

# การศึกษาการหาปริมาณเนื้อยางแห้งในน้ำยางพาราสดด้วยวงจรกรองสัญญาณความถี่สูงผ่าน

## A Study of Determination of Dry Rubber Content in Fresh Latex using Highpass Filter Circuit

ทศพล มานะศรี<sup>1</sup>, นิวัตร์ อังควิษฐพันธ์<sup>2\*</sup>, สุภกร หาญสูงเนิน<sup>3</sup>  
Thosapol Manasri<sup>1</sup>, Niwat Angkawisittpan<sup>2\*</sup>, Supakorn Harnsoongnoen<sup>3</sup>

### บทคัดย่อ

บทความวิจัยนี้นำเสนอการศึกษาการหาปริมาณเนื้อยางแห้งในน้ำยางพาราสด ด้วยวงจรกรองสัญญาณความถี่สูงผ่าน ซึ่งประกอบด้วยเซนเซอร์ตัวเก็บประจุแบบแผ่นอิเล็กโทรดทรงกระบอก ตัวต้านทาน และแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับ ที่เชื่อมต่อกันแบบอนุกรม การเปลี่ยนแปลงเปอร์เซ็นต์ของยางพารามีผลโดยตรงต่อค่าสภาพยอมทางไฟฟ้าของน้ำยางพาราสดซึ่งสามารถวัดได้จากเซนเซอร์ตัวเก็บประจุ ผ่านระดับความต่างศักย์ไฟฟ้าที่ตกคร่อมตัวต้านทานในวงจรกรองสัญญาณความถี่สูงผ่าน ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า แรงดันคร่อมตัวต้านทานไฟฟ้าแปรผกผันกับเปอร์เซ็นต์ของยางแห้งในน้ำยางพาราสด และแรงดันคร่อมตัวต้านทานไฟฟ้าจะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อความถี่ของระบบมีค่าเพิ่มขึ้น โดยผลตอบสนองความถี่ของวงจรอยู่ที่ 1 กิโลเฮิรตซ์ ถึง 70 กิโลเฮิรตซ์ นอกจากนี้ยังพบอีกว่าเมื่อมีสารเจือปนอยู่ในน้ำยางพาราสด เช่น น้ำตาล ระบบที่นำเสนอนี้ยังสามารถที่จะตรวจพบได้อีกด้วย

**คำสำคัญ:** น้ำยางพาราสด เนื้อยางแห้ง วงจรกรองสัญญาณความถี่สูงผ่าน ค่าสภาพยอมทางไฟฟ้า

### Abstract

This research paper presents the study of the determination of dry rubber content in fresh latex using a highpass filter circuit which consists of capacitive electrode sensor for cylindrical structure, resistor and alternative power supply are connected in series. The percentage changes of fresh latex have a direct impact to permittivity value of fresh latex which can be measured by using capacitive sensor and observed by monitoring the voltage drop on resistor in highpass filter circuit. The results show that the voltage drop on resistor is inversely proportional to the percent of dry rubber content as well as the voltage drop resistor will be increased when the frequency of the system is increased, the frequency response range of 1 kHz to 70 kHz. Moreover, the fresh latex is contaminated by sugar. This proposed system can also detect.

**Keywords:** Fresh latex, dry rubber, highpass filter Circuit, permittivit

<sup>1</sup> อาจารย์, สาขาวิชาเทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์, คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยนครพนม อำเภอเมือง จังหวัดนครพนม 48000

<sup>2\*</sup> ผู้ช่วยศาสตราจารย์, หน่วยปฏิบัติการวิจัยแม่เหล็กไฟฟ้าเชิงคำนวณและระบบเชิงแสง, คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม อำเภอกันทรวิชัย จังหวัดมหาสารคาม 44150

<sup>3</sup> ผู้ช่วยศาสตราจารย์, หน่วยปฏิบัติการวิจัยการคำนวณและการทดลองด้านแม่เหล็ก, คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม อำเภอกันทรวิชัย จังหวัดมหาสารคาม 44150

\* Corresponding author: Niwat Angkawisittpan, Research Unit for Computational Electromagnetics and Optical Systems (CEMOS), Faculty of Engineering, Mahasarakham University, Kantharawichai District, Maha Sarakham 44150, Thailand.



