

การวัดระดับน้ำโดยใช้เทคนิคการวัดความจุไฟฟ้า

Water Level Measurement using Capacitance Measurement Technique

ศุภกร กตาทิการกุล^{1*}, มารินา มะหนิ², สุวิทย์ คงภักดี³ และนันทน์ภัส เพชรmani⁴

Supagone Katathikarnkul^{1*}, Marina Mani², Suwit Khongpugdee³ and Nannapas Pengmanee⁴

บทคัดย่อ

บทความนี้เสนอการวัดระดับน้ำโดยใช้เทคนิคการวัดความจุไฟฟ้า โดยมีหัววัดเป็นตัวเก็บประจุแบบแผ่นคู่ขนานที่ทำจากแผ่นวงจรพิมพ์ (PCB) เทคนิคการวัดความจุไฟฟ้าโดยการประยุกต์ใช้วงจรบริดจ์ที่ปรับปรุงขึ้น พบว่าแรงดันไฟฟ้าจะแปรผันตรงกับระดับน้ำที่เปลี่ยนไปซึ่งค่าอยู่ในช่วงมิลลิโวลต์ (mV) พบว่า ค่าความไม่เชิงเส้นมีค่า 8.53 % FSO ความสามารถในการทำซ้ำ 4.45% และ ฮิสเทอรีซิสมีค่า 2.97% FSO สามารถนำไปใช้ตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำได้ทันที อีกทั้งยังมีราคาถูก ใช้งานง่าย พกพาสะดวก แต่มีประสิทธิภาพและความคล่องตัวในการใช้งานสูง

คำสำคัญ: การวัดระดับน้ำ การวัดความจุไฟฟ้า วงจรบริดจ์

Abstract

This paper presents the water level measurement technique using a capacitance measurement. The probe is a parallel plate capacitor made of printed circuit board (PCB). Techniques for measuring capacitance was used by applying 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, Results show non-linear and 8.53% FSO, repeatability 4.45% and hysteresis error were 2.97%FSO respectively. 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, Capacitance Measurement, Bridge Circuit

¹ นักวิชาชีพ สาขาวิทยาศาสตร์และคณิตศาสตร์พื้นฐาน คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ สงขลา 90000

² ผศ., สาขาวิทยาศาสตร์และคณิตศาสตร์พื้นฐาน คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ สงขลา 90000

³ ผศ.ดร., สาขาวิทยาศาสตร์และคณิตศาสตร์พื้นฐาน คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ สงขลา 90000

⁴ นิสิตปริญญาตรี สาขาวิทยาศาสตร์-ฟิสิกส์ คณะศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ สงขลา 90000

¹ Scientists, Department of Science and Mathematics, Faculty of Science, Thaksin University, Songkhla, 90000

² Asst. Prof., Department of Science and Mathematics, Faculty of Science, Thaksin University, Songkhla, 90000

³ Asst. Prof. Dr., Department of Science and Mathematics, Faculty of Science, Thaksin University, Songkhla, 90000

⁴ Student Undergraduate, Department of Science and Mathematics, Faculty of Education, Thaksin University, Songkhla, 90000

