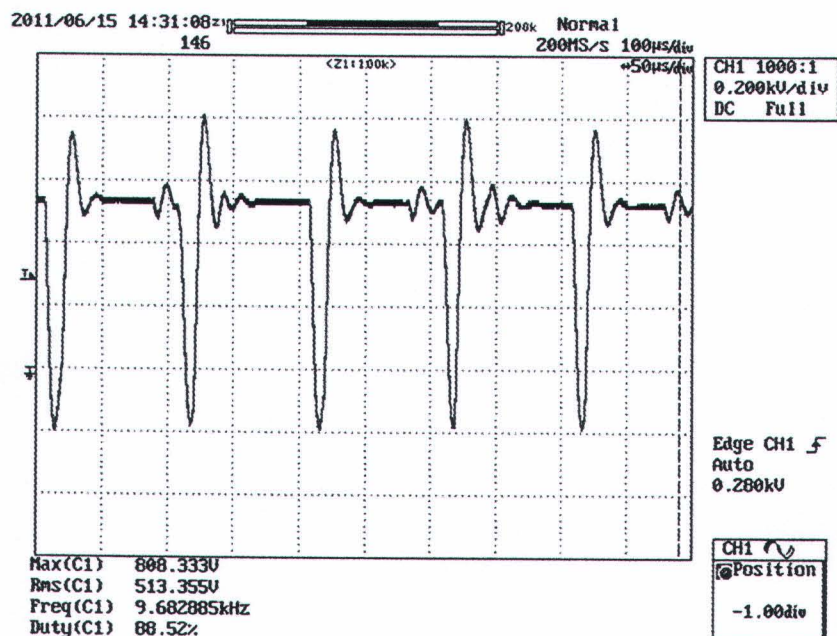


รูป จ.8 แรงดันไฟฟ้าที่ขั้วมอเตอร์พัดลม เมื่ออินเวอร์เตอร์ขับมอเตอร์พัดลมที่ความถี่ 50 Hz ด้วย
สายไฟยาว 25 เมตรขณะมีฟิลเตอร์กับรีแอคเตอร์ (0.200kV/div: 20us/div)

จ.4 อินเวอร์เตอร์ต่อกับมอเตอร์พัดลมด้วยสายไฟยาว 40 เมตร เมื่อมีและไม่มี
ฟิลเตอร์กับรีแอคเตอร์



รูป จ.9 แรงดันไฟฟ้าที่ขั้วมอเตอร์พัดลม เมื่ออินเวอร์เตอร์ขับมอเตอร์พัดลมที่ความถี่ 50 Hz ด้วย
สายไฟยาว 40 เมตรขณะไม่มีฟิลเตอร์กับรีแอคเตอร์ (0.200kV/div: 50us/div)



รูป จ.10 แรงดันไฟฟ้าที่ขั้วมอเตอร์พัดลม เมื่ออินเวอร์เตอร์ขับมอเตอร์พัดลมที่ความถี่ 50 Hz ด้วย
สายไฟยาว 40 เมตรขณะมีฟิลเตอร์กับรีแอคเตอร์ (0.200kV/div: 50us/div)

ตารางที่ จ.1 ผลเปรียบเทียบแรงดันไฟฟ้าที่ขั้วมอเตอร์พัฒนา ขณะมีและไม่มีฟิลเตอร์กับรีแอคเตอร์
เมื่ออินเวอร์เตอร์ต่อกับมอเตอร์พัฒนาด้วยความยาวสายไฟต่างๆ

ความยาวสายไฟ (เมตร)	จำนวนพัฒนา (ตัว)	แรงดันที่ไม่มีฟิลเตอร์ กับรีแอคเตอร์ (V)	แรงดันที่มีฟิลเตอร์ กับรีแอคเตอร์ (V)
7	1	891.66	841.77
14	1	908.33	825.00
25	1	991.66	858.33
40	5	1,125.00	808.33

จ.5 ค่า THD ของกระแสไฟฟ้าทางด้านเข้าอินเวอร์เตอร์ เมื่อมีและไม่มี
ฟิลเตอร์กับรีแอคเตอร์

ตารางที่ จ.2 ผลเปรียบเทียบกระแสและ ค่า THD ของกระแสทางด้านเข้าอินเวอร์เตอร์ขณะมีและไม่มี
ฟิลเตอร์กับรีแอคเตอร์ เมื่ออินเวอร์เตอร์ต่อกับมอเตอร์พัฒนาด้วยความยาวสายไฟต่างๆ

สายไฟ ยาว (m)	จำนวน พัฒนา (ตัว)	กรณีไม่มีฟิลเตอร์กับรีแอคเตอร์						กรณีมีฟิลเตอร์กับรีแอคเตอร์					
		I (A)			THD (%)			I (A)			THD (%)		
		I_{L1}	I_{L2}	I_{L3}	I_{L1}	I_{L2}	I_{L3}	I_{L1}	I_{L2}	I_{L3}	I_{L1}	I_{L2}	I_{L3}
7	1	5.6	3.6	3.6	181.7	200.1	200.5	5.1	3.3	4.6	168.3	185.9	180.6
14	1	5.5	3.8	3.8	181.9	197.9	197.8	5.4	3.4	3.6	166.2	185.8	181.9
25	1	5.6	3.9	3.9	181.9	199.7	199.6	5.7	3.4	3.8	168.4	191.5	184.4
40	5	20.1	18.6	19.8	135.3	137.5	137.4	18.8	16.9	18.2	119.7	120.4	121.1

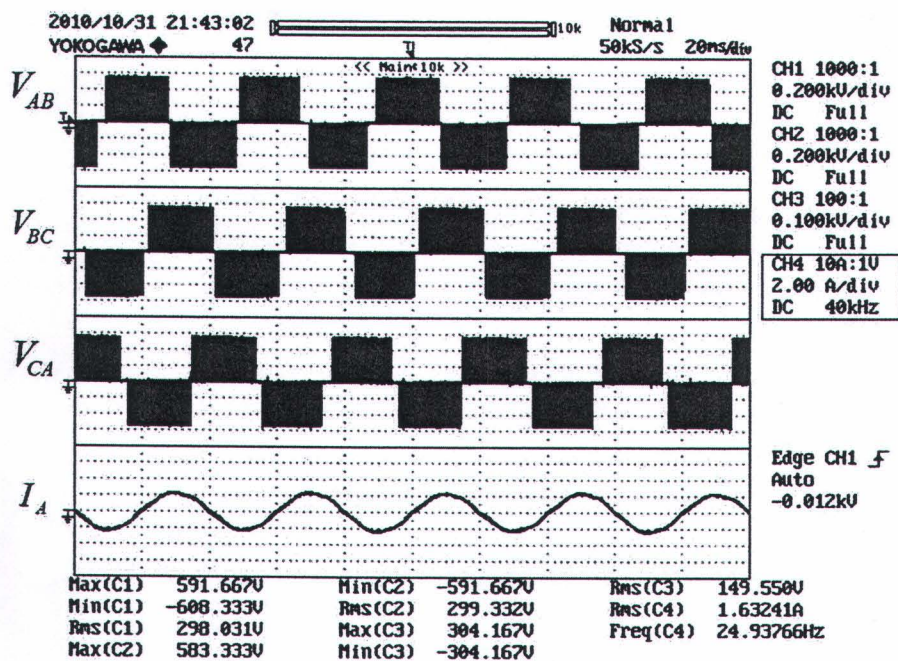
ภาคผนวก จ

โหมคการทำงานของอินเวอร์เตอร์ที่นำเสนอ

อินเวอร์เตอร์สำหรับควบคุมสถานะอากาศและระบายอากาศในโรงเรือนปิดปลูกสัตว์ แบ่งออกเป็น 5 โหมดหลักด้วยกันคือ โหมด Manual โหมดการเชื่อมต่อเครื่องควบคุมสถานะอากาศแบบเปิด-ปิดกับอินเวอร์เตอร์ และโหมดอัตโนมัติ