## บทนำ

ยางพาราเป็นพืชเศรษฐกิจที่มีความสำคัญมากต่อการพัฒนาประเทศโดยทำรายได้ให้กับประเทศเป็นจำนวนหลายล้านบาท นอกจากนี้ยังมีบทบาทสำคัญต่อชีวิตและความเป็นอยู่ของเกษตรกรชาวสวนยางกว่าล้านคนกระจายไปทั่วประเทศ ปัจจุบันประเทศไทยเป็นผู้ผลิตยางมากเป็นอันดับหนึ่งของโลก มีพื้นที่ปลูกประมาณ 12 ล้านไร่ ผลผลิตยางในปัจจุบันมีประมาณ 2.6 ล้านตัน ในจำนวนนี้ส่งออกประมาณ 2.3 ล้านตัน หรือประมาณร้อยละ 89 ของผลผลิตรวมทั้งประเทศ ซึ่งการส่งออกผลิตภัณฑ์ยาง ได้แก่ กุ้งมือยาง ยางยานพาหนะ ยางยืด ท่อยาง ยางรัดของ เป็นต้น และการส่งออกลักษณะสินค้าขั้นปฐม ได้แก่ ยางแผ่นรมควัน ยางแท่ง น้ำยางข้น และอื่นๆ ขณะที่อินโดนีเซียและมาเลเซียมีศักยภาพด้านการผลิตลดลง

จีนเป็นประเทศผู้ใช้จ่ายยวชนชาติมากที่สุดในโลก และมีแนวโน้มความต้องการเพิ่มขึ้นทุกปี รองลงมาได้แก่ สหรัฐอเมริกา ญี่ปุ่น อินเดีย มาเลเซีย และเกาหลีใต้ ประเทศไทยส่งออกยางธรรมชาติไปยังจีนมากที่สุด สำหรับประเทศไทยนั้นมีความต้องการใช้ยางธรรมชาติประมาณร้อยละ 11 ของปริมาณที่ผลิตได้ทั้งหมดและมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเล็กน้อยในแต่ละปี อุตสาหกรรมยางยานพาหนะมีความต้องการใช้ยางธรรมชาติมากที่สุด รองลงมาคืออุตสาหกรรมกุ้งมือยาง<sup>1</sup>

ปัจจุบันการซื้อขายน้ำยางพาราสดเป็นทางเลือกหนึ่งของเกษตรกรชาวสวนยางนอกเหนือจากการขายยางแผ่นดิบ ยางก้อนถ้วย และเศษยาง ประกอบกับความต้องการปริมาณของน้ำยางพาราในโรงงานอุตสาหกรรมที่เพิ่มอัตราการผลิตสูงขึ้น ทำให้เกษตรกรชาวสวนยางนิยมขายน้ำยางพาราสดมากกว่าการทำยางแผ่นดิบมากขึ้น เนื่องจากมีข้อดีคือเกษตรกรไม่ต้องเสียค่าใช้จ่ายในการซื้อวัสดุอุปกรณ์ในการทำยางแผ่น เช่น ตะกบ น้ำกรด กรองลวด โตะหวดยาง และจักรรีดยาง เกษตรกรไม่ต้องเสียเวลาในการทำยางแผ่น เพราะเกษตรกรสามารถได้รับจากการขายน้ำยางพาราสดทันทีหรือ 24 ชั่วโมงหลังจากการตรวจสอบปริมาณเนื้อยางแห้ง ต่างจากการทำยางแผ่นดิบที่ต้องใช้ระยะเวลาประมาณ 5-10 วัน ในการทำให้แห้งแล้วจึงนำไปขายได้ ซึ่งราคาของน้ำยางพาราจะขึ้นอยู่กับปริมาณเนื้อยางแห้งในน้ำยางพาราสด<sup>2</sup>

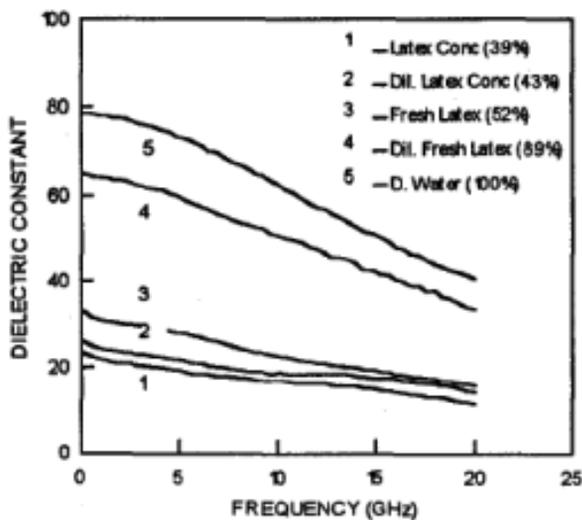
จากที่กล่าวมานั้น ระบบตรวจวัดปริมาณเนื้อยางแห้งในน้ำยางพาราสดจึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งเพื่อที่จะให้ความยุติธรรมเกิดขึ้นในการซื้อขายระหว่างเกษตรกรในฐานะผู้ขายและพ่อค้าคนกลางโรงงานอุตสาหกรรมในฐานะผู้ซื้อ เพราะว่าในปัจจุบันเกษตรกรมีความหวาดระแวงในระบบการตรวจวัด