* Corresponding author: Tel. 082-4384686. E-mail address: supagone@hotmail.com

บทนำ

ปัจจุบันการวัดระดับน้ำได้เข้ามามีบทบาทในการเฝ้าระวังปัญหาในระดับน้ำที่เปลี่ยนแปลงตลอดเวลาซึ่งอาจส่งผลกระทบต่อการดำรงชีวิตประจำวันได้ และมีส่วนในทางกระบวนการผลิตในอุตสาหกรรมเป็นอย่างมาก แต่เทคนิคการเรียนรู้ในการวัดระดับน้ำที่มีอยู่ในการเรียนการสอนในมหาวิทยาลัยยังมีจำนวนน้อย เข้าใจยาก ราคาแพงและนำเข้ามาจากต่างประเทศเป็นส่วนใหญ่ จึงส่งผลต่อการเรียนรู้และความเข้าใจต่อวิธีการวัดระดับน้ำ และจากการศึกษาเทคนิคที่ใช้ตรวจวัดระดับน้ำหลายๆ ประเภท ไม่ว่าจะเป็นอาทิเช่น การใช้เทคนิค Acoustical gas resonator [1] เทคนิคของเส้นใยแก้วนำแสง (Fiber-optic) เทคนิคการใช้แขนกลขนาดเล็ก (Cantilever Beam) [2] เทคนิคการใช้หัววัดอุลตราโซนิก [3] หรือใช้หลักการวัดความจุไฟฟ้าแบบหัววัดกึ่งทรงกระบอก [4] พบว่าการใช้เทคนิคด้านต่างๆ มาประยุกต์ใช้เป็นเซนเซอร์จะมีข้อจำกัดบางอย่างในการวัด เทคนิคการสร้างการวัดที่ยู่งยาก และยังมีราคาสูง ดังนั้นจึงมีแนวความคิดในการสร้างเครื่องวัดระดับน้ำอย่างง่ายที่สามารถนำมาใช้ในการเรียนการสอนในห้องปฏิบัติการเพื่อให้เกิดองค์ความรู้และหลักการที่ถูกต้องสำหรับวิธีการวัดระดับน้ำ

เทคนิคหนึ่งที่สามารถนำมาใช้ตรวจวัดระดับน้ำในการเรียนการสอนได้ง่าย คือ การวัดค่าความจุไฟฟ้าที่เป็นความรู้พื้นฐานของการเรียนในวิชาฟิสิกส์ที่สามารถนำมาประยุกต์ใช้ให้เกิดการเรียนรู้และนำมาใช้งานได้จริง โดยมีหลักการพื้นฐานคือการใช้ขั้วไฟฟ้า 2 ขั้ว ทำการวัดระดับน้ำด้วยการวัดปริมาณไดอิเล็กตริกของน้ำซึ่งมีอยู่ในคุณสมบัติของน้ำอาทิเช่น ความเข้มข้น สารแขวนลอย และการเจือปน โครงสร้างส่วนใหญ่มีลักษณะเป็นแผ่นหรือแท่งตัวนำที่แยกออกเป็น 2 ส่วน อย่างไรก็ตามเมื่อค่าไดอิเล็กตริกเปลี่ยนจะส่งผลต่อค่าที่ตรวจวัดได้

บทความนี้นำเสนอเทคนิคสำหรับตรวจวัดระดับน้ำโดยวัดค่าความจุไฟฟ้าระหว่างแผ่นอิเล็กโตรดคู่ขนาน โดยประกอบด้วยหัววัดมีลักษณะเป็นแบบคู่ขนานที่ทำจากแผ่นวงจรพิมพ์เชื่อมต่อกับวงจรไฟฟ้าแบบบริดจ์ และไมโครคอนโทรลเลอร์สำหรับคำนวณระดับน้ำ แสดงผลบนหน้าจอ LCD ขนาด 16x4 ตัวอักษร พร้อมทั้งสามารถเก็บข้อมูลด้วย SD Card โดยเครื่องมือที่ประดิษฐ์มีข้อดีคือการผลิตที่ไม่ยุ่งยาก มีความสะดวก ปลอดภัยและง่ายต่อการบำรุงรักษา นอกจากนี้ยังมีราคาถูกและสามารถประดิษฐ์ขึ้นได้โดยการใช้เทคโนโลยีที่ไม่ซับซ้อนและอุปกรณ์มีจำหน่ายภายในประเทศ ดังนั้นสามารถสร้างขึ้นมาใช้เองได้ซึ่งจะเป็นการลดการนำเข้าเครื่องมือที่มีราคาแพงจากต่างประเทศได้