ฉ.1 โหมด Manual

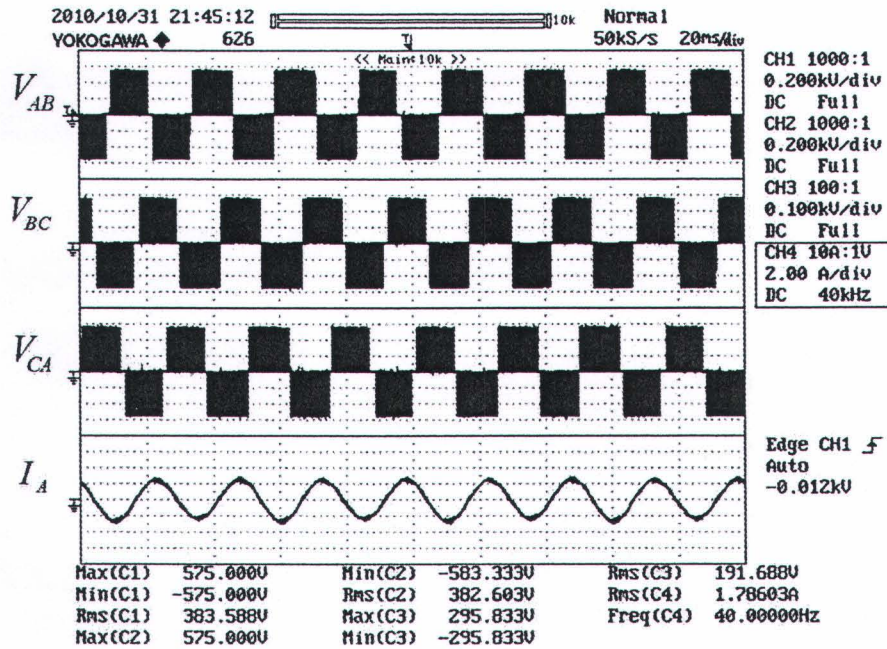
โหมด Manual คือ ผู้ใช้งานกำหนดถี่อินเวอร์เตอร์นี้ได้ตั้งแต่ 15 ถึง 100 % (7.5 ถึง 50 Hz) รูปที่ ฉ.1 และ ฉ.2 แสดงสัญญาณแรงดันไฟฟ้าระหว่างเฟส AB กับกระแสไฟฟ้าเฟส A ที่ทางด้านออกของอินเวอร์เตอร์ ที่ความถี่ 25 Hz และ 50 Hz ตามลำดับ



รูปที่ 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)



รูปที่ น.2 แรงดันและกระแสไฟฟ้าทางด้านออกของอินเวอร์เตอร์ที่ความถี่ 40 Hz

(V_{AB} : 0.200 kV/div : V_{BC} : 0.200 kV/div : V_{CA} : 0.100 kV/div :

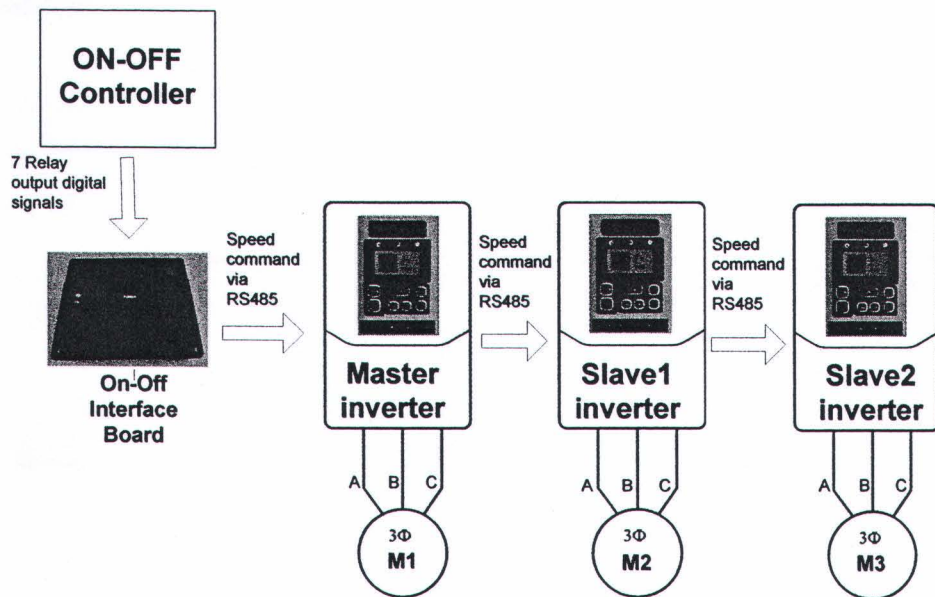
I_A : 2.00 A/div : 20ms/div)

น.2 โหมดการเชื่อมต่อเครื่องควบคุมสถานะอากาศและระบายอากาศแบบเปิด - ปิด กับอินเวอร์เตอร์ 3 เครื่อง

