

การวัดระดับน้ำโดยใช้เทคนิคการวัดความจุไฟฟ้าแบบกึ่งทรงกระบอก

ศุภกร กตาทิการกุล¹⁾ และ คณดิธ เจษฎาพัฒนานนท์²⁾

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอการวัดระดับน้ำโดยใช้เทคนิคการวัดความจุไฟฟ้าแบบกึ่งทรงกระบอก โดยมีหัววัดเป็นแบบกึ่งทรงกระบอกกึ่งวงที่ทำจากวัสดุพอลิไวนิลคลอไรด์(PVC) และแผ่นโลหะกึ่งทรงกระบอกทำจากเทปอลูมิเนียมห่อหุ้ม ปริมาณความจุไฟฟ้าจะแปรผันตรงกับค่าระดับน้ำที่เปลี่ยนไปและแปรผกผันกับระยะห่างของแผ่นโลหะ โดยมีค่าความจุไฟฟ้าที่วัดได้อยู่ในช่วงพิโคฟารัด(pF) สำหรับผลตอบสนองเชิงสถิติและพลวัตของเทคนิคการวัดความจุไฟฟ้ากึ่งทรงกระบอกโดยการประยุกต์ใช้วงจรบริดจ์ที่ปรับปรุงขึ้นพบว่า แรงดันไฟฟ้าจะแปรผันตรงกับระดับน้ำที่เปลี่ยนไปซึ่งค่าอยู่ในช่วงมิลลิโวลต์(mV) พบว่า ค่าความไม่แม่นยำเชิงเส้น ความสามารถในการทำซ้ำ และผลตอบสนองเวลาของเทคนิคการวัดความจุไฟฟ้าแบบกึ่งทรงกระบอกอยู่ในช่วง 0.2 วินาที และสามารถนำไปใช้ตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำได้ทันที อีกทั้งยังมีราคาถูก ใช้งานง่าย พกพาสะดวก แต่มีประสิทธิภาพและความคล่องตัวในการใช้งานสูง

คำสำคัญ : การวัดระดับน้ำ การวัดความจุไฟฟ้าแบบกึ่งทรงกระบอก วงจรบริดจ์ที่ปรับปรุง

¹⁾ นักศึกษาปริญญาโท ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ จังหวัดสงขลา 90110

อีเมล: supagone@hotmail.com

²⁾ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ จังหวัดสงขลา 90110

อีเมล: kanadit.c@psu.ac.th

*Corresponding author

Water Level Measurement using Semicylindrical Capacitance measurement Technique

Supagorn katathikarnkul¹⁾ 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 อาทิ เช่น สภาพนำไฟฟ้า ความดัน อุณหภูมิ การสั่นสะเทือน 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 ขั้วจุ่มลงไปลงในของเหลวเพื่อวัดระดับของเหลวด้วยการวัดปริมาณไดอิเล็กตริกของเหลวซึ่งมีอยู่ในคุณสมบัติของเหลว อาทิเช่น ความเข้มข้น สารแขวนลอย และการเจือปน อย่างไรก็ตามเมื่อค่าไดอิเล็กตริกเปลี่ยนจะส่งผลต่อค่าที่ตรวจวัดได้ (F. Reverter et al., 2007)

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

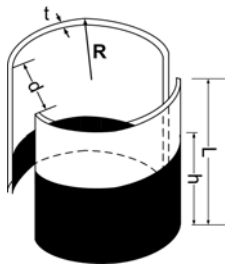
ดังนั้นแนวคิดในการปรับปรุงเทคนิคการวัดระดับของเหลวแบบต่อเนื่องโดยมีการวัดความจุไฟฟ้าแบบกึ่งทรงกระบอกจึงมีความจำเป็นเพื่อเป็นการลดข้อจำกัด

