

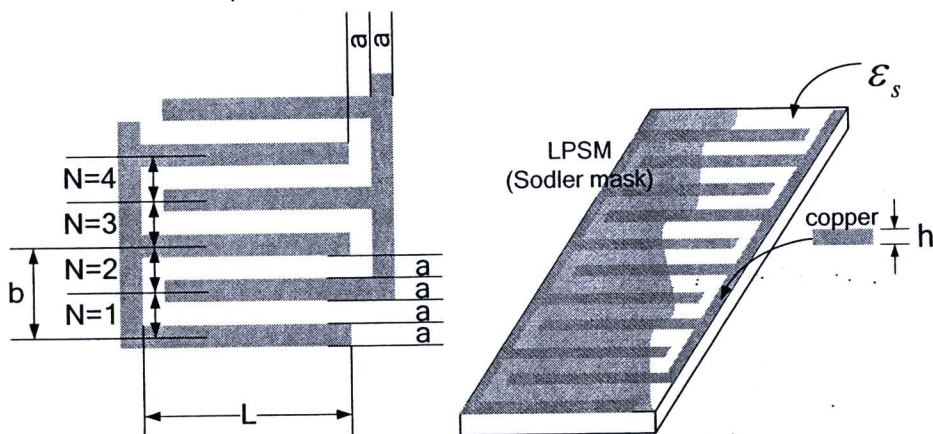
บทที่ 9

สรุปและวิเคราะห์ประเด็นวิจัย

ผลการศึกษาเซนเซอร์วัดระดับน้ำแบบอินเตอร์ดิจิตอลอิเล็กทรอนิกส์ขนาดเล็กโทรศ สามารถสรุปผลการวิจัยได้ดังนี้

9.1 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับเซนเซอร์วัดระดับน้ำแบบอินเตอร์ดิจิตอล

ผลการศึกษาและทดลองพบว่า เราสามารถสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับประมาณค่าความจุไฟฟ้าของอิเล็กทรอนิกส์โทรศแบบอินเตอร์ดิจิตอลเพื่อใช้วัดระดับน้ำ ได้จากขนาดของอิเล็กทรอนิกส์โทรศ วัสดุที่ใช้ทำอิเล็กทรอนิกส์โทรศ และระดับน้ำ ซึ่งความสัมพันธ์กันดังนี้



รูปที่ 9-1 โครงสร้างของอิเล็กทรอนิกส์โทรศแบบอินเตอร์ดิจิตอลที่ผลิตจากแผ่นวงจรพิมพ์

ค่าความจุไฟฟ้าของอิเล็กทรอนิกส์โทรศ มีค่าเท่ากับผลรวมของค่าความจุไฟฟ้าส่วนที่สัมผัสกับน้ำ และค่าความจุไฟฟ้าส่วนที่สัมผัสกับอากาศ ดังสมการ (9-1)

$$C_{electrode} = C_{water} + C_{air} \quad (9-1)$$

เมื่อ N_{water} คือจำนวนชุดชี้ส่วนที่สัมผัสกับน้ำ ดังนั้นค่าความจุไฟฟ้าส่วนที่สัมผัสกับน้ำ มีค่าเท่ากับ

$$C_{water} = 2(N_{water} LC_{PUcw}) \quad (9-2)$$



เมื่อค่าความจุไฟฟ้าส่วนที่สัมผัสกับน้ำต่อหนึ่งหน่วยย่อย มีค่าเท่ากับ

$$C_{PUcw} = \varepsilon_0 \frac{(\varepsilon_{water} + \varepsilon_s)}{2} \frac{K\left[\sqrt{1 - (a/b)^2}\right]}{K[a/b]} + \varepsilon_0 \varepsilon_{water} \frac{h}{a} \quad (9-3)$$

เมื่อ $K(k)$ เป็นปริพันธ์เชิงวงรีของมอดุลัส (elliptic integrals of modulus) มีค่าเท่ากับ

$$K(k) = \int_0^1 \frac{1}{\sqrt{(1-v^2)(1-k^2v^2)}} dv \quad (9-4)$$

ค่าความจุไฟฟ้าส่วนที่สัมผัสกับอากาศ มีค่าเท่ากับ

$$C_{air} = N_{air} LC_{PUca} \quad (9-5)$$

เมื่อ N_{air} คือจำนวนชุดซึ่งส่วนที่สัมผัสกับอากาศ และค่าความจุไฟฟ้าส่วนที่สัมผัสกับอากาศต่อหนึ่งหน่วยย่อย มีค่าเท่ากับ

$$C_{PUca} = \varepsilon_0 \frac{(1 + \varepsilon_s)}{2} \frac{K\left[\sqrt{1 - (a/b)^2}\right]}{K[a/b]} + \varepsilon_0 \frac{h}{a} \quad (9-6)$$

9.2 สรุปคุณสมบัติของเซนเซอร์วัดระดับน้ำแบบอินเตอร์ดิจิตอลรุ่นที่ 2

ผลการออกแบบและทดลอง สามารถสรุปคุณสมบัติของเซนเซอร์วัดระดับน้ำแบบอินเตอร์ดิจิตอลเล็ก โตรุ่นที่ 2 ดังนี้

ชนิดของเซนเซอร์	เซนเซอร์แบบค่าความจุไฟฟ้า
รูปแบบของโครงสร้าง	อินเตอร์ดิจิตอล
ชนิดของเหลวที่ใช้วัด	น้ำ
วัสดุที่ใช้ทำอิเล็กทรอนิกส์	แผ่นวงจรพิมพ์หน้าเดียวชนิด FR-4
ความหนาของวัสดุฐานรอง (PCB)	1.6 มิลลิเมตร
ความหนาของแผ่นทองแดง	0.005 มิลลิเมตร

ชนิดของฉนวนเคลือบผิวทองแดง	Liquid photoimageable solder mask
ขนาดของเซนเซอร์	85 x 381 x 15 (ก. x ย. x ส.) มิลลิเมตร
ย่านวัดระดับน้ำ	0 ถึง 30 เซนติเมตร
อัตราการเปลี่ยนแปลงค่าความจุไฟฟ้าต่อระดับน้ำ	0.3 nF ต่อระดับน้ำ 1 เซนติเมตร
อัตราการเปลี่ยนแปลงเวลาคายประจุต่อระดับน้ำ	34 μ Sec ต่อระดับน้ำ 1 เซนติเมตร
หลักการวัดค่าความจุไฟฟ้า	R-C Time constant
วงจรควบคุมการทำงาน	ควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์
สัญญาณเอาต์พุต	แบบอนุกรม มาตรฐาน UART
อัตราการส่งข้อมูล	9600 – 38400 บิตต่อวินาที
ความละเอียดในการวัด	0.2 เซนติเมตร
อัตราเร็วสูงสุดการสุ่มเก็บระดับน้ำ	20 ตัวอย่างต่อ 1 วินาที
อัตราเร็วต่ำสุดการสุ่มเก็บระดับน้ำ	1 ตัวอย่างต่อ 1 ชั่วโมง
ระดับแรงดันไฟฟ้าทำงาน	2.1 – 5 โวลต์
ช่วงอุณหภูมิน้ำใช้งาน	20 ถึง 40 องศาเซลเซียส
ความต้านทานฉนวนไฟฟ้าต่ำสุด	1 M Ω
อัตราการใช้พลังงาน	Operating Mode: 3.35 mJ/Sec @Vcc 3.0 V TX Mode: 3.35 mJ/Sec @Vcc 3.0 V Sleep Mode 0.50 mJ/Sec @Vcc 3.0 V
ค่าความผิดพลาดสูงในการวัดระดับน้ำ	2.33 %FSO
ค่าความผิดพลาดต่ำสุดในการวัดระดับน้ำ	0.33 %FSO
ค่าความผิดพลาดแบบฮิสเทอรีซิส	1.80 %FSO
ค่าความไม่แน่นอนในการวัดสูงสุด	$\pm$ 0.0025 เซนติเมตร
ค่าความไม่แน่นอนในการวัดต่ำสุด	0 เซนติเมตร
ราคาต้นทุนวัสดุ	500 บาท ต่อย่านวัด 30 เซนติเมตร

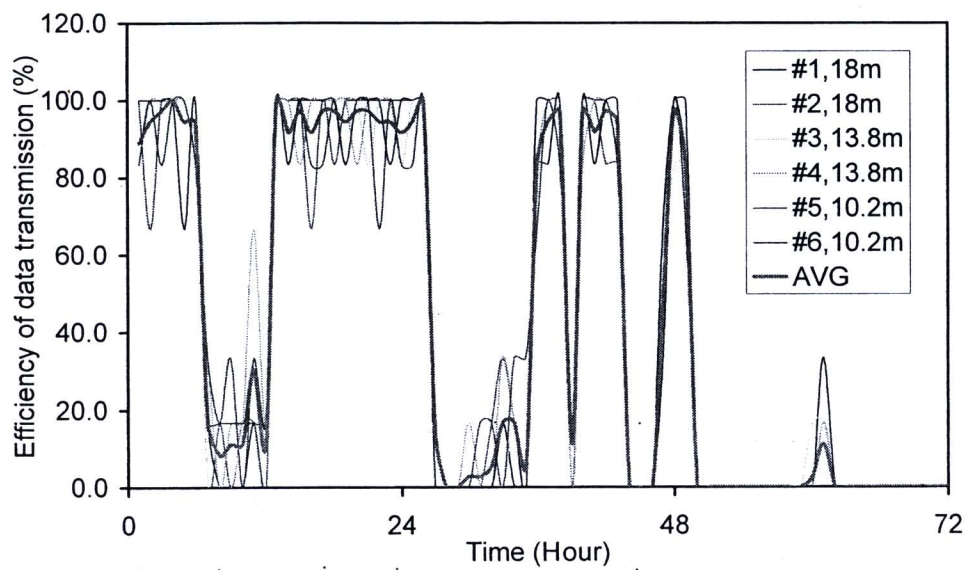
9.3 สรุปการใช้งานเซนเซอร์วัดระดับน้ำร่วมกับเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สาย

9.3.1 คุณสมบัติของระบบสื่อสารไร้สายที่นำมาใช้ร่วมกับเซนเซอร์วัดระดับน้ำ

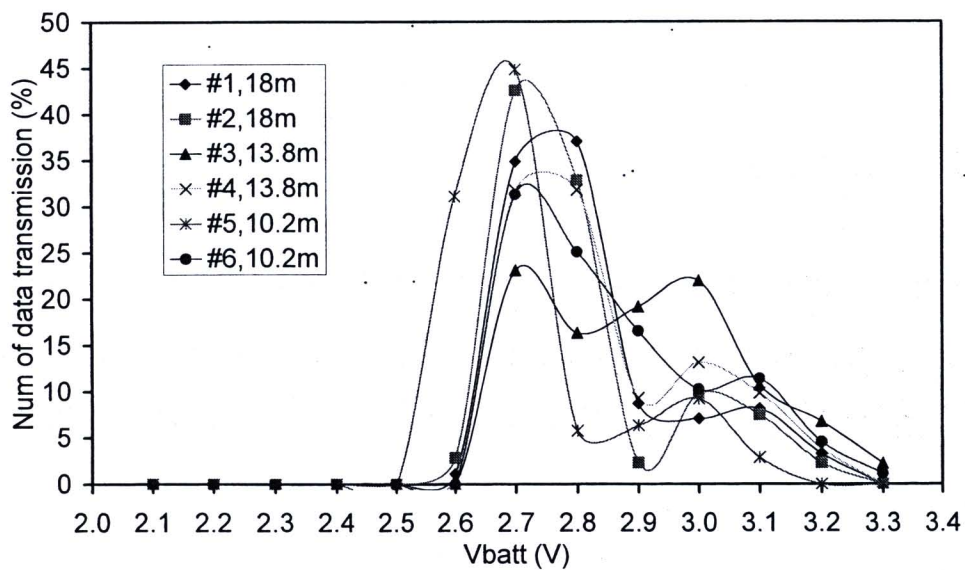
โมดูลสื่อสารไร้สาย	>>U-node Ver.2
มาตรฐานสื่อสารไร้สาย	>>IEEE 802.15.4

ความถี่วิทยุ	>>2.4 GHz
กำลังส่งสูงสุด	>>1 mW
ระดับแรงดันไฟฟ้าทำงาน	>>2.1 – 3.6 โวลต์
อัตราการใช้พลังงาน	>>Operating Mode: 63.58 mJ/Sec @Vcc 3.0 V
	>>TX Mode: 80.35 mJ/Sec @Vcc 3.0 V

9.3.2 ประสิทธิภาพการรับ-ส่งข้อมูลผ่านเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สาย



รูปที่ 9-2 ประสิทธิภาพการรับ-ส่งข้อมูลผ่านเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สายในแต่ละช่วงเวลาทดสอบ



รูปที่ 9-3 ประสิทธิภาพการรับ-ส่งข้อมูลผ่านเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สาย

ในแต่ละระดับแรงดันของแบตเตอรี่

เมื่อพิจารณาประสิทธิภาพการรับ-ส่งข้อมูลผ่านเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สายในแต่ละช่วงเวลาดังรูปที่ 9-2 พบว่า เซนเซอร์โหนดแต่ละตัว มีประสิทธิภาพการรับ-ส่งข้อมูลที่เกาะกลุ่มใกล้เคียงกันในแต่ละช่วงเวลา จึงมีสมมุติฐานที่เป็นไปได้ว่าเซนเซอร์ตัวรับ (Base station) อาจมีปัญหาการรับข้อมูลในแต่ละช่วงเวลาทำให้ประสิทธิภาพการสื่อสารทั้งหมดลดลง ในขณะที่เมื่อพิจารณาจำนวนข้อมูลต่อระดับแรงดันของแบตเตอรี่ดังรูปที่ 9-3 พบว่าที่ระดับแรงดัน 2.7 โวลต์มีความสำเร็จในการส่งข้อมูลมากที่สุด จึงมีสมมุติฐานที่เป็นไปได้ว่าเซนเซอร์โหนดอาจมีประสิทธิภาพการรับส่งข้อมูลสูงสุดที่ระดับแรงดันของแบตเตอรี่เท่ากับ 2.7 โวลต์ โดยสมมุติฐานดังกล่าวเป็นเพียงข้อสังเกตของผู้วิจัย ที่เกิดขึ้นจากพื้นฐานของข้อมูลเพียง 2 ปัจจัย คือ ช่วงเวลา และระดับแรงดันของแบตเตอรี่ อาจมีปัจจัยทางสิ่งแวดล้อมอย่างอื่นที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพการรับส่งข้อมูลเช่น อุณหภูมิ ความชื้น หรือจำนวนคนในห้อง ซึ่งต้องทำการศึกษาวิจัย เพื่อปรับปรุงให้ประสิทธิภาพการสื่อสารดียิ่งขึ้นต่อไป