บรรณานุกรม

[1] D Donlagic , M Zavrsnik , I Sirotic . "The use of one-dimensional acoustical gas resonator for fluid level measurements", *IEEE Trans. Instrum. Meas.*, Vol 49, Issue 5, pp.1095 – 1100,2000.

[2] E Musayev and S. E. Karlik. "A novel liquid level detection method and its implementation", *Sensors and Actuators A: Physical*, Vol 109, Issue 1, pp.21-24, 2003.

[3] T.H. Wang, M. C. Lu, C.C. Hsu, C.C. Chen, J.D. Tan. "Liquid-level measurement using a single digital camera", *Measurement*, Vol 42, pp 604–610, 2009.

[4] K.R. Sohn, J.H. Shim."Liquid-level monitoring sensor systems using fiber Bragg grating embedded in cantilever",*Sensors and Actuators A: Physical*, Vol 52, Issue1, pp 248-251, 2009.

[5] S.C. Bera, J.K. Ray, S. Chattopadhyay. "A low-cost noncontact capacitance- type level transducer for a conducting liquid" , *IEEE Trans. Instrum. Meas.*,Vol 55,no.3, pp.778–786, 2006.

[6] F Reverter , X Li and Gerard C.M. Meijer. "Liquid- Level measurement system based on a remote grounded capacitive sensor", *Sensors and Actuators* , Vol 138 , pp1- 8, 2007.

[7] S.C. Bera, N. Mandal and R. Sarkar. "A Modified Design of an Electronic Float Transducer for Measurement of Liquid Level", *Sensors and Actuators* , Vol 92 , pp 10- 15, 2008.

[8] G Nikolov and B Nikolova. "Virtual techniques for liquid level monitoring using differential pressure sensors, *RECENT*, Vol 9, No.2(23), 2008.

[9] Stanley E. Woodard, Bryant D. Taylor, A wireless fluid-level measurement technique , Sensors and Actuators A 137 (2007) 268–278

[10] Yishay Netzer, Yuvalim (IL), Compensated Capacitive Liquid Level Sensor US PATENT US6490920 B2, (2002)

[11] L.K. Baxter, *Capacitive Sensors Design and Application*.NewYork: IEEE Press,1997.

[12] E.O. Doeblin.*"Measurement System Application and Design"*, 4th ed. New York: McGraw- Hill, 1990.

[13] B.G. Liptak.*"Process Measurement and Analysis"*,3rd ed. Oxford, U.K.: Butterworth Heinman, 1999.

[14] D. M. Considine. *"Process Instruments and Control Hand Book"*, 2nd ed. New York: McGraw-Hill, 1974.

[15] J. P. Bently. *" Principles of Measurement Systems"*, 3rd ed. Singapore: Longman Singapore
Publishers (Pte) Ltd., 1995.

[16] J. Michael Jacob. *"Industrial Control Electronics"*, Singapore: Prentice Hall International Editions, 1995.

[17] C. –T. Chiang and Y.– C. Huang. " A semicylindrical capacitive sensor with interface circuit used for flow rate measurement", *IEEE sensors journal*, Vol 6, no.6 , 2006.

[18] Suchera L, Panote T, Punnee A, Booncharoen W, Chusak L, Proespichaya K. "Label-free capacitive immunosensor for microcystin-LR using self-assembled thiourea monolayer incorporated with Ag nanoparticles on gold electrode" ,*Biosensors and Bioelectronics*, Vol 24, Issue 1, 15,pp. 78-86, 2008.

[19] H Matsumoto and K.A. Watanabe."switched-capacitor digital capacitance meter",*IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement,*1986.

[20] D D Denton, M A S Jaafar and A R K Ralston. "The long term reliability of a switched-capacitor relative humidity sensor system" , *IEEE Int. Symp. on Circuits and System* (San Diego) (New York: IEEE), pp. 1840–3,1992.

[21] C Kolle and P O'Leary." Low-cost high-precision measurement system for capacitive sensors", *Measurement Sci.* Technol. 9, pp. 510–517, 1998.

[22] W Helbach, P Marczinowski and G Trenkler. "High precision automatic digital AC bridge" , *IEEE Trans. Instrum. Meas.,* 1983.

[23] M Dutta, A Rakshit, S N Bhattacharyya and J K Choudhury. " An application of an LMS adaptive algorithm for a digital AC bridge" , *IEEE Trans. Instrum. Meas.,* 1997.

[24] Mohd Syaifudin Bin Abdul Rahman, Subhas C. Mukhopadhyay, Pak Lam Yu, Novel Sensors for Food Inspections, Sensors & Transducers Journal, Vol. 114, Issue 3, pp. 1-40, March 2010

[25] Md. Nazmul Alam, Rashed H. Bhuiyan, Roger A. Dougal, and Mohammod Ali, "Concrete Moisture Content Measurement Using Interdigitated Near-Field Sensors", IEEE SENSORS JOURNAL, VOL. 10, NO. 7, JULY 2010

[26] P. Fürjes, A. Kovács, Cs. Dücs"o, M. Ádáma, B. Müller b, U. Mescheder, Porous silicon-based humidity sensor with interdigital electrodes and internal heaters, Sensors and Actuators, B 95, P140–144, 2003

[27] Tomas Blecha, losef Pihera, Epoxy Resin Curing Process Evaluation Based on Signal Frequency Analysis from Interdigital Structure Sensor

[28] Y. Wang, N. Chong, Y.L. Cheng, H.L.W. Chan, and C.L. Choy, "Dependence of capacitance on electrode configuration for ferroelectric films with interdigital electrodes", Microelectronic Engineering, Vol 66, pp 880–886, 2003.

[29] R. Igreja and C. J. Dias, Analytical evaluation of the inter-digital electrodes capacitance for a multi-layered structure, *Sensors and Actuators A* 112, pp. 291-301, 2004

[30] A. V. Mamishev, K. S. Rajan, Y. Du and M. Zahn, "Inter-digital Sensors and Transducers", in *IEEE Proceedings*, 92, No. 5, pp. 808-845, 2004

[31] Edin Terzic, C.R.Nagarajah, MuhammadAlamgir, Capacitive sensor-based fluid level measurement in a dynamic environment using neural network, Engineering Applications of Artificial Intelligence 23, pp. 614–619, 2010

เป้าหมาย ผลผลิต ตัวชี้วัด และผลการดำเนินงานโครงการวิจัย

สำหรับโครงการวิจัยเรื่องการพัฒนาเครื่องมือต้นแบบสำหรับวัดระดับน้ำในคลองเปิดเพื่อใช้ในการส่งข้อมูลผ่านเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สาย ได้สรุปเป้าหมาย ผลผลิต ตัวชี้วัด และผลดำเนินงานโครงการวิจัย รวมทั้งอุปสรรคในการทำงานวิจัยได้ดังนี้

โครงการวิจัยนี้ได้ผลิตบัณฑิตในระดับปริญญาตรี 1 คนคือ นายวรสิน เยื้อนแย้ม และบัณฑิตในระดับปริญญาโทได้ 2 คนคือ นายศุภกร กตาธิการกุล และนายธิตินันท์ ตะเภาน้อย ได้ผลผลิตเชิงองค์ความรู้ดังนี้

1. ผลงานตีพิมพ์ในระดับชาติ 1 บทความตามเอกสารที่แนบ และคาดว่าจะได้ผลงานตีพิมพ์ในระดับนานาชาติ 1 บทความ และผลงานตีพิมพ์ในระดับชาติอีก 1 บทความ (ยังอยู่ระหว่างการร่าง manuscript เพราะนายธิตินันท์ ตะเภาน้อย นศ.บัณฑิตในระดับปริญญาโทคาดว่าจะสำเร็จการศึกษาในเดือนเมษายน 2555 รวมทั้งกำลังดำเนินการนำผลงานพัฒนาเป็นประโยชน์ในเชิงพาณิชย์จึงไม่อยากนำผลงานตีพิมพ์ออกไปก่อน)
2. ผลงานที่นำเสนอในที่ประชุมวิชาการในระดับนานาชาติ 1 บทความ และในระดับชาติ 3 บทความตามเอกสารที่แนบโดยมี 2 บทความที่ได้รางวัลชนะเลิศบทความดีเด่นประเภทการวิจัยพื้นฐาน และรางวัลชนะเลิศบทความดีเด่นประเภทการวิจัยประยุกต์พร้อมกันในการประชุมวิชาวิศวกรรมศาสตร์ครั้งที่ 7 (PEC 7)ในวันที่ 21-22 พ.ค. 2552 และคาดว่าจะได้ผลงานที่นำเสนอในที่ประชุมวิชาการในระดับนานาชาติอีก 1 บทความจากนายธิตินันท์ ตะเภาน้อย

ในแง่ผลผลิตเชิงผลิตภัณฑ์ และนวัตกรรม สำหรับในส่วนของเทคนิคการวัดระดับโดยใช้การวัดความจุไฟฟ้ากึ่งทรงกระบอกในโครงการวิจัยนี้ได้นำไปต่อยอดในโครงการเรื่อง “การวัดน้ำฝนแบบอัตโนมัติ” ซึ่งยื่นขอทุนจากสกว.แล้วโดยมี นายศุภกร กตาธิการกุล เป็นหัวหน้าโครงการ และผศ.คณดิถ เจษฎ์พัฒนานนท์เป็นที่ปรึกษาโครงการ และโครงการวิจัยเรื่องเครื่องเฝ้าระวังการเกิดอุทกภัยสำหรับชุมชนซึ่งกำลังยื่นขอทุนวิจัยจากสกว.โดยมี ผศ.คณดิถ เจษฎ์พัฒนานนท์เป็นหัวหน้าโครงการ พร้อมกันนี้ได้นำไปถ่ายทอดเทคโนโลยีให้กับชาวบ้านในจังหวัดนครศรีธรรมราช ในการประชุมเชิงวิชาการ “อยู่กับน้ำ” ในวันที่ 25 มิถุนายน 2554 และยังนำไปร่วมสัมมนา "หาดใหญ่เข้มแข็ง...สู้ภัยน้ำท่วม" ครั้งที่ 2 (การจัดทำแผนปฏิบัติการ Hat Yai Model) วันเสาร์ที่ 30 ก.ค. 54 ณ ห้อง Conference ศูนย์ประชุมนานาชาติฉลองสิริราชสมบัติครบ 60 ปี ร่วมกับหน่วยงานภาครัฐและภาคเอกชนในการการจัดทำแผนปฏิบัติการ Hat Yai Model

ในส่วนของการวัดระดับน้ำโดยใช้การวัดความจุไฟฟ้าของอินเตอร์ดิจิตอลอิเล้กโตรดได้ยื่นจดสิทธิบัตรการประดิษฐ์ชื่อ "เครื่องมือวัดระดับของเหลวด้วยหลักการวัดค่าความจุไฟฟ้าผลิตจากแผ่นวงจรพิมพ์" เลขที่คำขอ 1101000005 ลงวันที่รับคำขอ 4 ม.ค. 2554 ตามเอกสารที่ได้แนบ และคาดว่าจะยื่นจดอนุสิทธิบัตรอีก 1 เรื่อง รวมทั้งอยู่ระหว่างการนำผลงานวิจัยไปใช้ประโยชน์ในเชิงพาณิชย์โดยมีบริษัท Mobillis automata สนใจที่จะนำผลงานวิจัยนี้พัฒนาต่อไปตามเอกสารที่ได้แนบมา พร้อมกับได้เผยแพร่ผลงานผ่านหนังสือพิมพ์ มติชน ลงวันที่ 15 สิงหาคม 2554 และหนังสือพิมพ์สมิหลาไทม์ ประจำวันที่ 13-19 สิงหาคม 2554 ตามเอกสารที่ได้แนบมาด้วย

ปัญหา และอุปสรรคในการทำงานวิจัย

เนื่องจากหัวหน้าโครงการไม่ได้จบปริญญาเอก ดังนั้นจึงไม่สามารถเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาหลัก และอาจารย์ที่ปรึกษาร่วมของวิทยานิพนธ์ในระดับบัณฑิตศึกษาได้ ดังนั้นหัวหน้าโครงการจำเป็นที่จะต้องให้หัวหน้าโครงการวิจัยย่อยอื่นๆของแผนวิจัยนี้เป็นอาจารย์ที่ปรึกษาหลัก และผู้ร่วมวิจัยเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาหลัก ด้วยเหตุนี้จึงทำให้งานวิจัยนี้จึงมีความล่าช้าไปจากเดิม 2 ปี

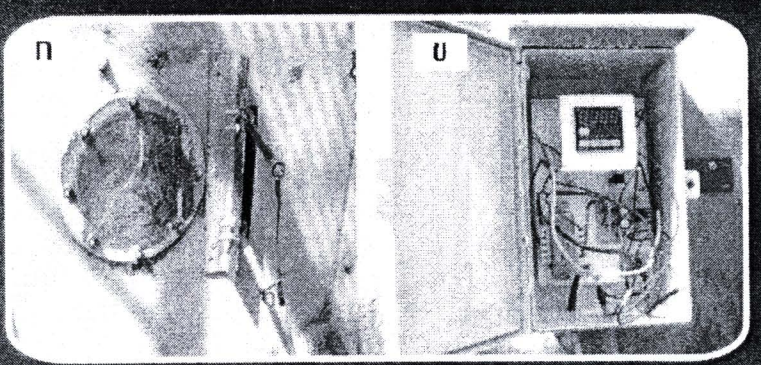
นอกจากนี้ในปีที่ผ่านมาขาดผู้ช่วยวิจัยในระดับปริญญาโทที่สามารถทำงานได้เต็มเวลา (เนื่องจากไม่มีใครสนใจในหัวข้อวิทยานิพนธ์นี้) และในปีที่ผ่านมาได้อาศัยนักศึกษาปริญญาตรี แต่ไม่สามารถช่วยงานวิจัยได้เต็มที่เนื่องจากการเรียนที่หนัก รวมทั้งตัวนักศึกษาเองจำเป็นต้องสำเร็จการศึกษาเพื่อหางานทำ ดังนั้นนักวิจัยในโครงการ และผู้ร่วมวิจัยในโครงการจึงต้องลงมาทำกันเอง และได้จ้างช่างประกอบวงจรมาช่วยในการทำต้นแบบเริ่มต้นมาช่วยงานระยะหนึ่ง ทำให้การทำงานมีความลำบาก และล่าช้าไปบ้าง เนื่องจากนักวิจัยในโครงการ และผู้ร่วมวิจัยในโครงการยังมีภาระทั้งงานสอน และงานวิจัยที่มีมากอยู่แล้วด้วย ซึ่งเป็นปัญหา และอุปสรรคอย่างมากโดยเฉพาะหัวหน้าโครงการวิจัยแบกรับภาระงานในตำแหน่งหัวหน้าภาควิชาฯในระยะเวลา 1 ปี 4 เดือน อย่างไรก็ตามก็ได้มีนักศึกษาทั้งปริญญาโท และปริญญาตรีให้ความสนใจที่จะมาช่วยวิจัย

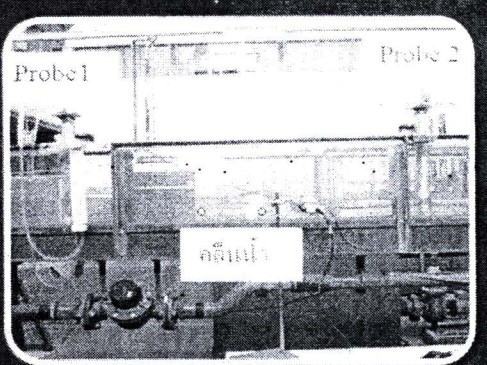
ถ้าได้ผู้ช่วยวิจัยที่สามารถช่วยนักวิจัยการสร้างและออกแบบเครื่องต้นแบบ และตรวจวัดข้อมูลของระดับน้ำด้วยเทคนิคที่คิดค้นมาใหม่นี้ได้เต็มเวลา ก็จะทำให้ตัวนักวิจัยหลักเองมีเวลาที่ศึกษาหาความสัมพันธ์ระหว่างระดับน้ำที่วัดได้ และคุณสมบัติทางไฟฟ้าในรูปสมการคณิตศาสตร์ได้เพื่อนำไปสู่การตีพิมพ์ในบทความทางวิชาการต่อไปได้ เพื่อจะได้นำมาประกอบในแบบประวัติของนักวิจัยเอง และเป็นการเพิ่ม KPI ให้มหาวิทยาลัยและคณะฯ ได้ ดังนั้นงานในส่วนหาความสัมพันธ์ระหว่างระดับน้ำที่วัดได้ และคุณสมบัติทางไฟฟ้าในรูปสมการคณิตศาสตร์จึงต้องใช้เวลาพอสมควรอยู่ เนื่องจากนักวิจัยเองมีภาระงานหลายๆด้านที่ต้องทำในเวลาพร้อมๆกัน และยังต้องศึกษาการใช้คณิตศาสตร์ชั้นสูงที่จะมาวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ดังกล่าว โดยเฉพาะการหาความสัมพันธ์เชิงคณิตศาสตร์ของ Interdigital capacitor กับระดับน้ำเป็นเรื่องที่ยากมากๆ ยิ่งไปกว่านั้นในปัจจุบันทางมหาวิทยาลัยยังไม่มีโปรแกรมที่ใช้วิเคราะห์อย่างเช่น FEM (ที่มี License) สำหรับวิเคราะห์งานสนามแม่เหล็กไฟฟ้าเพื่อใช้ในการหาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของอิเล็กโตรดแบบความจุไฟฟ้าที่ประดิษฐ์ขึ้น ดังนั้นการออกแบบรูปลักษณะที่เหมาะสมของเครื่องมือวัดระดับน้ำที่อาศัยการวัดความจุไฟฟ้าจากแผ่นวงจรพิมพ์จึงเป็นไปได้ลำบาก

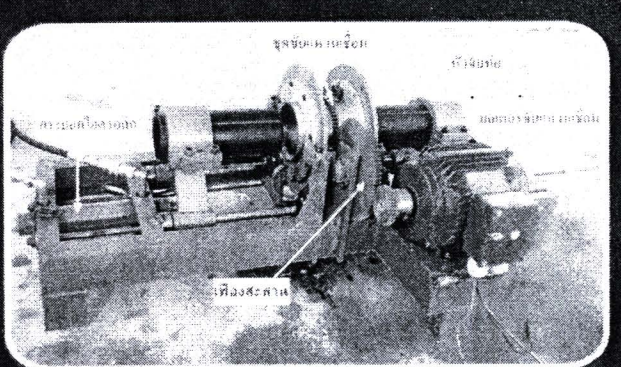
ภาคผนวก

บทความตีพิมพ์ในวารสารวิจัยระดับชาติ

วิศวกรรมสาร มข.
KKU ENGINEERING JOURNAL







ปีที่ 38 ฉบับที่ 2 เมษายน - มิถุนายน 2554
Vol.38 No.2 April - June 2011
ISSN 0125-8273

วิศวกรรมสาร มข.

ปีที่ 38 ฉบับที่ 2
เดือนเมษายน – มิถุนายน 2554

การผลิตก๊าซชีวภาพจากเศษอาหารร่วมกับกลีเซอรรีนดิบที่ได้จากกระบวนการผลิตไบโอดีเซล 101

สมจินตนา ลิ่มสุข ปุณยวี เพียรธรรม และ ขนุรักษ์ ปิติรักษ์สกุล

การพัฒนาเครื่องผลิตไอน้ำความดันต่ำสำหรับอุตสาหกรรมครัวเรือน 111

พรประสิทธิ์ คงบุญ จีระศักดิ์ เพียรเจริญ และ สุเทพ ชูกลิ่น

การประยุกต์ใช้วิธีฟัซซี่สำหรับปัญหาการมอบหมายงานหลายวัตถุประสงค์ของเครื่องจักรในโรงงานผลิตชิ้นส่วนอิเลคทรอนิกส์ 117

กัลยา เกษกรณ์ และวุฒิชัย วงษ์ทิศนีย์กร

การศึกษาตัวแบบการกระจายสินค้าในจังหวัดสุราษฎ์ธานี 129

จิระเดช ดิษฐอำไพ นิกร ศิริวงศ์ไพศาล และ เสกสรร สุธรรมานนท์

อัตราส่วนขนาดของท่อที่มีผลต่อค่าประสิทธิผลของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อสองชั้น 139

ชาติ ทูลโยง ปัณฑิต กมุดาคม และ สัญชัย ร่ำเพยพัด

อิทธิพลของเวลาเสียดทานและมุมหน้าสัมผัสในการเชื่อมทอพลาสติกกลมชนิดพอลิเอทีลีนด้วยความเสียดทาน 147

สุรชัย จันทร์ชนะ และ ชาติต ปิณฑงศ์พิทักษ์

รูปแบบทางคณิตศาสตร์ในการจัดตารางการผลิตในอุตสาหกรรมการผลิตชิ้นส่วนฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ 155

พจร ชาตะวิชี และ คุกชัย ปทุมนากุล

การพัฒนาระบบควบคุมอัตโนมัติในการปรับความเร็วรอบของระบบลำเลียงผุ่นชานอ้อยเพื่อการประหยัดพลังงาน 165

สิทธิพร สมทรัพย์ และ รัชพล สันติราภร

การวัดระดับน้ำโดยใช้เทคนิคการวัดความจุไฟฟ้าแบบกึ่งทรงกระบอก 179

คุกกร กตาธิการกุล และ คณติต เจษฎ์พัฒนานนท์

การออกแบบระบบการตัดสินใจเลือกเส้นทางการขนส่งต่อเนื่องหลายรูปแบบระหว่างไทยกับเวียดนาม 187

วรพจน์ มีถม และ สมชาย พรชัยวิวัฒน์

การใช้เทคโนโลยีการรับรู้ระยะไกลสำหรับการประเมินความเสียหายจากน้ำท่วม : การทบทวนวรรณกรรม 197

ชาติชาย ไวยสุระสิงห์

On-Chip Transformer: Overview, Apllications and Modeling 211

วิศว์ ยานชื่น

KKU Engineering Journal
Volume 38 Number 2
April - June, 2011

Biogas production from food waste added with crude glycerin produced from biodiesel production 101

Somjintana Limsuk Poonyawee pisantum and Anurak petiraksakul

Development of low rpessure steam generator for gousehold industry 111

Pornprasit kongboon jeerasak Peanjaroan and Sitep Chooklin

Applying Fuzzy Technique for Multi-objective Machine Assignment Problem in Electronic part Factory 117

Kantaya Hemakorn and Wuthichai Wongthatsanekorn

A Study of Physical Distribution Model in Suratthani Province 129

Jiradai Ditamapai Nikorn Sirivongpaisal and Sakesun Suthummanon

The effect of the diameter ratios on the effectiveness of the concentric tube heat exehanger 139

Sarthit Toolthaisong Bundit Kritacom and Sunchai Rampoepad

The influence of friction time and contact angles in friction welding for Polyethylene pipes 147

Somchai Junchana and Chawalit Thinvongpituk

A mathematical model for production scheduling in a hard disk drive component industry 155

Pachara Chalavithee and Supachai Pathumnakul

The Development of Automatic Control System to Adjust a Cycle Speed of a Bagasse Dust Conveyor System for Energy Saving 165

Sittporn Somsap and Ratchaphon Suntivarakorn

Water Level Measurement using Semicylindrical Capacitance measurement Technique 179

Supagorn dalathikernkul and Kanadit Chetpattananondh

Design of Decision Support System for Multimodal Transportation Route Selecting between Thai and Vietnam 187

Warapol Meethom and Somchai Pornchaiwiwat

The Use of Remote Sensing Technology for Evaluation of Flood Damages: A Review Literature 197

Chattichai Waisurasingha

On-Chip Transformer: Overview, Apllications and Modeling 211

Rawid Banchuin

วิศวกรรมสาร มข. ปีที่ 38 ฉบับที่ 2 (179 -186) เมษายน - มิถุนายน 2554 บทความวิจัย
KKU Engineering Journal Vol.38 No.2 (179-186) April - June 2011

การวัดระดับน้ำโดยใช้เทคนิคการวัดความจุไฟฟ้าแบบกึ่งทรงกระบอก

ศุภกร กตาธิการกุล[1] และ คณดิถ เจษฎ์พัฒนานนท์[2]

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอการวัดระดับน้ำโดยใช้เทคนิคการวัดความจุไฟฟ้าแบบกึ่งทรงกระบอก โดยมีหัววัดเป็นแบบกึ่งทรงกระบอกกลวงที่ทำจากวัสดุพอลิไวนิลคลอไรด์(PVC) และแผ่นโลหะกึ่งทรงกระบอกทำจากเทปอลูมิเนียมห่อหุ้ม ปริมาณความจุไฟฟ้าจะแปรผันตรงกับค่าระดับน้ำที่เปลี่ยนไปและแปรผกผันกับระยะห่างของแผ่นโลหะ โดยมีค่าความจุไฟฟ้าที่วัดได้อยู่ในช่วงพิโคฟารัด(pF) สำหรับผลตอบสนองเชิงสถิตและพลวัตของเทคนิคการวัดความจุไฟฟ้ากึ่งทรงกระบอกโดยการประยุกต์ใช้วงจรบริดจ์ที่ปรับปรุงขึ้นพบว่า แรงดันไฟฟ้าจะแปรผันตรงกับระดับน้ำที่เปลี่ยนไปซึ่งค่าอยู่ในช่วงมิลลิโวลต์(mV) พบว่า ค่าความไม่เป็นเชิงเส้น ความสามารถในการทำซ้ำ และผลตอบสนองเวลาของเทคนิคการวัดความจุไฟฟ้าแบบกึ่งทรงกระบอกอยู่ในช่วง 0.2 วินาที และสามารถนำไปใช้ตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำได้ทันที อีกทั้งยังมีราคาถูก ใช้งานง่าย พกพาสะดวก แต่มีประสิทธิภาพและความคล่องตัวในการใช้งานสูง

คำสำคัญ : การวัดระดับน้ำ การวัดความจุไฟฟ้าแบบกึ่งทรงกระบอก วงจรบริดจ์ที่ปรับปรุง

---

[1] นักศึกษาปริญญาโท ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ จังหวัดสงขลา 90110
อีเมล์: supagone@hotmail.com

[2] ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ จังหวัดสงขลา 90110
อีเมล์: kanadit.c@psu.ac.th

*Corresponding author

Water Level Measurement using Semicylindrical Capacitance measurement Technique

Supagorn katathikarnkul[1)] and Kanadit Chetpattananondh[*2)]

Abstract

This paper presents the water level measurement technique using a semicylindrical capacitance measurement. The probe consists of a hollow PVC semicylinder made of covered with a semicylindrical aluminium foil. Capacitance of the probe is proportional to the change in water level and is inversely proportional to the distance of aluminium foil. The measured capacitance is in the range of picofarad (pF). The static and dynamic responses of the proposed sensor were tested using the modified bridge circuit. Results show that the measured voltage is in the range of millivolt (mV) and is proportional to the variation in water level. In addition, the tested nonlinearity, repeatability, and time responses of the probe are in the range of 0.2 second. This technique can be efficiently used in real-time water level measurement. Moreover, it is low cost, easy to use, and portable.