วิธีการวิจัย

หลักการพื้นฐานการหาความจุไฟฟ้า

การหาความจุไฟฟ้าอย่างง่ายสามารถหาได้จากแผ่นโลหะที่มีพื้นที่ของแผ่นโลหะ (A) อย่างน้อยสองแผ่นวางระยะห่างน้อยที่สุดของช่องว่าง (d) มีฉนวนหรือไดอิเล็กตริกกั้นกลางอยู่มีค่าคงที่ของไดอิเล็กตริก (ϵ_r) และมีค่า permittivity of free space (ϵ_0) มีเท่ากับ 8.85 (pF/m) สามารถคำนวณหาได้จากสมการของตัวเก็บประจุแผ่นเพลตแบบขนานได้ คือ

$$C = \epsilon_0 \epsilon_r \frac{A}{d} \quad (1)$$

รูปแบบของเครื่องวัดระดับน้ำด้วยหลักการความจุไฟฟ้า

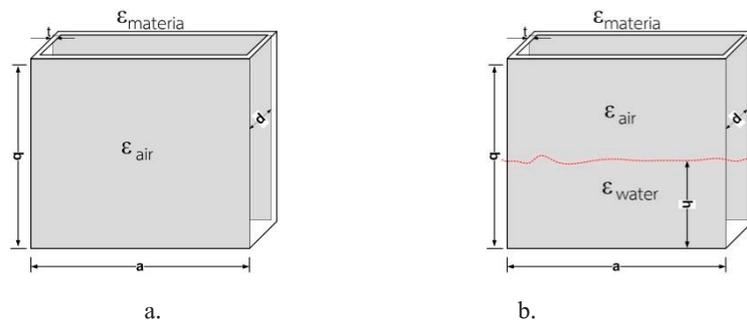
ลักษณะของเครื่องวัดระดับน้ำที่อาศัยเทคนิคการวัดความจุไฟฟ้า โดยรูปแบบของเครื่องวัดทำจากแผ่นวงจรพิมพ์มีอิเล็กโตรดที่เป็นแผ่นคู่ขนานทำจากแผ่นทองแดง โดยที่แผ่นวงจรพิมพ์ให้เป็นรูปแบบคู่ขนานมีความสูงเท่ากับ b ความกว้างเท่ากับ a มีช่องว่างน้อยที่สุดเท่ากับ d และมีความหนาของแผ่นวงจรพิมพ์ t ในกรณีที่ไม่มีน้ำมีเพียงอากาศ ดังภาพที่ 1a สามารถวิเคราะห์หาค่าความจุไฟฟ้าของการวัดระดับน้ำแบบความจุไฟฟ้าได้โดยเปรียบเสมือนมีค่าความจุไฟฟ้ารวมระหว่าง

ตำแหน่ง A และ B ที่เกิดจากค่าไดอิเล็กทริกของวัสดุที่ใช้ทำและค่าไดอิเล็กทริกภายในคืออากาศวงจรมุมูลของค่าความจุไฟฟ้าที่ต่ออนุกรมกันแสดงดังภาพที่ 2 โดยสามารถหาความจุไฟฟ้าจากแผ่นคู่ขนาน ได้เป็น

$$C = \left(\frac{1}{C_{\text{air}}} + \frac{1}{C_{\text{material}}} \right) \quad (2)$$

ในกรณีมีไดอิเล็กทริกเป็นอากาศกับน้ำ ดังภาพที่ 1b พบว่าค่าความจุไฟฟ้าของหัววัดจะแบ่งเป็นความจุไฟฟ้าที่ได้จากน้ำรวมกับความจุไฟฟ้าที่เป็นอากาศ นั่นคือความจุไฟฟ้าของทั้งสองต่อกันแบบขนาน กำหนดหาความจุไฟฟ้าได้จากสมการดังนี้