ทางด้านต่างๆ 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

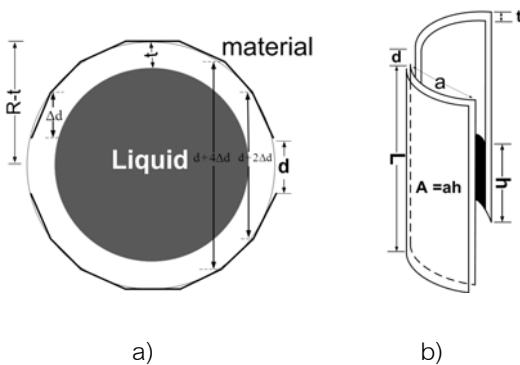
2.1 ความจุไฟฟ้าแบบกึ่งทรงกระบอก

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



รูปที่ 1 โครงสร้างของเซนเซอร์ความจุไฟฟ้าแบบกึ่งทรงกระบอก

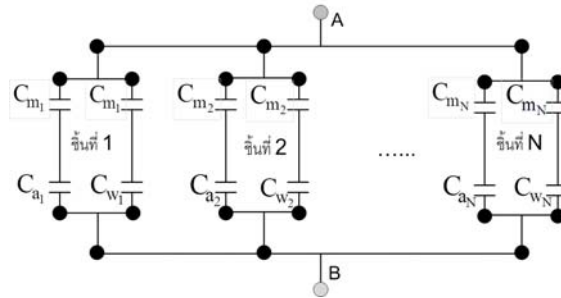
รูปที่ 2a แสดงเป็นมุมมองด้านบนบนแผ่นโลหะทั้งสองของแบบกึ่งทรงกระบอก และรูปที่ 2b ที่แสดงแผ่นโลหะ 2 แผ่นเล็กๆที่ถูกแบ่งจากแผ่นอิเล็กโตรดกึ่งทรงกระบอก ในการวัดระดับน้ำ พบว่าค่าความจุไฟฟ้าแบ่งได้เป็นความจุไฟฟ้าเนื่องจากส่วนที่จุ่มลงในน้ำซึ่งมีขนาดความสูงเป็น h รวมกับความจุไฟฟ้าเนื่องจากส่วนที่เป็นอากาศซึ่งมีความสูงที่เหลือเท่ากับ $L-h$ เมื่อ L คือความยาวของท่อ ความจุไฟฟ้าของทั้งสองนี้ต่อกันแบบขนาน และห้วงวัดแบบกึ่งทรงกระบอกที่สร้างขึ้นนี้มีขอบความหนาของท่อเป็น t



รูปที่ 2 รูปแบบสำหรับการวิเคราะห์ a) มุมมองด้านบน b) แผ่นอิเล็กโตรดกึ่งทรงกระบอกที่ถูกแบ่งเป็นแผ่นเล็กๆ

ดังนั้นจึงต้องคำนึงถึงค่าความจุไฟฟ้าเนื่องจากความหนาของท่อด้วย ซึ่งสามารถแสดงวงจรมูลของค่าความจุไฟฟ้ารวมดังรูปที่ 3 โดยที่หาค่าความจุไฟฟ้ารวมได้ดังนี้

$$C = \frac{C_{m1}C_{a1}}{C_{a1} + C_{m1}} + \frac{C_{m1}C_{w1}}{C_{w1} + C_{m1}} + \dots + \frac{C_{mN}C_{aN}}{C_{aN} + C_{mN}} + \frac{C_{mN}C_{wN}}{C_{wN} + C_{mN}} \quad (1)$$



รูปที่ 3 วงจรมูลของค่าความจุไฟฟ้ารวม

โดยวิเคราะห์ด้วยทฤษฎีระเบียบวิธีเชิงตัวเลข เมื่อกำหนดให้ ความจุไฟฟ้ารวมส่วนของเหลวกับวัสดุ (C_1) และค่าความจุไฟฟ้ารวมส่วนของอากาศกับวัสดุ (C_2) เมื่อ

$$C_1 = \frac{C_{m1}C_{w1}}{C_{w1} + C_{m1}} + \dots + \frac{C_{mN}C_{wN}}{C_{wN} + C_{mN}} \quad (2)$$

$$\text{โดยที่ } C_{w1}, C_{w2}, \dots, C_{wN} = \frac{\epsilon_0 A}{\frac{2(n-1)\Delta d}{\epsilon_m} + \frac{d+2(n-1)\Delta d}{\epsilon_w}}, \quad C_{wN} = \frac{\epsilon_0 \epsilon_w A}{2(R-t)}$$

$$\text{และ } C_{m1}, C_{m2}, \dots, C_{mN} = \frac{\epsilon_0 \epsilon_m A}{t}, \quad C_{mN} = \frac{\epsilon_0 \epsilon_m A}{2t}$$

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

ดังนั้น

$$C_1 = \epsilon_0 \left(\frac{\pi R-d}{N} \right) h \left(\frac{2 \sum_{n=1}^N \left(\frac{1}{\frac{t}{\epsilon_m} + \frac{2(n-1)\Delta d}{\epsilon_m} + \frac{d+2(n-1)\Delta d}{\epsilon_w}} \right) + \frac{1}{\frac{2t}{\epsilon_m} + \frac{2(R-t)}{\epsilon_w}}}{2} \right) \quad (3)$$

$$\text{และ } C_2 = \frac{C_{m1}C_{a1}}{C_{a1} + C_{m1}} + \dots + \frac{C_{mN}C_{aN}}{C_{aN} + C_{mN}} \quad (4)$$