Keywords: water level measurement, semicylindrical capacitance measurement, modified bridge circuit

[1)] Post graduated Students, Department of Electrical Engineering, Prince of Songkla University, Songkhla 90110, E-mail: supagone@hotmail.com

[2)] Assistant Professor, Department of Electrical Engineering, Prince of Songkla University, Songkhla 90110 E-mail: kanadit.c@psu.ac.th

[*] Corresponding Author

1. บทนำ

ปัจจุบันการวัดระดับของเหลวได้เข้ามามีบทบาทในชีวิตประจำวันและมีส่วนสำคัญในทางด้านอุตสาหกรรม และกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ ตัวอย่างเช่น การวัดปริมาณในประเภทอุตสาหกรรมทางอาหารและเครื่องดื่ม การวัดปริมาณของน้ำมันในประเภทอุตสาหกรรมน้ำมัน การวัดระดับน้ำในอ่างเก็บน้ำ เป็นต้น การตรวจวัดเหล่านี้จะใช้หลักการพื้นฐานของคุณสมบัติชนิดของวัสดุ หรือคุณสมบัติทางไฟฟ้า อาทิเช่น สภาพนำไฟฟ้า ความดัน อุณหภูมิ การสึกกร่อน เป็นต้น(S.C. Bera et al., 2006) (F. Reverter et al.,2007) (S.E. Woodard et al., 2007) ทำให้ได้เทคนิคที่แตกต่างกันในการตรวจวัดระดับของเหลวมากกว่า 20 วิธีที่มีอยู่ตามท้องตลาดในปัจจุบัน โดยในแต่ละวิธีก็มีข้อจำกัดในการวัดที่แตกต่างกัน (G. Nikolov and B.Nikolova.,2008) เทคนิคหนึ่งที่ได้นำมาใช้ตรวจวัดระดับของเหลว คือ การวัดค่าความจุไฟฟ้า เนื่องจากสามารถที่จะลดปัญหาเกี่ยวกับเทคนิคการสร้างต้นแบบ ข้อจำกัดด้านราคา มีผลตอบสนองเป็นเชิงเส้น และง่ายต่อการใช้งาน โดยมีหลักการพื้นฐานคือการใช้ขั้วไฟฟ้า 2 ขั้วจุ่มลงไปในของเหลวเพื่อวัดระดับของเหลวด้วยการวัดปริมาณไดอิเล็กตริกของเหลวซึ่งมีอยู่ในคุณสมบัติของเหลวอาทิเช่น ความเข้มข้น สารแขวนลอย และ การเจือปน อย่างไรก็ตามเมื่อค่าไดอิเล็กตริกเปลี่ยนจะส่งผลต่อค่าที่ตรวจวัดได้ (F. Reverter et al., 2007)

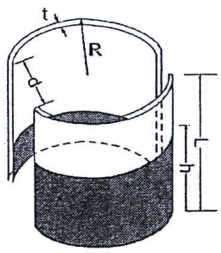
สำหรับรูปแบบของวงจรตรวจวัดที่ใช้สำหรับวัดค่าความจุไฟฟ้าเนื่องจากระดับของเหลวมีอยู่หลายประเภทด้วยกัน อาทิเช่น วงจรแปลงแปลงค่าความจุไฟฟ้าไปเป็นความถี่ วงจรแปลงค่าความจุไฟฟ้าเป็นกระแสไฟฟ้า วงจรการวัดค่าคงที่ทางเวลา (Time constant) วงจรดีมอดูเลตแบบซิงโครนัส เป็นต้น (L.K. Baxter, 1997) จากการศึกษาพบว่าเทคนิคต่างๆ เหล่านี้มีรูปแบบโครงสร้าง และอุปกรณ์จำนวนมาก

ดังนั้นแนวคิดในการปรับปรุงเทคนิคการวัดระดับของเหลวแบบต่อเนื่องโดยมีการวัดความจุไฟฟ้าแบบกึ่งทรงกระบอกจึงมีความจำเป็นเพื่อเป็นการลดข้อจำกัดทางด้านต่างๆ สำหรับเทคนิคการวัดความจุไฟฟ้าของอิเล็กโตรดแบบกึ่งทรงกระบอกเพื่อวัดระดับของเหลว (S. Katathikarnkul et al.,2009) ได้มีการประยุกต์ใช้วงจรบริดจ์ปรับปรุงขึ้น (S.C.Bera et al., 2006) เพื่อวัดความจุไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงเนื่องอัตราการเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำ และทำการบันทึกโดยใช้เครื่องมือวัดเสมือนโดยหัววัดความจุไฟฟ้าแบบกึ่งทรงกระบอกสร้างจากท่อทรงกระบอกกลวงที่ทำจากวัสดุ พอลิไวนิลคลอไรด์ (Polyvinyl chloride ,PVC) และอิเล็กโตรดเป็นแผ่นกึ่งทรงกระบอกทำจากเทปอลูมิเนียม สำหรับเทคนิคที่นำเสนอในบทความนี้สามารถตรวจวัดระดับของเหลวได้ให้ผลตอบสนองที่มีความละเอียดและผลตอบสนองเป็นเชิงเส้นที่ดีโดยการอธิบายด้วยวงจรสมมูลของเซนเซอร์ความจุไฟฟ้าแบบกึ่งทรงกระบอก (S. Katathikarnkul et al.,2009) พร้อมกับประยุกต์ใช้ทฤษฎีระเบียบวิธีเชิงตัวเลขเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างความจุไฟฟ้าภายในอิเล็กโตรดกึ่งทรงกระบอก และระดับของเหลว นอกจากนี้วงจรตรวจวัดดังกล่าวยังมีราคาถูก ใช้งานง่าย พกพาสะดวก แต่มีประสิทธิภาพและความคล่องตัวในการใช้งานสูง

2. ความจุไฟฟ้าแบบกึ่งทรงกระบอก

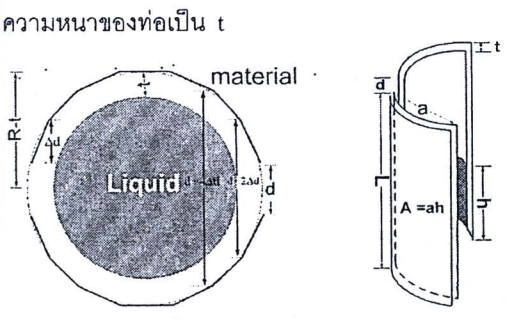
2.1 ความจุไฟฟ้าแบบกึ่งทรงกระบอก

การวัดระดับน้ำที่อาศัยเทคนิคการวัดความจุไฟฟ้าแบบกึ่งทรงกระบอกมีลักษณะแสดงในรูปที่ 1 ซึ่งเป็นท่อทรงกระบอกกลวงที่มีรัศมีเท่ากับ R ความยาวเป็น L ความหนาเป็น t ทำจากวัสดุที่เป็นฉนวนอย่างเช่นพอลิไวนิลคลอไรด์ และมีอิเล็กโตรดที่เป็นแผ่นกึ่งทรงกระบอกทำจากเทปอลูมิเนียมมาห่อหุ้มท่อฉนวนทรงกระบอก โดยมีระยะห่างระหว่างแผ่นอิเล็กโตรดเป็น d สามารถหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าความจุไฟฟ้าภายในทรงกระบอกและระดับน้ำได้ด้วยการประยุกต์ใช้ทฤษฎีระเบียบวิธีเชิงตัวเลข (S. Katathikarnkul et al.,2009) โดยการแบ่งแผ่นโลหะ 2 แผ่นที่อยู่ในรูปกึ่งทรงกระบอกของตัวเก็บประจุให้เป็นจำนวน n แผ่นเล็กๆที่มีระยะห่างระหว่างแผ่นที่เพิ่มขึ้นเป็น Δd



รูปที่ 1 โครงสร้างของเซนเซอร์ความจุไฟฟ้าแบบกึ่งทรงกระบอก

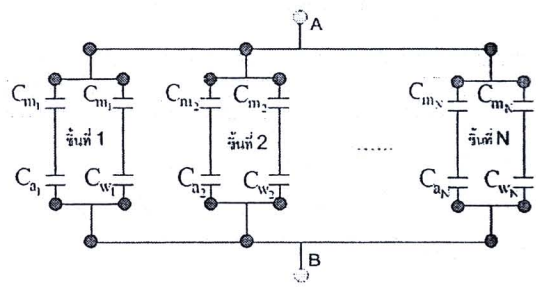
รูปที่ 2a แสดงเป็นมุมมองด้านบนแผ่นโลหะทั้งสองของแบบกึ่งทรงกระบอก และ รูปที่ 2b ที่แสดงแผ่นโลหะ 2 แผ่นเล็กๆที่ถูกแบ่งจากแผ่นอิเล็กโตรดกึ่งทรงกระบอก ในการวัดระดับน้ำ พบว่าค่าความจุไฟฟ้าแบ่งได้เป็นความจุไฟฟ้าเนื่องจากส่วนที่จุ่มลงในน้ำซึ่งมีขนาดความสูงเป็น h รวมกับความจุไฟฟ้าเนื่องจากส่วนที่เป็นอากาศซึ่งมีความสูงที่เหลือเท่ากับ L-h เมื่อ L คือความยาวของท่อ ความจุไฟฟ.ของทั้งสองนี้ต่อกันแบบขนาน และหัววัดแบบกึ่งทรงกระบอกที่สร้างขึ้นนี้มีขอบความหนาของท่อเป็น t



รูปที่ 2 รูปแบบสำหรับการวิเคราะห์ a) มุมมองด้านบน b) แผ่นอิเล็กโตรดกึ่งทรงกระบอกที่ถูกแบ่งเป็นแผ่นเล็กๆ

ดังนั้นจึงต้องคำนึงถึงค่าความจุไฟฟ้าเนื่องจากความหนาของท่อด้วย ซึ่งสามารถแสดงวงจรสมมูลของค่าความจุไฟฟ้ารวมดังรูปที่ 3 โดยที่หาค่าความจุไฟฟ้ารวมได้ดังนี้

$$C=\frac{C_{m_1}C_{a_1}}{C_{a_1}+C_{m_1}}+\frac{C_{m_1}C_{w_1}}{C_{w_1}+C_{m_1}}+\ldots\ldots+\frac{C_{m_N}C_{a_N}}{C_{a_N}+C_{m_N}}+\frac{C_{m_N}C_{w_N}}{C_{w_N}+C_{m_N}} \qquad (1)$$



รูปที่ 3 วงจรสมมูลของค่าความจุไฟฟ้ารวม

โดยวิเคราะห์ด้วยทฤษฎีระเบียบวิธีเชิงตัวเลข เมื่อกำหนดให้ ความจุไฟฟ้ารวมส่วนของเหลวกับวัสดุ (C_1) และค่าความจุไฟฟ้ารวมส่วนของอากาศกับวัสดุ (C_2)

เมื่อ

$$C_1=\frac{C_{m_1}C_{w_1}}{C_{w_1}+C_{m_1}}+\ldots+\frac{C_{m_N}C_{w_N}}{C_{w_N}+C_{m_N}} \qquad (2)$$

โดยที่ $C_{w_1},C_{w_2},\ldots,C_{w_{n-1}}=\dfrac{\varepsilon_0 A}{\dfrac{2(n-1)\Delta d}{\varepsilon_m}+\dfrac{d+2(n-1)\Delta d}{\varepsilon_w}}$, $C_{w_N}=\dfrac{\varepsilon_0\varepsilon_w A}{2(R-t)}$

และ $C_{m_1},C_{m_2},\ldots,C_{m_{n-1}}=\dfrac{\varepsilon_0\varepsilon_m A}{t}$, $C_{m_N}=\dfrac{\varepsilon_0\varepsilon_m A}{2t}$

เมื่อ $\Delta d=\dfrac{2R-d}{2N}$, $A=ah=\left(\dfrac{\pi R-d}{N}\right)h$

ดังนั้น

$$C_1=\varepsilon_0\left(\frac{\pi R-d}{N}\right)h\left(2\sum_{n=1}^{N}\left(\frac{1}{\frac{t}{\varepsilon_m}}+\frac{1}{\frac{2(n-1)\Delta d}{\varepsilon_m}+\frac{d+2(n-1)\Delta d}{\varepsilon_w}}\right)+\frac{1}{\frac{2t}{\varepsilon_m}+\frac{2(R-t)}{\varepsilon_w}}\right) \qquad (3)$$

และ

$$C_2=\frac{C_{m_1}C_{a_1}}{C_{a_1}+C_{m_1}}+\ldots\ldots+\frac{C_{m_N}C_{a_N}}{C_{a_N}+C_{m_N}} \qquad (4)$$

โดยที่

$$C_{a_1},C_{a_2},\ldots,C_{a_{n-1}}=\frac{\varepsilon_0 A}{\dfrac{2(n-1)\Delta d}{\varepsilon_m}+\dfrac{d+2(n-1)\Delta d}{\varepsilon_a}}\ ,\ C_{a_N}=\frac{\varepsilon_0\varepsilon_a A}{2(R-t)}$$

$$C_2=\varepsilon_0\left(\frac{\pi R-d}{N}\right)(L-h)\left(2\sum_{n=1}^{N}\left(\frac{1}{\frac{t}{\varepsilon_m}}+\frac{1}{\frac{2(n-1)\Delta d}{\varepsilon_m}+\frac{d+2(n-1)\Delta d}{\varepsilon_a}}\right)+\frac{1}{\frac{2t}{\varepsilon_m}+\frac{2(R-t)}{\varepsilon_a}}\right) \qquad (5)$$

เมื่อกำหนดให้

$$k_1=\frac{\varepsilon_0(\pi R-d)}{N}\left[2\sum_{n=1}^{N}\left(\frac{1}{\frac{t}{\varepsilon_m}}+\frac{1}{\frac{2(n-1)\Delta d}{\varepsilon_m}+\frac{d+2(n-1)\Delta d}{\varepsilon_w}}\right)+\frac{1}{\frac{2t}{\varepsilon_m}+\frac{2(R-t)}{\varepsilon_w}}\right]$$

และ

$$k_2=\frac{\varepsilon_0(\pi R-d)}{N}\left[2\sum_{n=1}^{N}\left(\frac{1}{\frac{t}{\varepsilon_m}}+\frac{1}{\frac{2(n-1)\Delta d}{\varepsilon_m}+\frac{d+2(n-1)\Delta d}{\varepsilon_a}}\right)+\frac{1}{\frac{2t}{\varepsilon_m}+\frac{2(R-t)}{\varepsilon_a}}\right]$$

ดังนั้นเขียนสมการใหม่ได้คือ

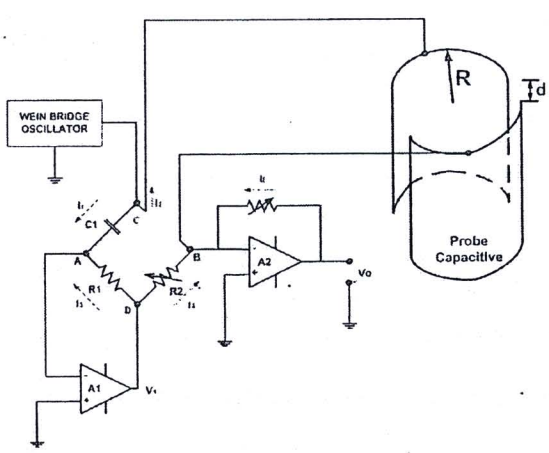
$$C=(L-h)k_2+hk_1 \quad (6)$$

เมื่อ ε_0 เป็นค่าสภาพยอมของอากาศว่าง(8.85 pF/m) ε_m เป็นค่าไดอิเล็กตริกของวัสดุ ε_a เป็นค่าไดอิเล็กตริกของอากาศ ε_w เป็นค่าไดอิเล็กตริกของของเหลว และ A เป็นพื้นที่ของแผ่นโลหะ

2.2 วงจรที่ใช้วัดความจุไฟฟ้า

การวัดความจุไฟฟ้าของหัววัดกึ่งทรงกระบอกที่เกิดขึ้นจากการเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำจะใช้วงจรบริดจ์ที่ปรับปรุงขึ้นพร้อมวงจรขยายดังแสดงในรูปที่ 4 โดยที่ออปแอมป์ตัวที่ 1 ทำให้จุด A และจุด D เป็นกราวด์เสมือน และออปแอมป์ตัวที่ 2 ทำหน้าที่ขยายสัญญาณ ในที่นี้ให้แรงดันไฟฟ้าที่จ่ายคงที่ (V) 2 โวลต์ และความถี่คงที่ (f) 1 kHz เมื่อระดับน้ำมีการเปลี่ยนแปลงสามารถหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าแรงดันด้านออกและระดับน้ำได้จาก

$$V_o = 2\pi f R_f V(k_1 - k_2)h \quad (7)$$

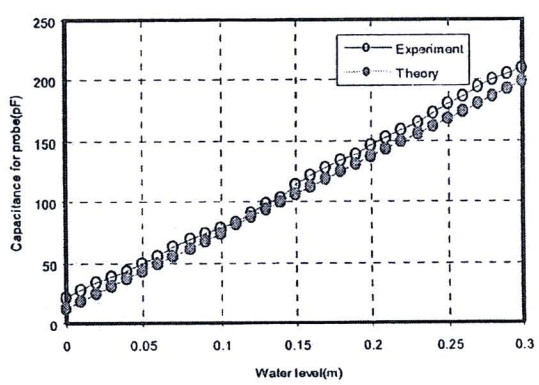


รูปที่ 4 วงจรบริดจ์ที่ปรับปรุงเพื่อประยุกต์ใช้วัดความจุไฟฟ้าของหัววัดกึ่งทรงกระบอกเมื่อระดับของเหลวเมื่อมีการเปลี่ยนแปลง

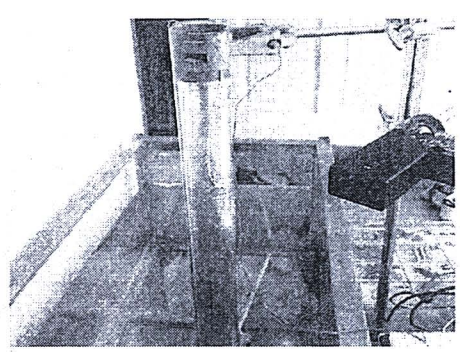
3. วิธีการทดลองและผลการทดลอง

3.1 ความสัมพันธ์ของค่าความจุไฟฟ้ากับระดับของเหลว

ในการทดลองใช้หัววัดความจุไฟฟ้าแบบกึ่งทรงกระบอกที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.063 เมตร ขนาดความยาวของแผ่นโลหะ 0.30 เมตร วางห่างกันเป็นระยะ 0.015 เมตร ความหนาของท่อพีวีซี 0.005 เมตร วัดค่าความจุไฟฟ้าด้วยเครื่องมือวัด LCR ยี่ห้อ Aligent รุ่น 4284A เปรียบเทียบกับผลการคำนวณค่าความจุไฟฟ้าโดยสมการที่ 6 กำหนดให้ n เป็นจำนวนของแผ่นโลหะที่ถูกแบ่งย่อยเท่ากับ 10,000 ชิ้น ค่าความจุไฟฟ้าจะแปรผันตรงกับค่าระดับน้ำที่เปลี่ยนไป โดยจะอยู่ในช่วงพิโคฟารัด (pF) แสดงดังในรูปที่ 5 พบว่าค่าที่ได้จากผลการทดลองจะมีค่ามากกว่าจากการคำนวณเนื่องมาจากค่าความจุไฟฟ้าแฝงในสายไฟฟ้าที่มีค่าเท่ากับ 6.31 %FSO

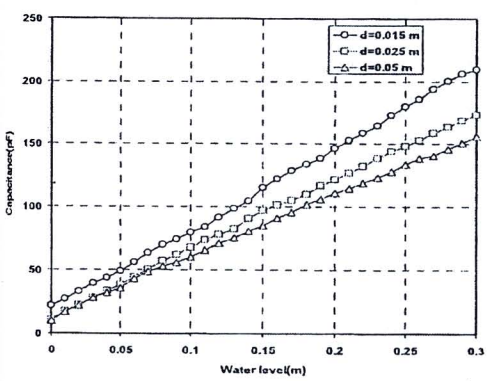


รูปที่ 5 เปรียบเทียบค่าความจุไฟฟ้าที่ได้จากการคำนวณกับการวัดค่าความจุไฟฟ้าโดยตรง

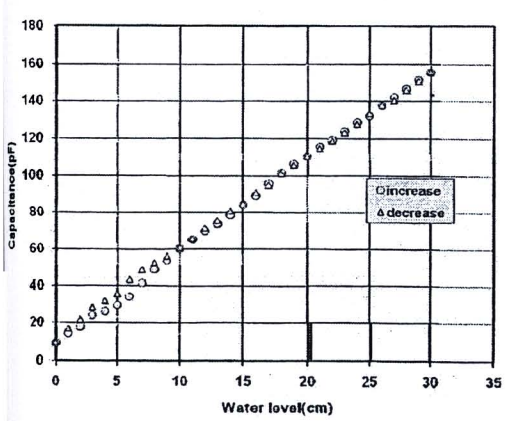


รูปที่ 6 รูปแบบหัววัดใช้ในการทดลองกับระดับน้ำเมื่อแผ่นโลหะวางห่างกัน 0.015 เมตร

จากรูปที่ 6 เป็นการวัดความจุไฟฟ้าของหัววัดกึ่งทรงกระบอกโดยให้ระดับน้ำเปลี่ยนแปลงตั้งแต่ 0.01 ถึง 0.30 เมตร และเพิ่มขึ้นทุกๆ 0.01 เมตร พร้อมกับทดลองซ้ำ 10 ครั้ง เมื่อให้หัววัดมีขนาดความยาวของแผ่นอิเล็กโตรดเท่ากับ 0.30 เมตร และวางห่างกันเป็นระยะต่างๆ กัน 0.015, 0.025 และ 0.05 เมตรตามลำดับ จะได้ผลตอบสนองเชิงสถิตที่เกิดขึ้นแสดงดังรูปที่ 7 และความสามารถในการทำซ้ำ(Repeatability) ได้เป็น 1.02 % FSO และค่าความไม่เป็นเชิงเส้นได้ค่าเป็น 1.31 % FSO เมื่อทำการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำในทางเพิ่มขึ้นและลดลง พร้อมกับวัดความจุไฟฟ้าของหัววัดกึ่งทรงกระบอกที่มีแผ่นโลหะที่วางห่างกัน 0.015 เมตร แสดงได้ดังรูปที่ 8 และได้ค่าฮีสเตอรีซีส (Hysteresis) เท่ากับ 6.04 %FSO



รูปที่ 7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความจุไฟฟ้ากับระดับน้ำเมื่อแผ่นโลหะวางห่างกันเป็นระยะต่างๆ

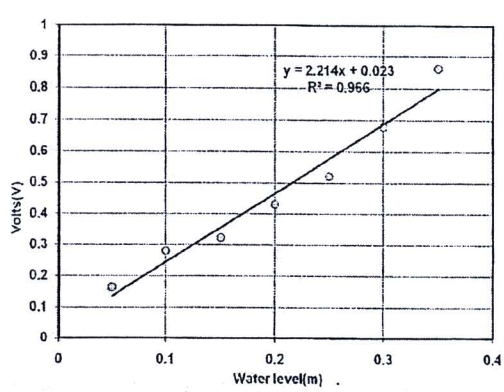


รูปที่ 8 ความสัมพันธ์ของฮีสเตอรีซีสในค่าความจุไฟฟ้า

3.2 **ศึกษาผลตอบสนองในเวลา**

3.2.1 **ผลตอบสนองเชิงสถิต**(Static Response)

การวัดระดับของเหลวแสดงผลผ่านเครื่องมือวัดเสมือน (Virtual instrumentation) เมื่อแผ่นโลหะทำจากแผ่นเทปอลูมิเนียมขนาดความยาว 0.40 เมตร ระยะห่างระหว่างโลหะ 0.005 เมตร ความหนาของท่อ 0.002 เมตร และขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.048 เมตร วงจรบริดจ์ใช้วัดค่าแรงดันไฟฟ้าเนื่องจากระดับน้ำที่เปลี่ยนแปลงตั้งแต่ 0.00 ถึง 0.35 เมตร โดยเพิ่มขึ้นทุกๆ 0.05 เมตร และให้แรงดันไฟฟ้ากระตุ้น (V_{in}) ที่ 2 V ความถี่ 1 kHz พบว่าค่าแรงดันไฟฟ้าออกจะแปรผันตรงกับระดับน้ำที่เปลี่ยนไปและค่าที่ได้จะอยู่ในช่วงมิลลิโวลต์ (mV) รูปที่ 9 แสดงคุณสมบัติความเป็นเชิงเส้น คำนวณค่าความไม่เป็นเชิงเส้นได้เท่ากับ 4.13 % FSO และมีค่าความไม่แน่นอนจากการวัด(Uncertainty) เท่ากับ 0.00218 โวลต์



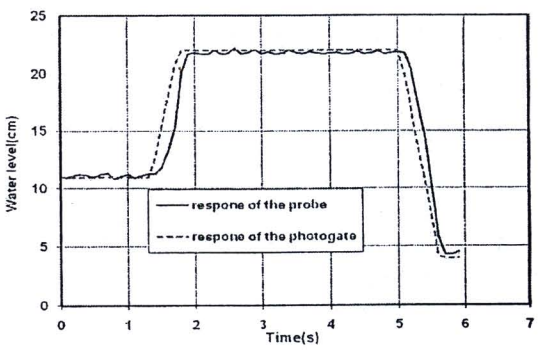
รูปที่ 9 ความสัมพันธ์ของแรงดันไฟฟ้าและระดับน้ำ

3.2.2 **ผลตอบสนองเชิงพลวัต** (Dynamic Response)

3.2.2.1 **การจุ่มหัววัดในระดับด้วยความเร็วคงที่**

จากรูปที่10 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างระดับน้ำกับเวลา เมื่อให้หัววัดกึ่งทรงกระบอกเคลื่อนที่จุ่มลงในน้ำด้วยระยะทาง 0.10 เมตร และได้เวลาในการเคลื่อนที่โดยอ่านได้จากเครื่องจับเวลาได้เท่ากับ 0.372 วินาที ดังนั้นสามารถคำนวณความเร็วของหัววัดเท่ากับ 0.269 เมตรต่อวินาที ในขณะที่การคำนวณความเร็วในการเคลื่อนที่ของหัววัดโดยใช้เทคนิคที่นำเสนอนี้จะได้ 0.260 เมตรต่อวินาที สำหรับกรณีเคลื่อนที่ของหัววัดที่ยกขึ้น

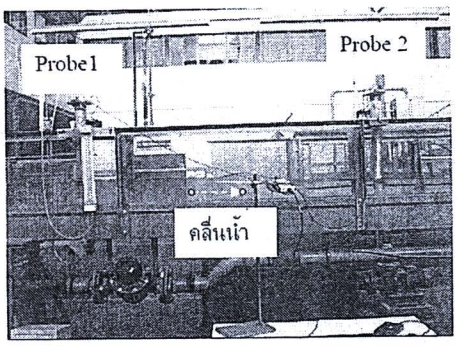
จากระดับน้ำเวลาในการเคลื่อนที่โดยอ่านได้จากเครื่องจับเวลาได้เท่ากับ 0.318 วินาที และความเร็วในการเคลื่อนที่คำนวณได้เป็น 0.314 เมตรต่อวินาที และในขณะที่การคำนวณความเร็วในการเคลื่อนที่ของหัววัดโดยใช้เทคนิคที่นำเสนอนี้จะได้ 0.271 เมตรต่อวินาที พบว่าผลตอบสนองเชิงพลวัตของหัววัดนี้มีเวลาที่ล้าหลัง(Dead time) 0.2 วินาที และเวลาสู่จุดสมดุล (Settling time) 2.1 วินาที



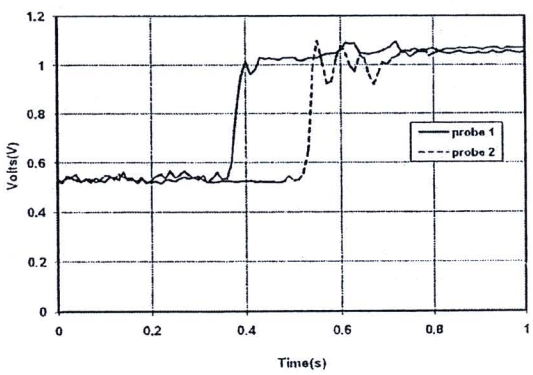
รูปที่ 10 ความสัมพันธ์ของระดับน้ำกับเวลาระหว่างค่าที่ทดลองกับค่ามาตรฐานกรณีจุ่มลงไปและยกขึ้นจากในน้ำ

3.2.2.2 **กรณีการทดสอบในสภาวะน้ำหลาก**

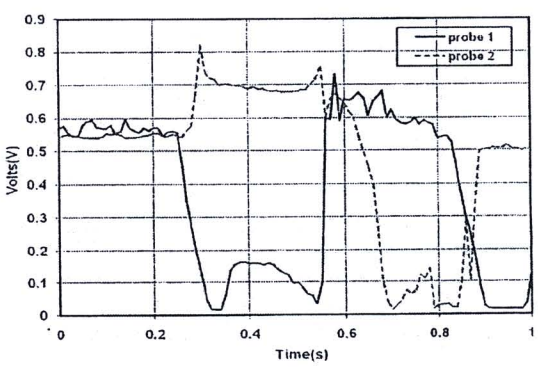
ในการศึกษาจะใช้หลักการทางชลศาสตร์จำลองสภาวะน้ำหลากในรางเปิด โดยวางหัววัดจำนวน 2 หัววัดในรางน้ำเปิดจำลองที่ห่างกันเป็นระยะ 1 เมตร นำแผ่นกั้นทำคลื่นมาวาง ดังแสดงในรูปที่ 11 วัดระดับน้ำที่เปลี่ยนแปลงไปโดยเทคนิคที่นำเสนอแสดงผลผ่านเครื่องมือวัดเสมือน รูปที่ 12 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างระดับน้ำที่วัดได้กับเวลากรณีจำลองสถานการณ์น้ำหลากเคลื่อนที่ผ่านหัววัดในช่วงเวลา 1 นาที รูปที่ 12a กรณีการคลื่นน้ำเคลื่อนที่ผ่านหัววัดตัวที่ 1 ก่อนไหลผ่านไปยังหัววัดตัวที่ 2 รูปที่ 12b แสดงกรณีจำลองสถานการณ์การเกิดน้ำขึ้น-น้ำลง โดยนำแผ่นพลาสติกมากั้นน้ำระหว่างหัววัดทั้งสองให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำทำให้ระดับน้ำของหัววัดตัวที่ 2 เพิ่มขึ้นส่วนระดับน้ำของหัววัดตัวที่ 1 ลดลง



รูปที่ 11 การจัดวางอุปกรณ์กรณีน้ำเคลื่อนที่ผ่านหัววัด



a) กรณีคลื่นน้ำเคลื่อนที่กระทบหัววัดตัวที่ 1 และ 2



b) การทำให้เกิดคลื่นระหว่างหัววัดทั้งสอง

รูปที่ 12 ความสัมพันธ์ของแรงดันไฟฟ้ากับเวลา

จากผลการทดลองค่าความไม่เป็นเชิงเส้น ความสามารถในการทำซ้ำ และผลตอบสนองเวลา และราคา เปรียบเทียบระหว่างเทคนิคการวัดความจุไฟฟ้าแบบกึ่งทรงกระบอกกับการวัดระดับน้ำแบบต่างๆ ได้ดังตารางที่ 1

ารางที่ 1 เปรียบเทียบการวัดระดับแบบต่างๆ กับ ทคนิคความจุไฟฟ้าแบบกึ่งทรงกระบอก

Sensor Types	Float sensor	Ultrasonic sensor	Semi-cylindrical Capacitive Probe
range (m)	1.1	30	0.35
Non-linearity(mm)	-	-	27
Accuracy (mm)	1.8	20	30
Hysteresis (mm)	-	-	19
Repeatability (mm)	-	-	6.5
Lag time(s)	-	8	0.2
Cost ($)	485 - 606	1,600	20

. สรุป

ในการศึกษาการวัดระดับน้ำโดยใช้เทคนิคการวัด วามจุไฟฟ้าแบบกึ่งทรงกระบอกพบว่าปริมาณความจุ ฟฟ้าแปรผันตรงกับค่าระดับน้ำที่เปลี่ยนไปและแปรผัน กผันกับระยะห่างของแผ่นโลหะ ค่าที่ได้อยู่ในช่วง โคฟารัด(pF) ได้ค่าความไม่เป็นเชิงเส้น1.31 % FSO วามสามารถในการทำซ้ำ1.02 % ค่าฮีสเตอรีซีส 6.04 %FSO สำหรับผลตอบสนองเชิงสถิตมีค่าความไม่แน่นอน).00218 โวลต์ ส่วนการศึกษาโดยใช้หลักการทางชล าสตร์เพื่อจำลองสภาวะน้ำหลากในรางเปิด พบว่า ให้ ลตอบสนองที่ดี ซึ่งสามารถนำไปประยุกต์ใช้วัดระดับ องเหลวที่มีอัตราการเปลี่ยนแปลงอย่างฉับพลันได้ พบว่า มีผลตอบสนองในช่วงเวลาที่ดีและมีราคาสำหรับ ร้างถูกกว่าแบบต่างๆมาก

5. เอกสารอ้างอิง

F. Reverter, X. Li and G. C. M. Meijer. (2007). Liquid – Level measurement system based on a remote grounded capacitive sensor. *Sensors and Actuators*. Vol.138 ,1- 8.

G. Nikolov and B.Nikolova.(2008).Virtual techniques for liquid level monitoring using differential pressure sensors. *RECENT*. Vol 9, No. 2(23), July.

L.K. Baxter.(1997).Capacitive Sensors. Design and Applications, IEEE Press, New York.

S.C. Bera, J.K. Ray, S. Chattopadhyay.(2006). A low-cost noncontact capacitance - type level transducer for a conducting liquid. *IEEE Trans. Instrum. Meas*. Vol. 55, No. 3 , 778–786.

S. E. Woodard, B. D. Taylor.(2007). A wireless fluid-level Measurement technique. *Sensors and Actuators* .Vol.137, 268- 278.

Supagorn katathikarnkul, Booncharoen Wongkittisuksa, Pornchai Phukpattaranont and Kanadit Chetpattananondh (2009). Study of liquid level measurement using Semicylindrical capacitive probe, 7th PSU Engineering Conference, Prince of Songkla University, 21- 22 May. (In Thai).

Supagorn katathikarnkul, Booncharoen Wongkittisuksa , Pornchai Phukpattaranont and Kanadit Chetpattananondh (2009). Semicylindrical capacitive tranducer for liquid Level measurement, 32 nd Electrical Engineering Conference, Prachinburi, by Mahidol University 26- 30 Oct.(In Thai).