$$C = C_{\text{water}} + C_{\text{air}} \quad (3)$$



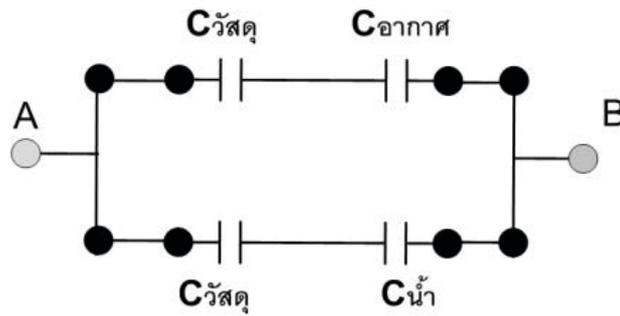
ภาพที่ 1 รูปแบบเครื่องวัดระดับน้ำที่อาศัยเทคนิคการวัดความจุไฟฟ้า



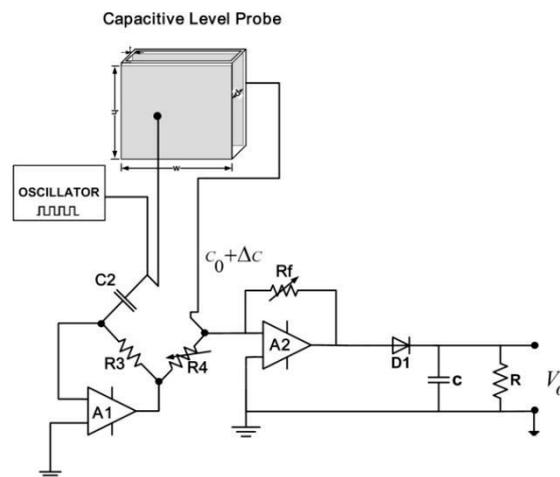
ภาพที่ 2 วงจรมุมูลของค่าความจุไฟฟ้า

แต่วัสดุที่ใช้ทำหัววัดมีค่าไดอิเล็กทริกด้วย ดังนั้นต้องคิดค่าความจุไฟฟ้าที่ได้จากวัสดุด้วย แสดงการต่อกันดังวงจรมุมูลที่แสดงในภาพที่ 3 สามารถหาความจุไฟฟ้ารวมได้เป็น

$$C = \left(\frac{1}{C_{\text{liquid}}} + \frac{1}{C_{\text{material}}} \right) + \left(\frac{1}{C_{\text{air}}} + \frac{1}{C_{\text{material}}} \right) \quad (4)$$



ภาพที่ 3 วงจรสมมูลของค่าความจุไฟฟ้าสำหรับแผ่นคู่ขนาน



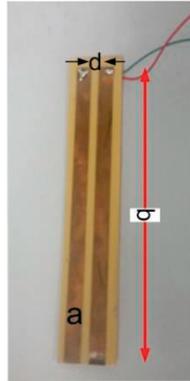
ภาพที่ 4 วงจรบริดจ์ที่ปรับปรุงเพื่อประยุกต์ใช้วัดความจุไฟฟ้าของหัววัด

วงจรที่ใช้วัดความจุไฟฟ้า

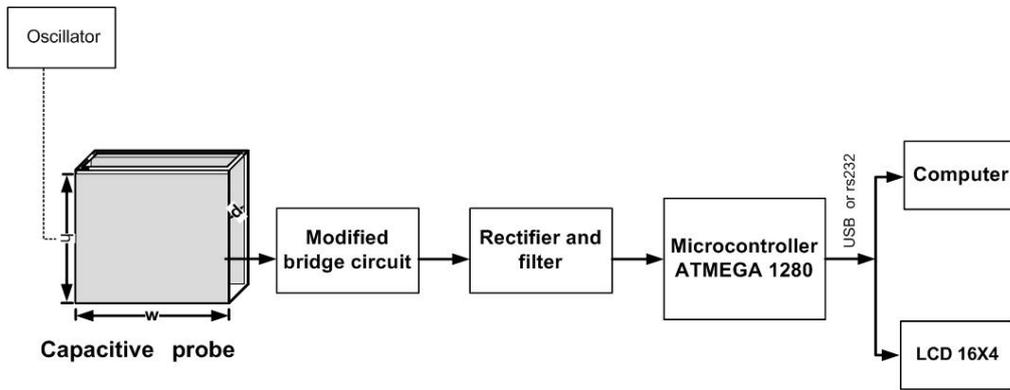
การวัดความจุไฟฟ้าของหัววัดที่เกิดขึ้นจากการเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำจะใช้วงจรบริดจ์ที่ปรับปรุง [5] ขึ้นพร้อมวงจรขยายดังแสดงในภาพที่ 4 โดยที่ออปแอมป์ตัวที่ 1 เป็นกราวด์เสมือน และออปแอมป์ตัวที่ 2 ทำหน้าที่ขยายสัญญาณให้แรงดันไฟฟ้าที่จ่ายคงที่ (V) และความถี่คงที่ (f) เมื่อระดับน้ำมีการเปลี่ยนแปลงสามารถหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าแรงดันด้านออกและระดับน้ำได้ โดยที่มีแรงดันออกเท่ากับ V_O ที่ได้จะแปลงไปเป็นระดับสัญญาณกระแสตรงด้วยวงจรกรองเรียงกระแส (Rectifier and Filter)

ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

ออกแบบเครื่องวัดระดับน้ำที่ใช้หัววัดความจุไฟฟ้า (Capacitive Probe) ทำจากแผ่นวงจรพิมพ์ให้ทองแดงในแผ่นเป็นรูปคู่ขนานที่มีความสูง (b) เท่ากับ 19 เซนติเมตร ความกว้าง (a) เท่ากับ 1 เซนติเมตร มีช่องว่างน้อยที่สุด (d) เท่ากับ 0.5 เซนติเมตร และมีความหนาของแผ่นวงจรพิมพ์ 0.02 เซนติเมตร ดังภาพที่ 5 สำหรับไดอะแกรมการทำงานของเครื่องวัดระดับน้ำแสดงดังภาพที่ 6 ทำการวัดระดับน้ำด้วยวงจรบริดจ์ที่ปรับปรุงขึ้นแล้วนำมาประมวลผลผ่านไมโครคอนโทรลเลอร์รุ่น ATMEGA1280 จัดเก็บข้อมูลลงใน SD/MMC โดยมี SD Card ขนาดความจุ 4 GB เพื่อทำเป็นฐานข้อมูล กำหนดวันเดือนปี เวลาด้วยวงจรสร้างฐานเวลา DS1307 สามารถแสดงผลผ่านพอร์ตอนุกรมกับคอมพิวเตอร์และจอ LCD ขนาด 16x4 ตัวอักษร เพื่อแสดงผลค่าระดับน้ำ ดังภาพที่ 7



ภาพที่ 5 หัววัดระดับน้ำทำจากแผ่นวงจรพิมพ์



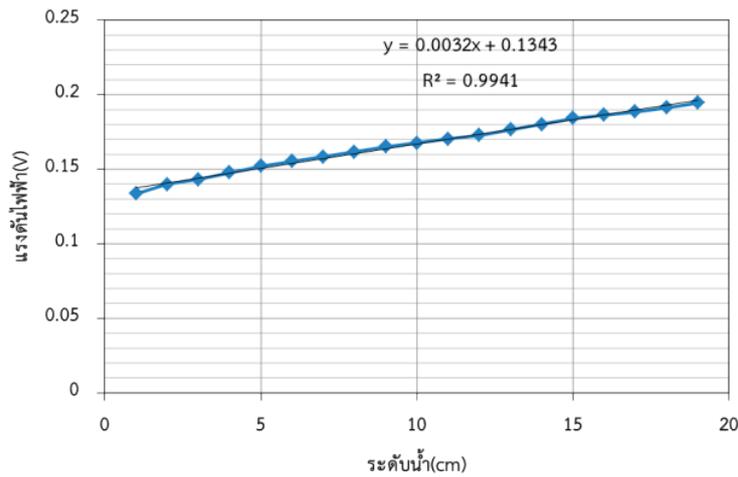
ภาพที่ 6 ไคอะแกรมหลักการทำงานของเครื่องวัดระดับน้ำ