โดยที่

$$C_{a1}, C_{a2}, \dots, C_{aN} = \frac{\epsilon_0 A}{\frac{2(n-1)\Delta d}{\epsilon_m} + \frac{d+2(n-1)\Delta d}{\epsilon_a}}, \quad C_{aN} = \frac{\epsilon_0 \epsilon_a A}{2(R-t)}$$

$$C_2 = \epsilon_0 \left(\frac{\pi R-d}{N} \right) (L-h) \left(\frac{2 \sum_{n=1}^N \left(\frac{1}{\frac{t}{\epsilon_m} + \frac{2(n-1)\Delta d}{\epsilon_m} + \frac{d+2(n-1)\Delta d}{\epsilon_a}} \right) + \frac{1}{\frac{2t}{\epsilon_m} + \frac{2(R-t)}{\epsilon_a}}}{2} \right) \quad (5)$$

เมื่อกำหนดให้

$$k_1 = \frac{\epsilon_0 (\pi R-d)}{N} \left[2 \sum_{n=1}^N \left(\frac{1}{\frac{t}{\epsilon_m} + \frac{2(n-1)\Delta d}{\epsilon_m} + \frac{d+2(n-1)\Delta d}{\epsilon_w}} \right) + \frac{1}{\frac{2t}{\epsilon_m} + \frac{2(R-t)}{\epsilon_w}} \right]$$

และ

$$k_2 = \frac{\epsilon_0 (\pi R-d)}{N} \left[2 \sum_{n=1}^N \left(\frac{1}{\frac{t}{\epsilon_m} + \frac{2(n-1)\Delta d}{\epsilon_m} + \frac{d+2(n-1)\Delta d}{\epsilon_a}} \right) + \frac{1}{\frac{2t}{\epsilon_m} + \frac{2(R-t)}{\epsilon_a}} \right]$$

ดังนั้นเขียนสมการใหม่ได้คือ

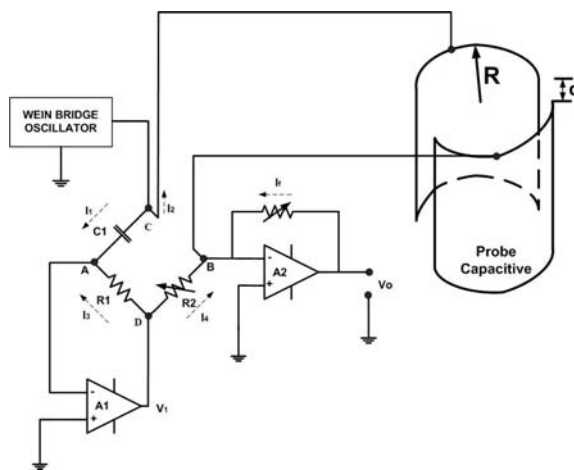
$$C = (L-h)k_2 + hk_1 \quad (6)$$

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

2.2 วงจรที่ใช้วัดความจุไฟฟ้า

การวัดความจุไฟฟ้าของหัววัดกึ่งทรงกระบอกที่เกิดขึ้นจากการเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำจะใช้วงจรบริดจ์ที่ปรับปรุงขึ้นพร้อมวงจรขยายดังแสดงในรูปที่ 4 โดยที่ออปแอมป์ตัวที่ 1 ทำให้จุด A และจุด D เป็นกราวด์เสมือน และออปแอมป์ตัวที่ 2 ทำหน้าที่ขยายสัญญาณในที่นี้ให้แรงดันไฟฟ้าที่จ่ายคงที่ (V) 2 โวลต์ และความถี่ (f) 1 kHz เมื่อระดับน้ำมีการเปลี่ยนแปลงสามารถหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าแรงดันด้านออกและระดับน้ำได้จาก