ปริมาณเนื้อยางแห้งจากห้องปฏิบัติการของโรงงานอุตสาหกรรมซึ่งใช้ระยะเวลาานาน และมีความเป็นไปได้ที่จะถูกลดปริมาณเนื้อยางแห้งลงจากค่าจริงเพื่อลดราคาน้ำยางพาราสด ในขณะที่โรงงานอุตสาหกรรมก็เกรงว่าเกษตรกรจะใส่สารบางอย่างลงไปให้น้ำยางพาราสดเพื่อเพิ่มน้ำหนักให้กับน้ำยางพาราสด ทำให้ได้น้ำหนักที่มากขึ้น ซึ่งก็คือการโกงเปอร์เซ็นต์เนื้อยางที่จูดรับซื้อ สำหรับการวัดค่าปริมาณเนื้อยางแห้งในน้ำยางพาราสดในปัจจุบัน วิธีที่นิยมใช้สามารถทำได้ 2 วิธีคือ<sup>3</sup> วิธีแรกเป็นการเข้าห้องปฏิบัติการวัดปริมาณเนื้อยางแห้ง วิธีนี้ให้ความแม่นยำสูง และใช้เวลา 16 ชั่วโมงขึ้นไปแต่ไม่เกิน 24 ชั่วโมง ซึ่งมีวิธีการวัดคือ ชั่งน้ำยาง 10 กรัมหยดกรดอะซีติก 2 % จนยางจับตัว รีดยางให้เป็นแผ่นบางหนา 2 มิลลิเมตร นำไปล้างน้ำให้สะอาด แล้วอบที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 16 ชั่วโมง นำมาทำให้แผ่นยางแห้ง และชั่งน้ำหนักหาเปอร์เซ็นต์ยางแห้ง จะเห็นได้ว่า วิธีนี้ได้ความถูกต้อง แต่ใช้ระยะเวลาประมาณ 1 วัน เพื่อที่จะทราบผลการวัด ส่วนวิธีที่สองคือการหาค่าความหนาแน่นของน้ำยาง ด้วยเครื่องมือวัดเรียกว่า เมโทรแล็ค (metrolac) เครื่องมือประกอบด้วย ส่วนที่เป็นกระเปาะ และส่วนที่เป็นก้าน วิธีนี้มีค่าสัมประสิทธิ์ความเบี่ยงเบนสูงถึงร้อยละ 14.2 แต่ก็ยังมีการใช้งานกันอยู่ ซึ่งถือว่าไม่เที่ยงตรง เพราะค่าความถ่วงจำเพาะที่วัดได้อาจเปลี่ยนแปลงได้ง่าย ตามปัจจัยอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้อง ที่ไม่ได้เกิดจากปริมาณเนื้อยางในน้ำยางเพียงอย่างเดียว เช่น สารหรืออื่น ๆ ที่มีการเติมแต่งเข้าไปโดยเจตนาหรือไม่เจตนา<sup>4</sup> ในปัจจุบันถึงจะมีการแก้ปัญหาการซื้อขายน้ำยางพาราสดด้วยการจ่ายเงินบางส่วนให้กับเกษตรกรสวนยางและจ่ายส่วนที่เหลือในวันถัดไป แล้วจะทราบได้อย่างไรว่าปริมาณเนื้อยางแห้งที่วัดได้จากห้องปฏิบัติการจะไม่ถูกเปลี่ยนเปอร์เซ็นต์ของเนื้อยางให้ลดลงเพื่อการลดราคา

จากที่กล่าวมานี้ทำให้ผู้วิจัยได้ตระหนักถึงปัญหาการซื้อขายน้ำยางพาราสด จึงต้องการที่จะแก้ปัญหาดังกล่าว โดยการหาเทคนิคใหม่ซึ่งอาศัยหลักการการเปลี่ยนแปลงค่าสภาพยอมทางไฟฟ้าของน้ำยางพาราสดที่มีค่าไม่เท่ากันซึ่งจะมีผลทำให้ค่าเก็บประจุมีค่าที่เปลี่ยนแปลงไปด้วยมีผลทำให้ความต่างศักย์ไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าของตัวเก็บประจุและตัวต้านทานในวงจรกรองสัญญาณความถี่สูงผ่านเปลี่ยนแปลงไปด้วย ดังนั้นเราจึงสามารถหาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณทางไฟฟ้าที่วัดได้กับปริมาณเนื้อยางแห้งในน้ำยางพาราสด และสามารถแสดงผลได้แบบทันที ทำให้การซื้อขายน้ำยางพาราสดมีความสะดวก รวดเร็ว

## งานวิจัยและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

Khalid และคณะ<sup>5</sup> ได้วัดค่าสภาพยอมทางไฟฟ้า (electric permittivity) ของน้ำยางพาราสดจากความถี่  $10^3$  เฮิรตซ์ถึงความถี่ไมโครเวฟ 20 กิกะเฮิรตซ์ ด้วยโพรมิตวัดสนามไฟฟ้าปลายเปิด และเครื่องวิเคราะห์โครงข่ายแบบเวกเตอร์ (vector network analyzer) ผลการทดลองทำให้ทราบสภาพยอมทางไฟฟ้าที่ความถี่ต่าง ๆ กันของน้ำยางพาราสด ระบบนี้ได้แสดงความสัมพันธ์ระหว่างสภาพยอมทางไฟฟ้าของน้ำยางพารากับความถี่ต่าง ๆ ดัง Figure 1 อย่างไรก็ตามเครื่องวิเคราะห์โครงข่ายแบบเวกเตอร์มีราคาค่อนข้างสูง และไม่เหมาะสำหรับการใช้งานในภาคสนาม



**Figure 1** Electric permittivity of fresh latex with different concentrations using Khalid's technique<sup>5</sup>

Zhao และคณะ<sup>6</sup> ได้ทำการสร้างระบบการวัดปริมาณเนื้อยางแห้งในน้ำยางพาราสดด้วยเซนเซอร์โพโตอิเล็กทริกแบบวงแหวน ระบบนี้อาศัยการวัดแรงดันจากสัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับจากแสงที่ส่องผ่านเข้าไปในน้ำยางพาราเพื่อหาความสัมพันธ์กับปริมาณเนื้อยางแห้งในน้ำยางพาราสดในขณะนั้น ทำให้ได้ระบบที่มีความถูกต้อง รวดเร็ว แต่มีความซับซ้อนของระบบอย่างมาก และอุปกรณ์ยังมีราคาแพงอีกด้วย Rejikumar และคณะ<sup>7</sup> ได้ใช้ Differential Scanning Calorimetry ในการศึกษาค่าเอนทัลปี (enthalpy) ของน้ำยางพาราสดที่เปลี่ยนแปลงไปภายใต้อุณหภูมิที่ถูกรักษาไว้โดยเปรียบเทียบค่านี้กับปริมาณเนื้อยางแห้ง ในน้ำยางพาราสด ระบบนี้มีความถูกต้อง รวดเร็ว แต่ด้วยเครื่องมือที่จะต้องอาศัยความชำนาญในการใช้งาน ประกอบกับเครื่องมือมีราคาแพงจึงไม่เหมาะสมกับการนำมาใช้งานจริง

ศ.ดร.ประยุทธ์ และคณะ<sup>8</sup> ได้ใช้เซนเซอร์ที่ประดิษฐ์เพื่อหาปริมาณเนื้อยางแห้งในช่วงคลื่นความถี่ไมโครเวฟ ประกอบกับโปรแกรมจำลองทางคอมพิวเตอร์เพื่อยืนยันความถูกต้อง โดยอาศัยหลักการการเปลี่ยนแปลงของค่าสภาพยอมทางไฟฟ้าของน้ำยางที่เปลี่ยนแปลง ทำให้เกิดการเลื่อนของความถี่ก้ำจรของวงจรไมโครเวฟ ระบบนี้มีความถูกต้อง และรวดเร็ว แต่อาจจะต้องอาศัยเครื่องมือและความชำนาญของผู้วัด คณะผู้วิจัยจึงอาศัยหลักการนี้ในการพัฒนาต่อยอดเพื่อให้สามารถทำการวัดได้ง่ายขึ้นในช่วงความถี่ที่ต่ำกว่า อุปกรณ์ในการสร้างวงจรก็จะมีราคาที่ถูกอีกด้วย