บทความตีพิมพ์ในที่ประชุมวิชาการนานาชาติ และ ระดับชาติ

PSU-UNS International Conference on Engineering and Environment - ICEE-2007, Phuket May10-11, 2007
Prince of Songkla University, Faculty of Engineering
Hat Yai, Songkhla, Thailand 90112

A LOW-COST CAPACITIVE WATER LEVEL TRANSDUCER

Kanadit Chetpattananondh, Booncharoen Wongkittisuksa and Pornchai Phukpattaranont
Prince of Songkla University, Faculty of Engineering, Thailand
*Authors to correspondence should be addressed via email: kanadit.c@psu.ac.th

Abstract: *A low-cost, repeatability, and linearity water level measurement technique using cylindrical capacitance is proposed with an explanation of experimental results. The sensor is in the form of a uniform hollow cylinder made of insulating material (like PVC, Teflon, etc.) which is covered with 5 segments of two hemi-cylindrical electrodes. The change in capacitance due to the change of liquid level inside an insulating hollow cylinder is detected by capacitance-controlled oscillator and a microcontroller. The sensor is able to measure absolute levels of liquid with 5 cm resolution over 1 m range.*

Key Words: Capacitive sensor; Water level sensors; Liquid level measurement; Cylindrical capacitance

1. INTRODUCTION

Water level in a river or a channel is one of the important variables that was required to be measured and control in any warning and monitoring system. The liquid properties [1-5] like buoyancy, pressure at a depth, relative electrical permittivity, electrical conductivity, thermal conductivity, absorption of radiation, liquid surface reflection of sound or light wave, etc., are related with the water level. These properties of liquid are used to design the different inferential types of liquid level transducers [1]–[3] such as float, displacer, pressure sensor, capacitance probe, partially immersed resistance wire probes, etc. Of these, the contact-type level-sensing probes [1], [2] like float, displacer, etc., have the disadvantage that their characteristic properties with liquid level may change due to the physical or chemical reaction between the liquid and the probe material, and hence, their life period may be limited. The non contact-type level-sensing probes [1], [3] like ultrasonic probe, absorption probe, etc., may have longer life period, and experimental precautions during the measurement.

Most present acoustic level gauges are based on the sound reflection phenomena, and operate in the ultrasound region [6]–[9]. The use of ultrasound is limited due to the problems of parasitic reflections caused by the foams, residues, surface ripples, deposits, etc. However, there are some improvements that reduce those problems [7], [9]–[11]. For an acoustical gas resonance fluid level measurement [12] is not useful when measuring the level of sandy or grainy materials; and the system has relatively slow dynamic response.

Several optical fiber liquid-level sensors have been developed in the past few years [13]–[15]. For example, a liquid-level sensor with high precision but micrometer range based on the refractive-index sensitivity of long-period gratings [13]; a microbending optical fiber sensor with a resolution of 10 mm for meter range measurement [14]; an intensity modulation method using a pair of fibers to transmit the source light and receive the light partially reflected by the liquid surface through a glass prism, which is restricted by the fluctuation of source light power and the cleanness of prism surface [15]. And all of the above mentioned methods need temperature compensation for practical applications. Other optical fiber liquid level transducers[16-17] is the contact-type transducer, which produces optical pulses when the liquid level moves along the cladding and uncladding zones of the optical fiber. This transducer has the further advantage that it can be used with intrinsic safety in explosive or inflammable liquids. However, this type of measuring system is much costlier than the other similar instruments.

In this paper, a low-cost contact capacitance-type water level measuring technique has been designed and fabricated. The difference between the liquid and air dielectric constant of water is sufficient to be used as a basic for the measurement of water level. This technique can also be appropriate for water level monitoring in an open-channel or a river. The experiment is performed to sense water level in both increased level condition and decreased level condition. The experimental results are found to have good repeatability, linearity, and resolution.

2. PHYSICAL ASPECTS

The fundamental concept underlying the proportional apacitive water level sensor is the transduction of water evel via the change in effective capacitance of an lectrode pair resembling a parallel-plate capacitor. The apacitive water level-sensing probe in this work consists f a 1" outer diameter PVC pipe with 1 m length which is overed with 5 identical segments of two hemi-ylindrical aluminum electrodes as shown in Fig. 1a). he electrodes are shielded by 1½" outer diameter PVC ipe for water proof. The cross section of the level sensor n this work is shown in Fig. 1b). The water level inside ϕ 1" PVC pipe is taken as the dielectric of the ylindrical capacitor. When the water level is changed, he capacitances of this ϕ 1" PVC pipe also are hanged. The equivalent circuit of the sensor is shown in ig. 1c). The first segment (C_1) of cylindrical capacitor is he reference capacitor which is immersed in water with 0 cm height. The other segments (C_2, C_3, C_4, and C_5) re used to detect water level range of 21-40 cm , 41-60 m, 61-80 cm, and 81-100 cm, respectively.

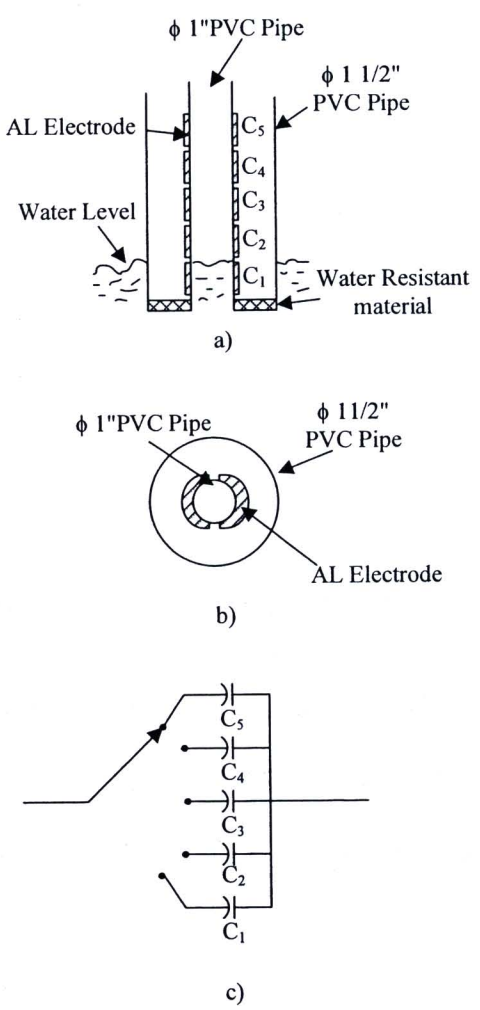


Fig.1 a) *Physical aspects of cylindrical capacitive-type liquid level sensor in this works b) The cross section of the level sensor in this work c) The equivalent circuit of this sensor*

For water level measurement, an RC oscillator (RCO) using an integrated circuit has been designed as shown in Fig.2 to measure each segment of cylindrical capacitance of the proposed level transducer in term of frequency.

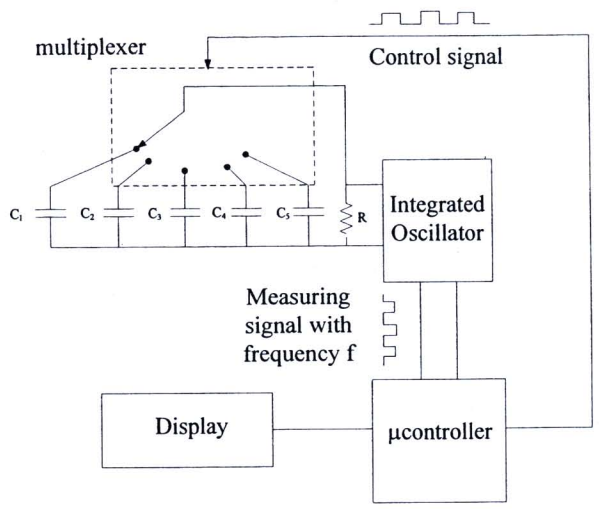


Fig.2 *The instrumentation circuit for the measurement of each segment of cylindrical capacitance of the liquid level measurement*

Microcontroller is used to control a selective switch to connect each segment of cylindrical capacitor and calculate the frequency of oscillator. Let the frequency of RCO that connected to the first segment (C_1) be f_1 and the other ones of oscillator connected to other segments (C_2 , C_3, C_4, and C_5) is represented by f_2 , f_3 , f_4 and f_5, respectively. The step for measuring the level in each segment is illustrated as shown in Fig.3.

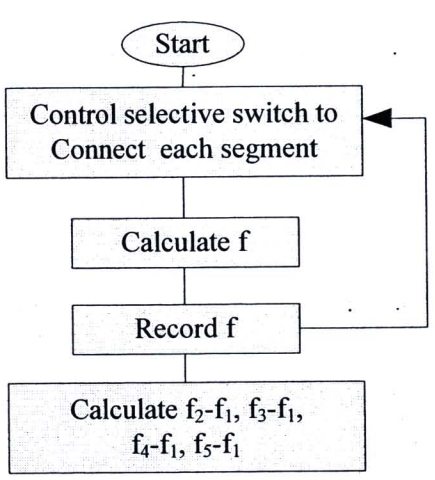
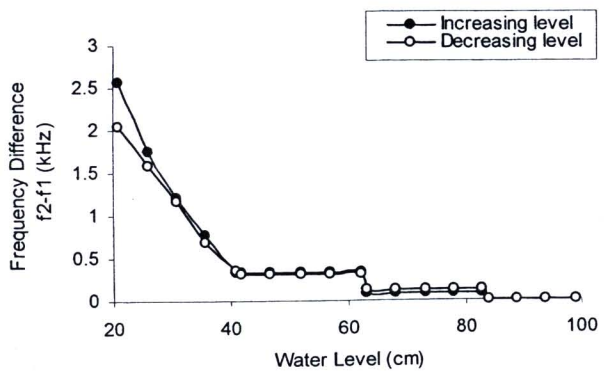


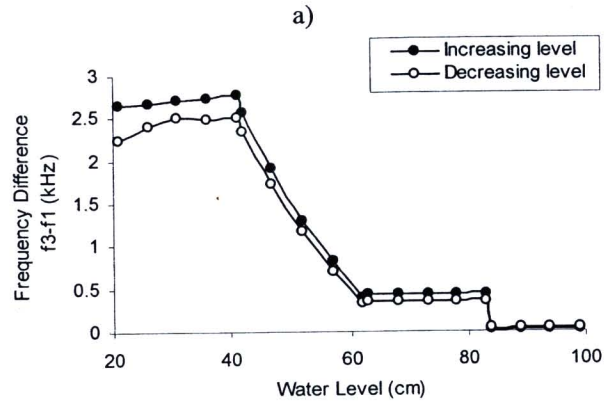
Fig.3 *The flow chart of the level measurement*

3. EXPERIMENTAL SETUP

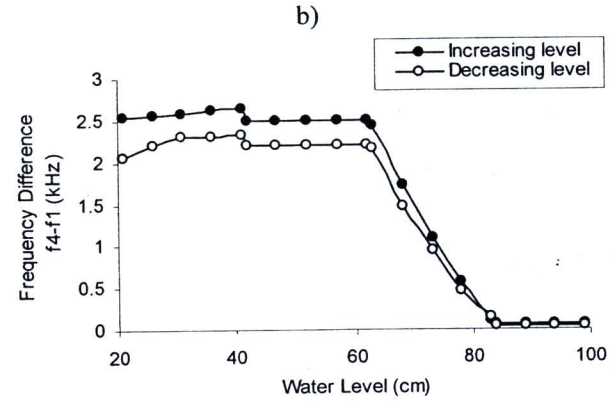
This proposed level transducer was used to set up the water level measurement in "Increasing level" and "Decreasing level" condition of a channel with 1.5 m depth. Data was recorded in microcontroller, And hence, experimental result of the level measurement in term of



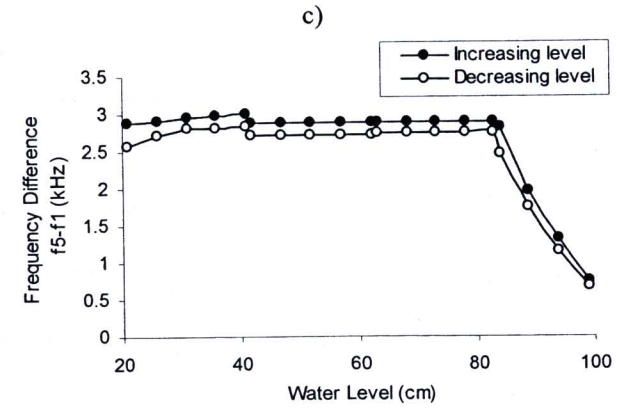
a)



b)



c)



d)

Fig.4 *Experimental results of a) the difference of frequency of RCO connected to 2nd segment and 1st segment b) the difference of frequency of RCO connected to 3rd segment and 1st segment c) the difference of frequency of RCO connected to 4th segment and 1st segment d) the difference of frequency of RCO connected to 5th segment and 1st segment*

the difference of frequency of RCO connected to each segments (f_2-f_1, f_3-f_1, f_4-f_1, and f_5-f_1) for both of conditions was shown as Fig.4.

Fig. 4a) shows that frequency difference f_2-f_1 was linearly related with water level in the range of 20-40 cm. However, when water level was over 40 cm the frequency difference f_2-f_1 was nearly zero since capacitor C_2 was below the water level. These results suggest that a sensing range of C_2 was 20-40 cm.

From Fig. 4 b), the frequency difference f3-f1 was nearly constant when the water level increased from 20 to 40 cm according to a dielectric constant inside a capacitor C_3 was air because the water level was below capacitor C_3. With the water level of 40-60 cm the frequency difference f3-f1 was linearly decreased and with the water level higher than 60 cm there was no change in the frequency difference f3-f1 since a capacitor C_3 was already below the water level. Therefore, the sensing range of C_3 was 40-60 cm. Similarly, these results were also observed at higher water level as shown in Fig. 4 c) and Fig. 4 d).

For these results as shown in Fig.4, they were indicated that there were no significant deviations for both "Increasing level" and "Decreasing level" conditions as illustrated in Fig. 4. Therefore this level sensing probe proposed in this paper was appropriate to detect a tidal recorder. For water monitoring could also be carried out by this proposed technique.

4. CONCLUSIONS

An effective capacitive water level transducer for the measurement range of 20-100 cm with 5 cm resolution has been proposed, designed and realized. Experimental results confirm that this capacitive water level transducer described in this paper has linear sensitivity (0.1 kHz/cm approximately) and good repeatability. In addition, this water level transducer can be used to detect the water level regardless of water condition. Since the measuring water level value is the frequency difference of a sensing capacitance compare to a reference capacitance, therefore the environmental condition of water is not complicated problem. The overall uncertainly in measurement of level with this developed water level sensing probe in both the short-term and long-term bases has been studied, keeping supply voltage, frequency, humidity and temperature constant, and further studies are needed to better the processing time of measuring water level in case of turbulent flow.

5. REFERENCE

[1] E. O. Doeblin, *Measurement System Application and Design*, 4th ed. New York: McGraw-Hill, 1990.

[2] B. G. Liptak, *Process Measurement and Analysis*, 3rd ed. Oxford, U.K.:Butterworth Heinman, 1999.

[3] D. M. Considine, *Process Instruments and Control Hand Book*, 2nd ed.New York: McGraw-Hill, 1974.

[4] J. P. Bently, *Principles of Measurement Systems*, 3rd ed. Singapore:Longman Singapore Publishers (Pte) Ltd., 1995.

5] *Level Measurement*, p. 27, Dec. 1993. Control ıstrum. (UK), Survey Directory.
6] B. Blitzer and U. Lamotte, "Ultrasonic sensors for an nergy-saving system," *Sens. Actuators A, Phys.*, vol. 32, p. 545–549, 1992.
7] S. Ros, J. M. M. Abreu, T. Freire, and L. Calderon, Digital techniques improve range measurement with ltrasound sensor," *Sens. Actuators A, Phys.*, vol. 32, pp. 50–555, 1992.
8] W. Burda and W.-J. Becker, "Ultraschall-Resonanz-Messgerat fuer die Fluid-Prozessmesstechnik," *echnisches Messen*, vol. 60, pp. 375–382, 1993.
9] J. S. Haynes, "Tank sonic gauging system and ıethods," U.S. Patent 4 805 453, 1989.
10] C. E. Stapleton and J. T. Numata, "Ultrasonic liquid ıeasuring device for use in storage tanks containing quids having a nonuniform vapor density," U.S. Patent 085 077, 1992.
11] E. M. Gregory and T. B.Williams, "Sonic tank ıonitoring system," U.S. Patent 5 095 748, 1992.
12] D. Donlagic, M. Zavrsnik, and I. Sirotic, "The use f one-dimensional measuremeresonator for fluid level ıeasurements", *IEEE Trans. Instrum. Meas.*, vol.49, o.5, pp.1095-1100, Oct. 2000.
13] S. Khaliq, S.W. James, and R. P. Tatam, "Fiber-ptic liquid-level sensor using a long-period grating," *pt. Lett.*, vol. 26, pp. 1224–1226, 2001.
14] S. F. Knowles, B. E. Jones, S. Purdy, and C. M. rance, "Multiple microbending optical-fiber sensors for ıeasurement of fuel quantity in aircraft fuel tanks," *ens. Actuators A*, vol. 68, pp. 230–323, 1998.
15] C. N. Yang, S. P. Chen, and G. G. Yang, "Fiber ptic liquid level sensor under cryogenic environment," *ens. Actuators A*, vol. 94, pp. 69–75, 2001.
16] G. Betta, A. Pietrosanto, and A. Scaglione, "A Gray ode based fiber optic liquid level transducer," *IEEE rans. Instrum. Meas.*, vol. 47, no. 1, pp. 174–178, Feb. 998.
17]G. Betta, A. Pietrosanto, A. Scaglione, Microcontroller-based performance enhancement of an ıptical fiber level transducer," *IEEE Trans. Instrum. Meas.*, vol. 47, no. 2, pp. 489–493, Apr. 1998.

การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมศาสตร์มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ครั้งที่ 7
21-22 พฤษภาคม 2552

การศึกษาหัววัดความจุไฟฟ้าแบบกึ่งทรงกระบอกเพื่อวัดระดับของของเหลว

STUDY OF LIQUID LEVEL MEASUREMENT USING SEMICYLINDRICAL CAPACITIVE PROBE

ศุภกร กตาธิการกุล[1] บุญเจริญ วงศ์กิตติศึกษา พรชัย พฤกษ์ภัทรานนต์ คณดิถ เจษฎ์พัฒนานนท์
ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ อ.หาดใหญ่ จ. สงขลา 90112
[1]E-mail: supagone@hotmail.com

Supakorn katathikarnkul[1] Boonchareon wongkittisuksa Pornchai phukpattaranont
and Kanadit chetpattananondh
Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering, Prince of Songkla University, Hatyai, Songkhla 90112
[1]E-mail: supagone@hotmail.com

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอการศึกษาคุณลักษณะการวัดระดับของของเหลวโดยใช้รูปแบบของหัววัดความจุไฟฟ้าแบบกึ่งทรงกระบอก โดยรูปแบบของหัววัดเป็นแบบกึ่งทรงกระบอกกลวงทำจากวัสดุที่เป็นฉนวน(PVC, Teflon เป็นต้น) เมื่อขั้วไฟฟ้าของแผ่นกึ่งทรงกระบอกทำจากอลูมิเนียม ค่าความจุไฟฟ้าของหัววัดจะวัดด้วยเครื่องมือวัด LCR และได้ทำการทดลองวัดความจุไฟฟ้าตั้งแต่ระดับน้ำค่า 1 ถึง 30 เซนติเมตร โดยเพิ่มขึ้นครั้งละ 1 เซนติเมตร และทดลองซ้ำ 10 ครั้ง ผลของปริมาณความจุไฟฟ้าจะแปรผันตรงกับค่าระดับน้ำที่เปลี่ยนไปโดยค่าที่ได้อยู่ในช่วงพิโคฟารัด(pF) และ ได้ผลค่าความไม่เป็นเชิงเส้นอยู่ในช่วง 1.31 % ค่าความสามารถในการทำซ้ำอยู่ในช่วง 1.02 % และค่าฮีสเทอรีซิส 6.04 % ผลที่ได้จากเครื่องมือพบว่ามีค่าการทำซ้ำอยู่ในช่วงที่สามารถยอมรับได้

คำหลัก : การวัดระดับของเหลว , หัววัดความจุไฟฟ้าแบบกึ่งทรงกระบอก , ความจุไฟฟ้า

Abstract

This paper presents a study for static characteristics of a liquid-level measurement technique based on a semicylindrical capacitive probe. The probe consists of a uniform hollow cylinder made of insulating material (like PVC, Teflon, etc.), which is covered with a segment of two semicylindrical aluminuim electrodes. The pF-range capacitive variation of this probe due to the change of liquid level inside an insulating hollow cylinder was measured by LCR meter. This probe was able to measure absolute levels of liquid with 1.0 cm resolution over 30 cm range with 1.31 %FSO non-linearity, range with 1.02 % repeatability and 6.04 %FSO hysteresis error. For each of the 30 measuring values of liquid level in the experiments, 10 replication tests were performed in order to ascertain reliability of the probe under identical conditions. These experimental results are found to have good repeatability within acceptable limits.

Key Words: Liquid level measurement , Semicylindrical capacitive probe , Capacitance

1.บทนำ

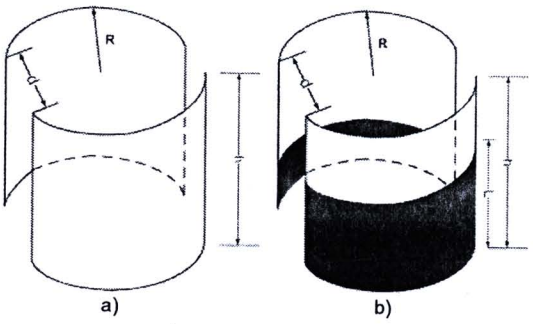
ปัจจุบันการตรวจวัดระดับของเหลวได้เข้ามาเกี่ยวข้องกับการดำรงชีวิตประจำวันและในงานทางด้านอุตสาหกรรมที่มีความเกี่ยวกับกระบวนการผลิตหลาย ๆ อย่าง เช่น การวัดระดับน้ำในถังเก็บน้ำ การวัดระดับน้ำในแม่น้ำ การวัดระดับของน้ำมันที่ก้นถัง เป็นต้น จากการศึกษาเทคนิคที่ใช้ตรวจวัดระดับของเหลวหลายๆ ประเภท ไม่ว่าจะเป็นอาทิเช่น การใช้เทคนิค Acoustical gas resonator[1] เทคนิคของเส้นใยแก้วนำแสง (Fiber-optic) เทคนิคการใช้แขนกลขนาดเล็ก (Cantilever Beam)[2] เทคนิคการใช้ LEDs และ phototransistors [3] เทคนิคใช้ความจุไฟฟ้าโดยการวัดแบบหัววัดไม่สัมผัสน้ำ [4] หรือใช้หลักการวัดความจุไฟฟ้าโดยการต่อกราวด์กับขั้วไฟฟ้า[5] พบว่าการใช้เทคนิคด้านต่างๆ มาประยุกต์ใช้เป็นเซนเซอร์จะมีข้อจำกัดบางอย่างในการวัด เทคนิคการสร้างการวัดที่ยุ่งยากและยังมีราคาสูง

ดังนั้นจากการศึกษาวิธีตรวจวัดระดับของเหลวที่อาศัยหลักการหาค่าความจุไฟฟ้า สามารถที่จะลดปัญหาด้านเทคนิคการสร้าง ข้อจำกัดทางด้านราคา หรือข้อจำกัดทางด้านการวัด หลักการของเซนเซอร์ที่วัดค่าความจุไฟฟ้าจะขึ้นอยู่กับชนิดของของเหลวที่เป็นของเหลวที่นำไฟฟ้า และของเหลวที่ไม่นำไฟฟ้า[4] หลักการนี้ทำให้ได้เซนเซอร์ที่ใช้วัดระดับของเหลวสามารถแบ่งประเภทออกได้เป็น 2 กลุ่มใหญ่ๆ ด้วยกัน คือ Floating Capacitive Sensors สำหรับใช้วัดของเหลวที่ไม่นำไฟฟ้า คือ จะไม่มีขั้วไฟฟ้าขั้วใดขั้วหนึ่งต่อลงดิน และ Grounded Capacitive Sensors จะใช้วัดของเหลวที่นำไฟฟ้า คือ จะมีขั้วไฟฟ้าขั้วหนึ่งต่อลงดิน เพื่อป้องกันการลัดวงจร จากหลักการทั้งสองเมื่อระดับของเหลวเพิ่มขึ้นจะส่งผลให้ค่าความจุไฟฟ้าเพิ่มขึ้นตาม ในปัจจุบันมีการศึกษาและวิเคราะห์เกี่ยวกับเซนเซอร์ความจุไฟฟ้าส่วนใหญ่จะเป็นแบบรูปแผ่นคู่ขนานหรือรูปทรงกระบอก

งานวิจัยนี้จึงเสนอการศึกษาคุณลักษณะการวัดระดับของเหลวโดยใช้รูปแบบของหัววัดความจุไฟฟ้าแบบกึ่งทรงกระบอกเทคนิคการวัดระดับของเหลวที่สามารถวัดของเหลวได้ทั้งสองแบบโดยใช้ลักษณะของเซนเซอร์เป็นแบบกึ่งทรงกระบอก ซึ่งเป็นเทคนิคที่นำมาประยุกต์ใช้สำหรับวัดระดับของเหลวที่ยังไม่ได้มีการศึกษามาก่อน และยังมีข้อดีคือการติดตั้งที่ไม่ยุ่งยาก มีความละเอียดดี และมีผลตอบสนองเป็นเชิงเส้น

2. รูปแบบของเซนเซอร์ความจุไฟฟ้า

ลักษณะของเซนเซอร์สำหรับวัดระดับของเหลวที่อาศัยเทคนิคการวัดความจุไฟฟ้าแบบกึ่งทรงกระบอกแสดงได้ โดยรูปแบบของหัววัดมีท่อทรงกระบอกกลวงที่ทำจากวัสดุที่เป็นฉนวนอย่างเช่น PVC, Teflon เป็นต้น และมีอิเล็กโตรดที่เป็นแผ่นกึ่งทรงกระบอกจะทำจากอลูมิเนียมมาห่อหุ้มท่อทรงกระบอก สำหรับการวิเคราะห์ค่าความจุไฟฟ้าของเซนเซอร์ความจุไฟฟ้าแบบกึ่งทรงกระบอกในกรณีที่โครงสร้างเซนเซอร์ความจุไฟฟ้าแบบกึ่งทรงกระบอกเมื่อไม่มีของเหลวเป็นไดอิเล็กตริก แสดงดังรูปที่ (1)



รูปที่ 1 ลักษณะโครงสร้างของหัววัด
a) กรณีไดอิเล็กกตริกเป็นอากาศ
b) กรณีไดอิเล็กตริกเป็นอากาศและน้ำ

จากมุมมองด้านบนของเซนเซอร์ความจุไฟฟ้าแบบกึ่งทรงกระบอกเมื่อไม่มีของเหลวเป็น ไดอิเล็กตริก แผ่นโลหะทั้งสองของแบบกึ่งทรงกระบอกจะมีรัศมีเท่ากับ R และมีช่องว่างน้อยที่สุดเท่ากับ d และมีความหนาของวัสดุที่ใช้ติดแผ่นโลหะเท่ากับ d ดังนั้นการคำนวณค่าความจุไฟฟ้าของเซนเซอร์ความจุไฟฟ้าแบบกึ่งทรงกระบอกจะประยุกต์โดยใช้ทฤษฎีระเบียบวิธีเชิงตัวเลข[6] โครงสร้างของเซนเซอร์ความจุไฟฟ้าแบบกึ่งทรงกระบอกที่ใช้ทฤษฎีระเบียบวิธีเชิงตัวเลขจะแสดงในรูปที่ (2) โดยแบ่งแผ่นโลหะ 2 แผ่นที่อยู่ในรูปกึ่งทรงกระบอกของตัวเก็บประจุให้เป็นจำนวน n แผ่นซึ่งมีระยะห่างระหว่างแผ่นเพิ่มขึ้นเป็น Δd สมการวิเคราะห์หาค่าความจุไฟฟ้าระหว่างแผ่นโลหะ 2 แผ่นเล็กๆที่มีระยะห่างกันประมาณ d และมีพื้นที่เล็กๆ A แสดงได้ดังสมการที่ (1)

$$C = \int_0^a dc = \int_0^a \frac{\varepsilon_0 \cdot a \cdot dx}{d + x\theta}$$

$$= \frac{\varepsilon_0 \cdot \varepsilon_1 \cdot A}{d}\left[1 - \frac{a\theta}{d}\right] \qquad (1)$$

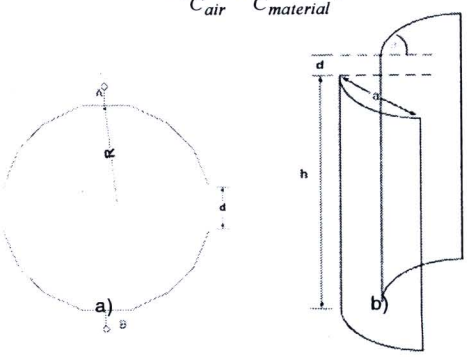
ถ้าคิดเซนเซอร์ความจุไฟฟ้าแบบกึ่งทรงกระบอกมีขนาดใหญ่มาก $(d \rangle\rangle \theta)$ ความจุไฟฟ้า สามารถเขียนใหม่ได้เป็น

$$C \cong \left[\frac{\varepsilon_0 \varepsilon_1 A}{d}\right] \qquad (2)$$

ดังนั้นค่าระยะห่างระหว่าง d ของแผ่นโลหะทั้งสองที่น้อยที่สุดจะเป็นปัจจัยหนึ่งที่สำคัญในการใช้ในคำนวณวิเคราะห์เชิงตัวเลขสำหรับเซนเซอร์ความจุไฟฟ้าแบบกึ่งทรงกระบอก

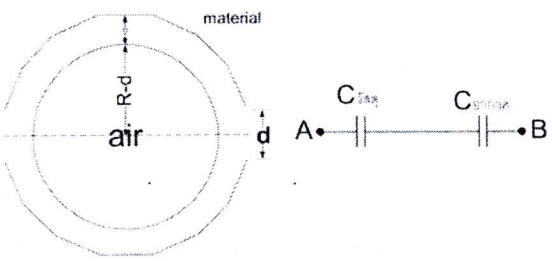
สำหรับแผ่นคู่ขนานเล็กๆสามารถหาค่าความจุไฟฟ้าได้โดยเปรียบเสมือนมีค่าความจุไฟฟ้าระหว่างตำแหน่ง A และ B ที่เกิดจากค่าไดอิเล็กตริกของวัสดุที่ใช้ทำท่อ และค่าไดอิเล็กตริกภายในท่อซึ่งในที่นี้คือ อากาศ โดยแสดงในรูปวงจรสมมูลของค่าความจุไฟฟ้าที่ต่ออนุกรมกันดังที่แสดงในรูปที่ (3) โดยใช้สมการที่ (3) สามารถหาผลรวมของความจุไฟฟ้าจากแผ่นคู่ขนานแบบกึ่งทรงกระบอกจำนวน n แผ่นเล็กๆที่แสดงในรูปวงจรสมมูลของค่าความจุไฟฟ้าดังในรูปที่ (4)

$$C = \left(\frac{1}{C_{air}} + \frac{1}{C_{material}}\right) \quad (3)$$



รูปที่ 2 รูปแบบสำหรับการวิเคราะห์
a) มุมมองด้านบน b) โครงสร้างในการคำนวณ

จากสมการพบว่าเมื่อกำหนดให้ค่าระยะห่างของแผ่นโลหะมีค่าคงที่ ค่าความจุไฟฟ้าจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับขนาดความสูงของหัววัด



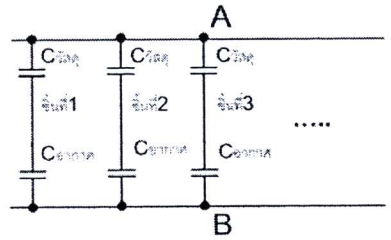
รูปที่ 3 วงจรสมมูลของค่าความจุไฟฟ้าเล็กๆสำหรับแผ่นคู่ขนานแบบกึ่งทรงกระบอก

ในกรณีมีไดอิเล็กตริกเป็นอากาศกับของเหลว โครงสร้างเซนเซอร์ความจุไฟฟ้าแบบกึ่งทรงกระบอก แสดงดังรูปที่ (5a) พบว่าค่าความจุไฟฟ้าของหัววัดจะแบ่งเป็นความจุไฟฟ้าที่ได้จากของเหลวรวมกับความจุไฟฟ้าที่เป็นอากาศ นั่นคือความจุไฟฟ้าของทั้งสองต่อกันแบบขนาน โดยกรณีไดอิเล็กตริกเป็นของอากาศจะมีขนาดความสูงเท่ากับ $h-L$ และส่วนไดอิเล็กตริกที่เป็นของเหลวมีขนาดความสูงเป็น L คำนวณหาค่าความจุไฟฟ้าได้จากสมการดังนี้

$$C = C_{liquid} + C_{air} \quad (4)$$

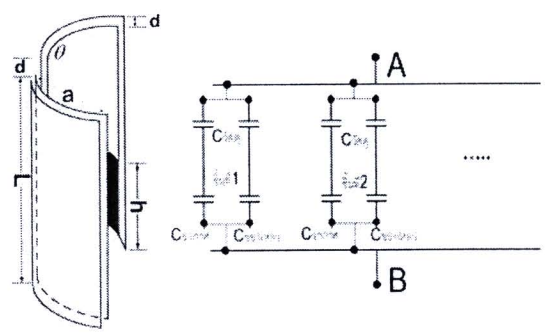
แต่วัสดุที่ใช้ทำหัววัดมีค่าไดอิเล็กตริกด้วย ดังนั้นต้องคิดค่าความจุไฟฟ้าที่ได้จากวัสดุด้วย แสดงการต่อกันดังวงจรสมมูลที่แสดงในรูปที่ (5b) สามารถหาค่าความจุไฟฟ้ารวมได้เป็น

$$C = \left(\frac{1}{C_{liquid}} + \frac{1}{C_{material}}\right) + \left(\frac{1}{C_{air}} + \frac{1}{C_{material}}\right) \quad (5)$$



รูปที่ 4 วงจรสมมูลของค่าความจุไฟฟ้ารวมสำหรับแผ่นคู่ขนานแบบกึ่งทรงกระบอก

เมื่อ ε_0 เป็นค่า permittivity of free space ($8.85 pF/m$) $\varepsilon_{material}$ เป็นค่าไดอิเล็กตริกของวัสดุ ε_{air} เป็นค่าไดอิเล็กตริกของอากาศ ε_{liquid} เป็นค่าไดอิเล็กตริกของของเหลว n เป็นจำนวนของแผ่นโลหะที่ถูกแบ่งย่อยที่ในการคำนวณ d เป็นค่าช่องว่างน้อยที่สุดระหว่างแผ่นโลหะ Δd เป็นค่าระยะห่างที่เพิ่มขึ้นของช่องว่างระหว่างแผ่นโลหะทั้งสอง และ A เป็นพื้นที่ของแผ่นโลหะ



a) b)

รูปที่ 5 โครงสร้างกรณีมีน้ำเป็นไดอิเล็กตริก
a) โครงสร้างในการคำนวณแผ่นโลหะ
b) วงจรสมมูลของค่าความจุไฟฟ้ารวม

3. ผลการวิจัย

ผลการทดลองโดยใช้หัววัดความจุไฟฟ้าแบบกึ่งทรงกระบอกที่สร้างขึ้นมาด้วยเครื่องมือวัด LCR รุ่น Aligent 4284A แสดงดังรูปที่ (6) เมื่อแผ่นโลหะนำไฟฟ้าทำจากวัสดุท่อ PVC เส้นผ่านศูนย์กลาง 6.3 เซนติเมตร ติดด้วยแผ่นอลูมิเนียมขนาดความยาวของแผ่นโลหะเท่ากับ 30 เซนติเมตรและวางห่างกันเป็นระยะ 5.0 เซนติเมตร

ค่าความสามารถในการทำซ้ำ(Repeatability)

วัดความจุไฟฟ้าของหัววัด ตั้งแต่ระดับน้ำค่า 1 ถึง 30 เซนติเมตร โดยเพิ่มขึ้นครั้งละ 1 เซนติเมตร และทดลองซ้ำ 10 ครั้ง จะได้ค่าความสามารถในการทำซ้ำ เมื่อระยะห่างของแผ่นโลหะ 5.0 เซนติเมตร จะได้ค่าความสามารถในการทำซ้ำ 1.02 %

ค่าความเป็นเชิงเส้น(Linearity)

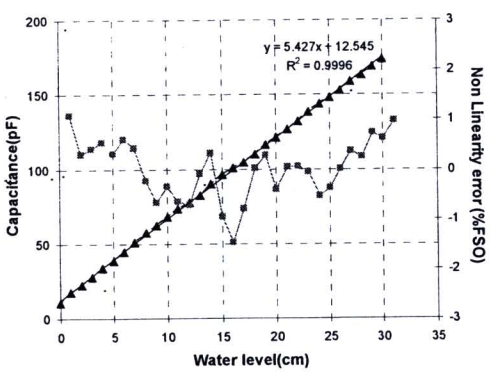
วัดความจุไฟฟ้าของหัววัดค่าที่ได้จะแปรผันตรงกับค่าระดับน้ำที่เปลี่ยนไปโดยค่าความจุไฟฟ้าอยู่ในช่วงพิโคฟารัด(pF)

เมื่อระยะห่างของแผ่นโลหะ 5.0 เซนติเมตร แสดงคุณสมบัติความเป็นเชิงเส้นดังรูปที่ (7) และคำนวณผลค่าความไม่เป็นเชิงเส้นได้ค่าเป็น 1.31 % FSO

ค่าฮีสเตอรีซีส (Hysteresis)

เมื่อวัดความจุไฟฟ้าที่วัดได้เทียบกับระดับน้ำที่เปลี่ยนแปลงในลักษณะเพิ่มและลดระดับน้ำความสัมพันธ์ระหว่างค่าฮีสเตอรีซีสแสดงดังรูปที่ (8) เมื่อกำหนดให้ค่าความถี่คงที่เมื่อค่าระยะห่างระหว่างแผ่นโลหะเท่ากับ 5.0 เซนติเมตร จากกราฟได้ค่าฮีสเตอรีซีสเท่ากับ 6.04 %FSO

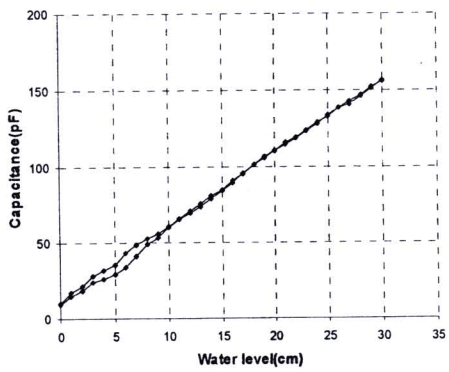
รูปที่ 6 หัววัดความจุไฟฟ้าแบบกึ่งทรงกระบอกที่ใช้ในการทดลอง



รูปที่ 7 ความสัมพันธ์ของค่าความจุไฟฟ้าและค่าผิดพลาดเนื่องจากความไม่เป็นเชิงเส้นกับระดับน้ำ เมื่อระยะห่างของแผ่นโลหะ 5 cm

4. สรุปผลการวิจัย

จากผลการใช้หัววัดความจุไฟฟ้าแบบกึ่งทรงกระบอกศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความจุไฟฟ้ากับระดับน้ำ โดยทำการวัดด้วยเครื่อง LCR และได้ทำการทดลองวัดระดับน้ำตั้งแต่ระยะ 1 ถึง 30 เซนติเมตร โดยเพิ่มขึ้นครั้งละ 1 เซนติเมตร ในแต่ละครั้งทดลองซ้ำ 10 ครั้ง ค่าที่ได้จะแปรผันตรงกับค่าระดับน้ำที่เปลี่ยนไปโดยค่าความจุไฟฟ้าอยู่ในช่วงพิโคฟารัด(pF) เมื่อระยะห่างของแผ่นโลหะเป็น 5.0 เซนติเมตร ได้ผลค่าความไม่เป็นเชิงเส้นได้ค่าเป็น 1.31 % FSO ค่าความสามารถในการทำซ้ำได้ค่าเป็น 1.02 % และค่าฮีสเทอรีซีสเท่ากับ 6.04% ค่าที่ได้ของการทำซ้ำอยู่ในช่วงที่ยอมรับได้



รูปที่ 8 ความสัมพันธ์ของ Hysteresis ของค่าความจุไฟฟ้ากับระดับน้ำ เมื่อระยะห่างของแผ่นโลหะ 5.0 cm

5. เอกสารอ้างอิง

[1] Donlagic D, Zavrsnik M,Sirotic I.2000.The use of one-dimensional acoustical gas resonator for fluid level measurements.*IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, Volume 49, Issue 5, Page(s):1095 – 1100.

[2] Tuan G, Qida Z, Qingying D, Hao Z, Lifang X, Guiling H, and Xiaoyi D.2005.Temperature-insensitive fiber Bragg grating liquid-level sensor based on bending cantilever beam. *IEEE Photonics Technology Letters*, Volume 17, Issue 11, Page(s):2400 – 2402.

[3] Eldar M and Sait E K.2003.A novel liquid level detection method and its implementation. *Sensors and Actuators A: Physical*,Volume109,Issue1,Page(s):21-24.

[4] Bera S C, Ray J K and Chattopadhyay S.2006.A low-cost noncontact capacitance-type level transducer for a conducting liquid. *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, Volume 55, Issue 3, Page(s):778 – 786.

[5] Ferren Reverter , Xiujun Li and Gerard C.M. Meijer.2007.Liquid-level measurement system based on a remote grounded capacitive sensor.*ScienceDirect Sensors and Actuators* A 138, Page(s):1-8.

[6] Cheng-Ta Chiang and Yu-Chung Huang.2006.A Semicylindrical Capacitive Sensor With Interface Circuit Used for Flow Rate Measurement. *IEEE SENSORS JOURNAL*, Volume 6, NO. 6.

[7] L. K. Baxter.1997.*Capacitive Sensors Design and Applications*. NewYork : IEEE Press.

ขอแสดงความยินดีกับการสมรสของ

(คุณ) ชัยพร ชูสุขสกุล

และ

(คุณ) ปรีดา ชูสุขสกุล

ในวันที่ 21 - 22 พฤศจิกายน 2552

ขอให้ทั้งสองคู่ครองจงมีแต่ความสุขสมหวังตลอดไปเทอญ

ประเสริฐ ประดิษฐพงษ์

และครอบครัว

ศ.ดร.พร ชูสุขสกุล และ ศ.ดร.พรพิมล ชูสุขสกุล

คุณปู่ ดอกไม้ ชูสุขสกุล

คุณย่า ดอกไม้ ชูสุขสกุล

คุณตา ประเสริฐ ประดิษฐพงษ์

คุณยาย ดอกไม้ ประดิษฐพงษ์

คุณลุงชาย ชูสุขสกุล

คุณป้าสาย ชูสุขสกุล

คุณลุงเกษม ชูสุขสกุล

คุณป้าเกษม ชูสุขสกุล

คุณลุงเกษม ชูสุขสกุล

คุณป้าเกษม ชูสุขสกุล

คุณลุงเกษม ชูสุขสกุล

คุณป้าเกษม ชูสุขสกุล

การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมศาสตร์มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ครั้งที่ 7
21-22 พฤษภาคม 2552

การศึกษาหัววัดความจุไฟฟ้าแบบกึ่งทรงกระบอก เพื่อวัดระดับของของเหลว

STUDY OF LIQUID LEVEL MEASUREMENT USING SEMICYLINDRICAL CAPACITIVE PROBE

ศุภกร กตาธิการกุล[1] บุญเจริญ วงศ์กิตติศึกษา พรชัย พฤกษ์ภัทรานนต์ คณดิถ เจษฎ์พัฒนานนท์
ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ อ.หาดใหญ่ จ. สงขลา 90112
[1]E-mail: supagone@hotmail.com

Supakorn katathikarnkul[1] Boonchareon wongkittisuksa Pornchai phukpattaranont
and Kanadit chetpattananondh
Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering, Prince of Songkla University, Hatyai, Songkhla 90112
[1]E-mail: supagone@hotmail.com

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอการศึกษาคุณลักษณะการวัดระดับของของเหลวโดยใช้รูปแบบของหัววัดความจุไฟฟ้าแบบกึ่งทรงกระบอก โดยรูปแบบของหัววัดเป็นแบบกึ่งทรงกระบอกกลวงทำจากวัสดุที่เป็นฉนวน(PVC, Teflon เป็นต้น) เมื่อขั้วไฟฟ้าของแผ่นกึ่งทรงกระบอกทำจากอลูมิเนียม ค่าความจุไฟฟ้าของหัววัดจะวัดด้วยเครื่องมือวัด LCR และได้ทำการทดลองวัดความจุไฟฟ้าตั้งแต่ระดับน้ำค่า 1 ถึง 30 เซนติเมตร โดยเพิ่มขึ้นครั้งละ 1 เซนติเมตร และทดลองซ้ำ 10 ครั้ง ผลของปริมาณความจุไฟฟ้าจะแปรผันตรงกับค่าระดับน้ำที่เปลี่ยนไปโดยค่าที่ได้อยู่ในช่วงพิโคฟาราด(pF) และ ได้ผลค่าความไม่เป็นเชิงเส้นอยู่ในช่วง 1.31 % ค่าความสามารถในการทำซ้ำอยู่ในช่วง 1.02 % และค่าฮีสเทอรีซิส 6.04 % ผลที่ได้จากเครื่องมือพบว่ามีค่าการทำซ้ำอยู่ในช่วงที่สามารถยอมรับได้

คำหลัก : การวัดระดับของเหลว , หัววัดความจุไฟฟ้าแบบกึ่งทรงกระบอก , ความจุไฟฟ้า

Abstract

This paper presents a study for static characteristics of a liquid-level measurement technique based on a semicylindrical capacitive probe. The probe consists of a uniform hollow cylinder made of insulating material (like PVC, Teflon, etc.), which is covered with a segment of two semicylindrical aluminuim electrodes. The pF-range capacitive variation of this probe due to the change of liquid level inside an insulating hollow cylinder was measured by LCR meter. This probe was able to measure absolute levels of liquid with 1.0 cm resolution over 30 cm range with 1.31 %FSO non-linearity, range with 1.02 % repeatability and 6.04 %FSO hysteresis error. For each of the 30 measuring values of liquid level in the experiments, 10 replication tests were performed in order to ascertain reliability of the probe under identical conditions. These experimental results are found to have good repeatability within acceptable limits.

Key Words: Liquid level measurement , Semicylindrical capacitive probe , Capacitance

1.บทนำ

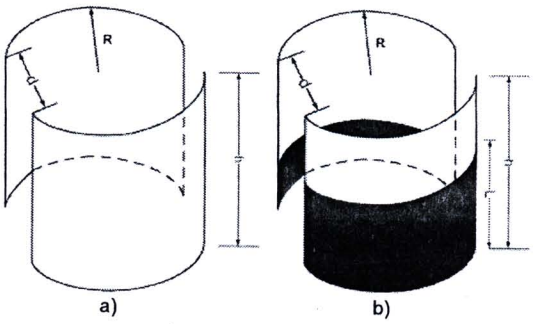
ปัจจุบันการตรวจวัดระดับของเหลวได้เข้ามาเกี่ยวข้องกับการดำรงชีวิตประจำวันและในงานทางด้านอุตสาหกรรมที่มีความเกี่ยวกับกระบวนการผลิตหลาย ๆ อย่าง เช่น การวัดระดับน้ำในถังเก็บน้ำ การวัดระดับน้ำในแม่น้ำ การวัดระดับของน้ำมันที่ก้นถัง เป็นต้น จากการศึกษาเทคนิคที่ใช้ตรวจวัดระดับของเหลวหลายๆ ประเภท ไม่ว่าจะเป็นอาทิเช่น การใช้เทคนิค Acoustical gas resonator[1] เทคนิคของเส้นใยแก้วนำแสง (Fiber-optic) เทคนิคการใช้แขนกลขนาดเล็ก (Cantilever Beam)[2] เทคนิคการใช้ LEDs และ phototransistors [3] เทคนิคใช้ความจุไฟฟ้าโดยการวัดแบบหัววัดไม่สัมผัสน้ำ [4] หรือใช้หลักการวัดความจุไฟฟ้าโดยการต่อกราวด์กับขั้วไฟฟ้า[5] พบว่าการใช้เทคนิคด้านต่างๆ มาประยุกต์ใช้เป็นเซนเซอร์จะมีข้อจำกัดบางอย่างในการวัด เทคนิคการสร้างการวัดที่ยุ่งยากและยังมีราคาสูง

ดังนั้นจากการศึกษาวิธีตรวจวัดระดับของเหลวที่อาศัยหลักการหาค่าความจุไฟฟ้า สามารถที่จะลดปัญหาด้านเทคนิคการสร้าง ข้อจำกัดทางด้านราคา หรือข้อจำกัดทางด้านการวัด หลักการของเซนเซอร์ที่วัดค่าความจุไฟฟ้าจะขึ้นอยู่กับชนิดของของเหลวที่เป็นของเหลวที่นำไฟฟ้า และของเหลวที่ไม่นำไฟฟ้า[4] หลักการนี้ทำให้ได้เซนเซอร์ที่ใช้วัดระดับของเหลวสามารถแบ่งประเภทออกได้เป็น 2 กลุ่มใหญ่ๆ ด้วยกัน คือ Floating Capacitive Sensors สำหรับใช้วัดของเหลวที่ไม่นำไฟฟ้า คือ จะไม่มีขั้วไฟฟ้าขั้วใดขั้วหนึ่งต่อลงดิน และ Grounded Capacitive Sensors จะใช้วัดของเหลวที่นำไฟฟ้า คือ จะมีขั้วไฟฟ้าขั้วหนึ่งต่อลงดิน เพื่อป้องกันการลัดวงจร จากหลักการทั้งสองเมื่อระดับของเหลวเพิ่มขึ้นจะส่งผลให้ค่าความจุไฟฟ้าเพิ่มขึ้นตาม ในปัจจุบันมีการศึกษาและวิเคราะห์เกี่ยวกับเซนเซอร์ความจุไฟฟ้าส่วนใหญ่จะเป็นแบบรูปแผ่นคู่ขนานหรือรูปทรงกระบอก

งานวิจัยนี้จึงเสนอการศึกษาคุณลักษณะการวัดระดับของเหลวโดยใช้รูปแบบของหัววัดความจุไฟฟ้าแบบกึ่งทรงกระบอกเทคนิคการวัดระดับของเหลวที่สามารถวัดของเหลวได้ทั้งสองแบบโดยใช้ลักษณะของเซนเซอร์เป็นแบบกึ่งทรงกระบอก ซึ่งเป็นเทคนิคที่นำมาประยุกต์ใช้สำหรับวัดระดับของเหลวที่ยังไม่ได้มีการศึกษามาก่อน และยังมีข้อดีคือการติดตั้งที่ไม่ยุ่งยาก มีความละเอียดดี และมีผลตอบสนองเป็นเชิงเส้น

2. รูปแบบของเซนเซอร์ความจุไฟฟ้า

ลักษณะของเซนเซอร์สำหรับวัดระดับของเหลวที่อาศัยเทคนิคการวัดความจุไฟฟ้าแบบกึ่งทรงกระบอกแสดงได้ โดยรูปแบบของหัววัดมีท่อทรงกระบอกกลวงที่ทำจากวัสดุที่เป็นฉนวนอย่างเช่น PVC, Teflon เป็นต้น และมีอิเล็กโตรดที่เป็นแผ่นกึ่งทรงกระบอกจะทำจากอลูมิเนียมมาห่อหุ้มท่อทรงกระบอก สำหรับการวิเคราะห์ค่าความจุไฟฟ้าของเซนเซอร์ความจุไฟฟ้าแบบกึ่งทรงกระบอกในกรณีที่โครงสร้างเซนเซอร์ความจุไฟฟ้าแบบกึ่งทรงกระบอกเมื่อไม่มีของเหลวเป็นไดอิเล็กตริก แสดงดังรูปที่ (1)



รูปที่ 1 ลักษณะโครงสร้างของหัววัด
a) กรณีไดอิเล็กตริกเป็นอากาศ
b) กรณีไดอิเล็กตริกเป็นอากาศและน้ำ

จากมุมมองด้านบนของเซนเซอร์ความจุไฟฟ้าแบบกึ่งทรงกระบอกเมื่อไม่มีของเหลวเป็น ไดอิเล็กตริก แผ่นโลหะทั้งสองของแบบกึ่งทรงกระบอกจะมีรัศมีเท่ากับ R และมีช่องว่างน้อยที่สุดเท่ากับ d และมีความหนาของวัสดุที่ใช้ติดแผ่นโลหะเท่ากับ d ดังนั้นการคำนวณค่าความจุไฟฟ้าของเซนเซอร์ความจุไฟฟ้าแบบกึ่งทรงกระบอกจะประยุกต์โดยใช้ทฤษฎีระเบียบวิธีเชิงตัวเลข[6] โครงสร้างของเซนเซอร์ความจุไฟฟ้าแบบกึ่งทรงกระบอกที่ใช้ทฤษฎีระเบียบวิธีเชิงตัวเลขจะแสดงในรูปที่ (2) โดยแบ่งแผ่นโลหะ 2 แผ่นที่อยู่ในรูปกึ่งทรงกระบอกของตัวเก็บประจุให้เป็นจำนวน n แผ่นซึ่งมีระยะห่างระหว่างแผ่นเพิ่มขึ้นเป็น Δd สมการวิเคราะห์หาค่าความจุไฟฟ้าระหว่างแผ่นโลหะ 2 แผ่นเล็กๆที่มีระยะห่างกันประมาณ d และมีพื้นที่เล็กๆ A แสดงได้ดังสมการที่ (1)

$$C = \int_0^a dc = \int_0^a \frac{\varepsilon_0 \cdot a \cdot dx}{d + x\theta}$$

$$= \frac{\varepsilon_0 \cdot \varepsilon_1 \cdot A}{d}\left[1 - \frac{a\theta}{d}\right] \qquad (1)$$

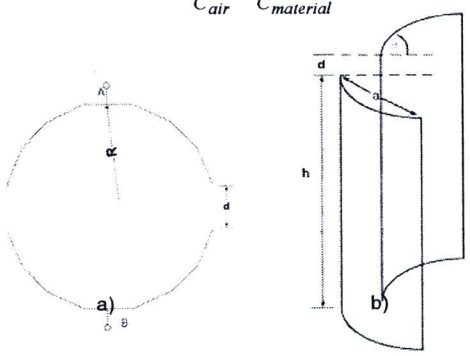
ถ้าคิดเซนเซอร์ความจุไฟฟ้าแบบกึ่งทรงกระบอกมีขนาดใหญ่มาก $(d \rangle\rangle \theta)$ ความจุไฟฟ้า สามารถเขียนใหม่ได้เป็น

$$C \cong \left[\frac{\varepsilon_0 \varepsilon_1 A}{d}\right] \qquad (2)$$

ดังนั้นค่าระยะห่างระหว่าง d ของแผ่นโลหะทั้งสองที่น้อยที่สุดจะเป็นปัจจัยหนึ่งที่สำคัญในการใช้ในคำนวณวิเคราะห์เชิงตัวเลขสำหรับเซนเซอร์ความจุไฟฟ้าแบบกึ่งทรงกระบอก

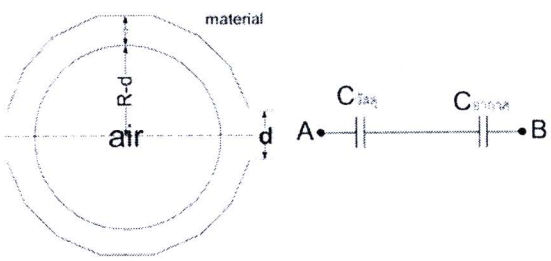
สำหรับแผ่นคู่ขนานเล็กๆสามารถหาค่าความจุไฟฟ้าได้โดยเปรียบเสมือนมีค่าความจุไฟฟ้าระหว่างตำแหน่ง A และ B ที่เกิดจากค่าไดอิเล็กตริกของวัสดุที่ใช้ทำท่อ และค่าไดอิเล็กตริกภายในท่อซึ่งในที่นี้คือ อากาศ โดยแสดงในรูปวงจรสมมูลของค่าความจุไฟฟ้าที่ต่ออนุกรมกันดังที่แสดงในรูปที่ (3) โดยใช้สมการที่ (3) สามารถหาผลรวมของความจุไฟฟ้าจากแผ่นคู่ขนานแบบกึ่งทรงกระบอกจำนวน n แผ่นเล็กๆที่แสดงในรูปวงจรสมมูลของค่าความจุไฟฟ้าดังในรูปที่ (4)

$$C = \left(\frac{1}{C_{air}} + \frac{1}{C_{material}}\right) \quad (3)$$



รูปที่ 2 รูปแบบสำหรับการวิเคราะห์
a) มุมมองด้านบน b) โครงสร้างในการคำนวณ

จากสมการพบว่าเมื่อกำหนดให้ค่าระยะห่างของแผ่นโลหะมีค่าคงที่ ค่าความจุไฟฟ้าจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับขนาดความสูงของหัววัด



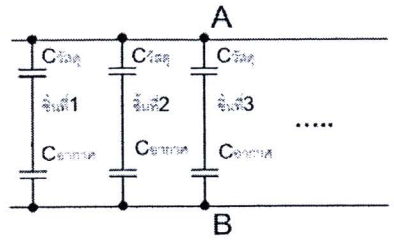
รูปที่ 3 วงจรสมมูลของค่าความจุไฟฟ้าเล็กๆสำหรับแผ่นคู่ขนานแบบกึ่งทรงกระบอก

ในกรณีมีไดอิเล็กตริกเป็นอากาศกับของเหลว โครงสร้างเซนเซอร์ความจุไฟฟ้าแบบกึ่งทรงกระบอก แสดงดังรูปที่ (5a) พบว่าค่าความจุไฟฟ้าของหัววัดจะแบ่งเป็นความจุไฟฟ้าที่ได้จากของเหลวรวมกับความจุไฟฟ้าที่เป็นอากาศ นั่นคือความจุไฟฟ้าของทั้งสองต่อกันแบบขนาน โดยกรณีไดอิเล็กตริกเป็นของอากาศจะมีขนาดความสูงเท่ากับ $h-L$ และส่วนไดอิเล็กตริกที่เป็นของเหลวมีขนาดความสูงเป็น L คำนวณหาค่าความจุไฟฟ้าได้จากสมการดังนี้

$$C = C_{liquid} + C_{air} \quad (4)$$

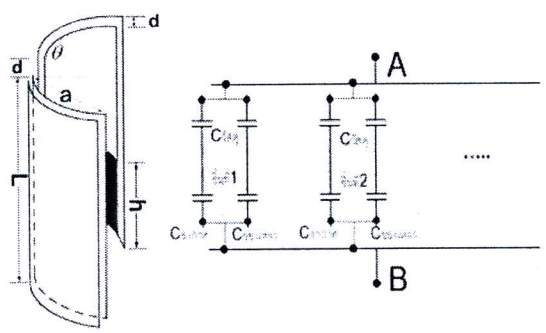
แต่วัสดุที่ใช้ทำหัววัดมีค่าไดอิเล็กตริกด้วย ดังนั้นต้องคิดค่าความจุไฟฟ้าที่ได้จากวัสดุด้วย แสดงการต่อกันดังวงจรสมมูลที่แสดงในรูปที่ (5b) สามารถหาค่าความจุไฟฟ้ารวมได้เป็น

$$C = \left(\frac{1}{C_{liquid}} + \frac{1}{C_{material}}\right) + \left(\frac{1}{C_{air}} + \frac{1}{C_{material}}\right) \quad (5)$$



รูปที่ 4 วงจรสมมูลของค่าความจุไฟฟ้ารวมสำหรับแผ่นคู่ขนานแบบกึ่งทรงกระบอก

เมื่อ ε_0 เป็นค่า permittivity of free space $(8.85pF/m)$ $\varepsilon_{material}$ เป็นค่าไดอิเล็กตริกของวัสดุ ε_{air} เป็นค่าไดอิเล็กตริกของอากาศ ε_{liquid} เป็นค่าไดอิเล็กตริกของของเหลว n เป็นจำนวนของแผ่นโลหะที่ถูกแบ่งย่อยที่ในการคำนวณ d เป็นค่าช่องว่างน้อยที่สุดระหว่างแผ่นโลหะ Δd เป็นค่าระยะห่างที่เพิ่มขึ้นของช่องว่างระหว่างแผ่นโลหะทั้งสอง และ A เป็นพื้นที่ของแผ่นโลหะ



a) b)

รูปที่ 5 โครงสร้างกรณีมีน้ำเป็นไดอิเล็กตริก
a) โครงสร้างในการคำนวณแผ่นโลหะ
b) วงจรสมมูลของค่าความจุไฟฟ้ารวม

3. ผลการวิจัย

ผลการทดลองโดยใช้หัววัดความจุไฟฟ้าแบบกึ่งทรงกระบอกที่สร้างขึ้นมาด้วยเครื่องมือวัด LCR รุ่น Aligent 4284A แสดงดังรูปที่ (6) เมื่อแผ่นโลหะนำไฟฟ้าทำจากวัสดุท่อ PVC เส้นผ่านศูนย์กลาง 6.3 เซนติเมตร ติดด้วยแผ่นอลูมิเนียม ขนาดความยาวของแผ่นโลหะเท่ากับ 30 เซนติเมตรและวางห่างกันเป็นระยะ 5.0 เซนติเมตร