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

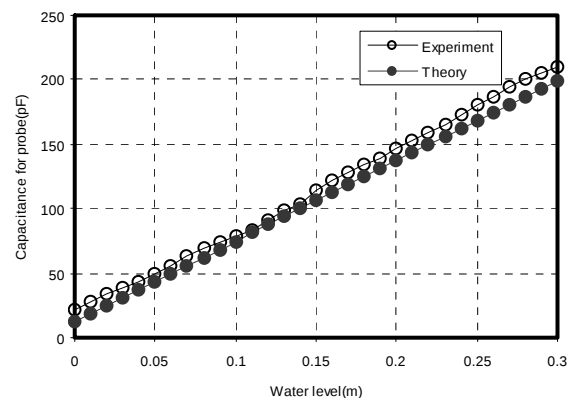


รูปที่ 4 วงจรบริดจ์ที่ปรับปรุงเพื่อประยุกต์ใช้วัดความจุไฟฟ้าของหัววัดกึ่งทรงกระบอกเมื่อระดับของเหลวเมื่อมีการเปลี่ยนแปลง

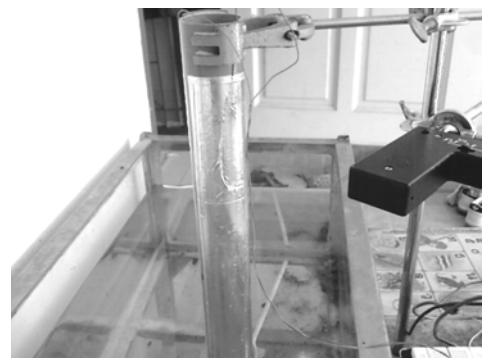
3. วิธีการทดลองและผลการทดลอง

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 h เป็นจำนวนของแผ่นโลหะที่ถูกแบ่งย่อยเท่ากับ 10,000 ชิ้น ค่าความจุไฟฟ้าจะแปรผันตรงกับค่าระดับน้ำที่เปลี่ยนไป โดยจะอยู่ในช่วงพิโคฟารัด (pF) แสดงดังในรูปที่ 5 พบว่าค่าที่ได้จากผลการทดลองจะมีค่ามากกว่าจากการคำนวณเนื่องมาจากค่าความจุไฟฟ้าแฝงในสายไฟฟ้าที่มีค่าเท่ากับ 6.31 %FSO

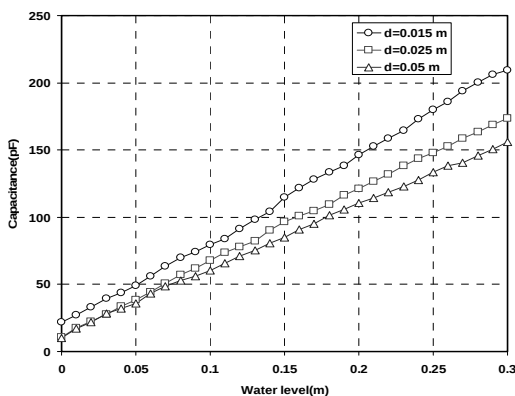


รูปที่ 5 เปรียบเทียบค่าความจุไฟฟ้าที่ได้จากการคำนวณกับการวัดค่าความจุไฟฟ้าโดยตรง

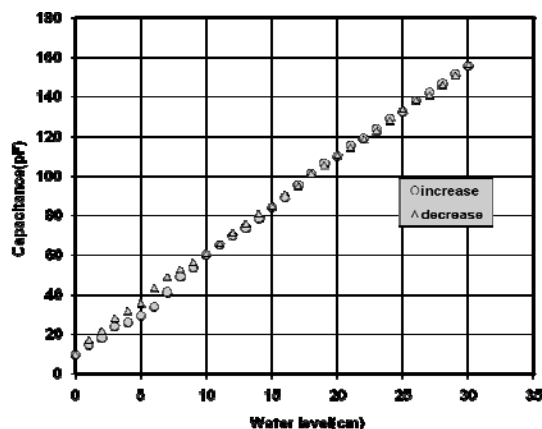


รูปที่ 6 รูปแบบหัววัดใช้ในการทดลองกับระดับน้ำเมื่อแผ่นโลหะวางห่างกัน 0.015 เมตร

จากรูปที่ 6 เป็นการวัดความจุไฟฟ้าของหัววัดกึ่งทรงกระบอกโดยให้ระดับน้ำเปลี่ยนแปลงตั้งแต่ 0.01 ถึง 0.30 เมตร และเพิ่มขึ้นทุกๆ 0.01 เมตร พร้อมกับทดลองซ้ำ 10 ครั้ง เมื่อให้หัววัดมีขนาดความยาวของแผ่นอิเล็กโทรดเท่ากับ 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 และได้ค่าฮิสเทอรีซิส (Hysteresis) เท่ากับ 6.04 %FSO