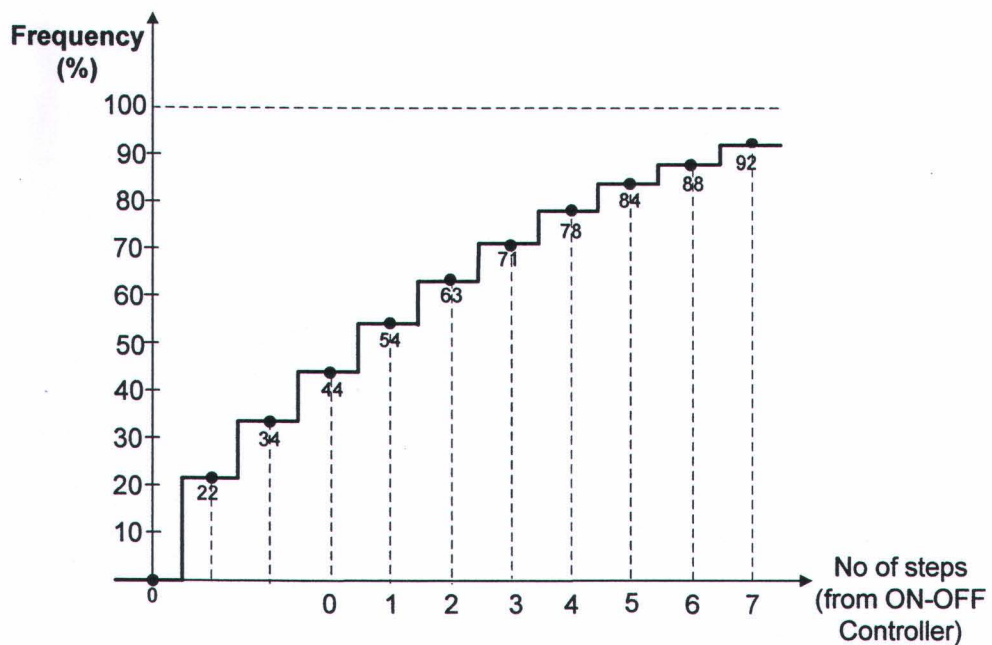
การทดลองนี้เป็นการวัดสัญญาณการทำงานของอินเวอร์เตอร์ในโหมดการเชื่อมต่อเครื่องควบคุมสถานะอากาศและระบายอากาศแบบเปิด-ปิด (ON-OFF Controller) กับอินเวอร์เตอร์ 3 เครื่องด้วยเครื่อง ON-OFF Interface การเชื่อมต่อนี้แสดงดังรูปที่ น.3 ซึ่งประกอบด้วย

- (1) เครื่องควบคุมสถานะอากาศและระบายอากาศแบบเปิด-ปิด (ON-OFF Controller)
- (2) เครื่องเชื่อมต่อ ON-OFF Interface
- (3) อินเวอร์เตอร์ตัวหลัก (Master Inverter) อินเวอร์เตอร์ตัวรองที่ 1 (Slave1 Inverter) และอินเวอร์เตอร์ตัวรองที่ 2 (Slave2 Inverter)
- (4) มอเตอร์ตัวที่ 1 (M1) มอเตอร์ตัวที่ 2 (M2) และมอเตอร์ตัวที่ 3 (M3)

รูปที่ น.4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนขั้นของเครื่องควบคุมสถานะอากาศและระบายอากาศแบบเปิด-ปิดกับความถี่ที่อินเวอร์เตอร์ขับมอเตอร์พัฒนา อินเวอร์เตอร์ทั้งสามจะทำงานที่ความถี่เดียวกัน ตามคำสั่งขั้น เช่น ที่คำสั่งขั้นที่ 1 (Step 1) อินเวอร์เตอร์ทั้งสาม ก็จะขับมอเตอร์ที่ความถี่เดียวกันคือ 54 % เป็นต้น



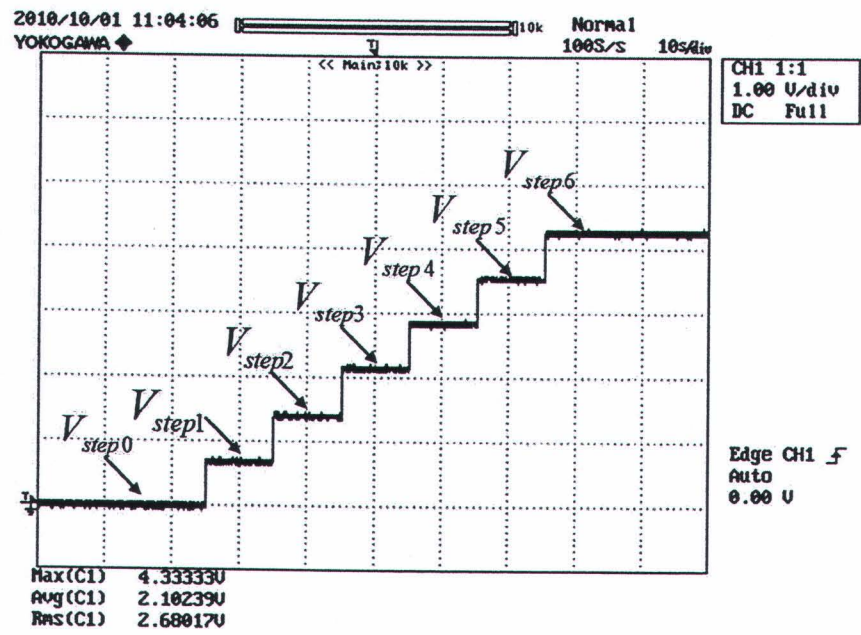
รูปที่ น.3 การเชื่อมต่อเครื่องควบคุมสภาวะอากาศและระบายอากาศแบบเปิด - ปิด (ON-OFF Controller) กับอินเวอร์เตอร์ 3 เครื่องด้วยเครื่อง ON-OFF Interface



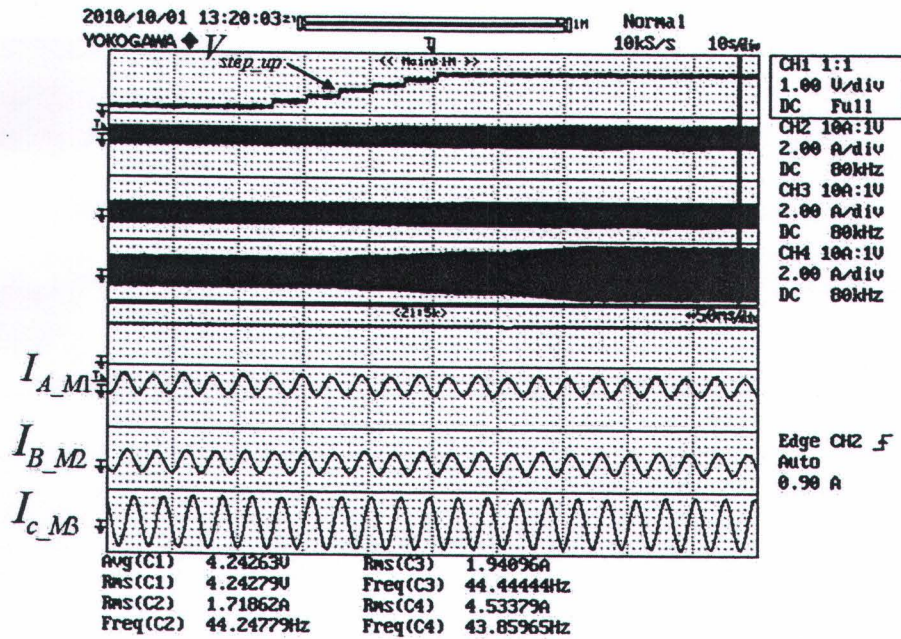
รูปที่ น.4 ความสัมพันธ์ของสัญญาณแบบขั้นจากเครื่องควบคุมสภาวะอากาศและระบายอากาศแบบเปิด-ปิด (ON-OFF Controller) กับความถี่อินเวอร์เตอร์ขับเคลื่อนมอเตอร์

ตารางที่ น.1 ความสัมพันธ์จำนวนขั้นจากเครื่องควบคุมสภาวะอากาศและระบายอากาศแบบเปิด-ปิด
ความถี่ที่ต้องการควบคุมและความถี่มอเตอร์ที่วัดได้