ค่าความสามารถในการทำซ้ำ(Repeatability)

วัดความจุไฟฟ้าของหัววัด ตั้งแต่ระดับน้ำค่า 1 ถึง 30 เซนติเมตร โดยเพิ่มขึ้นครั้งละ 1 เซนติเมตร และทดลองซ้ำ 10 ครั้ง จะได้ค่าความสามารถในการทำซ้ำ เมื่อระยะห่างของแผ่นโลหะ 5.0 เซนติเมตร จะได้ค่าความสามารถในการทำซ้ำ 1.02 %

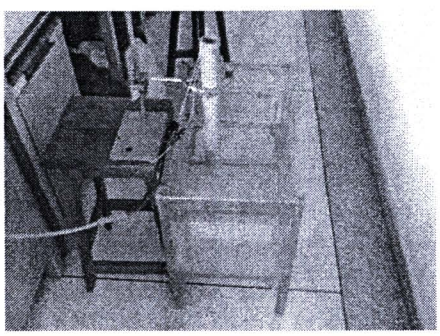
ค่าความเป็นเชิงเส้น(Linearity)

วัดความจุไฟฟ้าของหัววัดค่าที่ได้จะแปรผันตรงกับค่าระดับน้ำที่เปลี่ยนไปโดยค่าความจุไฟฟ้าอยู่ในช่วงพิโคฟารัด(pF)

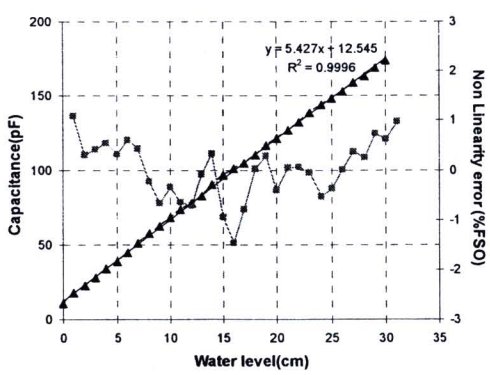
เมื่อระยะห่างของแผ่นโลหะ 5.0 เซนติเมตร แสดงคุณสมบัติความเป็นเชิงเส้นดังรูปที่ (7) และคำนวณผลค่าความไม่เป็นเชิงเส้นได้ค่าเป็น 1.31 % FSO

ค่าฮีสเตอรีซีส (Hysteresis)

เมื่อวัดความจุไฟฟ้าที่วัดได้เทียบกับระดับน้ำที่เปลี่ยนแปลงในลักษณะเพิ่มและลดระดับน้ำความสัมพันธ์ระหว่างค่าฮีสเตอรีซีสแสดงดังรูปที่ (8) เมื่อกำหนดให้ค่าความถี่คงที่เมื่อค่าระยะห่างระหว่างแผ่นโลหะเท่ากับ 5.0 เซนติเมตร จากกราฟได้ค่าฮีสเตอรรีซีสเท่ากับ 6.04 %FSO



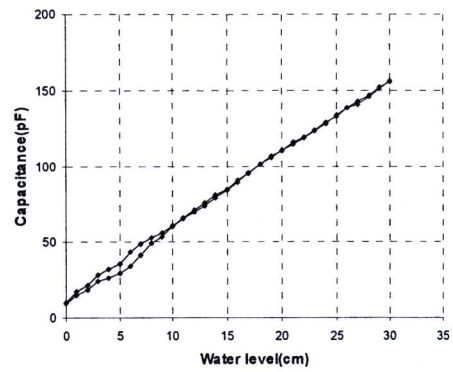
รูปที่ 6 หัววัดความจุไฟฟ้าแบบกึ่งทรงกระบอกที่ใช้ในการทดลอง



รูปที่ 7 ความสัมพันธ์ของค่าความจุไฟฟ้าและค่าผิดพลาดเนื่องจากความไม่เป็นเชิงเส้นกับระดับน้ำ เมื่อระยะห่างของแผ่นโลหะ 5 cm

4. สรุปผลการวิจัย

จากผลการใช้หัววัดความจุไฟฟ้าแบบกึ่งทรงกระบอกศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความจุไฟฟ้ากับระดับน้ำ โดยทำการวัดด้วยเครื่อง LCR และได้ทำการทดลองวัดระดับน้ำตั้งแต่ระยะ 1 ถึง 30 เซนติเมตร โดยเพิ่มขึ้นครั้งละ 1 เซนติเมตร ในแต่ละครั้งทดลองซ้ำ 10 ครั้ง ค่าที่ได้จะแปรผันตรงกับค่าระดับน้ำที่เปลี่ยนไปโดยค่าความจุไฟฟ้าอยู่ในช่วงพิโคฟารัด(pF) เมื่อระยะห่างของแผ่นโลหะเป็น 5.0 เซนติเมตร ได้ผลค่าความไม่เป็นเชิงเส้นได้ค่าเป็น 1.31 % FSO ค่าความสามารถในการทำซ้ำได้ค่าเป็น 1.02 % และค่าฮีสเทอรีซีสเท่ากับ 6.04% ค่าที่ได้ของการทำซ้ำอยู่ในช่วงที่ยอมรับได้



รูปที่ 8 ความสัมพันธ์ของ Hysteresis ของค่าความจุไฟฟ้ากับระดับน้ำ เมื่อระยะห่างของแผ่นโลหะ 5.0 cm

5. เอกสารอ้างอิง

[1] Donlagic D, Zavrsnik M,Sirotic I.2000.The use of one-dimensional acoustical gas resonator for fluid level measurements.*IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, Volume 49, Issue 5, Page(s):1095 – 1100.

[2] Tuan G, Qida Z, Qingying D, Hao Z, Lifang X, Guiling H, and Xiaoyi D.2005.Temperature-insensitive fiber Bragg grating liquid-level sensor based on bending cantilever beam. *IEEE Photonics Technology Letters*, Volume 17, Issue 11, Page(s):2400 – 2402.

[3] Eldar M and Sait E K.2003.A novel liquid level detection method and its implementation. *Sensors and Actuators A: Physical*,Volume109,Issue1,Page(s):21-24.

[4] Bera S C, Ray J K and Chattopadhyay S.2006.A low-cost noncontact capacitance-type level transducer for a conducting liquid. *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, Volume 55, Issue 3, Page(s):778 – 786.

[5] Ferren Reverter , Xiujun Li and Gerard C.M. Meijer.2007.Liquid-level measurement system based on a remote grounded capacitive sensor.*ScienceDirect Sensors and Actuators* A 138, Page(s):1-8.

[6] Cheng-Ta Chiang and Yu-Chung Huang.2006.A Semicylindrical Capacitive Sensor With Interface Circuit Used for Flow Rate Measurement. *IEEE SENSORS JOURNAL*, Volume 6, NO. 6.

[7] L. K. Baxter.1997.*Capacitive Sensors Design and Applications*. NewYork : IEEE Press.

ตอนที่ ๑๑ การบูชาพระพิฆเนศ

(ศรีศรีวิชัยมหาเทพ ตอนที่ ๑)

วันที่ 21 - 22 พฤศจิกายน 2552

ตามปรัชญาฮินดูนั้นการบูชาพระพิฆเนศ ถือว่า

ตามตำนานอินเดียนั้นเชื่อว่าพระพิฆเนศ

ประทานพรให้ใครได้บูชาก่อนใคร

ได้ทั้งปวงด้วยเช่นกัน

ดังนั้นพระพิฆเนศ จึงเป็นที่

ยอมรับนับถือว่าเป็นเทพเจ้าแห่งปัญญา

ตอนนี้ดิฉันขอเล่าถึงการบูชาพระพิฆเนศ

การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมศาสตร์มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ครั้งที่ 7
21-22 พฤษภาคม 2552

เทคนิคการวัดระดับน้ำที่ใช้อิเล็กโตรดซี่หวี

Water Level Measurement Technique based on Interdigital Electrode

วรสิน เยื้อนแย้ม* บุญเจริญ วงศ์กิตติศึกษา คณดิถ เจษฎ์พัฒนานนท์
ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ อ.หาดใหญ่ จ. สงขลา 90112
*E-mail: Vorasinjoe@hotmail.com

Vorasin Yuanyam* Boonchareon Wongkittisuksa and Kanadit Chetpattananondh
Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering, Prince of Songkla University, Hatyai, Songkhla 90112
*E-mail: Vorasinjoe@hotmail.com

บทคัดย่อ

บทความนี้เป็นการนำเสนอเทคนิคการวัดระดับน้ำด้วยการประยุกต์ใช้อิเล็กโตรดซี่หวี โดยนำอิเล็กโตรดซี่หวี่ไปจุ่มน้ำเมื่อระดับน้ำเปลี่ยนไปค่าความจุไฟฟ้าระหว่างอิเล็กโตรดภายในเกิดการเปลี่ยนแปลงตามไปด้วยแล้วแปลงออกมาในรูปแรงดัน ส่งผ่านไปแดงผลยังคอมพิวเตอร์ทางพอร์ตอนุกรม (RS232) สำ หรับผลการทดลองพบว่าความเป็นเชิงเส้นมีค่าความคลาดเคลื่อน เป็น 1.42%FSO และมีค่าคลาดเคลื่อนฮิสเทอรีซิสเป็น 3.87 %FSO

คำสำคัญ อิเล็กโตรดซี่หวี, เครื่องวัดระดับน้ำ, เซนเซอร์ความจุไฟฟ้า

Abstract

This paper is proposed an application of Interdigital Electrode for water level measurement. The electrode was immersed in water as liquid level was changed, a capacitance of electrode was changed as well. The change of capacitance due to the change of liquid level was converted to the voltage by a bridge circuit with microcontroller. The output was transmitted to the computer display with series port (RS 232). The experiment results found that the non-linearity error was 1.42 %FSO and the hysteresis error was 3.87 %FSO

Key Words: Interdigital Electrode, Water Level Measurement, Capacitive Sensor

1. บทนำ

ปัญหาระดับน้ำที่เปลี่ยนแปลงตลอดเวลาอาจส่งผลกระทบต่อการดำรงชีวิตประจำวันได้ ยกตัวอย่างเช่น เมื่อระดับน้ำเปลี่ยนแปลงแล้วส่งผลกระทบต่อการระบายน้ำจากตัวเมืองผ่านแม่น้ำลงสู่ทะเล ซึ่งได้ประสบปัญหาอุทกภัยเกิดขึ้นซึ่งส่งผลเสียหายต่อชีวิตและเศรษฐกิจ รวมทั้งยังส่งผลให้ปริมาณน้ำกร่อยบริเวณปากแม่น้ำและกระทบต่อระบบนิเวศพื้นบ้านอีกด้วย การระวังภัยก็ต้องมีเครื่องมือเพื่อตรวจวัดและเตือนภัย ที่ผ่านมามีการสร้างเครื่องวัดระดับของเหลวด้วยหลากหลายวิธี อาทิเช่น โดยวิธีการใช้คลื่นอัลตร้าโซนิค[1],[2] เทคนิคของเส้นใยแก้วนำแสง (Fiber-optic) [3],[4] จากข้างต้นยังมีข้อจำกัดบางประการ เช่น วัสดุการผลิต ราคา ความซับซ้อน

เพื่อลดความเสียหายทั้งชีวิตและทรัพย์สินจากอุทกภัย และการเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำ ดั้งนั้นงานวิจัยนี้จึงมีแนวคิดเพื่อศึกษาความเป็นไปได้ และออกแบบเครื่องวัดระดับน้ำในคลองเปิดโดยใช้อิเล็กโตรดซี่หวี ทำให้ชีวิตความเป็นอยู่ของประชาชนดีขึ้น โดยเครื่องวัดระดับน้ำที่สร้างขึ้น มีความเป็นเชิงเส้นที่ดี มีความน่าเชื่อถือ มีราคาถูกและสามารถหาวัสดุได้ในประเทศ

2. หลักการทำงานและการออกแบบ

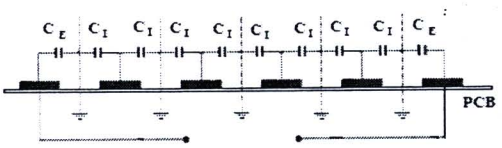
งานวิจัยนี้มุ่งเน้นไปที่การออกแบบและสร้างหัววัดอิเล็กโตรดซี่หวีที่ใช้วัดระดับน้ำเป็นหลักแล้วจึงส่งค่าที่ได้ไปแสดงผลยังจอคอมพิวเตอร์ ด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อประมวลผลและส่งค่าผ่านทางพอร์ตอนุกรม (RS232) เพื่อนำไปวิเคราะห์และประมวลเพื่อประโยชน์ด้านต่างๆ เช่นการวิเคราะห์ระดับน้ำเพื่อป้องกันน้ำหลาก เป็นต้น

2.1 ลักษณะของอิเล็คโตรดซี่หวี

ลักษณะของอิเล็กโตรดซี่หวีได้แสดงไว้ในรูปที่ 1 เป็นแผ่นพิมพ์ลายวงจรที่กัดเป็นลายซี่หวี โดยอาศัยหลักการของการเปลี่ยนค่าความจุไฟฟ้าระหว่างซี่หวีเมื่อระดับสารไดอิเล็คทริคที่เกาะบนอิเล็กโตรดเปลี่ยนไป สำหรับสารไดอิเล็คทริคในที่นี้คือน้ำ และอากาศ เมื่อระดับน้ำเพิ่มขึ้นคือไดอิเล็กตริกในส่วนของน้ำก็จะไปแทนพื้นที่ที่เป็นอากาศอยู่เดิม ค่าความจุทางไฟฟ้าก็เปลี่ยนไป โดยมีความสัมพันธ์คือ เมื่อระดับน้ำเพิ่มมากขึ้นค่าความจุก็เพิ่มขึ้น

รูปที่ 1 ลาย PCB ของแผ่นอิเล็คโตรด

โดยค่าความจุทางไฟฟ้าของแผ่นอิเล็คโตรดถูกมองเป็นตัวเก็บประจุหลาย ๆตัวนำมาต่อขนานกัน ดังที่แสดงไว้ในลักษณะของวงจรสมมูลในรูปที่ 2



รูปที่ 2 รูปแสดงวงจรสมมูลค่าความจุของอิเล็คโตรด

พิจารณาค่าความจุทางไฟฟ้าสามารถหาได้จากสมการ ที่ (1) โดยค่า C_E กับ C_I เป็นค่าความจุไฟฟ้าระว่างลายซี่หวีที่อยู่ด้านนอก และด้านในตามลำดับ ค่าความจุไฟฟ้ารวมหาได้จาก

$$C = (n-3)\frac{C_I}{2} + 2\frac{C_E C_I}{C_E + C_I}, n > 3 \qquad (1)$$

และค่าความจุทางไฟฟ้าที่วัดได้จากอิเล็คโตรดเกิดจากผลรวมของค่าความจุส่วนที่จมน้ำ และส่วนที่อยู่ในอากาศดังสมการที่ 2

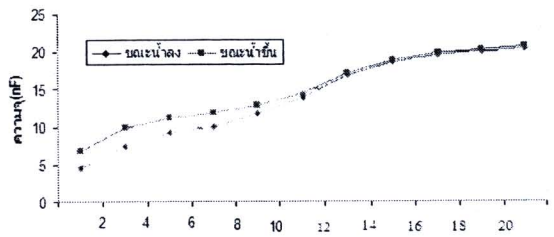
$$C_x = C_w + C_a \qquad (2)$$

C_x = ค่าความจุไฟฟ้ารวมที่วัดได้

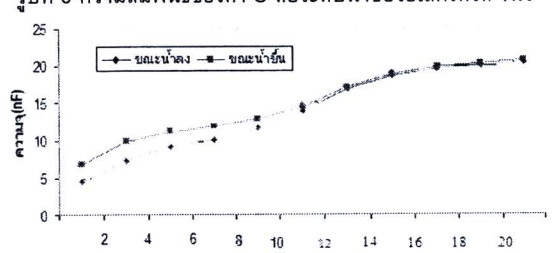
C_w = ค่าความจุไฟฟ้ารวมของส่วนที่จมในน้ำ

C_a = ค่าความจุไฟฟ้ารวมที่ลอยอยู่ในอากาศ

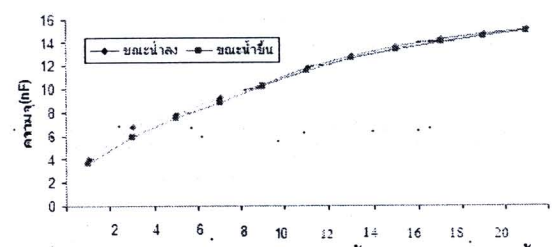
ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความจุไฟฟ้าของอิเล็กโตรดซี่หวีที่มีขนาดความกว้างต่างกัน(ขนาด 1นิ้ว, 2นิ้ว, และ 3นิ้ว) และระดับน้ำขณะที่น้ำขึ้น และลงตามลำดับ ได้แสดงดังรูปที่ 3-4 (สำหรับการทดลองนี้ใช้เครื่องมือวัด LCR รุ่น Aligent 4284A วัดค่าความจุไฟฟ้าของอิเล็กโตรดซี่หวี)



รูปที่ 3 ความสัมพันธ์ของค่า C ต่อระดับน้ำของอิเล็กโทรด 1นิ้ว



รูปที่ 4 ความสัมพันธ์ของค่า C ต่อระดับน้ำของอิเล็กโทรด 2 นิ้ว



รูปที่ 5 ความสัมพันธ์ของค่า C ต่อระดับน้ำของอิเล็กโทรด 3 นิ้ว

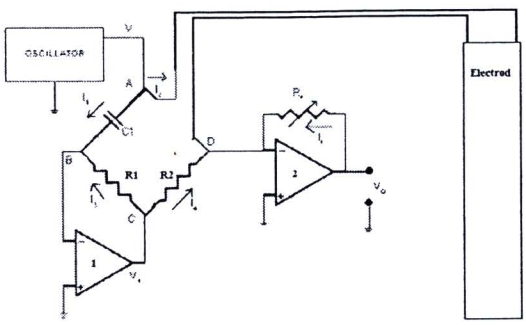
จากผลการทดลองพบว่าขนาดอิเล็กโตรดมีผลต่อความไวของเครื่องมือวัดโดยที่อิเล็กโตรดที่มีขนาด 3 นิ้ว มีค่าความเป็นเชิงเส้นมากกว่า และมีค่าคลาดเคลื่อนฮิสเทอรีซิสต่ำกว่านั้นคือ 3.87%FSO ดังนั้นในการพัฒนาครั้งนี้จึงเลือกอิเล็กโตรดที่มีขนาด 3 นิ้ว

2.2 วงจรปรับแต่งสัญญาณ

สำหรับในรายละเอียดของวงจรปรับแต่งสัญญาณได้ประยุกต์ใช้วงจรบริดจ์แบบ De' Sauty [5] พร้อมวงจรขยายดังที่แสดงไว้ในรูปที่ 6 จากวงจรในรูปที่ 6 ออปแอมป์ตัวที่1 ทำให้จุด B และจุด D เป็นกราวด์เสมือน และ ออปแอมป์ตัวที่ 2 ทำหน้าที่ขยายสัญญาณ โดยการจ่ายแรงดัน V (4.5 V) ให้กับบริดจ์ด้วยความถี่คงที่ f (1 kHz) กระแสที่ไหลในกิ่ง AB, AD, BC, and CD เป็นดังนี้

$$I_1 = jVC_1\omega \qquad (3)$$

$$I_2 = jVC_x\omega \quad (4)$$
$$I_3 = V_1 / R_1 \quad (5)$$
$$I_4 = V_1 / R_2 \quad (6)$$
$$I_f = V_0 / R_f \quad (7)$$
$$I_3 + I_1 = 0 \quad (8)$$
$$V_1 = jVC_x\omega R_1 \quad (9)$$
$$I_4 + I_2 + I_f = 0 \quad (10)$$

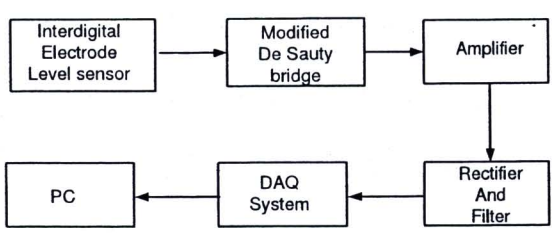


รูปที่ 6 วงจรปรับแต่งที่ใช้งาน

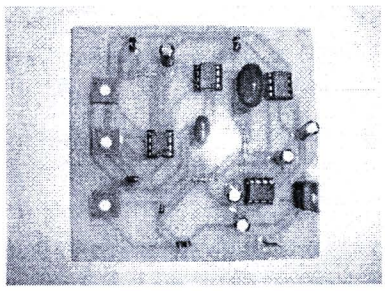
เมื่อระดับน้ำเกิดการเปลี่ยนแปลงค่าความจุทางไฟฟ้าก็เปลี่ยนแปลงเท่ากับ dC_x จะได้แรงดันด้านออก V_0 ดังสมการที่ 11

$$V_0 = j\omega R_f V dC_x \quad (11)$$

บล็อกไดอะแกรมของระบบปรับแต่งสัญญาณสำหรับในการแปลงสัญญาณขาออกของวงจรบริดจ์ที่มีขนาดเล็กไปเป็นสัญญาณขาออกขนาดใหญ่ได้โดยใช้วงจรขยายออปแอมป์ OP07 ดังแสดงไว้ในรูปที่ 7 ระดับสัญญาณที่ได้ถูกขยายแล้วจะถูกแปลงไปเป็นระดับสัญญาณกระแสตรงด้วยวงจรกรองเรียงกระแส (Rectifier and filter) หลังจากนั้นระดับแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่ได้แปลงแล้วก็จะถูกส่งไปยังช่องขาเข้าของระบบ DAQ ที่เชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์สำหรับแสดงผลต่อไป และแผ่นพิมพ์วงจรของระบบปรับแต่งสัญญาณดังที่ได้กล่าวข้างต้นแสดงได้ดังในรูปที่ 8



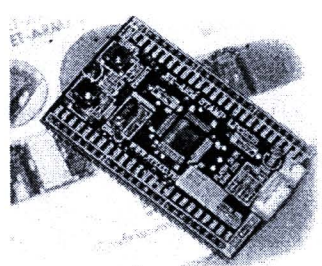
รูปที่ 7 บล็อกไดอะแกรมของระบบปรับแต่งสัญญาณ



รูปที่ 8 แผ่นพิมพ์วงจรของระบบปรับแต่งสัญญาณ

2.3 DAQ SYSTEM

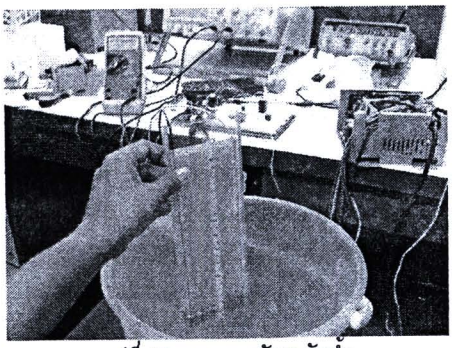
สำหรับ DAQ SYSTEM เลือกใช้ Microcontroller ARM-7 STAMP LPC2138 ซึ่งแสดงดังรูป 9 ซึ่งเป็นบอร์ดไมโครคอนโทรเลอร์ในตระกูลARM7TDMI-S Core เลือกใช้ไมโครคอนโทรเลอร์ 16/32บิต ขนาด64 ขา แบบใช้พลังงานต่ำ และเลือกใช้ MCU เบอร์ LPC2138 ของPhilips โดยการออกแบบโครงสร้างของบอร์ดเน้นการจัดวางบอร์ดให้มีขนาดเล็กเพื่อให้ง่ายต่อการนำไปประยุกต์ใช้งาน โดยได้นำMCU มาจัดวงจรร่วมกับอุปกรณ์ พื้นฐานที่จำเป็นและจัดขาออกมาให้ใช้งานภายนอก ซึ่งการจัดเรียงขาสัญญาณจะทำการจัดเรียงอย่างเป็นระเบียบเพื่อให้สามารถต่อใช้งานได้โดยสะดวกตัวบอร์ดใช้ไฟ +3.3 โวลต์ สามารถรองรับ I/O ที่เป็นสัญญาณ 5 โวลต์ ได้ ตัวบอร์ดมีชุดเชื่อมต่อ (Connector) UART0 (RS-232) จำนวน 1 พอร์ต (Port) สำหรับทำการ Download Hex File หรือใช้งานในการสื่อสาร RS-232



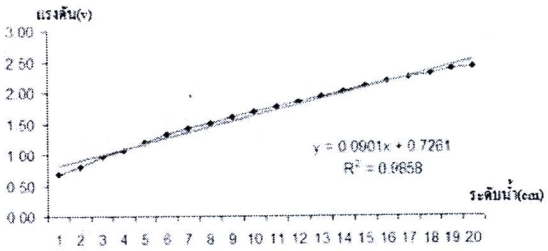
รูปที่ 9 ARM 7

3. การทดลองและผลการทดลอง

สำหรับในการทดสอบระบบในที่นี้ได้ทำการทดลองวัดระดับน้ำในถังระหว่างช่วงระดับ 0 - 22 cm ด้วยเครื่องวัดระดับน้ำที่ใช้หัววัดแบบอิเล็กโตรดซี่หวีที่ออกแบบและพัฒนาดังแสดงในรูปที่ 10 สำหรับผลการทดลองที่เกิดจากการวัดระดับน้ำที่ระดับเดียวกันเป็นจำนวน 10 ครั้งแล้วหาค่าเฉลี่ย นำมาหาความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันทางไฟฟ้า และระดับน้ำได้ดังในรูปที่ 11 จากรูปที่ 11 จะพบว่าระดับแรงดันเอาท์พุตที่ได้มีความเป็นเชิงเส้นที่ค่อนข้างสูง

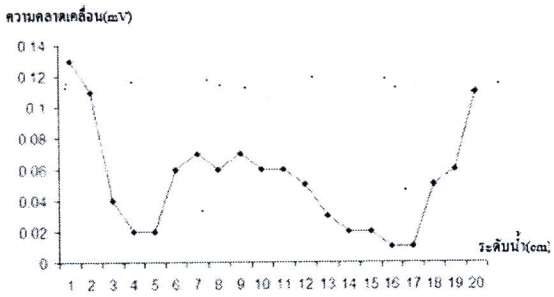


รูปที่ 10 แสดงการวัดระดับน้ำ



รูปที่ 7 ความสัมพันธ์ของแรงดันไฟฟ้าและระดับน้ำ

เมื่อนำมาพิจารณาค่าความคลาดเคลื่อนเชิงเส้นจะได้ผลแสดงดังในรูปที่ 8 ค่าความคลาดเคลื่อนเชิงเส้นต่ำนั้นคือ 1.42%FSO



รูปที่ 8 ค่าความคลาดเคลื่อนเชิงเส้น

4. สรุปและวิจารณ์ผล

เครื่องวัดระดับน้ำที่ออกแบบสามารถใช้วัดระดับน้ำได้จริง โดยมีความคลาดเคลื่อนและฮิสเทอรีซิสที่ต่ำทำให้ค่าที่วัดได้มีความน่าเชื่อถือ นอกจากนี้ยังใช้วัสดุที่หาได้ง่ายในประเทศ และมีราคาถูกมากเมื่อเทียบกับเครื่องมือวัดทั่วไป ดังนั้นจึงมีความเป็นไปได้ที่สามารถสร้างได้ในจำนวนมาก ๆเพื่อใช้ในการเฝ้าระวังอุทกภัย รวมทั้งระบบตรวจเฝ้าระวังระดับในแม่น้ำ และทะเลได้

เอกสารอ้างอิง

[1] L.C. Lynnworth, Ultrasonic measurements for process control,Academic Press, New York, 1989.

[2] S.G. Joshi, Y. Jin, Propagation of ultrasonic Lamb waves in piezoelectric plates, J. Appl. Phys. 70 (8) (1991) 4113–4120

[3] K. Iwamoto, I. Kamata, Liquid-level sensor with optical fibers, Appl. Opt. 31(1992) 51–54.

[4] Tuan, G., Qida, Z., Qingying, D., Hao, Z., Lifang, X., Guiling, H., and Xiaoyi, D.2005.Temperature-insensitive fiber Bragg grating liquid-level sensor based on bending cantilever beam. *IEEE Photonics Technology Letters*, Volume 17, Issue 11, Page(s):2400 – 2402.

[5] Bera, S.C., Ray, J.K., and Chattopadhyay, S., 2006, "A low-cost noncontact capacitance- type level transducer for a conducting liquid", Instrumentation and Measurement, IEEE Transactions on Volume 55, Issue 3, Page(s):778 – 786

[6] Dieulesaint, E., Royer, D., Legras, O., and Boubenider, F., 1987, "A Guided Acoustic Wave Liquid Level Sensor", Ultrasonic Symposium, IEEE, Page(s):569 – 572.

[7] Royer, D., Levin, L., and Legras, O., 1993,"A liquid level sensor using the absorption of guided acoustic waves" , Transactions on Volume 40, Issue 4, Page(s):418 – 421.

[8] โอภาส ศิริครรชิตถาวร. 2548. เรียนรู้ และ พัฒนาไมโครคอนโทรเลอร์ ARM7 ด้วยภาษาซี. สำนักพิมพ์ห้างหุ้นส่วนจำกัด กราฟิกเมลอน, ปทุมธานี, หน้า 1-10

เซนเซอร์ความจุไฟฟ้าแบบกึ่งทรงกระบอกสำหรับวัดระดับของเหลว

SEMICYLINDRICAL CAPACITIVE TRANSDUCER FOR LIQUID LEVEL MEASUREMENT

ศุภกร กตาธิการกุล[1] บุญเจริญ วงศ์กิตติศึกษา พรชัย พฤกษ์ภัทรานนต์ คณติถ เจษฎ์พัฒนานนท์
ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ อ.หาดใหญ่ จ. สงขลา 90112
[1]E-mail: supagone@hotmail.com

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอเซนเซอร์ความจุไฟฟ้ากึ่งทรงกระบอกสำหรับวัดระดับของเหลว โดยหัววัดเป็นท่อทรงกระบอกกลวงทำจากวัสดุที่เป็นฉนวน(PVC, .Teflon เป็นต้น) ที่ห่อหุ้มด้วยแผ่นอิเล็กโตรดกึ่งทรงกระบอกที่ทำจากอลูมิเนียม 2 ชุดโดยชุดล่างจะจมอยู่ใต้ระดับของเหลวตลอดเพื่อใช้เป็นความจุไฟฟ้าอ้างอิงของของเหลว และชุดบนใช้ตรวจวัดระดับของเหลวที่เปลี่ยนแปลง ความจุไฟฟ้าระหว่างแผ่นอิเล็กโตรดกึ่งทรงกระบอกทั้งสองชุดสามารถวัดค่าได้โดยใช้วงจรบริดจ์แบบ De-Sauty ให้อยู่ในรูปแรงดันทางไฟฟ้า โดยที่ระดับของเหลวต่างชนิดกันสามารถตรวจวัดได้จากผลต่างของแรงดันไฟฟ้าของแผ่นอิเล็กโตรดกึ่งทรงกระบอกทั้งสองชุด ทฤษฎีระเบียบวิธีเชิงตัวเลขได้ถูกนำมาใช้วิเคราะห์ และอธิบายถึงความสัมพันธ์เชิงเส้นระหว่างความจุไฟฟ้าของหัววัดและระดับของเหลว

คำสำคัญ : การวัดระดับของเหลว, เซนเซอร์ความจุไฟฟ้าแบบกึ่งทรงกระบอก, วงจรบริดจ์แบบ De-Sauty

Abstract

This paper presents a semicylindrical capacitive sensor for liquid level measurement. The sensor consists of a uniform hollow cylinder made of insulating material (like PVC, Teflon, etc.) covered with two segments of two semicylindrical aluminuim electrodes. The bottom segment of semicylindrical electrodes is the reference capacitor, which is sinked into liquid. The top segment of semicylindrical electrodes is the sensing capacitor for liquid level measurement. The capacitive variation of this transducer is in pF-range due to the change of liquid level inside an insulating hollow cylinder, which can be measured by De-Sauty bridge circuit. The level measurement from different liquid can be detected by voltage difference of two segments of semicylindrical electrodes. The linear relation between the capacitance of this probe and the liquid level is analyzed and discussed using the numerical method.

Keyword : liquid level measurement, semicylindrical capacitive tranducer, De-Sauty bridge circuit.

1. บทนำ

ปัจจุบันการวัดระดับของเหลวได้เข้ามามีบทบาทในการเฝ้าระวังปัญหาระดับน้ำที่เปลี่ยนแปลงตลอดเวลาซึ่งอาจส่งผลกระทบต่อการดำรงชีวิตประจำวันได้ และมีส่วนสำคัญในทางกระบวนการผลิตในอุตสาหกรรมเป็นอย่างมาก เทคนิคหนึ่งที่ได้นำมาใช้ตรวจวัดระดับของเหลว คือ การวัดค่าความจุไฟฟ้า[1-3] เนื่องจากสามารถที่จะลดปัญหาเกี่ยวกับเทคนิคการสร้าง ข้อจำกัดทางด้านราคา มีผลตอบสนองเชิงเส้นและง่ายต่อการใช้งาน โดยมีหลักการพื้นฐานคือการใช้ขั้วไฟฟ้า 2 ขั้ว จุ่มลงไปในของเหลวเพื่อวัดระดับของเหลวด้วยการวัดปริมาณไดอิเล็กตริกของของเหลวซึ่งมีอยู่ในคุณสมบัติของของเหลวอาทิเช่น ความเข้มข้น สารแขวนลอย และการเจือปน อย่างไรก็ตามเมื่อค่าไดอิเล็กตริกเปลี่ยนจะส่งผลต่อค่าที่ตรวจวัดได้ สำหรับเทคนิคการวัดความจุไฟฟ้าของอิเล็กโตรดแบบกึ่งทรงกระบอกซึ่งมีข้อดีในด้านรูปทรงที่ไม่ต้านการไหลของน้ำได้ถูกนำเสนอเพื่อวัดระดับของเหลวชนิดที่แตกต่างกันได้ [4] โดยเปลี่ยนค่าความจุไฟฟ้าที่วัดได้ให้อยู่ในรูปความถี่ และใช้ชุดอิเล็กโตรดกึ่งทรงกระบอก 2 ชุดโดยให้ชุดล่างจมอยู่ในระดับของเหลวตลอดเพื่อใช้เป็นความจุไฟฟ้าอ้างอิง และอีกชุดใช้สำหรับตรวจวัดระดับของเหลว จากนั้นวัดค่าความแตกต่างของความถี่ทั้งสองทำให้สามารถตรวจวัดระดับของเหลวที่ต่างชนิดกันได้ อย่างไรก็ตามการแปลงค่าความจุไฟฟ้าในรูปความถี่ยังให้ผลตอบสนองที่ช้า ดังนั้นจึงได้แนวคิดในการประยุกต์สร้างวงจรสำหรับวัดค่าความจุไฟฟ้าเนื่องจากระดับของเหลวเปลี่ยนแปลงที่มีความคล่องตัว ราคาถูก ใช้งานง่าย และพกพาสะดวก

วงจรที่ใช้วัดค่าความจุไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงเนื่องจากระดับของเหลวมีอยู่หลายประเภทด้วยกัน อาทิเช่น การแปลงค่าความจุไฟฟ้าไปเป็นความถี่ เทคนิคแปลงค่าความจุไฟฟ้าเป็นกระแสไฟฟ้า เทคนิคการวัดค่าคงที่ทางเวลา (Time constant) เทคนิควงจรดีมอดูเลตแบบซิงโครนัส เป็นต้น [5] จากการศึกษาพบว่าเทคนิคต่างๆ เหล่านี้มีรูปแบบโครงสร้าง และอุปกรณ์จำนวนมากไม่เหมาะสมในการใช้งาน

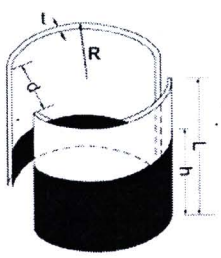
งานวิจัยนี้นำเสนอเทคนิคสำหรับตรวจวัดระดับของเหลวโดยวัดค่าความจุไฟฟ้าระหว่างแผ่นอิเล็กโตรดแบบกึ่งทรงกระบอกด้วยการใช้วงจรบริดจ์แบบ De-Sauty เพื่อใช้ตรวจวัดระดับของเหลวต่างชนิดกัน ซึ่งเป็นวงจรอย่างง่าย ราคาถูกและไม่ซับซ้อน ความละเอียดและผลตอบสนองเป็นเชิงเส้นที่ดีของอิเล็กโตรดแบบกึ่งทรงกระบอกนี้

GN 012

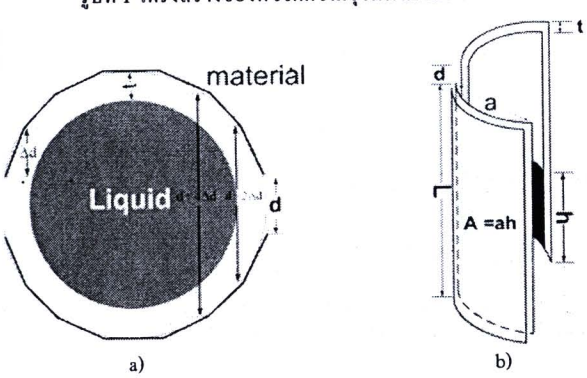
ได้อธิบายและทดลองในการศึกษาหัววัดความจุไฟฟ้าแบบกึ่งทรงกระบอก [6] สำหรับบทความนี้เป็นการยืนยันความสัมพันธ์เชิงเส้นระหว่างความจุไฟฟ้าภายในอิเล็กโตรดกึ่งทรงกระบอก และระดับของเหลว โดยประยุกต์ใช้ทฤษฎีระเบียบวิธีเชิงตัวเลข

2. เซนเซอร์ความจุไฟฟ้าแบบกึ่งทรงกระบอก

เซนเซอร์ความจุไฟฟ้าสำหรับวัดระดับของเหลวที่อาศัยเทคนิคการวัดความจุไฟฟ้าแบบกึ่งทรงกระบอกมีลักษณะดังที่แสดงในรูปที่ 1 โดยมีรูปแบบเป็นท่อทรงกระบอกกลวงที่มีรัศมีเท่ากับ R ความยาวเป็น L มีความหนาเป็น t ซึ่งทำจากวัสดุที่เป็นฉนวน อย่างเช่น พีวีซี, เทฟลอน เป็นต้น และมีอิเล็กโตรดที่เป็นแผ่นกึ่งทรงกระบอกทำจากอลูมิเนียม หรือแผ่นโลหะที่นำไฟฟ้ามาห่อหุ้มท่อฉนวนทรงกระบอก โดยมีระยะห่างระหว่างแผ่นอิเล็กโตรดเป็น d สามารถหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าความจุไฟฟ้าภายในทรงกระบอกและระดับของเหลวได้ด้วยการประยุกต์ใช้ทฤษฎีระเบียบวิธีเชิงตัวเลข [7] ด้วยการแบ่งแผ่นโลหะ 2 แผ่นที่อยู่ในรูปกึ่งทรงกระบอกของตัวเก็บประจุให้เป็นจำนวน n แผ่นเล็กๆที่มีระยะห่างระหว่างแผ่นที่เพิ่มขึ้นเป็น Δd ดังแสดงไว้ในรูปที่ 2 โดยรูปที่ 2a แสดงเป็นมุมมองด้านบนแผ่นโลหะทั้งสองของแบบกึ่งทรงกระบอก และ รูปที่ 2b แสดงถึงแผ่นโลหะ 2 แผ่นเล็กๆที่ถูกแบ่งจากแผ่นอิเล็กโตรดกึ่งทรงกระบอก



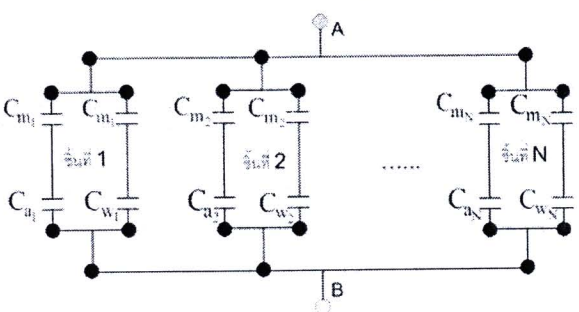
รูปที่ 1 โครงสร้างของหัววัดความจุไฟฟ้าแบบกึ่งทรงกระบอก



รูปที่ 2 รูปแบบสำหรับการวิเคราะห์ a) มุมมองด้านบน b) แผ่นอิเล็กโตรดกึ่งทรงกระบอกที่ถูกแบ่งเป็นแผ่นเล็กๆ

ในการวัดระดับของเหลว พบว่าค่าความจุไฟฟ้าแบ่งได้เป็นความจุไฟฟ้าเนื่องจากส่วนที่จุ่มลงของเหลวซึ่งมีขนาดความสูงเป็น h รวมกับความจุไฟฟ้าเนื่องจากส่วนที่เป็นอากาศซึ่งมีความสูงที่เหลือเท่ากับ L-h เมื่อ L คือความยาวของท่อ ความจุไฟฟ้าของทั้งสองนี้ต่อกันแบบขนาน แต่หัววัดแบบกึ่งทรงกระบอกที่สร้างขึ้นนี้มีขอบความหนาของท่อเป็น t ดังนั้นจึงต้องคำนึงถึงค่าความจุไฟฟ้าเนื่องจากความหนาของท่อด้วย ซึ่งสามารถแสดงวงจรสมมูลของค่าความจุไฟฟ้ารวมดังรูปที่ 3 โดยที่หาค่าความจุไฟฟ้ารวมได้ดังนี้

$$C=\frac{C_{m_1}C_{a_1}}{C_{a_1}+C_{m_1}}+\frac{C_{m_1}C_{w_1}}{C_{w_1}+C_{m_1}}+\ldots \ldots\ldots+\frac{C_{m_N}C_{a_N}}{C_{a_N}+C_{m_N}}+\frac{C_{m_N}C_{w_N}}{C_{w_N}+C_{m_N}} \quad (1)$$



รูปที่ 3 วงจรสมมูลของค่าความจุไฟฟ้ารวม

เมื่อกำหนดให้ ความจุไฟฟ้ารวมส่วนของเหลวกับวัสดุ (C_1) และค่าความจุไฟฟ้ารวมส่วนของอากาศกับวัสดุ (C_2) เมื่อ

$$C_1=\frac{C_{m_1}C_{w_1}}{C_{w_1}+C_{m_1}}+\ldots+\frac{C_{m_N}C_{w_N}}{C_{w_N}+C_{m_N}} \quad (2)$$

โดยที่ $C_{m_1},C_{m_2},\ldots,C_{m_{(n-1)}}=\frac{\varepsilon_0\varepsilon_m A}{t}, C_{m_N}=\frac{\varepsilon_0\varepsilon_m A}{2t}$

$$C_{w_1},C_{w_2},\ldots,C_{w_{n-1}}=\frac{\varepsilon_0 A}{\frac{2(n-1)\Delta d}{\varepsilon_m}+\frac{d+2(n-1)\Delta d}{\varepsilon_w}}, \quad C_{w_N}=\frac{\varepsilon_0\varepsilon_w A}{2(R-t)}$$

และ $\Delta d=\frac{2R-d}{2N}, A=ah=\left(\frac{\pi R-d}{N}\right)h$

ดังนั้น

$$C_1=\varepsilon_0\left(\frac{\pi R-d}{N}\right)h\left(2\sum_{n=1}^{N}\left(\frac{1}{\frac{t}{\varepsilon_m}+\frac{2(n-1)\Delta d}{\varepsilon_m}+\frac{d+2(n-1)\Delta d}{\varepsilon_w}}\right)+\frac{1}{\frac{2t}{\varepsilon_m}+\frac{2(R-t)}{\varepsilon_w}}\right) \quad (3)$$

และ

$$C_2=\frac{C_{m_1}C_{a_1}}{C_{a_1}+C_{m_1}}+\ldots\ldots+\frac{C_{m_N}C_{a_N}}{C_{a_N}+C_{m_N}} \quad (4)$$

โดยที่ $C_{a_1}, C_{a_2}, \ldots, C_{a_{n-1}} = \dfrac{\varepsilon_0 A}{\dfrac{2(n-1)\Delta d}{\varepsilon_m} + \dfrac{d+2(n-1)\Delta d}{\varepsilon_a}}$, $C_{a_N} = \dfrac{\varepsilon_0 \varepsilon_a A}{2(R-t)}$

ดังนั้น

$$C_2 = \varepsilon_0 \left(\frac{\pi R - d}{N}\right)(L-h)\left(2\sum_{n=1}^{N}\left(\frac{1}{\frac{t}{\varepsilon_m}} + \frac{1}{\frac{2(n-1)\Delta d}{\varepsilon_m} + \frac{d+2(n-1)\Delta d}{\varepsilon_a}}\right) + \frac{1}{\frac{2t}{\varepsilon_m} + \frac{2(R-t)}{\varepsilon_a}}\right) \quad (5)$$

เมื่อกำหนดให้

$$k_1 = \frac{\varepsilon_0(\pi R - d)}{N}\left[2\sum_{n=1}^{N}\left(\frac{1}{\frac{t}{\varepsilon_m}} + \frac{1}{\frac{2(n-1)\Delta d}{\varepsilon_m} + \frac{d+2(n-1)\Delta d}{\varepsilon_w}}\right) + \frac{1}{\frac{2t}{\varepsilon_m} + \frac{2(R-t)}{\varepsilon_w}}\right]$$

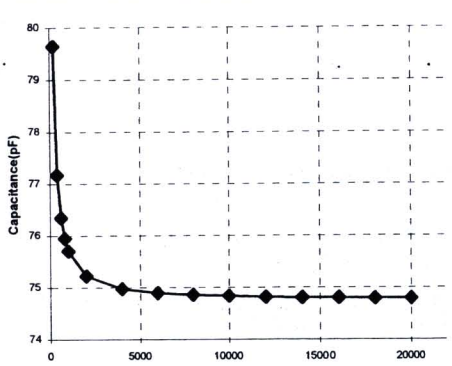
และ

$$k_2 = \frac{\varepsilon_0(\pi R - d)}{N}\left[2\sum_{n=1}^{N}\left(\frac{1}{\frac{t}{\varepsilon_m}} + \frac{1}{\frac{2(n-1)\Delta d}{\varepsilon_m} + \frac{d+2(n-1)\Delta d}{\varepsilon_a}}\right) + \frac{1}{\frac{2t}{\varepsilon_m} + \frac{2(R-t)}{\varepsilon_a}}\right]$$

ดังนั้นเขียนสมการใหม่ได้คือ

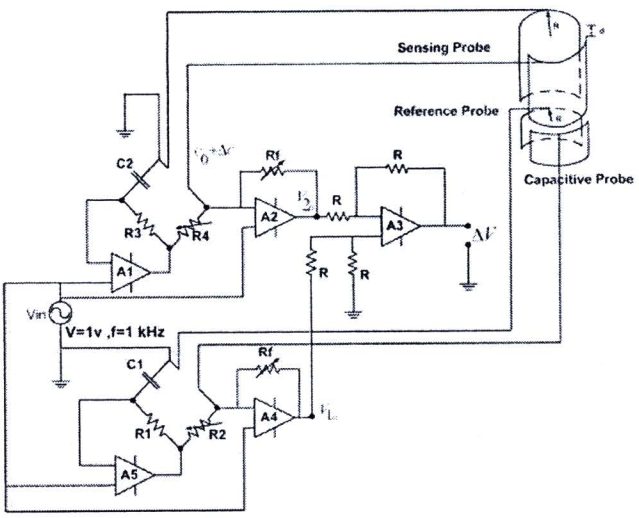
$$C = (L-h)k_2 + hk_1 \quad (6)$$

เมื่อ ε_0 เป็นค่าสภาพยอม(Permittivity) ของอากาศว่าง (8.85 pF/m) ε_m เป็นค่าไดอิเล็กตริกของวัสดุ ε_a เป็นค่าไดอิเล็กตริกของอากาศ ε_w เป็นค่าไดอิเล็กตริกของของเหลว และ A เป็นพื้นที่ของแผ่นโลหะ ผลการคำนวณค่าความจุไฟฟ้าเมื่อระดับน้ำเป็น 0.10 เมตร โดยการแทน n ตั้งแต่ 200 ถึง 20,000 ชิ้นในสมการที่ 6 พบว่าค่าความจุไฟฟ้าของหัววัดจะมีค่าเริ่มคงที่เมื่อจำนวน n เท่ากับ 10,000 ชิ้น แสดงดังรูปที่ 4 ดังนั้นในการคำนวณหาค่าความจุไฟฟ้าของหัววัดที่นำเสนอในบทความนี้จะใช้จำนวน n เท่ากับ 10,000 ชิ้น



รูปที่ 4 ค่าความจุไฟฟ้าที่ได้จากการคำนวณเมื่อ n แตกต่างกัน

รูปที่ 5 แสดงถึงเทคนิคการวัดค่าความจุไฟฟ้าที่เปลี่ยนไปเนื่องจากระดับของของเหลวที่เปลี่ยนไป เพื่อให้สามารถตรวจวัดระดับของเหลวต่างชนิดกันได้โดยใช้ชุดอิเล็กโตรดกึ่งทรงกระบอก 2 ชุด และใช้วงจรบริดจ์ De-Sauty [1] เป็นวงจรปรับแต่งสัญญาณ



รูปที่ 5 วงจรบริดจ์ De-Sauty ที่ประยุกต์ใช้วัดของเหลวต่างชนิดกัน

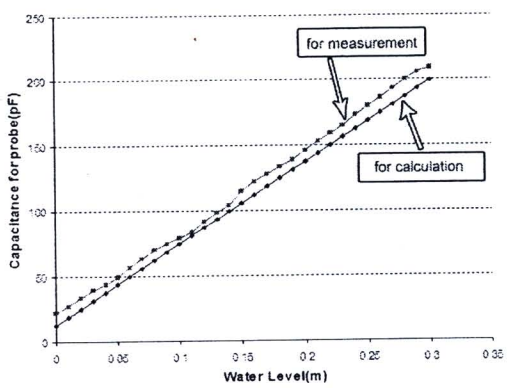
จากรูปที่ 5 อิเล็กโตรดกึ่งทรงกระบอกชุดล่างจมอยู่ใต้ระดับของเหลวตลอดเพื่อใช้วัดความจุไฟฟ้าอ้างอิงของของเหลวซึ่งแปลงไปเป็นค่าแรงดันไฟฟ้า V_{1O} และอิเล็กโตรดกึ่งทรงกระบอกชุดบนใช้วัดความจุไฟฟ้าของของเหลวเมื่อระดับของของเหลวเปลี่ยนแปลงซึ่งแปลงไปเป็นค่าแรงดันไฟฟ้า V_{2O} โดยมีวงจรขยายสัญญาณผลต่าง A_3 เพื่อหาค่าผลต่างระหว่างแรงดันไฟฟ้า V_{2O} และ V_{1O} ซึ่งจะได้ผลต่างของค่าแรงดันไฟฟ้าออก (ΔV) ของชุดอิเล็กโตรดกึ่งทรงกระบอกทั้ง 2 ชุด ยังมีค่าเท่าเดิม ถึงแม้จะวัดของเหลวต่างชนิดกันที่มีค่าไดอิเล็กตริกต่างกัน

3. วิธีการและการทดลอง

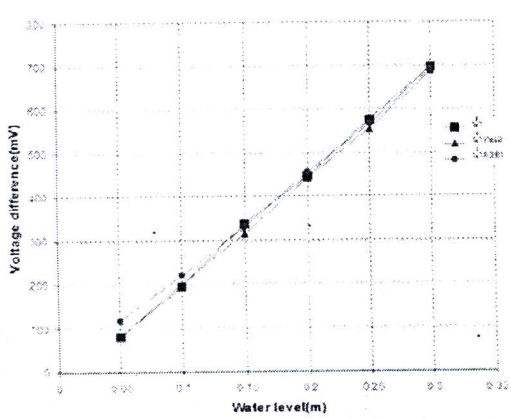
ในการทดลองได้ใช้เซนเซอร์ความจุไฟฟ้าแบบกึ่งทรงกระบอกวัดระดับของเหลว เมื่อมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.063 เมตร ขนาดความยาวของแผ่นโลหะเท่ากับ 0.30 เมตร ความหนาของท่อพีวีซีเท่ากับ 0.005 เมตร วัดค่าความจุไฟฟ้าด้วยเครื่องมือวัด LCR ยี่ห้อ Aligent รุ่น4284A เปรียบเทียบกับผลการคำนวณค่าความจุไฟฟ้าโดยสมการที่ 6 เมื่อกำหนดให้ n เป็นจำนวนของแผ่นโลหะที่ถูกแบ่งย่อยเท่ากับ 10,000 ชิ้น แผ่นอิเล็กโตรดวางห่างกันเป็นระยะ 0.015 เมตร ค่าความจุไฟฟ้าจะแปรผันตรงกับค่าระดับน้ำที่เปลี่ยนไปโดยจะอยู่ในช่วงพิโคฟารัด(pF) แสดงดังรูปที่ 6 พบว่าค่าที่ได้จากผลการทดลองจะมีค่ามากกว่าค่าจากการคำนวณเนื่องมาจากค่าความจุไฟฟ้าแฝง

สำหรับการตรวจวัดระดับของเหลวต่างชนิดกัน 3 ชนิด คือ น้ำดื่ม น้ำคลอง และน้ำทะเล(ค่าไดอิเล็กตริกเท่ากับ 76. 97 , 76.62 และ 38-66 ตามลำดับที่อุณหภูมิ 29 องศาเซลเซียส) เมื่อการวัดค่าระดับ

น้ำตั้งแต่ 0 ถึง 0.30 เมตร โดยเพิ่มขึ้นครั้งละ 0.05 เมตร และการประยุกต์ใช้เทคนิควัดค่าความจุไฟฟ้าที่นำเสนอโดยให้แรงดันไฟฟ้ากระตุ้น (V_{in}) เป็น 1 V ความถี่ 1 kHz พบว่าผลต่างแรงดันไฟฟ้าออก (ΔV) ของของเหลวต่างชนิดกันมีค่าใกล้เคียงกัน และค่าแปรผันตรงกับระดับของเหลวที่เปลี่ยนไปดังที่แสดงในรูปที่ 7 ผลต่างแรงดันไฟฟ้าออกที่ได้จะอยู่ในช่วงมิลลิโวลต์(mV) ค่าความผิดพลาดเนื่องจากความไม่เป็นเชิงเส้นได้ค่าเท่ากับ 2.49 % FSO เมื่อทำการวัดค่าระดับของของเหลวทั้ง 3 ชนิดตั้งแต่ 0 ถึง 0.30 เมตร โดยเพิ่มขึ้นครั้งละ 0.05 เมตร และทดลองซ้ำ 10 ครั้ง ได้ค่าความสามารถในการทำซ้ำได้เท่ากับ 6.02 % FSO



รูปที่ 6 ผลเปรียบเทียบค่าความจุไฟฟ้าแบบกึ่งทรงกระบอกที่ได้จากการคำนวณกับการวัดค่าความจุไฟฟ้าโดยตรง



รูปที่ 7 ความสัมพันธ์ของแรงดันไฟฟ้าและระดับของเหลวเมื่อของเหลวต่างชนิดกัน

4. สรุปและอธิบาย

ทฤษฎีระเบียบวิธีเชิงตัวเลขได้ถูกนำมาวิเคราะห์เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างความจุไฟฟ้าของเซนเซอร์ความจุไฟฟ้าแบบกึ่งทรงกระบอกและระดับของเหลวที่เปลี่ยนแปลงได้ และได้นำมาเปรียบเทียบกับความจุไฟฟ้าที่วัดด้วยเครื่อง LCR พบว่าค่าความจุไฟฟ้าที่วัดได้มีค่ามากกว่าค่าความจุไฟฟ้าที่วิเคราะห์โดยทฤษฎีระเบียบวิธีเชิงตัวเลข เนื่องจากมีความจุไฟฟ้าแฝง (Stray Capacitance) ระหว่างสายไฟและความสัมพันธ์ของค่าความจุไฟฟ้ากับระดับของเหลวแปรผันตรงกัน ซึ่งมีค่าความจุไฟฟ้าอยู่ในช่วงพิโคฟาราด (pF) เมื่อระยะของแผ่นอิเล็กโตรดเป็น 0.015 เมตร

การประยุกต์ใช้วงจรบริดจ์ De-Sauty เพื่อวัดค่าความจุไฟฟ้าของเซนเซอร์ความจุไฟฟ้าแบบกึ่งทรงกระบอกที่เปลี่ยนแปลงเมื่อระดับของเหลวเปลี่ยนไปให้อยู่ในรูปแรงดันทางไฟฟ้า สำหรับการวัดระดับของเหลวต่างชนิดกันได้ใช้หัววัดความจุไฟฟ้าแบบกึ่งทรงกระบอกชุดล่างเพื่อวัดความจุไฟฟ้าของของเหลวอ้างอิง และหัววัดความจุไฟฟ้าแบบกึ่งทรงกระบอกชุดบนเพื่อตรวจวัดระดับของเหลวที่เปลี่ยนแปลง และวัดค่าความแตกต่างแรงดันไฟฟ้าทั้งสองชุดทำให้สามารถตรวจวัดวัดระดับของเหลวต่างชนิดกันได้ค่าใกล้เคียงกัน ดังนั้นเทคนิคของการวิจัยนี้สามารถนำไปวัดระดับของเหลวที่ต่างชนิดกันได้ และค่าที่ได้อยู่ในช่วงที่ยอมรับได้

5. เอกสารอ้างอิง

[1] S.C. Bera, J.K. Ray, S. Chattopadhyay, " *A low-cost noncontact capacitance- type level transducer for a conducting liquid*," IEEE Trans. Instrum. Meas.,Vol.55 ,no. 3 ,PP.778–786, 2006

[2] Ferren Reverter , Xiujun Li and Gerard C.M. Meijer ," *Liquid-Level measurement system based on a remote grounded capacitive sensor*," Sensors and Actuators ,Vol.138 , PP.1- 8,2007.

[3] Stanley E. Woodard , Bryant D. Taylor , " *A wireless fluid-level Measurement technique*,"Sensors and Actuators ,Vol.137, PP.268-278, 2007.

[4] Kanadit Chetpattananondh , Boonchareon Wongkittisuksa , and Pornchai Phukpattaranont , " A low- cost capacitive water level transducer," PSU - UNS International Conference on Engineering and Environment - ICEE-2007, Phuket, May 10-11, 2007.

[5] L.K. Baxter,*Capacitive Sensors Design and Application*.NewYork: IEEE Press,1997.

[6] ศุภกร กตาธิการกุล และคณะ , " การศึกษาหัววัดความจุไฟฟ้าแบบกึ่งทรงกระบอกเพื่อวัดระดับของของเหลว ," การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมศาสตร์มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ครั้งที่ 7, สงขลา , 21-22 พ.ค.,2552.

[7] C.–T. Chiang and Y.– C. Huang, " *A semicylindrical capacitive sensor with interface circuit used for flow rate measurement*," IEEE sensors journal, Vol. 6, no.6 ,

การศึกษาผลตอบสนองเชิงพลวัตของเซนเซอร์ความจุไฟฟ้าแบบกึ่งทรงกระบอกเพื่อวัดระดับของเหลว

STUDY OF DYNAMIC RESPONSE OF LIQUID LEVEL MEASUREMENT USING SEMICYLINDRICAL CAPACITIVE SENSOR

ศุภกร กตาธิการกุล[1] บุญเจริญ วงศ์กิตติศึกษา พรชัย พฤกษ์ภัทรานนต์ คณติถ เจษฎ์พัฒนานนท์
ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ อ.หาดใหญ่ จ. สงขลา 90112
[1]E-mail: supagone@hotmail.com

บทคัดย่อ

บทความนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลตอบสนองเชิงสถิตและพลวัตของเซนเซอร์ความจุไฟฟ้ากึ่งทรงกระบอกสำหรับวัดระดับของเหลว โดยใช้วงจรบริดจ์ De-Sauty วัดค่าความจุไฟฟ้า พบว่าแรงดันไฟฟ้าจะแปรผันตรงกับค่าระดับของเหลวที่เปลี่ยนไปซึ่งค่าอยู่ในช่วงมิลลิโวลต์(mV) ผลตอบสนองเวลาของเซนเซอร์ความจุไฟฟ้าแบบกึ่งทรงกระบอกอยู่ในช่วงที่ยอมรับได้ และสามารถนำไปใช้ตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงระดับของเหลวได้ทันที อีกทั้งยังมีราคาถูก ใช้งานง่าย พกพาสะดวก แต่มีประสิทธิภาพและความคล่องตัวในการใช้งานสูง

คำสำคัญ : เซนเซอร์ความจุไฟฟ้าแบบกึ่งทรงกระบอก, การวัดระดับของเหลว, วงจรบริดจ์แบบ De-Sauty, ผลตอบสนองเวลา

Abstract

The objective of this paper is to study the static and dynamic response of semicylindrical capacitive sensor for liqiud level measurement. De-Sauty Bridge circuit is applied to measure the change of capacitive due to liquid level variation in milliVolt-range. Time response of this capacitive sensor is acceptable and can be used to monitor the change in liquid level. In addition, this sensor is cost effective, easy to use, and portable.