รูปที่ 7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความจุไฟฟ้ากับระดับน้ำเมื่อแผ่นโลหะวางห่างกันเป็นระยะต่างๆ

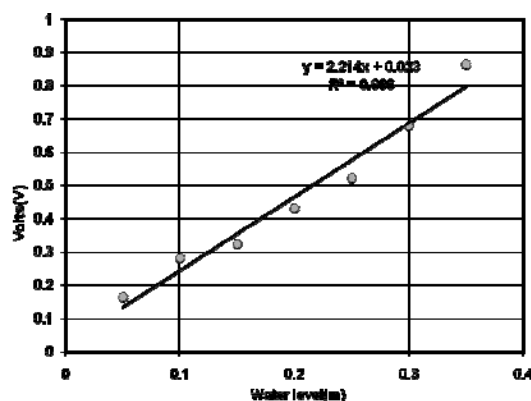


รูปที่ 8 ความสัมพันธ์ของฮิสเทอรีซิสในค่าความจุไฟฟ้า

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



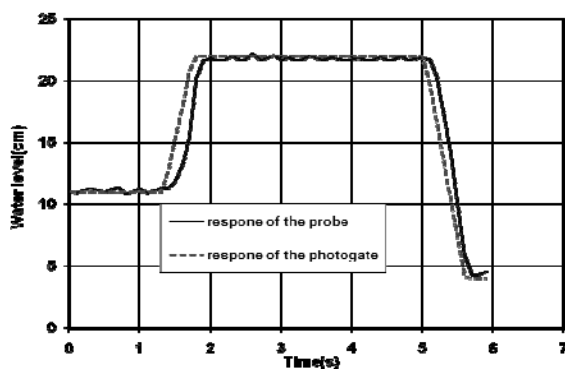
รูปที่ 9 ความสัมพันธ์ของแรงดันไฟฟ้าและระดับน้ำ

3.2.2 ผลตอบสนองเชิงพลวัต (Dynamic Response)

3.2.2.1 การจุ่มหัววัดในระดับด้วยความเร็วคงที่

จากรูปที่ 10 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างระดับน้ำกับเวลา เมื่อให้หัววัดกึ่งทรงกระบอกเคลื่อนที่จุ่มลงในน้ำด้วยระยะทาง 0.10 เมตร และได้เวลาในการเคลื่อนที่โดยอ่านได้จากเครื่องจับเวลาได้เท่ากับ 0.372 วินาที ดังนั้นสามารถคำนวณความเร็วของหัววัดเท่ากับ 0.269 เมตรต่อวินาที ในขณะที่การคำนวณความเร็วในการเคลื่อนที่ของหัววัดโดยใช้เทคนิคที่นำเสนอนี้จะได้ 0.260 เมตรต่อวินาที สำหรับกรณีเคลื่อนที่ของหัววัดที่ยกขึ้น

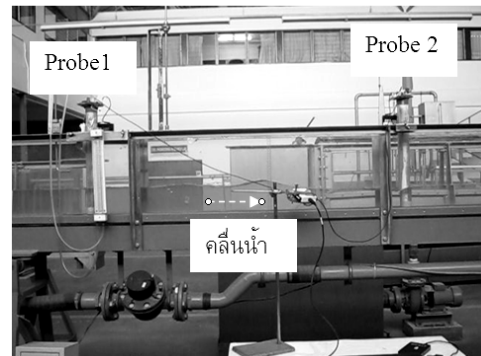
จากระดับน้ำเวลาในการเคลื่อนที่โดยอ่านได้จากเครื่องจับเวลาได้เท่ากับ 0.318 วินาที และความเร็วในการเคลื่อนที่คำนวณได้เป็น 0.314 เมตรต่อวินาที และในขณะที่การคำนวณความเร็วในการเคลื่อนที่ของหัววัดโดยใช้เทคนิคที่นำเสนอนี้จะได้ 0.271 เมตรต่อวินาที พบว่าผลตอบสนองเชิงพลวัตของหัววัดนี้มีเวลาที่ล่าช้า(Dead time)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