จำนวนขั้น (No of Step)	ความถี่ที่ต้องการควบคุม (Set point Frequency, %)	ความถี่มอเตอร์ที่วัดได้ (Measured Frequency, %)	ความผิดพลาด (%)
0	44	43.980	0.04
1	54	53.763	0.43
2	63	62.893	0.16
3	71	71.431	0.60
4	78	78.741	0.95
5	84	83.919	0.09
6	88	87.088	1.03



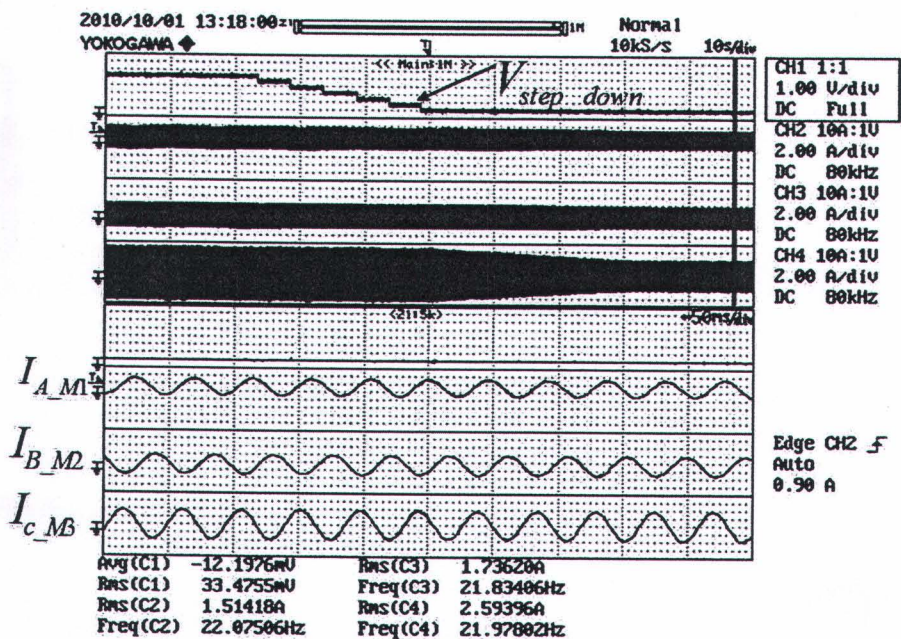
รูปที่ น.5 สัญญาณแบบขั้นทั้ง 7 ขั้น จากเครื่องควบคุมสภาวะอากาศและระบายอากาศแบบเปิด-ปิด
(V_{Step_Up} : 1 V/div :10s/div)



รูปที่ ๑.6 ความสัมพันธ์ระหว่างสัญญาณแบบขั้นที่ 0 ถึง 6 จากเครื่องควบคุมสถานะอากาศและ

ระบายอากาศแบบเปิด-ปิด และกระแสไฟฟ้ามอเตอร์ (V_{Step_down} : 1 V/div ;

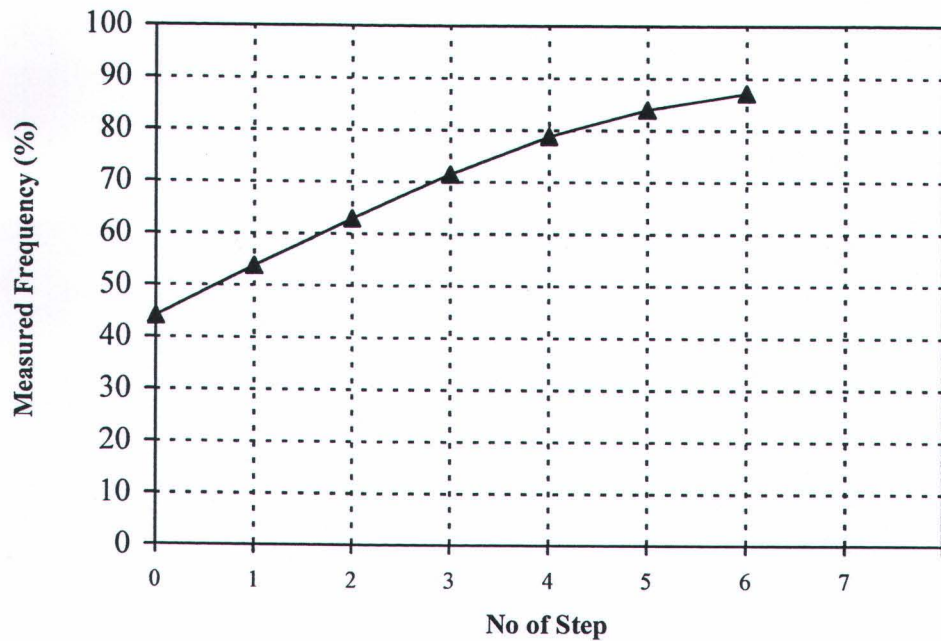
I_{A_M1} : 2.00 A/div ; I_{B_M2} : 2.00 A/div ; I_{C_M3} : 2.00 A/div :10s/div)



รูปที่ ๑.7 ความสัมพันธ์ระหว่างสัญญาณแบบขั้นที่ 6 ถึง 0 จากเครื่องควบคุมสถานะอากาศและ

ระบายอากาศแบบเปิด-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)



รูปที่ ๘.๘ ความสัมพันธ์ของสัญญาณแบบขั้นจากเครื่องควบคุมสภาวะอากาศและระบายอากาศแบบเปิด-ปิด(ON-OFF Controller) ความถี่มอเตอร์วัดได้

๘.3 โหมดอัตโนมัติ (Auto)