Key Words : Liquid level measurement , Semicylindrical capacitive probe , Time response , De-Sauty bridge circuit

1. บทนำ

ปัจจุบันการตรวจวัดระดับของเหลวเข้ามามีบทบาทเพื่อใช้ในการควบคุมการประมวลผลในทางอุตสาหกรรมและกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ ตัวอย่างเช่น การวัดปริมาณของนม เบียร์ ในประเภทอุตสาหกรรมทางอาหารและเครื่องดื่ม การวัดปริมาณของน้ำมันในประเภทอุตสาหกรรมน้ำมัน การวัดระดับน้ำในอ่างเก็บน้ำ เป็นต้น การตรวจวัดเหล่านี้จะใช้หลักการพื้นฐานของคุณสมบัติชนิดของวัสดุหรือคุณสมบัติทางไฟฟ้า อาทิเช่น สภาพนำไฟฟ้า ความดัน อุณหภูมิ การสึกกร่อน เป็นต้น[1,4,5] ทำให้ได้เทคนิคที่แตกต่างกันในการตรวจวัดระดับของเหลวมากกว่า 20 วิธีที่มีอยู่ตามท้องตลาดในปัจจุบัน โดยในแต่ละวิธีก็มีข้อจำกัดในการวัดที่แตกต่างกัน[2] อย่างไรก็ตามในปัจจุบันเทคนิคที่ใช้นี้หลักการต่างมีข้อดีและข้อจำกัดที่แตกต่างกันตามแต่ลักษณะการใช้งาน ยกตัวอย่างเช่น การวัดโดยใช้หลักการของฟองอากาศ(Bubbler-type sensor) [2] มีการออกแบบที่ไม่ซับซ้อนและราคาถูก แต่มีข้อเสียคือไม่เหมาะกับการนำไปใช้กับภาชนะที่ไม่มีช่องระบาย และก๊าซบางชนิดจะส่งผลต่อภาชนะที่บรรจุ การวัดโดยใช้หลักการถ่ายภาพด้วยกล้องดิจิตอลและลูกลอย[3] สามารถที่นำมาวัดระดับของเหลวโดยไม่ต้องสัมผัส สามารถมองเห็นลักษณะการเปลี่ยนแปลงของเหลวในถังและภาชนะที่ใส่ของเหลวไม่มีผลต่อการวัดระดับ แต่ก็มีข้อจำกัด คือ ไม่สามารถวัดระดับของเหลวได้ในกรณีมีเนื้อสารเดียวกัน และในกรณีที่ลูกลอยเคลื่อนอยู่นอกเหนือมุมมองการจับภาพ นอกจากนี้ในกรณีที่มีผลการกระจายของหมอก ควัน หรือ ฝุ่น ก็จะส่งผลต่อการเบี่ยงเบนของแสงในการรับส่งสัญญาณทำให้ได้ผลการวัดที่ไม่แน่นอน เทคนิคการวัดระดับน้ำโดยใช้ความจุไฟฟ้าโดยการวัดแบบหัววัดไม่สัมผัสน้ำ[1] โดยใช้หลักการพันขดลวดรอบวัสดุที่มีคุณสมบัติเป็นฉนวนเชื่อมกับถังที่บรรจุน้ำ เมื่อมีระดับน้ำในถังเปลี่ยนแปลงก็จะทำให้ระดับน้ำก็จะเปลี่ยนแปลงไปด้วย ทำให้ค่าความจุไฟฟ้าเปลี่ยนแปลงไป มีข้อจำกัดคือ ไม่สามารถนำไปใช้วัดระดับในระบบเปิดได้ อย่างเช่น แม่น้ำ คลอง และชายฝั่ง เป็นต้น

ดังนั้นได้แนวคิดในการปรับปรุงเทคนิคการวัดระดับของเหลวโดยได้ใช้สัญญาณในการอ่านแบบต่อเนื่องโดยมีเซนเซอร์ความจุไฟฟ้าแบบกึ่งทรงกระบอกเพื่อเป็นการลดข้อจำกัดทางด้านต่างๆ สำหรับเทคนิคการวัดความจุไฟฟ้าของอิเล็กโตรดแบบกึ่งทรงกระบอกเพื่อวัดระดับของเหลว[6,7] ซึ่งมีคุณลักษณะการวัดระดับของเหลวโดยใช้รูปแบบของหัววัดความจุไฟฟ้าแบบกึ่งทรงกระบอก เป็นเทคนิคที่นำมาประยุกต์ใช้สำหรับวัดระดับของเหลวที่ข้อดีคือการติดตั้งที่ไม่ยุ่งยาก ราคาถูก มีความละเอียดดี และมีผลตอบสนองเป็นเชิงเส้น

CT 002

บทความนี้เสนอเทคนิคสำหรับตรวจวัดระดับของเหลวโดยวัดค่าความจุไฟฟ้าด้วยการประยุกต์ใช้วงจรบริดจ์แบบ De-Sauty[1] ร่วมกับโปรแกรม LabVIEW และการส่งข้อมูลไร้สายด้วยโมดูล XBee เพื่อศึกษาผลตอบสนองของเวลา โดยที่เซนเซอร์ความจุไฟฟ้าแบบกึ่งทรงกระบอกสร้างจากท่อทรงกระบอกกลวงที่ทำจากวัสดุ polyvinyl chloride (PVC) และมีอิเล็กโตรดเป็นแผ่นกึ่งทรงกระบอกทำจากเทปอลูมิเนียม[7] ที่มีราคาถูก ใช้งานง่าย พกพาสะดวก แต่มีประสิทธิภาพและความคล่องตัวในการใช้งานสูง

2. เซนเซอร์ความจุไฟฟ้าแบบกึ่งทรงกระบอก

ลักษณะของเซนเซอร์ความจุไฟฟ้าสำหรับวัดระดับของเหลวที่อาศัยเทคนิคการวัดความจุไฟฟ้าแบบกึ่งทรงกระบอกแสดงโดยมีรูปแบบของหัววัดเป็นท่อทรงกระบอกกลวงที่ทำจากวัสดุที่เป็นฉนวนคือ PVC (Polyvinyl chloride) และมีอิเล็กโตรดที่เป็นแผ่นกึ่งทรงกระบอกทำจากเทปอลูมิเนียมมาห่อหุ้มท่อทรงกระบอก สำหรับการวิเคราะห์ค่าความจุไฟฟ้าของหัววัดความจุไฟฟ้าในกรณีที่โครงสร้างหัววัดความจุไฟฟ้าแบบกึ่งทรงกระบอกเมื่อมีของเหลวเป็นไดอิเล็กตริก จากรูปที่ 1a แสดงมุมมองด้านบนของแผ่นโลหะทั้งสองของแบบกึ่งทรงกระบอก และรูปที่ 1b แสดงแผ่นโลหะ 2 แผ่นเล็กๆที่ถูกแบ่งจากแผ่นอิเล็กโตรดกึ่งทรงกระบอก โดยแผ่นโลหะทั้งสองของแบบกึ่งทรงกระบอกจะมีรัศมีเท่ากับ R และมีช่องว่างน้อยที่สุดเท่ากับ d และมีความหนาของวัสดุที่ใช้ติดแผ่นโลหะเท่ากับ t

ดังนั้นการคำนวณค่าความจุไฟฟ้าของหัววัดความจุไฟฟ้าแบบกึ่งทรงกระบอกจะประยุกต์โดยใช้ทฤษฎีระเบียบวิธีเชิงตัวเลข โดยแบ่งแผ่นโลหะ 2 แผ่นที่อยู่ในรูปกึ่งทรงกระบอกของตัวเก็บประจุให้เป็นจำนวน n แผ่นซึ่งมีระยะห่างระหว่างแผ่นเพิ่มขึ้นเป็น Δd สมการวิเคราะห์หาค่าความจุไฟฟ้าระหว่างแผ่นโลหะ 2 แผ่นเล็กๆที่มีระยะห่างกันประมาณ d และมีพื้นที่เล็กๆ A เมื่อทำการวัดระดับของเหลวโดยทั่วไปค่าความจุไฟฟ้าจะมีค่าเท่ากับ ความจุไฟฟ้าระหว่างขั้วไฟฟ้าที่อยู่ด้านล่างของเหลว- อากาศที่เชื่อมต่อสามารถหาค่าความจุไฟฟ้าโดยแบ่งได้เป็นความจุไฟฟ้าเนื่องจากส่วนที่จุ่มลงของเหลวซึ่งมีขนาดความสูงเป็น h รวมกับความจุไฟฟ้าเนื่องจากส่วนที่เป็นอากาศซึ่งมีความสูงที่เหลือเท่ากับ L-h เมื่อ L คือความยาวของท่อ ความจุไฟฟ้าของทั้งสองต่อกันแบบขนาน แต่หัววัดที่สร้างขึ้นมีขอบความหนาของท่อเป็น t ดังนั้นจึงต้องคำนึงถึงค่าความจุไฟฟ้าเนื่องจากความหนาของท่อด้วย เมื่อกำหนดให้ความจุไฟฟ้ารวมส่วนของเหลวกับวัสดุ (C_1) และค่าความจุไฟฟ้ารวมส่วนของอากาศกับวัสดุ (C_2) โดยที่หาค่าความจุไฟฟ้ารวมได้ดังนี้ [8]

$$C=(L-h)k_2+hk_1 \qquad (1)$$

โดยที่ $\Delta d=\dfrac{2R-d}{2N}$, $A=ah=\left(\dfrac{\pi R-d}{N}\right)h$

เมื่อกำหนดให้

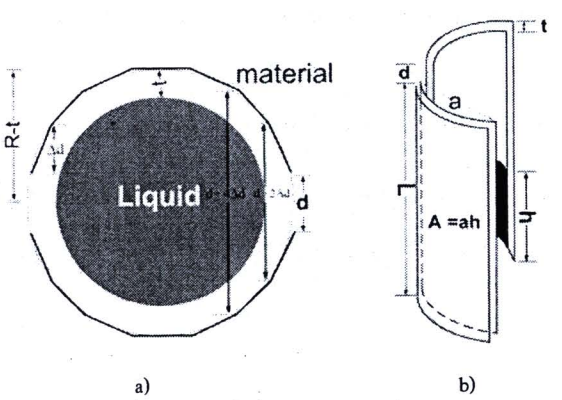
$$k_1=\frac{\varepsilon_0(\pi R-d)}{N}\left[2\sum_{n=1}^{N}\left(\frac{1}{\frac{t}{\varepsilon_m}+\frac{2(n-1)\Delta d}{\varepsilon_m}+\frac{d+2(n-1)\Delta d}{\varepsilon_w}}\right)+\frac{1}{\frac{2t}{\varepsilon_m}+\frac{2(R-t)}{\varepsilon_w}}\right]$$

และ

$$k_2=\frac{\varepsilon_0(\pi R-d)}{N}\left[2\sum_{n=1}^{N}\left(\frac{1}{\frac{t}{\varepsilon_m}+\frac{2(n-1)\Delta d}{\varepsilon_m}+\frac{d+2(n-1)\Delta d}{\varepsilon_a}}\right)+\frac{1}{\frac{2t}{\varepsilon_m}+\frac{2(R-t)}{\varepsilon_a}}\right]$$

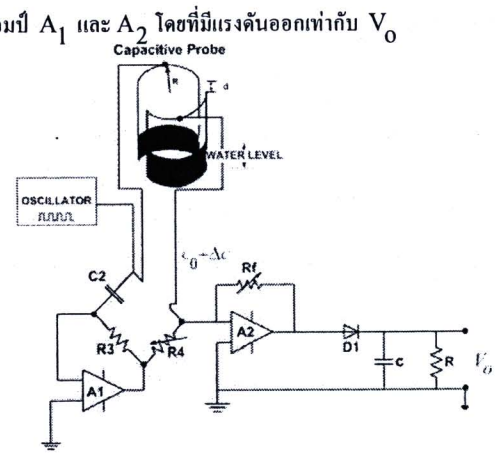
เมื่อ ε_0 เป็นค่าสภาพยอม(Permittivity) ของอากาศว่าง(8.85 pF/m) ε_m เป็นค่าไดอิเล็กตริกของวัสดุ ε_a เป็นค่าไดอิเล็กตริกของอากาศ ε_w เป็นค่าไดอิเล็กตริกของของเหลว และ A เป็นพื้นที่ของแผ่นโลหะ

วงจรบริดจ์ De-Sauty [1] ได้นำประยุกต์ใช้ในการวัดค่าความจุไฟฟ้าที่เปลี่ยนไปเนื่องจากระดับของเหลวที่เปลี่ยนไปแสดงในรูปที่ 2 กรณีวงจรบริดจ์ไม่สมดุลสามารถวัดค่าแรงดันไฟฟ้าออกของวงจรที่จุด B และจุด D โดยสัญญาณแรงดันไฟฟ้า V ความถี่ f เข้าที่ออปแอมป์ A_1 และ A_2 โดยที่มีแรงดันออกเท่ากับ V_o



รูปที่ 1 รูปแบบสำหรับการวิเคราะห์

a) มุมมองด้านบน b) โครงสร้างในการคำนวณ

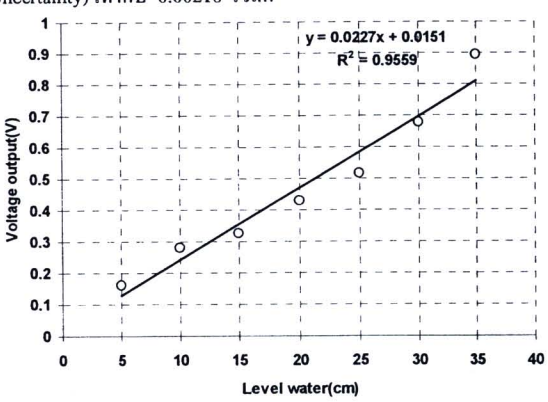


รูปที่ 2 วงจรบริดจ์ De-Sauty ที่ประยุกต์ใช้วัดของเหลว

3. วิธีการและการทดลอง

3.1 ผลตอบสนองเชิงสถิต(Static Response)

การวัดระดับของเหลวโดยหัววัดความจุไฟฟ้าแบบกึ่งทรงกระบอกที่สร้างขึ้นมาจะแสดงผลผ่านโปรแกรม LabVIEW เมื่อหัววัดทำจากวัสดุท่อ PVC และแผ่นอิเล็กโตรดทำจากแผ่นเทปอลูมิเนียมมีขนาดความยาว 0.40 เมตร ระยะห่างระหว่างอิเล็กโตรด 0.005 เมตร ความหนาของท่อ 0.002 เมตร และขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.048 เมตร วงจรบริดจ์ De-Sauty จะถูกใช้วัดค่าความจุไฟฟ้าเนื่องจากระดับน้ำที่เปลี่ยนแปลงตั้งแต่ 0 ถึง 0.35 เมตร โดยเพิ่มขึ้นครั้งละ 0.05 เมตร โดยป้อนแรงดันไฟฟ้าพัลซ์กระตุ้น $\left(V_{in}\right)$ ที่ 2 V ความถี่ 1 kHz พบว่าค่าแรงดันไฟฟ้าออกจะแปรผันตรงกับระดับของเหลวที่เปลี่ยนไปและค่าที่ได้จะอยู่ในช่วงมิลลิโวลต์(mV) แสดงคุณสมบัติความเป็นเชิงเส้นดังรูปที่ 3 คำนวณผลค่าความไม่เป็นเชิงเส้นได้ค่าเป็น 4.13 % FSO และมีค่าความไม่แน่นอนจากการวัด (Uncertainty) เท่ากับ 0.00218 โวลต์

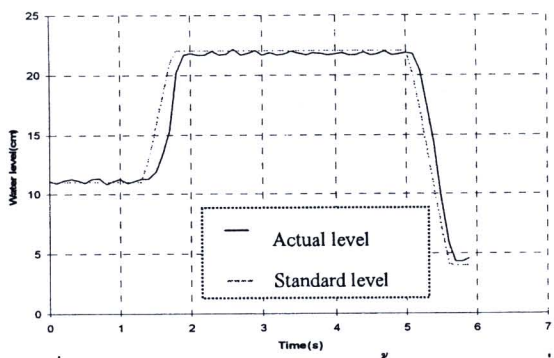


รูปที่ 3 ความสัมพันธ์ของแรงดันไฟฟ้าและระดับของเหลว

3.2 ผลตอบสนองเชิงพลวัต(Dynamic Response)

3.2.1 การจุ่มหัววัดในระดับด้วยความเร็วคงที่

ในการศึกษาผลตอบสนองเชิงพลวัตแสดงสัญญาณที่วัดจากวงจรบริดจ์ De-Sauty แสดงผลด้วยโปรแกรม LabVIEW ผ่าน NI USB-6008 เข้ากับคอมพิวเตอร์วัดระดับน้ำ จับเวลาในการเคลื่อนที่ของหัววัดผ่านโฟโต้เกต(Photogate) พร้อมทั้งวัดค่าระดับน้ำที่เปลี่ยนแปลง จากรูปที่ 4 เปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างระดับน้ำกับเวลา เมื่อหัววัดเคลื่อนที่ผ่านโฟโต้เกต(Photogate)ลงในน้ำด้วยระยะทาง 10 เซนติเมตร และมีเวลาในการเคลื่อนที่ได้เท่ากับ 0.372 วินาที ดังนั้นคำนวณความเร็วในการเคลื่อนที่ได้เป็น 26.88 เซนติเมตรต่อวินาที และ ในขณะที่การวัดระดับน้ำด้วยหัววัดความจุไฟฟ้าแบบกึ่งทรงกระบอก สามารถคำนวณความเร็วในการเคลื่อนที่ได้ 26 เซนติเมตรต่อวินาที และ กรณีหัววัดเคลื่อนที่ขึ้นจากน้ำ เวลาในการเคลื่อนที่เท่ากับ 0.318 วินาที และคำนวณหาความเร็วในการเคลื่อนที่ของหัววัดได้ 31.44 เซนติเมตรต่อวินาที และแสดงผลด้วยโปรแกรม LabVIEW คำนวณความเร็วในการเคลื่อนที่ได้ 27.14 เซนติเมตรต่อวินาที และพบว่าความสัมพันธ์ของระดับน้ำกับเวลาจากค่าที่ทำการทดลองกับค่ามาตรฐานมีค่าเวลาที่ล้าหลัง (Dead time) 0.2 วินาที และเวลาสู่จุดสมดุล (Settling time) 2.1 วินาที



รูปที่ 4 เปรียบเทียบความสัมพันธ์ของระดับน้ำกับเวลาระหว่างค่าที่ทดลองกับค่ามาตรฐานกรณีจุ่มลงไปและยกขึ้นจากในน้ำ

3.2.3 กรณีการทดสอบในสภาวะน้ำหลาก

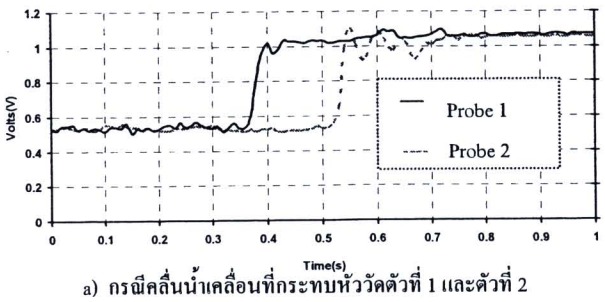
ในการศึกษาผลตอบสนองเชิงพลวัตจะใช้หลักการทางชลศาสตร์เพื่อจำลองสภาวะน้ำหลากในรางเปิด โดยปล่อยน้ำให้ไหลผ่านหัววัดทั้งสอง นำหัววัดจำนวน 2 อัน มาวางในรางน้ำเปิดจำลอง วางห่างกันเป็นระยะ 1 เมตร นำแผ่นกั้นทำคลื่นมาวางและสังเกตการเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำและวัดแรงดันไฟฟ้าของหัววัดทั้งสองที่ได้จากวงจรบริดจ์ De-Sauty แสดงผลด้วยโปรแกรม LabVIEW ผ่าน NI USB-6008 เข้ากับคอมพิวเตอร์วัดค่าระดับน้ำที่เปลี่ยนแปลง

รูปที่ 5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้ากับเวลากรณีจำลองสถานการณ์น้ำหลากเมื่อน้ำเคลื่อนที่ผ่านหัววัดทั้งสอง ในช่วงเวลา 1 นาที รูปที่ 5a เป็นกรณีการคลื่นน้ำเคลื่อนที่ผ่านหัววัดตัวที่ 1 ก่อนไหลผ่านไปยังหัววัดตัวที่สอง รูปที่ 5b กรณีการนำแผ่นพลาสติกมากั้นน้ำระหว่างหัววัดทั้งสองเพื่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำโดยฉับพลัน ทำให้ระดับน้ำของหัววัดตัวที่ 1 เพิ่มขึ้นส่วนระดับน้ำของหัววัดตัวที่ 2 ลดลง

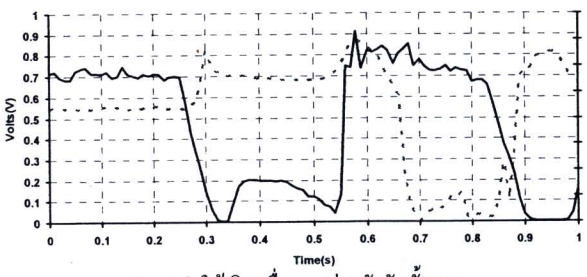
3.2.3 การศึกษาผลกระทบจากการส่งข้อมูลของหัววัดผ่านโมดูลสื่อสารไร้สาย

ในการศึกษาผลกระทบของการส่งผ่านข้อมูลด้วยการเลือกใช้โมดูล XBee[8] วัดแรงดันไฟฟ้าออกด้วยวงจรบริดจ์ De-Sauty ดังรูปที่ 2 แรงดันไฟฟ้าคลื่นสัญญาณพัลซ์กระตุ้น $\left(V_{in}\right)$ 2 V ความถี่คงที่ 1 kHz ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางหัววัดความจุไฟฟ้าแบบกึ่งทรงกระบอก 0.048 เมตร ความยาวของแผ่นอิเล็กโตรด 0.40 เมตร วางห่างกันเป็นระยะ 0.005 เมตร และความหนาของท่อพีวีซี 0.002 เมตร โมดูล XBee ตัวที่ 1 สำหรับอ่านค่าแรงดันไฟฟ้าต่อเข้ากับไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC

16F877 พร้อมหัววัด ส่วนโมดูล XBee ตัวที่ 2 ต่อผ่านพอร์ตอนุกรมกับคอมพิวเตอร์เพื่อสำหรับวัดค่าระดับน้ำ

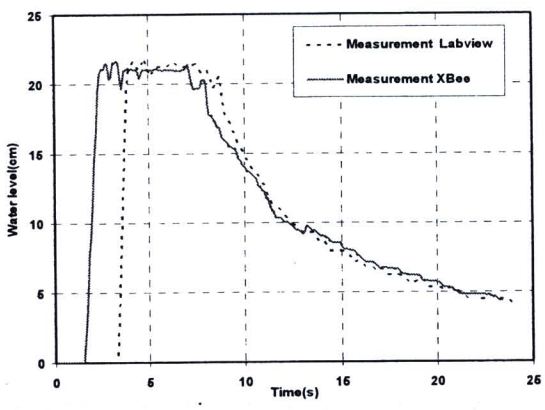


a) กรณีคลื่นน้ำเคลื่อนที่กระทบหัววัดตัวที่ 1 และตัวที่ 2



b) การทำให้เกิดคลื่นระหว่างหัววัดทั้งสอง

รูปที่ 5 ความสัมพันธ์ของแรงดันไฟฟ้ากับเวลาระหว่างหัววัดตัวที่ 1 และหัววัดตัวที่ 2



รูปที่ 6 ความสัมพันธ์ของแรงดันไฟฟ้ากับเวลาระหว่างค่าวัดจาก LabVIEW กับค่าโมดูล XBee

รูปที่ 6 แสดงความสัมพันธ์ของแรงดันไฟฟ้ากับเวลาระหว่างผลที่ได้จาก LabVIEW กับ XBee มีค่าเวลาที่ล้าหลัง(Dead time) อยู่ 2.0 วินาที และเวลาสู่จุดสมดุล (Settling time) ของ XBee มีค่าเท่ากับ 1.5 วินาที

4. สรุปผลการวิจัย

ในการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้าของเซนเซอร์ความจุไฟฟ้าแบบกึ่งทรงกระบอกและระดับของเหลวที่เปลี่ยนแปลงได้ การประยุกต์ใช้วงจรบริดจ์ De-Sauty ติดต่อกับโปรแกรม LabVIEW เพื่อศึกษาผลตอบสนองเชิงสถิต พบว่า ความสัมพันธ์ของค่าแรงดันไฟฟ้ากับระดับของเหลวแปรผันตรงกันมีค่าอยู่ในช่วงมิลลิโวลต์(mV) ผลตอบสนองเชิงพลวัตเพื่อศึกษาผลตอบสนองของเวลาโดยการวัดค่าแรงดันไฟฟ้าและจับเวลาในการเคลื่อนที่โดยใช้โฟโต้เกต(Photogate) พบว่า ค่าความเร็วในการเคลื่อนที่ของหัววัดที่วัดได้มีค่าใกล้เคียงกับค่าความเร็วที่ได้จากคำนวณ ศึกษาโดยใช้หลักการทางชลศาสตร์เพื่อจำลองสภาวะน้ำหลากในรางเปิดและศึกษาผลกระทบจากการส่งข้อมูลของหัววัดผ่านโมดูลสื่อสารไร้สาย XBee พบว่า หัววัดที่ทำการทดลองให้ผลตอบสนองที่ดี

ดังนั้นผลตอบสนองเวลาของเซนเซอร์ความจุไฟฟ้าแบบกึ่งทรงกระบอกมีค่าอยู่ในช่วงที่ยอมรับได้ เทคนิคการวิจัยนี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้วัดระดับของเหลวที่มีอัตราการเปลี่ยนแปลงอย่างฉับพลันได้ ใช้งานง่าย พกพาสะดวกอีกทั้งยังมีราคาถูก แต่มีประสิทธิภาพและความคล่องตัวในการใช้งานสูง

5. เอกสารอ้างอิง

[1] S.C. Bera, J.K. Ray, S. Chattopadhyay, " A low-cost noncontact capacitance- type level transducer for a conducting liquid," IEEE Trans. Instrum. Meas.,Vol.55 ,no. 3 ,PP.778–786, 2006.

[2] Georgi Nikolov and Boyanka Nikolova, "Virtual techniques for liquid level monitoring using differential pressure sensors", RECENT,Vol 9 ,no. 2(23), July,2008.

[3] Ti-Ho Wang , Ming-Chih Lu , Chen-Chien Hsu , Cheng-Chuan Chen , Jia-Dong Tan, "Liquid-level measurement using a single digital camera,"Measurement ,Vol 42 , Page(s): 604–610, 2009.

[4] L.K. Baxter,Capacitive Sensors Design and Application.NewYork: IEEE Press,1997.

[5] Kanadit Chetpattananondh , Boonchareon Wongkittisuksa , and Pornchai Phukpattaranont , " A low- cost capacitive water level transducer," PSU - UNS International Conference on Engineering and Environment - ICEE-2007, Phuket, May 10-11, 2007.

[6] ศุภกร กตาธิการกุล และคณะ,"การศึกษาหัววัดความจุไฟฟ้าแบบกึ่งทรงกระบอกเพื่อวัดระดับของเหลว," การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมศาสตร์มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ครั้งที่ 7, สงขลา,21-22 พ.ค., 2552.

[7] ศุภกร กตาธิการกุล และคณะ," เซนเซอร์ความจุไฟฟ้าแบบกึ่งทรงกระบอกเพื่อวัดระดับของเหลว," การประชุมการประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 32 , ปราจีนบุรี,26-30 ต.ค., 2552.

[8] Digi International, "Xbee/XBee-PRO OEM RF Modules Product Manual v1.xCx-802.15.4 Protocol," Digi International Inc., 2007.

สิทธิบัตร

คำขอรับสิทธิบัตร/อนุสิทธิบัตร	**สำหรับเจ้าหน้าที่**
	วันรับคำขอ - 4 ม.ค. 2554 / วันยื่นคำขอ 30 ธ.ค. 53 / เลขที่คำขอ 1101000005
	สัญลักษณ์จำแนกการประดิษฐ์ระหว่างประเทศ
☑ การประดิษฐ์	ใช้กับแบบผลิตภัณฑ์
☐ การออกแบบผลิตภัณฑ์ โมทอป	ประเภทผลิตภัณฑ์
☐ อนุสิทธิบัตร	วันประกาศโฆษณา / เลขที่ประกาศโฆษณา
	วันออกสิทธิบัตร/อนุสิทธิบัตร / เลขที่สิทธิบัตร/อนุสิทธิบัตร
ข้าพเจ้าผู้ลงลายมือชื่อในคำขอรับสิทธิบัตร/อนุสิทธิบัตรนี้ ขอรับสิทธิบัตร/อนุสิทธิบัตร ตามพระราชบัญญัติสิทธิบัตร พ.ศ.2522 แก้ไขเพิ่มเติมโดยพระราชบัญญัติสิทธิบัตร (ฉบับที่ 2) พ.ศ.2535 และพระราชบัญญัติสิทธิบัตร (ฉบับที่ 3) พ.ศ.2542	ลายมือชื่อเจ้าหน้าที่

1. ชื่อที่แสดงถึงการประดิษฐ์/การออกแบบผลิตภัณฑ์
เครื่องมือวัดระดับของเหลวด้วยหลักการวัดค่าความจุไฟฟ้าผลิตจากแผ่นวงจรพิมพ์

2. คำขอรับสิทธิบัตรการออกแบบผลิตภัณฑ์นี้เป็นคำขอสำหรับแบบผลิตภัณฑ์อย่างเดียวกันและเป็นคำขอลำดับที่
ในจำนวน คำขอ ที่ยื่นในคราวเดียวกัน

3. ผู้ขอรับสิทธิบัตร/อนุสิทธิบัตร และที่อยู่ (เลขที่ ถนน ประเทศ) มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ (ฝ่ายจัดการทรัพย์สินทางปัญญาและถ่ายทอดเทคโนโลยี ศูนย์บ่มเพาะวิสาหกิจฯ) 15 ถนนกาญจนวณิชย์ อำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา 90110	3.1 สัญชาติ ไทย 3.2 โทรศัพท์ 0-7428-9322 3.3 โทรสาร 0-7428-9339 3.4 อีเมล์ worawut-w@psu.ac.th

4. สิทธิในการขอรับสิทธิบัตร/อนุสิทธิบัตร
☐ ผู้ประดิษฐ์/ผู้ออกแบบ ☑ ผู้รับโอน ☐ ผู้ขอรับสิทธิโดยเหตุอื่น

5. ตัวแทน (ถ้ามี) ที่อยู่ (เลขที่ ถนน จังหวัด ประเทศ รหัสไปรษณีย์)	5.1 ตัวแทนเลขที่ 5.2 โทรศัพท์ 5.3 โทรสาร 5.4 อีเมล์

6. ผู้ประดิษฐ์/ผู้ออกแบบผลิตภัณฑ์ชื่อและที่อยู่ (เลขที่ ถนน ประเทศ)
1) ผศ.ดร.คณดิถ เจษฎ์พัฒนานนท์ 2)นายธิตินันท์ ตะเภาน้อย 3)ผศ.ดร.พรชัย พฤกษ์ภัทรานนต์ 4)ผศ.ดร.วรรณรัช สันติอมรทัต
ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ เลขที่ 15 ถ.กาญจนวณิชย์ ต.คอหงส์ อ.หาดใหญ่ จ.สงขลา 90110

7. คำขอรับสิทธิบัตร/อนุสิทธิบัตรนี้แยกจากหรือเกี่ยวข้องกับคำขอเดิม
ผู้ขอรับสิทธิบัตร/อนุสิทธิบัตรขอให้ถือว่าได้ยื่นคำขอรับสิทธิบัตร/อนุสิทธิบัตรนี้ในวันเดียวกับคำขอรับสิทธิบัตรเลขที่
วันยื่น เพราะคำขอรับสิทธิบัตร/อนุสิทธิบัตรนี้แยกจากหรือเกี่ยวข้องกับคำขอเดิมเพราะ
☐ คำขอเดิมมีการประดิษฐ์หลายอย่าง ☐ ถูกคัดค้านเนื่องจากผู้ขอไม่มีสิทธิ ☐ ขอเปลี่ยนแปลงประเภทของสิทธิ

<u>หมายเหตุ</u> ในกรณีที่ไม่อาจระบุรายละเอียดได้ครบถ้วน ให้จัดทำเป็นเอกสารแนบท้ายแบบพิมพ์นี้ โดยระบุหมายเลขกำกับข้อและหัวข้อที่แสดงรายละเอียดเพิ่มเติมดังกล่าวด้วย

8. การยื่นคำขอนอกราชอาณาจักร

วันยื่นคำขอ	เลขที่คำขอ	ประเทศ	สัญลักษณ์จำแนกการประดิษฐ์ระหว่างประเทศ	สถานะคำขอ
8.1				
8.2				
8.3				

8.4 ☐ ผู้ขอรับสิทธิบัตร/อนุสิทธิบัตรขอสิทธิให้ถือว่าได้ยื่นคำขอนี้ในวันที่ได้ยื่นคำขอรับสิทธิบัตร/อนุสิทธิบัตรในต่างประเทศเป็นครั้งแรกโดย

☐ ได้ยื่นเอกสารหลักฐานพร้อมคำขอนี้ ☐ ขอยื่นเอกสารหลักฐานหลังจากวันยื่นคำขอนี้

9. การแสดงการประดิษฐ์ หรือการออกแบบผลิตภัณฑ์ ผู้ขอรับสิทธิบัตร/อนุสิทธิบัตรได้แสดงการประดิษฐ์ที่หน่วยงานของรัฐเป็นผู้จัด

วันแสดง วันเปิดงานแสดง ผู้จัด

10. การประดิษฐ์เกี่ยวกับจุลชีพ

10.1 เลขทะเบียนฝากเก็บ	10.2 วันที่ฝากเก็บ	10.3 สถาบันฝากเก็บ/ประเทศ

11. ผู้ขอรับสิทธิบัตร/อนุสิทธิบัตร ขอยื่นเอกสารภาษาต่างประเทศก่อนในวันยื่นคำขอนี้ และจะจัดยื่นคำขอรับสิทธิบัตร/อนุสิทธิบัตรนี้ที่จัดทำเป็นภาษาไทยภายใน 90 วัน นับจากวันยื่นคำขอนี้ โดยขอยื่นเป็นภาษา

☐ อังกฤษ ☐ ฝรั่งเศส ☐ เยอรมัน ☐ ญี่ปุ่น ☐ อื่น ๆ

12. ผู้ขอรับสิทธิบัตร/อนุสิทธิบัตร ขอให้อธิบดีประกาศโฆษณาคำขอรับสิทธิบัตร หรือรับจดทะเบียน และประกาศโฆษณาอนุสิทธิบัตรนี้ หลังจากวันที่ เดือน พ.ศ.

☐ ผู้ขอรับสิทธิบัตร/อนุสิทธิบัตรขอให้ใช้รูปเขียนหมายเลข ในการประกาศโฆษณา

13. คำขอรับสิทธิบัตร/อนุสิทธิบัตรนี้ประกอบด้วย

ก. แบบพิมพ์คำขอ 2 หน้า

ข. รายละเอียดการประดิษฐ์ หรือคำพรรณนาแบบผลิตภัณฑ์ 3 หน้า

ค. ข้อถือสิทธิ 1 หน้า

ง. รูปเขียน 4 รูป 4 หน้า

จ. ภาพแสดงแบบผลิตภัณฑ์

☐ รูปเขียน รูป หน้า

☐ ภาพถ่าย รูป หน้า

ฉ. บทสรุปการประดิษฐ์ 1 หน้า

14. เอกสารประกอบคำขอ

☑ เอกสารแสดงสิทธิในการขอรับสิทธิบัตร/อนุสิทธิบัตร

☐ หนังสือรับรองการแสดงการประดิษฐ์/การออกแบบผลิตภัณฑ์

☐ หนังสือมอบอำนาจ

☐ เอกสารรายละเอียดเกี่ยวกับจุลชีพ

☐ เอกสารการขอนับวันยื่นคำขอในต่างประเทศเป็นวันยื่นคำขอในประเทศไทย

☐ เอกสารขอเปลี่ยนแปลงประเภทของสิทธิ

☐ เอกสารอื่น ๆ

15. ข้าพเจ้าขอรับรองว่า

☑ การประดิษฐ์นี้ไม่เคยยื่นขอรับสิทธิบัตร/อนุสิทธิบัตรมาก่อน

☐ การประดิษฐ์นี้ได้พัฒนาปรับปรุงมาจาก.....

16. ลายมือชื่อ (☑ ผู้ขอรับสิทธิบัตร / อนุสิทธิบัตร; ☐ ตัวแทน)

(รองศาสตราจารย์ ดร.ชูศักดิ์ ลิ่มสกุล)
รองอธิการบดีฝ่ายวิจัยและบัณฑิตศึกษา ปฏิบัติราชการแทน
อธิการบดีมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

หมายเหตุ บุคคลใดยื่นคำขอรับสิทธิบัตรการประดิษฐ์หรือการออกแบบผลิตภัณฑ์ หรืออนุสิทธิบัตร โดยการแสดงข้อความอันเป็นเท็จแก่พนักงานเจ้าหน้าที่ เพื่อให้ได้ไปซึ่งสิทธิบัตรหรืออนุสิทธิบัตร ต้องระวางโทษจำคุกไม่เกินหกเดือน หรือปรับไม่เกินห้าพันบาท หรือทั้งจำทั้งปรับ

หลักฐานการต่อยอดเชิงพาณิชย์

บันทึกข้อความ

ส่วนราชการ ศูนย์ทรัพย์สินทางปัญญา อุทยานวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ โทร. ๙๓๒๑-๓

ที่ มอ ๑๖๔.๓/๐๔๗ **วันที่** ๒๗ กรกฎาคม ๒๕๕๔

เรื่อง หนังสือรับรองการประดิษฐ์ที่ได้ดำเนินการยื่นขอรับการคุ้มครองทรัพย์สินทางปัญญาแล้ว

เรียน คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

ตามที่นายธิตินันท์ ตะเภาน้อย นักศึกษาสังกัดหลักสูตรปริญญาโท สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า ซึ่งมีอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์คือผศ.ดร.พรชัย พฤกษ์ภัทรานนต์ เป็นอาจารย์ที่ปรึกษาหลักและ ผศ.ดร.วรรณรัช สันติอมรทัต เป็นอาจารย์ที่ปรึกษาร่วมนั้นได้พัฒนาสิ่งประดิษฐ์ใหม่ขึ้นภายใต้ หัวข้อวิทยานิพนธ์ชื่อว่า "ระบบเฝ้าตรวจวัดระดับน้ำ โดยใช้หัววัดอัจฉริยะแบบอินเตอร์ดิจิตอลคาปาซิทีฟอิเล็กโตรด" ชื่อภาษาอังกฤษคือ "Water Level Monitoring Systems using Intelligent Sensor based on Interdigital Capacitive Electrode" ได้ดำเนินการยื่นขอรับการคุ้มครองทรัพย์สินทางปัญญาประเภทสิทธิบัตรและได้รับเลขที่คำขอตั้งแต่วันที่ ๔ ม.ค. ๒๕๕๔

ในการนี้ศูนย์ทรัพย์สินทางปัญญาฯ จึงขอให้การรับรองว่าการประดิษฐ์ดังกล่าวได้ดำเนินการยื่นขอรับการคุ้มครองทรัพย์สินทางปัญญาแล้ว และผลงานดังกล่าวอยู่ในระหว่างการพัฒนาเพื่อนำไปสู่การใช้ประโยชน์ในเชิงพาณิชย์ต่อไป

ขอแสดงความนับถือ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อัครวิทย์ กาญจนโอภาษ)
รักษาการผู้อำนวยการอุทยานวิทยาศาสตร์
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

Mobilis Automata Co., Ltd.
บริษัท โมบิลิส ออโตมาต้า จำกัด
เลขที่ 50/136 หมู่ 7 ต.คลองสอง อ.คลองหลวง จ.ปทุมธานี 12120
Tel: 0-2153-4526 Fax: 0-2153-4525
เลขประจำตัวผู้เสียภาษี 3030869814

วันที่ 26 กันยายน พ.ศ. 2554

เรื่อง ขอความร่วมมือเพื่อต่อยอดเทคโนโลยีสู่เชิงพาณิชย์

เรียน รองอธิการบดีฝ่ายวิจัยและบัณฑิตศึกษา

ตามที่ผลงานสิ่งประดิษฐ์ของผศ.คณดิถ เจษฎ์พัฒนานนท์ อาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ในชื่อเรื่อง "เครื่องมือวัดระดับของเหลวด้วยหลักการวัดค่าความจุไฟฟ้าผลิตจากแผ่นวงจรพิมพ์" ได้มีการดำเนินการยื่นขอรับการคุ้มครองทรัพย์สินทางปัญญาประเภทสิทธิบัตรและได้รับเลขที่คำขอแล้วตั้งแต่วันที่ 4 ม.ค. 2554 นั้น ทางบริษัท Mobilis Automata จำกัดมีความสนใจและเล็งเห็นว่าเป็นสิ่งประดิษฐ์ที่มีศักยภาพสูง ในการพัฒนาต่อยอดเพื่อนำไปสู่การใช้ประโยชน์เชิงพาณิชย์ ทั้งในด้านการประยุกต์ใช้ทางอุตสาหกรรมและการประยุกต์ใช้เพื่อเป็นอุปกรณ์ตรวจวัดด้านสิ่งแวดล้อมและระบบเตือนภัยธรรมชาติต่างๆ

ทางบริษัท Mobilis Automata จำกัดจึงใคร่ขอความร่วมมือจากทางคณะวิศวกรรมศาสตร์ เพื่อให้บริษัทฯ ได้ดำเนินการต่อยอดเพื่อนำไปสู่การใช้ประโยชน์เชิงพาณิชย์ต่อไป

ขอแสดงความนับถือ

ดร.กฤษณ์ จงสฤษดิ์
กรรมการผู้จัดการ

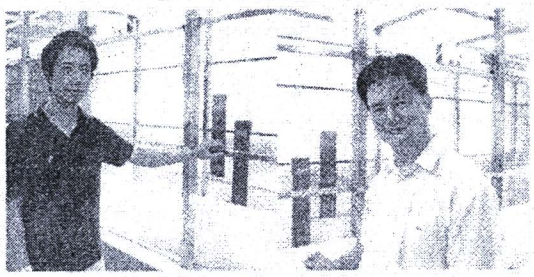
Mobilis Automata Co., Ltd.
บริษัท โมบิลิส ออโตมาต้า จำกัด

การเผยแพร่สื่อมวลชน

การเผยแพร่ผลงานแก่สื่อมวลชน

วิศวะฯ ม.อ. พัฒนาเซนเซอร์วัดระดับน้ำราคาถูก ป้องกันน้ำท่วม

เหตุการณ์น้ำท่วมขังเกือบทั่วประเทศครั้งใหญ่เมื่อปลายปี 2553 ที่ผ่านมา เป็นเหตุการณ์ที่ประชาชนส่วนใหญ่ไม่คาดคิดว่าจะเกิดขึ้นอีกหลังจากเหตุการณ์น้ำท่วมใหญ่เมื่อปี 2545 เนื่องจากในครั้งนั้น หน่วยงานต่างๆ ได้มีการออกแบบและปรับปรุงระบบป้องกันน้ำท่วมครั้งใหญ่ เช่น การขุดลอกคูคลองและเพิ่มทางระบายน้ำออกให้เร็วขึ้นมากขึ้น จนมั่นใจได้ว่าจะสามารถป้องกันน้ำท่วมใหญ่ในอนาคตได้อย่างมีประสิทธิภาพ แต่เหตุการณ์น้ำท่วมเมื่อปี 53 ที่ผ่านมา ได้แสดงให้เห็นแล้วว่า แม้เราจะมีระบบป้องกันน้ำท่วมที่ทางแข็งแกร่งเช่นนี้ก็ตาม ก็ยังไม่สามารถรับมือกับฝนปริมาณมหาศาลในปัจจุบันนี้ได้ ระบบป้องกันไม่สามารถรับมือกับสถานการณ์ได้ วิธีการลดความสูญเสียเท่าที่ดีที่สุดคือ การใช้มาตรการให้ประชาชนอพยพไปอยู่ในที่ปลอดภัยก่อนที่ระดับน้ำจะท่วมสูง ระบบเตือนภัยน้ำท่วมจึงเป็นสิ่งจำเป็น ที่ต้องได้รับการพัฒนาควบคู่



นายชิติพันธ์ ตะเภาน้อย นศ.ปริญญาโท ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์และ นศ.ดุษฎีบัณฑิต เจษฎ์พัฒนานนท์ อาจารย์ประจำ ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์

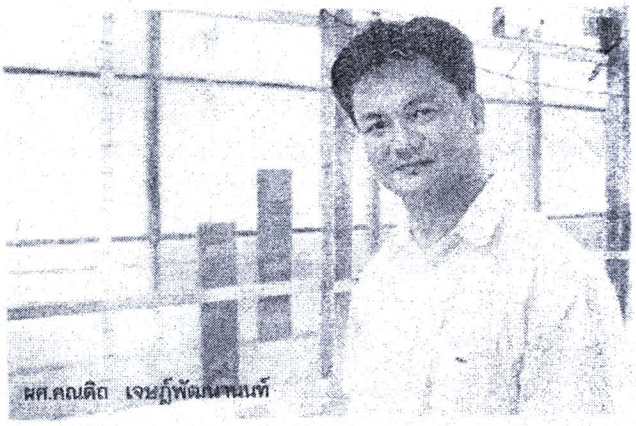
ไปกับระบบป้องกันน้ำท่วมแล้ว ที่ผ่านมาเซนเซอร์วัดระดับน้ำสำหรับระบบเตือนภัยน้ำท่วม ต้องใช้เซนเซอร์ที่นำเข้าจากต่างประเทศ ซึ่งมีราคาค่อนข้างสูง ทำให้การติดตั้งระบบเตือนภัยยังไม่สามารถทำได้ครอบคลุมทั่วทุกพื้นที่ และมักประสบปัญหาการบำรุงรักษาเนื่องจากอายุแผ่นอะไหล่เมื่อต้องใช้งานระยะยาว

นายชิติพันธ์ ตะเภาน้อย นักศึกษาปริญญาโทและ นศ.ดุษฎีบัณฑิต เจษฎ์พัฒนานนท์ อาจารย์ประจำ ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ จึงได้พัฒนาเซนเซอร์วัดระดับน้ำแบบใหม่ซึ่งมีความเหมาะสมสำหรับระบบเตือนภัยน้ำท่วม โดยเน้นการใช้วัสดุที่หาได้ง่ายในประเทศ ทำให้ได้ต้นแบบเซนเซอร์วัดระดับน้ำที่มีราคาไม่เกิน 2,000 บาท ตัวเซนเซอร์ทำมาจากแผ่นวงจรพิมพ์ที่ผลิตได้ภายในประเทศ จึงไม่มีปัญหาเรื่องการสำรองอะไหล่สำหรับการบำรุงรักษาในระยะยาว เซนเซอร์ใช้หลักการวัดค่าความจุไฟฟ้า (Capacitance) ที่เปลี่ยนแปลงตามค่าระดับน้ำ สามารถวัดระดับน้ำได้ตั้งแต่ 1 เซนติเมตรจนถึง 1 เมตร และใช้พลังงานเพียง 0.5 วัตต์ ในการติดตั้งจะเน้นที่การวัดระดับน้ำท่วมบนผิวถนน เนื่องจากท่อระบายน้ำมักจะอยู่ตามแนวถนน เมื่อน้ำไม่สามารถระบายได้ทัน น้ำจะเริ่มท่วมจากผิวถนนก่อน เซนเซอร์จะทำการวัดระดับน้ำที่ท่วม แล้วส่งข้อมูลไปยังศูนย์เตือนภัย เพื่อใช้เป็นข้อมูลประกอบการแจ้งเตือนภัยในพื้นที่นั้นต่อไป ผลงานวิจัยนี้ได้ยื่นขอลิขสิทธิ์เป็นที่เรียบร้อยแล้ว และกำลังอยู่ระหว่างการทดสอบส่งข้อมูลแบบไร้สายสำหรับพื้นที่ชื่อสู่ส่วนกลาง

หากท่านสนใจสอบถามรายละเอียดเพิ่มเติมได้ที่ นศ.ดุษฎีบัณฑิต เจษฎ์พัฒนานนท์ ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ โทร: 074-287045 หรือ e-mail : kanadit.c@psu.ac.th

สมิหลาไทม์ ฉบับ 478 ประจำวันที่ 13 - 19 สิงหาคม พ.ศ.2554

จากหนังสือพิมพ์ สมิหลาไทม์ ฉบับที่ 478 วันที่ 13-19 สิงหาคม 2554



ผศ.คณดิถ เจษฎ์พัฒนานนท์

ธิตินันท์ ตะเภาน้อย

น้ำท่วม อ.หาดใหญ่ จ.สงขลา เมื่อปลายปี 2553 เป็นเหตุการณ์ที่ไม่คาดคิดว่าจะเกิดขึ้นอีก หลังจากเหตุน้ำท่วมใหญ่เมื่อปี 2543 เนื่องจากหน่วยงานต่างๆ ได้ออกแบบและปรับปรุงระบบป้องกันน้ำท่วมจนมั่นใจได้ว่าจะสามารถป้องกันน้ำท่วมใหญ่ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

แต่เหตุการณ์น้ำท่วมเมื่อปี 2553 แสดงให้เห็นว่าแม้จะมีระบบป้องกันน้ำท่วมอย่างดี ก็ยังไม่สามารถรับมือกับสภาพอากาศที่ผันผวนในปัจจุบันนี้ได้

ต่อมา **ธิตินันท์ ตะเภาน้อย** นักศึกษาปริญญาโท **ผศ.คณดิถ เจษฎ์พัฒนานนท์** อาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ได้พัฒนาเซ็นเซอร์วัดระดับน้ำแบบใหม่สำหรับเตือนภัยน้ำท่วม โดยเน้นการใช้วัสดุที่หาได้ง่ายในประเทศ

ทำให้ได้ต้นแบบเซ็นเซอร์วัดระดับน้ำที่มีราคาไม่เกิน 2,000 บาท โดยตัวเซ็นเซอร์ทำมาจากแผ่นวงจรพิมพ์ที่ผลิตได้ภายในประเทศ จึงไม่มีปัญหาเรื่องสำรองอะไหล่สำหรับการบำรุงรักษาในระยะยาว

สอบถามรายละเอียดได้ที่ ผศ.คณดิถ โทร.0-7428-7045 หรือ e-mail : kanadit.c@psu.ac.th

จากหนังสือพิมพ์ มติชน ฉบับที่ 12210 วันจันทร์ที่ 15 สิงหาคม 2554

การนำผลงานต่อยอดโครงการวิจัย

สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย
THE THAILAND RESEARCH FUND

ที่ นร 6804/0011/2555

11 มกราคม 2554

เรื่อง ขอเรียนเชิญร่วมประชุมพิจารณาข้อเสนอโครงการวิจัย

เรียน ผศ.ดร.ไชยวรรณ วัฒนจันทร์

สิ่งที่ส่งมาด้วย กำหนดการประชุม

ด้วย สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.) ได้กำหนดจัดประชุมเพื่อพิจารณาข้อเสนอโครงการวิจัย จำนวน 2 โครงการ ได้แก่ โครงการ "เครื่องวัดปริมาณน้ำฝนอัตโนมัติสำหรับการเตือนภัยชุมชน" ซึ่งมี อาจารย์ศุภกร กตาธิการกุล สังกัด คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ เป็นผู้เสนอโครงการ และ โครงการ"ต้นแบบเครื่องเฝ้าระวังการเกิดอุทกภัยสำหรับชุมชน" ซึ่งมี ผศ.คณดิถ เจษฎ์พัฒนานนท์ สังกัด คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ เป็นผู้เสนอโครงการ ในวันพุธ ที่ 18 มกราคม 2555 เวลา 12.30 น. เป็นต้นไป ณ ห้องประชุม 1 ชั้น 22 สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.) อาคาร เอส เอ็ม ทาวเวอร์ ถนนพหลโยธิน กทม. รายละเอียดดังสิ่งที่ส่งมาด้วย นั้น

สำหรับข้อเสนอโครงการนี้อยู่ในกลุ่มวิจัยเพื่อพัฒนาพื้นที่ (Area-Based Collaborative Research : ABC) ซึ่งเน้นการแก้ปัญหาที่ประชาชนประสบอยู่และสร้างทางเลือก โอกาสใหม่เพื่อการพัฒนาทั้งในด้านเศรษฐกิจ สังคม ทรัพยากร และการเมืองการปกครอง และเน้นให้กลไกพัฒนาในพื้นที่เป็นตัวขับเคลื่อนการสร้างการเปลี่ยนแปลงในพื้นที่เอง โดยใช้การวิจัยเป็นเครื่องมือสร้างกระบวนการเรียนรู้ร่วมกันระหว่างนักวิชาการซึ่งเป็น "คนนอก" กับชุมชนและหน่วยงานรัฐในจังหวัดและท้องถิ่น ซึ่งเป็น "คนใน" หน่วยพื้นที่ในการทำงานคือ "จังหวัด" ทั้งนี้ กรณีพื้นที่ภาคใต้ตอนกลาง (นครศรีธรรมราช พัทลุง สงขลา สตูล) โจทย์ปัญหาของพื้นที่ให้ความสำคัญ คือ ผลกระทบจากปัญหาภาวะโลกร้อนและพิบัติภัยที่เกิดขึ้นบ่อยครั้ง และสำนักประสานงานวิจัยเพื่อพัฒนาเชิงพื้นที่ภาคใต้ตอนกลาง (ผศ.ดร.ไชยวรรณ วัฒนจันทร์ ผู้ประสานงานชุดโครงการ) ได้มีการพัฒนาข้อเสนอโครงการร่วมกับภาคีพัฒนาในพื้นที่เพื่อตอบโจทย์ดังกล่าว

จึงขอเรียนมาเพื่อโปรดพิจารณาเป็นประธานและร่วมประชุมดังกล่าว และขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูงมา ณ โอกาสนี้ด้วย

ขอแสดงความนับถือ

(ดร. สีลาภรณ์ บัวสาย)
รองผู้อำนวยการสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย

ฝ่ายชุมชนและสังคม (ดวงพร)
โทรศัพท์ 02-278-8200 ต่อ 8341
โทรสาร 02-278-8225
E-mail : tuangporn@trf.or.th

สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย
THE THAILAND RESEARCH FUND

ที่ นร 6804/0012/2555

11 มกราคม 2554

เรื่อง ขอเรียนเชิญนำเสนอข้อเสนอโครงการวิจัย

เรียน คุณศุภกร กตาธิการกุล

สิ่งที่ส่งมาด้วย กำหนดการประชุม

สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.) ได้เห็นความสำคัญของเพื่อพัฒนาพื้นที่ (Area-Based Collaborative Research : ABC) ซึ่งเน้นการแก้ปัญหาที่ประชาชนประสบอยู่และสร้างทางเลือก โอกาสใหม่เพื่อการพัฒนาทั้งในด้านเศรษฐกิจ สังคม ทรัพยากร และการเมืองการปกครอง และเน้นให้กลไกพัฒนาในพื้นที่เป็นตัวขับเคลื่อนการสร้างการเปลี่ยนแปลงในพื้นที่เอง โดยใช้การวิจัยเป็นเครื่องมือสร้างกระบวนการเรียนรู้ร่วมกันระหว่างนักวิชาการซึ่งเป็น "คนนอก" กับชุมชนและหน่วยงานรัฐในจังหวัดและท้องถิ่น ซึ่งเป็น "คนใน" หน่วยพื้นที่ในการทำงานคือ "จังหวัด" ทั้งนี้ กรณีพื้นที่ภาคใต้ตอนกลาง (นครศรีธรรมราช พัทลุง สงขลา สตูล) โจทย์ปัญหาของพื้นที่ให้ความสำคัญ คือ ผลกระทบจากปัญหาภาวะโลกร้อนและพิบัติภัยที่เกิดขึ้นบ่อยครั้ง และสำนักประสานงานวิจัยเพื่อพัฒนาเชิงพื้นที่ภาคใต้ตอนกลาง (ผศ.ดร.ไชยวรรณ วัฒนจันทร์ ผู้ประสานงานชุดโครงการ) ได้มีการประกาศรับข้อเสนอโครงการและได้พัฒนาข้อเสนอโครงการร่วมกับภาคีพัฒนาในพื้นที่เพื่อตอบโจทย์ดังกล่าว ดังที่ท่านได้ส่งข้อเสนอโครงการ "เครื่องวัดปริมาณน้ำฝนอัตโนมัติสำหรับการเตือนภัยชุมชน" มายัง สกว. เพื่อขอรับทุนสนับสนุนการวิจัย

สกว. ได้เล็งเห็นความสำคัญของปัญหานี้ จึงเห็นควรให้มีการจัดประชุมเพื่อพิจารณาข้อเสนอโครงการนี้ ในวันพุธ ที่ 18 มกราคม 2555 เวลา 12.30 น. เป็นต้นไป ณ ห้องประชุม 1 ชั้น 22 สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.) อาคาร เอส เอ็ม ทาวเวอร์ ถนนพหลโยธิน กทม.

สกว. จึงขอเรียนเชิญท่านมานำเสนอโครงการวิจัยดังกล่าว ในการประชุมเพื่อพิจารณาข้อเสนอโครงการ พร้อมรับฟังข้อเสนอแนะที่เป็นประโยชน์ต่อแนวทางในการวิจัยของโครงการวิจัย ในวัน และเวลาดังกล่าว

จึงขอเรียนมาเพื่อโปรดพิจารณา

ขอแสดงความนับถือ

(ดร. สีลาภรณ์ บัวสาย)
รองผู้อำนวยการสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย

ฝ่ายชุมชนและสังคม (ดวงพร)
โทรศัพท์ 02-278-8200 ต่อ 8341
โทรสาร 02-278-8225
E-mail : tuangporn@trf.or.th

สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย
THE THAILAND RESEARCH FUND

ที่ นร 6804/0013/2555

11 มกราคม 2554

เรื่อง ขอเรียนเชิญนำเสนอข้อเสนอโครงการวิจัย

เรียน ผศ.คณดิถ เจษฎ์พัฒนานนท์

สิ่งที่ส่งมาด้วย กำหนดการประชุม

สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.) ได้เห็นความสำคัญของเพื่อพัฒนาพื้นที่ (Area-Based Collaborative Research : ABC) ซึ่งเน้นการแก้ปัญหาที่ประชาชนประสบอยู่และสร้างทางเลือก โอกาสใหม่เพื่อการพัฒนาทั้งในด้านเศรษฐกิจ สังคม ทรัพยากร และการเมืองการปกครอง และเน้นให้กลไกพัฒนาในพื้นที่เป็นตัวขับเคลื่อนการสร้างการเปลี่ยนแปลงในพื้นที่เอง โดยใช้การวิจัยเป็นเครื่องมือสร้างกระบวนการเรียนรู้ร่วมกันระหว่างนักวิชาการซึ่งเป็น "คนนอก" กับชุมชนและหน่วยงานรัฐในจังหวัดและท้องถิ่น ซึ่งเป็น "คนใน" หน่วยพื้นที่ในการทำงานคือ "จังหวัด" ทั้งนี้ กรณีพื้นที่ภาคใต้ตอนกลาง (นครศรีธรรมราช พัทลุง สงขลา สตูล) โจทย์ปัญหาของพื้นที่ให้ความสำคัญ คือ ผลกระทบจากปัญหาภาวะโลกร้อนและพิบัติภัยที่เกิดขึ้นบ่อยครั้ง และสำนักประสานงานวิจัยเพื่อพัฒนาเชิงพื้นที่ภาคใต้ตอนกลาง (ผศ.ดร.ไชยวรรณ วัฒนจันทร์ ผู้ประสานงานชุดโครงการ) ได้มีการประกาศรับข้อเสนอโครงการและได้พัฒนาข้อเสนอโครงการร่วมกับภาคีพัฒนาในพื้นที่เพื่อตอบโจทย์ดังกล่าว ดังที่ท่านได้ส่งข้อเสนอโครงการ "ต้นแบบเครื่องเฝ้าระวังการเกิดอุทกภัยสำหรับชุมชน" มายัง สกว. เพื่อขอรับทุนสนับสนุนการวิจัย

สกว. ได้เล็งเห็นความสำคัญของปัญหานี้ จึงเห็นควรให้มีการจัดประชุมเพื่อพิจารณาข้อเสนอโครงการนี้ ในวันพุธ ที่ 18 มกราคม 2555 เวลา 12.30 น. เป็นต้นไป ณ ห้องประชุม 1 ชั้น 22 สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.) อาคาร เอส เอ็ม ทาวเวอร์ ถนนพหลโยธิน กทม.

สกว. จึงขอเรียนเชิญท่านมานำเสนอโครงการวิจัยดังกล่าว ในการประชุมเพื่อพิจารณาข้อเสนอโครงการ พร้อมรับฟังข้อเสนอแนะที่เป็นประโยชน์ต่อแนวทางในการวิจัยของโครงการวิจัย ในวัน และเวลาดังกล่าว

จึงขอเรียนมาเพื่อโปรดพิจารณา

ขอแสดงความนับถือ

(ดร. สีลาภรณ์ บัวสาย)
รองผู้อำนวยการสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย

ฝ่ายชุมชนและสังคม (ดวงพร)
โทรศัพท์ 02-278-8200 ต่อ 8341
โทรสาร 02-278-8225
E-mail : tuangporn@trf.or.th