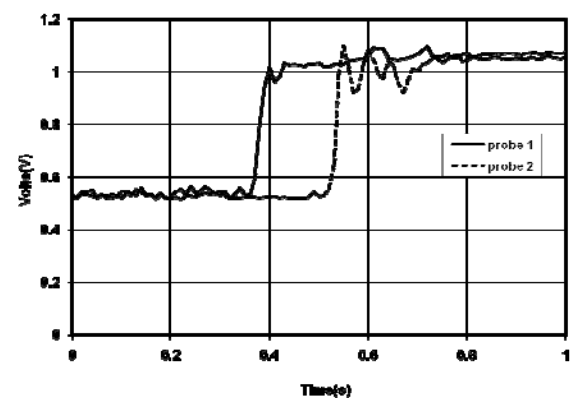
รูปที่ 10 ความสัมพันธ์ของระดับน้ำกับเวลาระหว่างค่าที่ทดลองกับค่ามาตรฐานกรณีจุ่มลงไปและยกขึ้นจากในน้ำ

3.2.2.2 กรณีการทดสอบในสภาวะน้ำหลาก

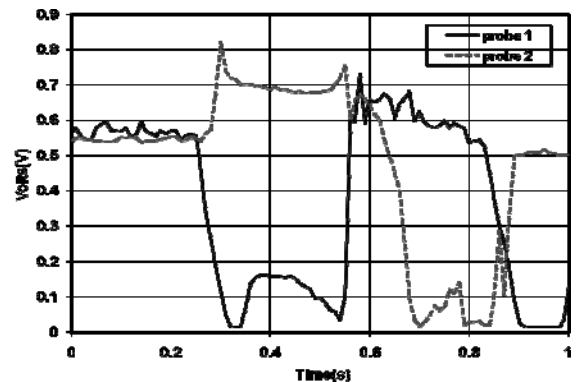
ในการศึกษาจะใช้หลักการทางชลศาสตร์จำลองสภาวะน้ำหลากในรางเปิด โดยวางหัววัดจำนวน 2 หัววัดในรางน้ำเปิดจำลองที่ห่างกันเป็นระยะ 1 เมตร นำแผ่นกั้นทำคลื่นมาวาง ดังแสดงในรูปที่ 11 วัดระดับน้ำที่เปลี่ยนแปลงไปโดยเทคนิคที่นำเสนอแสดงผลผ่านเครื่องมือวัดเสมือน รูปที่ 12 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างระดับน้ำที่วัดได้กับเวลากรณีจำลองสถานการณ์น้ำหลากเคลื่อนที่ผ่านหัววัดในช่วงเวลา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



รูปที่ 11 การจัดวางอุปกรณ์กรณีน้ำเคลื่อนที่ผ่านหัววัด



a) กรณีเคลื่อนน้ำเคลื่อนที่กระทบหัววัดตัวที่ 1 และ 2



b) การทำให้เกิดคลื่นระหว่างหัววัดทั้งสอง

รูปที่ 12 ความสัมพันธ์ของแรงดันไฟฟ้ากับเวลา

จากผลการทดลองค่าความไม่เป็นเชิงเส้นความสามารถในการทำซ้ำ และผลตอบสนองเวลา และราคา เปรียบเทียบระหว่างเทคนิคการวัดความจุไฟฟ้าแบบกึ่งทรงกระบอกกับการวัดระดับน้ำแบบต่างๆ ได้ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 เปรียบเทียบการวัดระดับแบบต่างๆ กับเทคนิคความจุไฟฟ้าแบบกึ่งทรงกระบอก

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

4. สรุป

ในการศึกษาการวัดระดับน้ำโดยใช้เทคนิคการวัดความจุไฟฟ้าแบบกึ่งทรงกระบอกพบว่าปริมาณความจุไฟฟ้าแปรผันตรงกับค่าระดับน้ำที่เปลี่ยนไปและแปรผันผกผันกับระยะห่างของแผ่นโลหะ ค่าที่ได้อยู่ในช่วงพิโคฟารัด(pF) ได้ค่าความไม่เป็นเชิงเส้น 1.31 % FSO ความสามารถในการทำซ้ำ 1.02 % ค่าฮิสเตอร์ซิส 6.04 %FSO สำหรับผลตอบสนองเชิงสถิติมีค่าความไม่แน่นอน 0.00218 โวลต์ ส่วนการศึกษาโดยใช้หลักการทางชลศาสตร์เพื่อจำลองสภาวะน้ำหลากในรางเปิด พบว่าให้ผลตอบสนองที่ดี ซึ่งสามารถนำไปประยุกต์ใช้วัดระดับของเหลวที่มีอัตราการเปลี่ยนแปลงอย่างฉับพลันได้พบว่า มีผลตอบสนองในช่วงเวลาที่ดีและมีราคาสำหรับสร้างถูกกว่าแบบต่างๆ มาก

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).