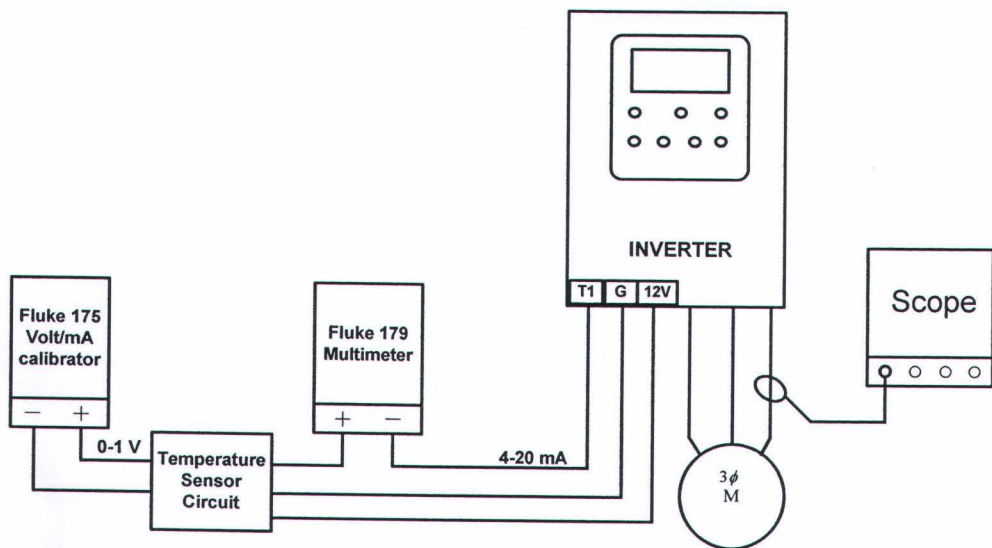
การทดลองนี้ทำการทดลองเพื่อตรวจสอบการทำงานของอินเวอร์เตอร์ในโหมดอัตโนมัติ (AUTO) โดยการทดลอง จะกำหนดให้อินเวอร์เตอร์ทำงานในโหมดการควบคุมการระบายอากาศ (Ventilation Control) และกำหนดค่าอื่นๆ ให้กับเครื่องอินเวอร์เตอร์ ตามตารางที่ ๘.๒ สำหรับวงจรการทดลอง แสดงดังรูปที่ ๘.๙ ประกอบด้วย (1) เครื่องสร้างสัญญาณ Fluke 715 Volt/mA Calibrator ทำหน้าที่จ่ายแรงดัน 0-1 V เข้าไปใน (2) วงจรตรวจวัดอุณหภูมิ (Temperature Sensor Circuit) ทำให้มีกระแส 4-20 mA ออกมา และจ่ายผ่าน (3) Fluke 179 True RMS Multimeter เพื่อแสดงผลกระแส 4-20 mA และจ่ายกระแสนี้เข้าไปยังขา T1 ในบอร์ดควบคุมหลักของอินเวอร์เตอร์ นอกจากนี้แล้วบอร์ดควบคุมหลักยังจ่ายไฟ 12 VDC ไปยังวงจรตรวจวัดอุณหภูมิ สำหรับความสัมพันธ์ระหว่างกระแส 4-20 mA กับอุณหภูมิ 0-100 °C คือถ้าวงจรตรวจวัดอุณหภูมิจ่ายกระแสออกมา 4 mA หน้าจอแสดงผลของอินเวอร์เตอร์จะแสดงค่าอุณหภูมิเป็น °C และถ้าจ่ายกระแสออกมา 20 mA หน้าจอแสดงผลของอินเวอร์เตอร์ก็แสดงเป็น 100 °C

ขั้นตอนการทดลอง

1. ต่อวงจรการทดลองตามรูปที่ ๘.๙
2. ตั้งค่าให้อินเวอร์เตอร์ทำงานในโหมดอัตโนมัติ (AUTO) และตั้งค่าอื่นๆตามตารางที่ ๘.๒

3. จ่ายแรงดัน 0-1 V จากเครื่อง Fluke 715 Volt/mA Calibrator ตามตารางที่ จ.3
4. บันทึกกระแส (I_{4-20mA}) ตามเครื่อง Fluke 179 True RMS Multimeter ที่แสดงผล
5. บันทึกผลจากหน้าจอแสดงผลต่างๆ ดังนี้ อุณหภูมิที่วัดได้ (Temperature Feedback) ความถี่ (Frequency)
6. บันทึกผลความถี่ของความถี่มอเตอร์ที่วัดได้ (Measured Frequency)

จากทดลองอินเวอร์เตอร์ในโหมดอัตโนมัตินี้ จะความสัมพันธ์ระหว่างความต่างอุณหภูมิ (DiffTemp) กับความถี่มอเตอร์ที่วัดได้ (Measured Frequency) ดังแสดงในรูปที่ จ.10



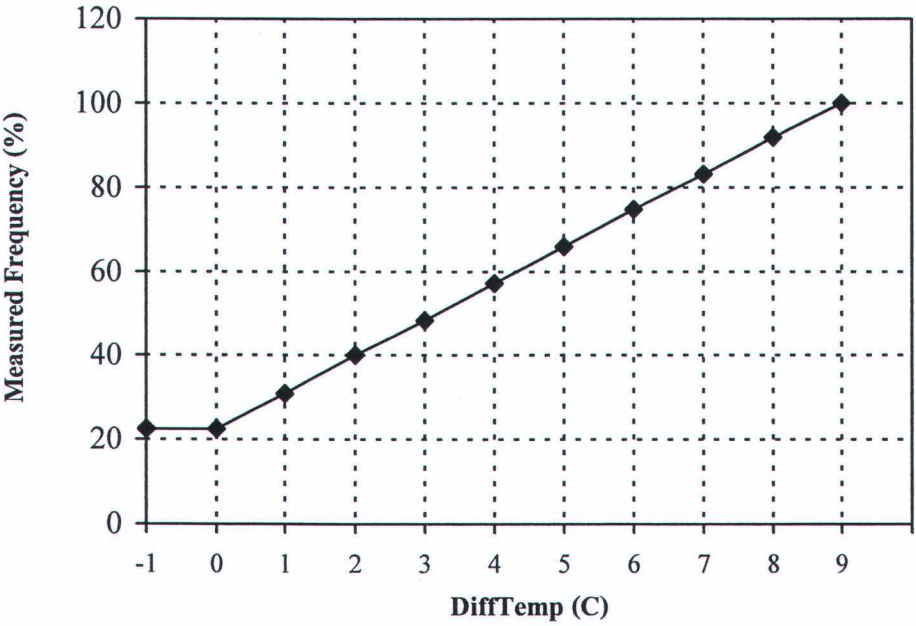
รูปที่ จ.9 การเชื่อมต่อวงจรการทดลองในโหมดอัตโนมัติของอินเวอร์เตอร์

ตารางที่ จ.2 ค่าพารามิเตอร์ที่กำหนดให้อินเวอร์เตอร์โหมดอัตโนมัติในการทดลองในหัวข้อ จ.3

DiffTemp (°C)	Setpoint Temp (°C)	Diff Speed (%)	Speed Min (%)	Set point Humidity (%)	Measured Humidity (%)
9	25	12	22	60	55

ตารางที่ ๓.3 ความสัมพันธ์ของกระแส 4-20 mA อุณหภูมิ และความถี่ (ความเร็ว) ของมอเตอร์ขณะที่อินเวอร์เตอร์ทำงานในโหมดอัตโนมัติ

V_{Temp} (mV)	I_{4-20mA} (mA)	Feedback Temp (°C)	Set point Temp (°C)	DiffTemp (°C)	Set point Frequency (%)	Measured Frequency (%)
240	7.84	24	25	-1	22	22.52
250	8.00	25	25	0	22	22.52
260	8.16	26	25	1	30.7	30.9
270	8.32	27	25	2	39.3	40.0
280	8.48	28	25	3	48.0	48.28
290	8.64	29	25	4	56.7	57.20
300	8.80	30	25	5	65.3	65.90
310	8.96	31	25	6	74.0	74.80
320	9.12	32	25	7	82.7	83.20
330	9.28	33	25	8	91.3	91.8
340	9.44	34	25	9	100	100