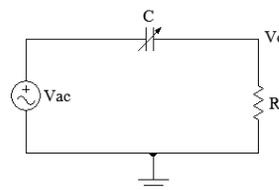
ในการออกแบบวงจรเพื่อสามารถที่จะใช้กับระบบหาปริมาณเนื้อยางแห้งในน้ำยางพาราสด คณะผู้วิจัยได้เริ่มต้นจากการสังเกตผลตอบสนองทางความถี่ของวงจรกรองสัญญาณความถี่สูงผ่านตาม Figure 2 ซึ่งมีฟังก์ชันถ่ายโอน (H) และความถี่คัทออฟ ( $f_c$ ) ตามสมการต่อไปนี้

$$H(f) = \frac{V_o}{V_{ac}} = \frac{R}{R + \frac{1}{j2\pi fC}} \quad (1)$$

$$|H| = \frac{R}{\sqrt{R^2 + \frac{1}{(2\pi fC)^2}}} \quad (2)$$

$$f_c = \frac{1}{2\pi RC} \quad (3)$$

เมื่อ R คือความต้านทานของวงจร และ C คือค่าเก็บประจุของเซนเซอร์คาร์ปาซิเตอร์

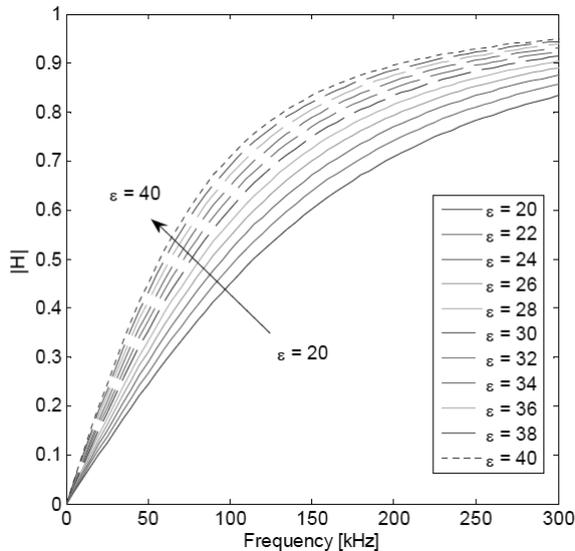


**Figure 2** Highpass Filter Circuit

จาก Figure 2 เป็นวงจรใช้ในการหาปริมาณเนื้อยางแห้ง C คือเซนเซอร์ที่มีการเปลี่ยนแปลงค่าเก็บประจุเมื่อสัมผัสกับน้ำยางพาราที่มีเปอร์เซ็นต์ยางที่แตกต่างกัน สมมติให้ค่า  $R = 5$  กิโลโอห์ม และค่า  $C = 8$  พิโกฟารัด ดังนั้นจึงมีค่า  $f_c = 4$  เมกะเฮิรตซ์ เมื่อค่าของ C มีค่าเปลี่ยนแปลงไปตามค่าสภาพยอมทางไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงไปตามความเข้มข้นของน้ำยางพารา ทำให้ความถี่คัทออฟมีการเลื่อนเกิดขึ้น ผลลัพธ์คือทำให้ ความชันในช่วง transition zone เปลี่ยนแปลงไปด้วย



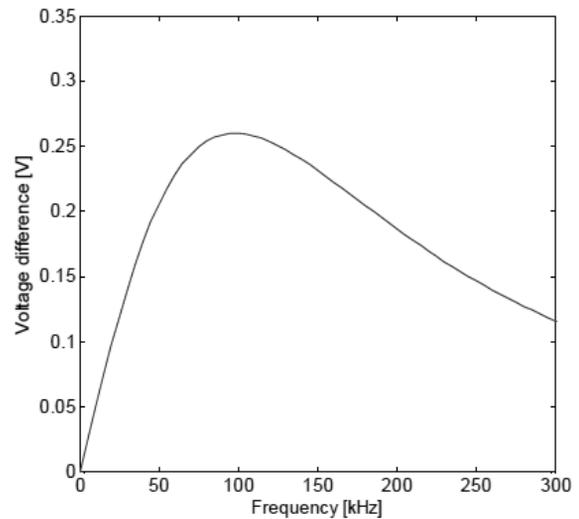
ตั้ง Figure 3 ผลต่างของแรงดันคร่อมตัวต้านทานของวงจรใน Figure 2 เมื่อค่าสภาพ ยอมทางไฟฟ้ามีค่าเท่ากับ 10 และ 40 แสดงตาม Figure 4



**Figure 3** Frequency Response of Highpass Filter Circuit with different electric permittivity

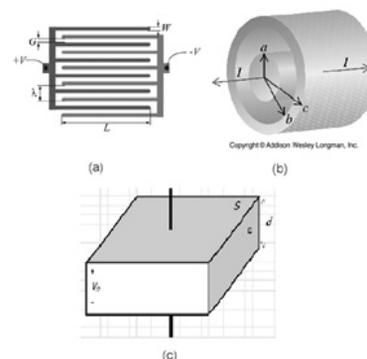
จากการสังเกตกราