



รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์

ชื่อแผนงานวิจัย การพัฒนาระบบต้นแบบเฝ้าตรวจวัดระดับน้ำในคลอง
เปิดแบบประมวลผลเวลาจริงผ่านเว็บโดยใช้เครือข่ายเซนเซอร์ไร้สาย

ชื่อโครงการวิจัย : การพัฒนาเครื่องมือต้นแบบสำหรับวัดระดับน้ำในคลอง
เปิดเพื่อใช้ในการส่งข้อมูลผ่านเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สาย

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ คณดิถ เจษฎ์พัฒนานนท์
รองศาสตราจารย์ บุญเจริญ วงศ์กิตติศึกษา
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ พยอม รัตนมณี
นายประณีต รอดแสง

ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัย จากเงินสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ
(เงินงบประมาณแผ่นดิน มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์)

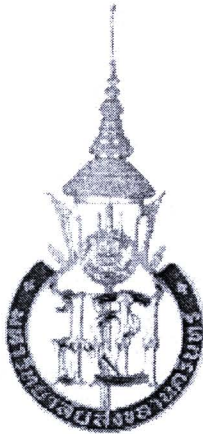
ประจำปี พ.ศ. 2551

600251836

ห้องสมุดงานวิจัย สำนักงานคณะกรรมการการวิจัยแห่งชาติ



247407



รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์

ชื่อแผนงานวิจัย การพัฒนาระบบต้นแบบเฝ้าตรวจวัดระดับน้ำในคลอง
เปิดแบบประมวลผลเวลาจริงผ่านเว็บโดยใช้เครือข่ายเซนเซอร์ไร้สาย

ชื่อโครงการวิจัย : การพัฒนาเครื่องมือต้นแบบสำหรับวัดระดับน้ำในคลอง
เปิดเพื่อใช้ในการส่งข้อมูลผ่านเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สาย

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ คณดิฏ เจษฎ์พัฒนานนท์
รองศาสตราจารย์ บุญเจริญ วงศ์กิตติศึกษา
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ พยอม รัตนมณี
นายประณีต รอดแสง

ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัย จากเงินสำนักงานคณะกรรมการการวิจัยแห่งชาติ
(เงินงบประมาณแผ่นดิน มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์)

ประจำปี พ.ศ. 2551

247407

งานวิจัยนี้เป็นการออกแบบ พัฒนาและสร้างต้นแบบเครื่องมือสำหรับวัดระดับน้ำในคลองเปิด เพื่อใช้ในการส่งข้อมูลผ่านเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สายด้วยกัน 2 วิธีคือ

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

การวัดระดับน้ำโดยใช้แผ่นวงจรพิมพ์ที่มีลายวงจรที่มีลักษณะคล้ายซี่หวีที่เรียกว่า อินเตอร์ดิจิตอลอิเล็กทรอนิกส์ โดยที่ปริมาณความจุไฟฟ้าระหว่างซี่หวีจะแปรผันตรงกับค่าระดับน้ำที่เปลี่ยนไปและแปรผกผันกับระยะห่างของซี่หวี ค่าความจุไฟฟ้าที่ได้จะถูกวัดและประมวลผลด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์เปลี่ยนเป็นสัญญาณไฟฟ้าแบบอนุกรม RS-232 ส่งต่อให้กับคอมพิวเตอร์หรืออุปกรณ์อื่น ๆ ที่มีมาตรฐานการสื่อสารแบบเดียวกัน ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า เซนเซอร์ที่มีย่านวัด 0-30 เซนติเมตร มีผลตอบสนองเชิงสถิติที่มีความแม่นยำเชิงเส้นสูง และมีค่าคลาดเคลื่อนต่ำ

คำสำคัญ: การวัดระดับน้ำ การวัดความจุไฟฟ้าแบบกึ่งทรงกระบอก วงจรบริดจ์ที่ปรับปรุง อินเตอร์ดิจิตอลอิเล็กทรอนิกส์

ABSTRACT

This research work is proposed the development of two prototypes of water level meter in open channel to transmit data using wireless sensor networks:

247407

The water level measurement technique based on a semicylindrical capacitance measurement 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 capacitance is measured 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.

The water level sensor fabricated from a simple printed circuit board. This sensor is a coplanar structure consisting of multiple parallel fingers. The capacitance between parallel fingers varied according to the water level. The varied capacitance can be measured and processed by a microcontroller. The output signal is transmitted by RS-232 to a computer or other devices with the same communication protocol. The experimental results show that this liquid level sensor is linear with $R^2 = 0.9992$. and precision with 0.7 cm. in error. In addition , this sensor consumes a low energy rate at 5 mJ/s for 2.2-3.5 volts supplied voltage.

Keywords: Water level measurement, Semicylindrical capacitance measurement, Modified bridge circuit, Interdigital sensor

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ดำเนินการภายใต้การสนับสนุนจากเงินงบประมาณแผ่นดินปี 2551 – 2553 (วช.) ใน
โครงการหมายเลข 2551A11501001 คณะวิจัยขอขอบพระคุณมา ณ ที่นี้

สารบัญ

บทที่	หน้า
1. บทนำ	1
1.1 ความสำคัญและที่มาของการวิจัย	1
1.2 ทบทวนวรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	2
1.3 วัตถุประสงค์ของการวิจัย	10
1.4 ขอบเขตการวิจัย	10
1.5 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินการวิจัย	11
2. ทฤษฎีและหลักการ	15
2.1 หลักการพื้นฐานของการวัดระดับ	15
2.1.1 อุปกรณ์ตรวจวัดระดับตามหลักการทางกายภาพ	15
2.2 หลักการพื้นฐานการหาค่าความจุไฟฟ้า	19
2.3 รูปแบบของเซนเซอร์ความจุไฟฟ้าแบบกึ่งทรงกระบอก	21
2.3.1 กรณีมีไดอิเล็กตริกเป็นอากาศ	22
2.3.2 กรณีมีไดอิเล็กตริกเป็นอากาศกับของเหลว	24
2.4 การออกแบบวงจรสำหรับเซนเซอร์	26
2.4.1 วงจรภาคแหล่งจ่ายไฟ	27
2.4.2 วงจรออสซิลเลเตอร์	28
2.4.3 การประยุกต์วงจรบริดจ์	28
2.4.4 เปรียบเทียบค่าแรงดันไฟฟ้ากับค่าความจุไฟฟ้า	29
2.4.5 วัดค่าความจุไฟฟ้าของชนิดของเหลวที่แตกต่างกัน	30
3. วัสดุ อุปกรณ์ และการทดลอง	33
3.1 การออกแบบเซนเซอร์ความจุไฟฟ้าแบบกึ่งทรงกระบอก	33
3.1.1 รูปแบบของเซนเซอร์ความจุไฟฟ้าแบบกึ่งทรงกระบอก	33
3.1.2 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์	34
3.2 การทดลองเพื่อศึกษาความสัมพันธ์ของค่าความจุไฟฟ้าของเซนเซอร์ และระดับของเหลว	34
3.3 ศึกษาความสัมพันธ์ของค่าความจุไฟฟ้ากับระยะห่างของแผ่นอิเล็กโตรดของเซนเซอร์	37

สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
4.7 ความสัมพันธ์ค่าแรงดันไฟฟ้าของเซนเซอร์กับของเหลวต่างชนิด	56
4.8 ผลกระทบจากการส่งข้อมูลของเซนเซอร์ผ่านโมดูลสื่อสารไร้สาย	57
4.8.1 กรณีการทดสอบในสภาวะน้ำหลาก	58
5. สรุปและวิจารณ์	60
5.1 สรุปผลและวิจารณ์	60
5.1.1 สรุปผลการศึกษาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของเซนเซอร์ความจุไฟฟ้าแบบกึ่งทรงกระบอก	60
5.1.2 สรุปผลการศึกษาความสัมพันธ์ของค่าความจุไฟฟ้าของเซนเซอร์และระดับของเหลวและความสัมพันธ์ของค่าความจุไฟฟ้ากับระยะห่างของแผ่นอิเล็กโตรด	60
5.1.3 สรุปผลการศึกษาความสัมพันธ์ของแรงดันไฟฟ้าของเซนเซอร์และระดับของเหลว	61
5.1.4 สรุปผลการศึกษาผลสภาวะแวดล้อมที่มีผลต่อเซนเซอร์	61
5.1.5 สรุปผลการศึกษาผลตอบสนองของเวลาที่มีต่อเซนเซอร์	61
5.1.6 สรุปผลการศึกษาความสัมพันธ์แรงดันไฟฟ้าของเซนเซอร์กับของเหลวต่างชนิด	61
5.2 ข้อเสนอแนะ	62
6. ความจุไฟฟ้าแบบอินเตอร์ดิจิตอล	63
6.1 ทฤษฎีและหลักพื้นฐานการเก็บประจุไฟฟ้า	63
6.2 การประมาณค่าความจุไฟฟ้าด้วยแบบจำลองคณิตศาสตร์	70
6.3 การจำลองการทำงานของอินเตอร์ดิจิตอลอิเล็กทรอนิกส์ด้วยโปรแกรม COMSOL Multiphysics	72
7. การออกแบบเซนเซอร์วัดระดับน้ำแบบอินเตอร์ดิจิตอลรุ่นที่ 1	73
7.1 อิเล็กทรอนิกส์	73
7.2 วงจรปรับแต่งสัญญาณ	76
7.3 การทดลองสภาวะน้ำหลาก	77
8. การออกแบบเซนเซอร์วัดระดับน้ำแบบอินเตอร์ดิจิตอลรุ่นที่ 2	82
8.1 อิเล็กทรอนิกส์	82

สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
8.2 วงจรควบคุมการทำงาน	83
8.3 ระบบประมวลผลอัจฉริยะ	85
8.4 การทดลอง และผลการทดลอง	
8.4.1 การทดลองเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างระดับน้ำ กับค่าความจุไฟฟ้าของอิเล็กโตรดแบบอินเตอร์ดิจิตอลที่ได้จากการออกแบบ	90
8.4.2 การทดลองเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างระดับน้ำ กับระยะเวลาคายประจุของอิเล็กโตรด ที่ได้จากการวัดด้วยวงจรควบคุมการทำงาน	92
8.4.3 การทดลองเพื่อหาค่าความผิดพลาดของเซนเซอร์ เมื่อเปรียบเทียบระหว่างค่าระดับน้ำที่ได้จากการวัดด้วยเซนเซอร์ กับค่าระดับน้ำจริง	94
8.4.4 การทดลองเพื่อหาค่าความผิดพลาดแบบฮิสเทอรีซิส (hysteresis error) ของเซนเซอร์ เมื่อวัดระดับน้ำในช่วงระดับน้ำเพิ่มขึ้นและลดลง	94
8.4.5 การทดลองเพื่อหาค่าความไม่แน่นอนในการวัดของเซนเซอร์	95
8.4.6 การทดลองเพื่อทดสอบผลตอบแทนของเซนเซอร์ เมื่อระดับน้ำมีการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว (dynamic response)	96
8.4.7 การทดลองเพื่อทดสอบผลตอบแทนเชิงเวลาในการวัดระดับน้ำของเซนเซอร์ เมื่อเกิดสถานะน้ำไหลท่วมฉับพลัน	97
8.4.8 การทดลองเพื่อศึกษาผลกระทบต่อค่าระดับน้ำที่วัดด้วยเซนเซอร์ เมื่ออุณหภูมิของน้ำเปลี่ยนแปลงไป	98
8.4.9 การทดลองเพื่อศึกษาผลกระทบต่อค่าระดับน้ำที่วัดด้วยเซนเซอร์ เมื่อวัดระดับน้ำที่ไม่ใช่น้ำบริสุทธิ์	99
8.4.10 การทดลองเพื่อศึกษาผลกระทบต่อค่าระดับน้ำที่วัดด้วยเซนเซอร์ เมื่อค่าไดอิเล็กตริกของน้ำเปลี่ยนแปลงไป	101
8.4.11 การทดลองเพื่อศึกษาผลกระทบต่อค่าความจุไฟฟ้าที่วัดด้วยวงจรควบคุมการทำงาน เมื่อแหล่งจ่ายไฟมีแรงดันไม่คงที่	102
8.4.12 การทดลองเพื่อหาค่าความผิดพลาดจากการวัดระดับน้ำด้วยเซนเซอร์ เมื่อได้รับผลกระทบจากการเสื่อมสภาพความเป็นฉนวนของวัสดุเคลือบผิวทองแดง	103

สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
8.4.13 การทดลองวิธีหาค่าความผิดพลาดในการวัดระดับน้ำของเซนเซอร์ เมื่อได้รับผลกระทบจากอุณหภูมิของน้ำที่เปลี่ยนแปลงไป โดยใช้การประมวลผลแบบอัจฉริยะ	104
8.4.14 การทดลองวิธีหาค่าความผิดพลาดในการวัดระดับน้ำของเซนเซอร์ เมื่อได้รับผลกระทบจากการกระเพื่อมของผิวน้ำ โดยการใช้วิธีหาค่าเฉลี่ย	105
8.4.15 การทดลองวิธีหาค่าความผิดพลาดในการวัดระดับน้ำของเซนเซอร์ เมื่อได้รับผลกระทบจากการกระเพื่อมของผิวน้ำ โดยการใช้โครงข่ายประสาทเทียม	108
8.4.16 การทดลองเพื่อหาอัตราการใช้พลังงานของเซนเซอร์	111
8.4.17 การทดลองเพื่อหาอัตราการใช้พลังงานของเซนเซอร์เมื่อต่อใช้งานร่วมกับโมดูลเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สาย U.node Ver.2	111
8.4.18 การทดลองเพื่อหาประสิทธิภาพในการส่งข้อมูลของเซนเซอร์เมื่อต่อใช้งานร่วมกับโมดูลเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สาย U.node Ver.2	112
9. สรุปผลการวิจัยเซนเซอร์วัดระดับน้ำแบบอินเตอร์ดิจิตอลรุ่นที่ 2	
9.1 สรุปผลแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของเซนเซอร์วัดระดับน้ำแบบอินเตอร์ดิจิตอลรุ่นที่ 2	114
9.2 สรุปคุณสมบัติของเซนเซอร์วัดระดับน้ำแบบอินเตอร์ดิจิตอลรุ่นที่ 2	115
ปัญหาและข้อเสนอแนะ	
บรรณานุกรม	
ภาคผนวก	