รูปที่ ๓.10 ความสัมพันธ์ผลต่างอุณหภูมิ (DiffTemp) และ-ความถี่ของมอเตอร์ที่วัดได้

ภาคผนวก ข

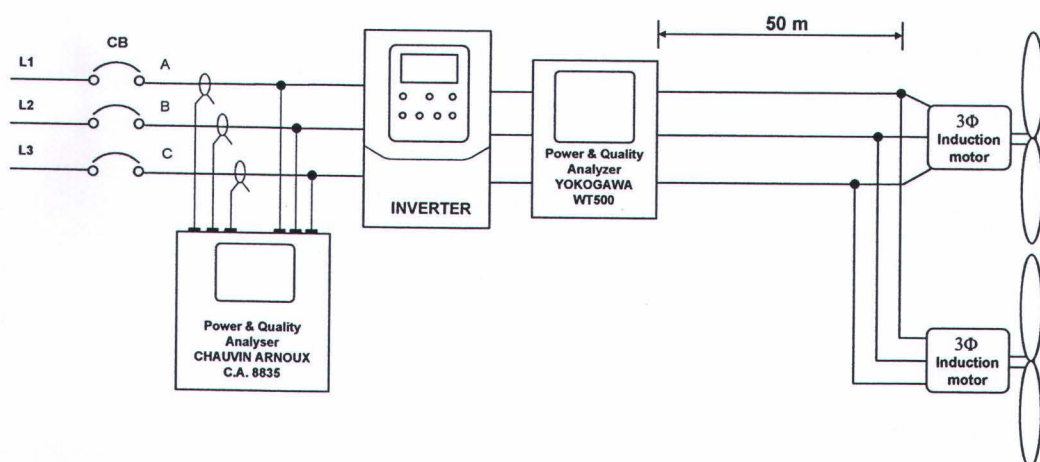
ประสิทธิภาพของเครื่องอินเวอร์เตอร์ที่นำเสนอ

ข.1 ประสิทธิภาพของเครื่องอินเวอร์เตอร์ที่นำเสนอ

ในหัวข้อทำการทดลองกำลังไฟฟ้าทางด้านเข้าและด้านออกของเครื่องอินเวอร์เตอร์ที่นำเสนอ เพื่อคำนวณหาประสิทธิภาพของเครื่อง การต่อวงจรทดลองแสดงดังรูปที่ ข.1 เครื่องมือและอุปกรณ์สำหรับวัดมีดังนี้

- | | |
|--|---------|
| 1. อินเวอร์เตอร์สำหรับควบคุมสถานะอากาศและระบายอากาศ | |
| 2. เครื่องวิเคราะห์พลังงานไฟฟ้า ยี่ห้อ CHAUVIN ARNOUX รุ่น C.A. 8835 | 1 ตัว |
| 3. Power Analyzer ยี่ห้อ YOKOGAWA รุ่น WT500 | 1 ตัว |
| 4. มอเตอร์พัดลม 1.5 แรงม้า | 2 ตัว |
| 5. สายไฟ VCT ขนาด 3x 1.0 ตารางมิลลิเมตร | 50 เมตร |

รูปที่ ข.2 แสดงความสัมพันธ์ของประสิทธิภาพและความถี่ของอินเวอร์เตอร์ที่นำเสนอ ประสิทธิภาพจะแปรผันตามความถี่ ที่อินเวอร์เตอร์ขับมอเตอร์พัดลม กล่าวคือ เมื่ออินเวอร์เตอร์ขับมอเตอร์ที่มอเตอร์พัดลมที่ความถี่สูงขึ้น ประสิทธิภาพของอินเวอร์เตอร์ก็จะสูงขึ้นตาม ที่ความถี่ 30 % (15 Hz) ประสิทธิภาพเท่ากับ 76 % และที่ความถี่ 100 % (50 Hz) ประสิทธิภาพเท่ากับ 96.71 %

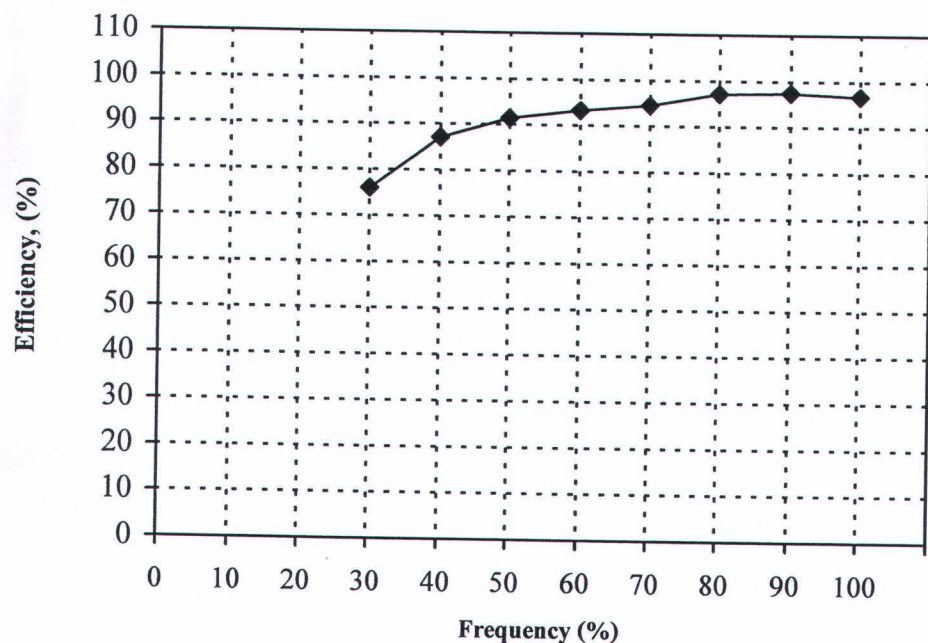


รูปที่ ข.1 การเชื่อมต่อการทดลองเพื่อหาประสิทธิภาพของอินเวอร์เตอร์ที่นำเสนอ

ตารางที่ ข.1 แรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า เพาเวอร์แฟกเตอร์และกำลังไฟฟ้า ทั้งทางด้านเข้าและด้านออกของอินเวอร์เตอร์ที่นำเสนอ เมื่อเปรียบเทียบกับความถี่

$Freq$ (%)	$V_{L-N,in}$ (V)	$V_{L-L,out}$ (V)	I_{in} (A)	I_{out} (A)	PF_{in}	PF_{in}	P_{in} (kW)	P_{out} (kW)	η (%)
30	220	210	1	2.24	0.43	0.24	0.25	0.19	76.00
40	219	250	1.4	2.51	0.46	0.31	0.39	0.34	87.17
50	218	283	2	2.8	0.49	0.39	0.59	0.54	91.52
60	219	315	2.8	3.2	0.52	0.47	0.89	0.83	93.25
70	218	339	3.7	3.65	0.55	0.56	1.27	1.2	94.48
80	220	367	4.8	4.23	0.57	0.63	1.75	1.7	97.14
90	220	392	6.2	4.79	0.59	0.69	2.33	2.27	97.42
100	220	411	7.7	5.45	0.62	0.76	3.04	2.94	96.71

หมายเหตุ $Freq$ คือ ความถี่ (%) และ $\eta = (P_{out} / P_{in}) \times 100$ คือ ประสิทธิภาพ (Efficiency)



รูปที่ ข.2 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพและความถี่ของอินเวอร์เตอร์ที่นำเสนอ

ภาคผนวก ข

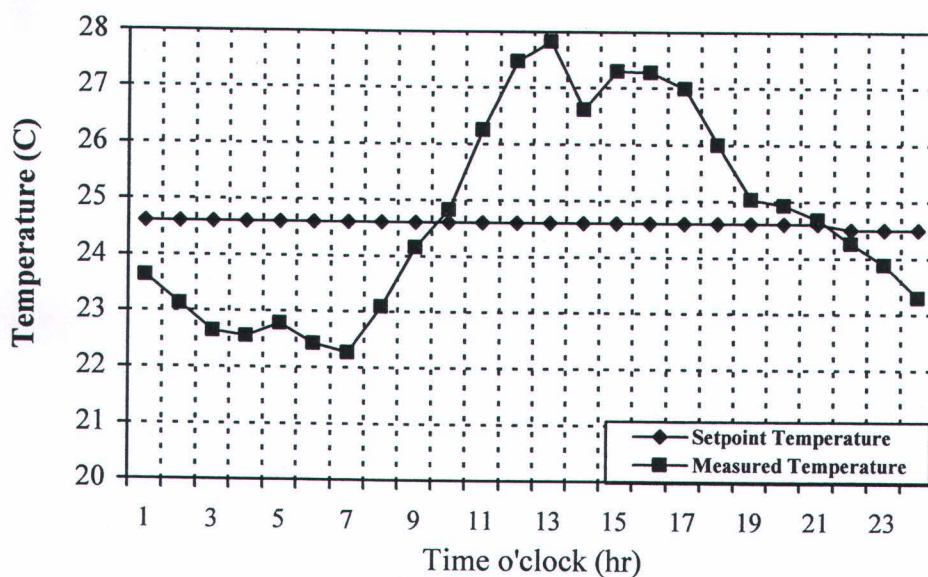
ผลตอบแทนของอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ในวิธีเปิด-ปิด

ข.1 ผลตอบสนองอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ในโรงเรือนปิด

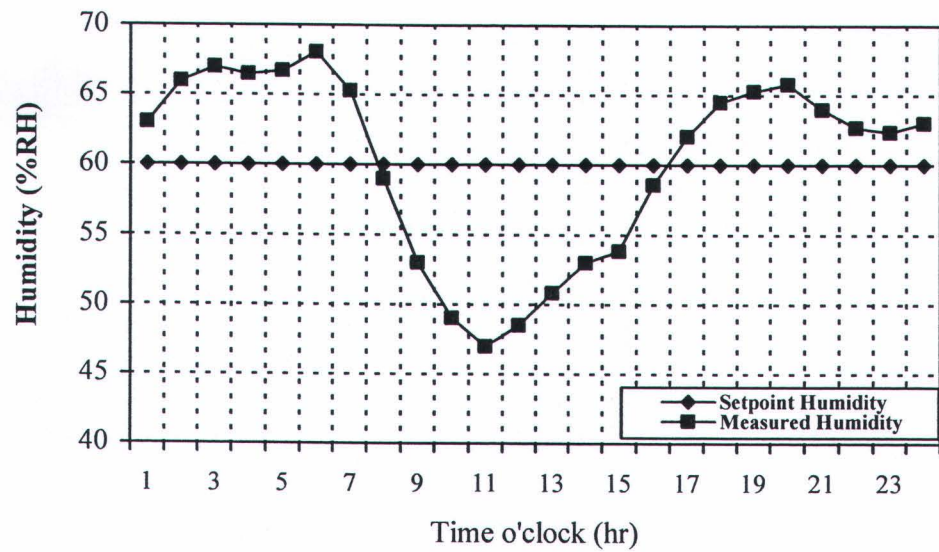
การทดลองนี้เป็นการวัดผลตอบสนองของอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ที่ต้องการควบคุม ภายในโรงเรือนปิดสุสต์ว์ขนาด 12x12x50 เมตร โรงเรือนปิดนี้เป็นโรงเรือนสำหรับเลี้ยงไก่ เก็บผลทดลองนี้ในวันที่ 3 พฤศจิกายน พ.ศ. 2553 ตั้งแต่เวลา 1:00 น ถึง 24:00 น และอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองในหัวข้อนี้มีดังนี้

1. เครื่องควบคุมสภาวะอากาศและการระบายอากาศแบบเปิด-ปิด (ON-OFF Controller)
2. ตัววัดอุณหภูมิและความชื้น
3. คอมพิวเตอร์ตั้งโต๊ะสำหรับบันทึกผล
4. ชุดติดต่อสื่อสาร RS 232

ในรูปที่ ข.1 คือผลตอบสนองของอุณหภูมิที่วัดได้ในโรงเรือนปิดเมื่อเทียบกับอุณหภูมิที่ต้องการควบคุม จะเห็นว่าเกิดการกวัดแกว่งของอุณหภูมิเป็น $\pm 3.2^{\circ}\text{C}$ ขณะที่อุณหภูมิที่ต้องการควบคุมอยู่ที่ 24.6 องศาเซลเซียส สำหรับรูปที่ ข.2 แสดงผลการตอบสนองของความชื้นที่วัดได้ในโรงเรือนปิดเมื่อเทียบกับความชื้นที่ต้องการควบคุม ซึ่งเป็นเวลาเดียวกันกับผลตอบสนองของอุณหภูมิ การกวัดแกว่งของความชื้นเป็น $\pm 13\% \text{RH}$ ขณะที่ค่าความชื้นที่ต้องการควบคุมอยู่ที่ 60 %RH ผลการตอบสนองของทั้งอุณหภูมิและความชื้นนี้ แสดงให้เห็นชัดเจนว่า วิธีการควบคุมการระบายอากาศและควบคุมสภาวะอากาศด้วยวิธีเปิด-ปิด (ON-OFF method) ทำให้เกิดการกวัดแกว่งของอุณหภูมิและความชื้นที่สูง เมื่อเทียบกับค่าที่ต้องการควบคุม (Set point)



รูปที่ ข.1 ผลตอบสนองของอุณหภูมิที่วัดได้ในโรงเรือนปิดเมื่อเทียบกับอุณหภูมิที่ต้องการควบคุม



รูปที่ ข.2 ผลตอบสนองของความชื้นที่วัดได้ในโรงเรือนปิดเมื่อเทียบกับความชื้นที่ต้องการควบคุม

ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ – สกุล

นายธีรพงษ์ ศรีเชียงสา

วัน เดือน ปีเกิด

27 ตุลาคม 2526

ประวัติการศึกษา

ระดับมัธยมศึกษา

ประโยคมัธยมศึกษาตอนปลาย

โรงเรียนสัมมาสิกขาปฐมอโศก พ.ศ. 2544

ระดับประกาศนียบัตร

ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง สาขาช่างไฟฟ้ากำลัง

โรงเรียนเทคโนโลยีนครปฐม พ.ศ. 2548

ระดับปริญญาตรี

วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี พ.ศ. 2550

ระดับปริญญาโท

วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี พ.ศ. 2554

ทุนการศึกษา หรือทุนวิจัย

ทุนโครงการสร้างขีดความสามารถด้านการวิจัยและพัฒนา และการแข่งขันด้านอุตสาหกรรม (U-IRC Research)

ผลงานที่ได้รับการตีพิมพ์

ธีรพงษ์ ศรีเชียงสา, วุฒิชัย พลวิเศษ และมงคล กงศ์หิรัญ, 2551, “การประหยัดพลังงานและการควบคุมสภาวะอากาศภายในโรงเรือนปิดปลูกสัตว์ โดยใช้อินเวอร์เตอร์”, การประชุมวิชาการประจำปี 2551, 4-5 ธันวาคม 2551 ณ ศูนย์การศึกษาและอบรมนานาชาติ มหาวิทยาลัยแม่โจ้, หน้า 152-162.

Theeraphong Srichiangsa and Mongkol Konghirun, 2011, “Design of Climate and Ventilation Controls in Closed Livestock House Using Variable Speed Drive for Energy Saving”, The 5th PSU-UNS International Conference on Engineering and Technology (ICET-2011), May 2-3, 2011, Phuket, pp. 527-531.

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

ข้อตกลงว่าด้วยการโอนสิทธิในทรัพย์สินทางปัญญาของนักศึกษาระดับบัณฑิตศึกษา

วันที่ 23 เดือน พฤศจิกายน พ.ศ. 2554

ข้าพเจ้า นายธีรพงษ์ ศรีเชียงสา รหัสประจำตัว 51400203

เป็นนักศึกษาของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

ระดับ ☐ ประกาศนียบัตรบัณฑิต ☒ ปริญญาโท ☐ ปริญญาเอก

หลักสูตร วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชา วิศวกรรมไฟฟ้า คณะ วิศวกรรมศาสตร์

อยู่บ้านเลขที่ 66/65 หมู่ 5 ตรอก/ซอย - ถนน -

ตำบล/แขวง พระประโทน อำเภอ/เขต เมือง จังหวัด นครปฐม รหัสไปรษณีย์ 73000

เป็น “ผู้โอน” ขอโอนสิทธิในทรัพย์สินทางปัญญาให้กับมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี โดยมี

รศ.ดร.ปิยะบุตร วานิชพงษ์พันธุ์ ตำแหน่ง รองคณบดีฝ่ายวิชาการ ปฏิบัติการแทนคณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์

เป็นตัวแทน “ผู้รับโอน” สิทธิในทรัพย์สินทางปัญญาและมีข้อตกลงดังนี้

1. ข้าพเจ้าได้จัดทำวิทยานิพนธ์ เรื่อง การพัฒนาเครื่องอินเวอร์เตอร์พร้อมตัวควบคุมสภาวะอากาศและระบบอากาศในโรงเรือนปิดปลูกสัตว์ เพื่อการประหยัดพลังงาน

ซึ่งอยู่ในความควบคุมของ ผศ.ดร.มงคล กงส์หิรัญ อาจารย์ที่ปรึกษาและ/หรือ -

อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ตามพระราชบัญญัติลิขสิทธิ์ พ.ศ. 2537 และถือว่าเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

2. ข้าพเจ้าตกลงโอนลิขสิทธิ์จากผลงานทั้งหมดที่เกิดขึ้นจากการสร้างสรรค์ของข้าพเจ้าในวิทยานิพนธ์ให้กับมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ตลอดอายุแห่งการคุ้มครองลิขสิทธิ์ตามพระราชบัญญัติลิขสิทธิ์ พ.ศ. 2537 ตั้งแต่วันที่ได้รับอนุมัติโครงร่างวิทยานิพนธ์จากมหาวิทยาลัย

3. ในกรณีที่ข้าพเจ้าประสงค์จะนำวิทยานิพนธ์ไปใช้ในการเผยแพร่ในสื่อใด ๆ ก็ตาม ข้าพเจ้าจะต้องระบุว่าวิทยานิพนธ์เป็นผลงานของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรีทุกครั้งที่มีการเผยแพร่

4. ในกรณีที่ข้าพเจ้าประสงค์จะนำวิทยานิพนธ์ไปเผยแพร่ หรือให้ผู้อื่นทำซ้ำหรือดัดแปลงหรือเผยแพร่ต่อสาธารณชนหรือกระทำการอื่นใด ตามพระราชบัญญัติลิขสิทธิ์ พ.ศ. 2537 โดยมีค่าตอบแทนในเชิงธุรกิจ ข้าพเจ้าจะกระทำได้เมื่อได้รับความยินยอมเป็นลายลักษณ์อักษรจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรีก่อน

5. ในกรณีที่ข้าพเจ้าประสงค์จะนำข้อมูลจากวิทยานิพนธ์ไปประดิษฐ์หรือพัฒนาต่อยอดเป็นสิ่งประดิษฐ์หรืองานทรัพย์สินทางปัญญาประเภทอื่น ภายในระยะเวลาสิบ (10) ปีนับจากวันลงนามในข้อตกลงฉบับนี้ ข้าพเจ้าจะกระทำได้เมื่อได้รับความยินยอมเป็นลายลักษณ์อักษรจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี และมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรีมีสิทธิในทรัพย์สินทางปัญญานั้น พร้อมกับได้รับชำระค่าตอบแทนการอนุญาตให้ใช้สิทธิดังกล่าว รวมถึงการจัดสรรผลประโยชน์อันพึงเกิดขึ้นจากส่วนใดส่วนหนึ่งหรือทั้งหมดของวิทยานิพนธ์ในอนาคต โดยให้เป็นไปตามระเบียบสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ว่าด้วย การบริหารผลประโยชน์อันเกิดจากทรัพย์สินทางปัญญา พ.ศ. 2538

6. ในกรณีที่ผลประโยชน์เกิดขึ้นจากวิทยานิพนธ์หรืองานทรัพย์สินทางปัญญาอื่นที่ข้าพเจ้าทำขึ้น โดยมีมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรีเป็นเจ้าของ ข้าพเจ้าจะมีสิทธิได้รับการจัดสรรผลประโยชน์อันเกิดจากทรัพย์สินทางปัญญาดังกล่าวตามอัตราที่กำหนดไว้ในระเบียบสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ว่าด้วยการบริหารผลประโยชน์อันเกิดจากทรัพย์สินทางปัญญา พ.ศ. 2538

ลงชื่อ ธีรพงษ์ ศรีเชียงสา ผู้โอนสิทธิ
(นายธีรพงษ์ ศรีเชียงสา)

ลงชื่อ รศ.ดร.ปิยะบุตร วานิชพงษ์พันธุ์ ผู้รับโอนสิทธิ
(รศ.ดร.ปิยะบุตร วานิชพงษ์พันธุ์)
รองคณบดีฝ่ายวิชาการ ปฏิบัติการแทนคณบดี

ลงชื่อ ดร.ณัฐ พยาน
(ผศ.ดร.สุภกิตติ์ โชติโก)

ลงชื่อ ดร.มงคล พยาน
(ผศ.ดร.มงคล กงส์หิรัญ)