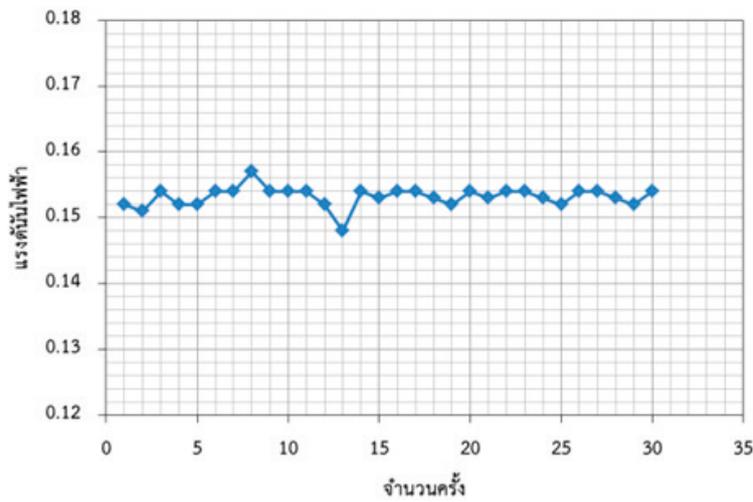
ภาพที่ 7 องค์ประกอบของเครื่องวัดระดับน้ำที่ใช้ในการทดลอง

ค่าความเป็นเชิงเส้น (Linearity)

วัดแรงดันไฟฟ้าของหัววัดค่าที่ได้จะแปรผันตรงกับค่าระดับน้ำที่เปลี่ยนไปโดยค่าแรงดันไฟฟ้าอยู่ในช่วงมิลลิโวลต์ (mV) เมื่อระยะห่างของแผ่นโลหะ 0.5 เซนติเมตร การทดลองโดยวัดระดับตั้งแต่ 0 ถึง 19 เซนติเมตร เพิ่มระดับน้ำครั้งละ 1 เซนติเมตร แสดงคุณสมบัติความเป็นเชิงเส้นดังภาพที่ 8 และคำนวณผลค่าความไม่เป็นเชิงเส้นได้ค่าเป็น 8.53% FSO



ภาพที่ 8 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าแรงดันไฟฟ้าและระดับน้ำ



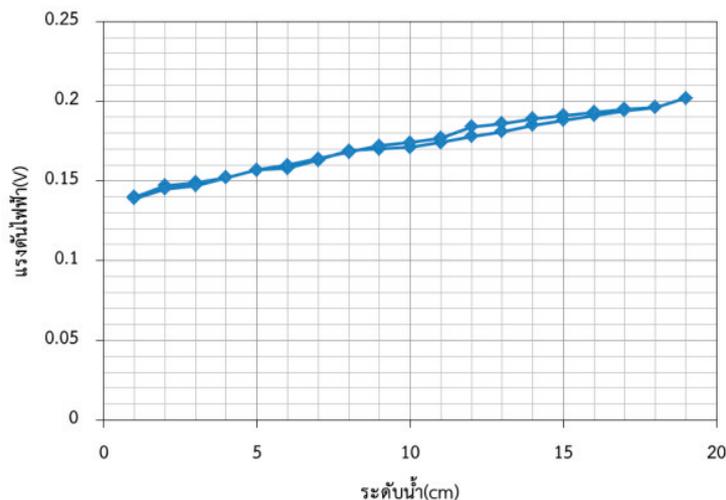
ภาพที่ 9 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้ากับจำนวนครั้งที่ระดับน้ำ 4 เซนติเมตร

ค่าความสามารถในการทำซ้ำ (Repeatability)

เมื่อวัดแรงดันไฟฟ้าของหัววัดเมื่อระยะห่างของแผ่นโลหะ 0.5 เซนติเมตร ตั้งแต่ระดับน้ำค่า 1 ถึง 19 เซนติเมตร โดยเพิ่มขึ้นครั้งละ 1 เซนติเมตร และทดลองซ้ำ 30 ครั้ง จะได้ค่าความสามารถในการทำซ้ำ ดังภาพที่ 9 จะได้ค่าความสามารถในการทำซ้ำ 4.45% ที่ระดับน้ำ 4 เซนติเมตร

ค่าฮิสเทอรีซิส (Hysteresis)

วัดแรงดันไฟฟ้าที่เทียบกับระดับน้ำที่เปลี่ยนแปลงในลักษณะเพิ่มและลดระดับน้ำความสัมพันธ์ระหว่างค่าฮิสเทอรีซิส แสดงดังภาพที่ 10 เมื่อค่าระยะห่างระหว่างแผ่นโลหะเท่ากับ 0.5 เซนติเมตร ได้ค่าความผิดพลาดของฮิสเทอรีซิสเท่ากับ 2.97%FSO



ภาพที่ 10 ค่าความผิดพลาดแบบฮิสเทอรีซิสของเครื่องวัดระดับน้ำ

สรุปผลการวิจัย

การวัดระดับน้ำโดยใช้เทคนิคการวัดความจุไฟฟ้า โดยมีหัววัดเป็นแบบคู่ขนานที่ทำจากแผ่นวงจรพิมพ์ (PCB) ให้ทองแดงในแผ่นเป็นรูปคู่ขนานที่มีความสูงเท่ากับ 19 เซนติเมตร ความกว้างเท่ากับ 1 เซนติเมตร มีช่องว่างน้อยที่สุดเท่ากับ 0.5 เซนติเมตร และมีความหนาของแผ่นวงจรพิมพ์ 0.02 เซนติเมตร เทคนิคการวัดความจุไฟฟ้าโดยการประยุกต์ใช้วงจรบริดจ์ที่ปรับปรุงขึ้นพบว่า แรงดันไฟฟ้าจะแปรผันตรงกับระดับน้ำที่เปลี่ยนไปซึ่งค่าอยู่ในช่วงมิลลิโวลต์ (mV) พบว่า ค่าความไม่เป็นเชิงเส้นมีค่า 8.53% FSO ความสามารถในการทำซ้ำ 4.45% และฮิสเทอรีซิสมีค่าความผิดพลาด 2.97% FSO ดังนั้นจากผลการศึกษการวัดระดับน้ำโดยใช้เทคนิคการวัดความจุไฟฟ้า และสามารถตรวจวัดระดับน้ำได้อย่างต่อเนื่อง ใช้งานง่าย พกพาสะดวกอีกทั้งยังมีราคาถูก แต่มีประสิทธิภาพและความคล่องตัวในการใช้งานสูง

เอกสารอ้างอิง

- [1] Donlagic D., Zavrsnik M and Sirotic I. (2000). "The use of one-dimensional acoustical gas resonator for fluid level measurements", **IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement**. 49(5), 1095-1100.
- [2] Eldar M and Sait E K. (2003). "A novel liquid level detection method and its implementation", **Sensors and Actuators A: Physical**. 109, 21-24.
- [3] Srisan, P., Katathikarnkul S. and Mani, M. (2014). "Water Level Gauge to Transmit Data Using Wireless Sensor Network", **Thaksin University Journal**. 17(3), 51-59.
- [4] Supagorn Katathikarnkul. (2012). "เซนเซอร์ความจุไฟฟ้าแบบกึ่งทรงกระบอกเพื่อวัดระดับของเหลว", In **The 32th Electrical Engineering Conference (EECON 32)**. Oct 26-30, 2012, Prachinburi.
- [5] S.C. Bera, J.K. Ray and S. Chattopadhyay. (2006). "A low-cost noncontact capacitance-type level transducer for a conducting liquid", **IEEE Trans Instrum Meas**. 55(3), 778-786.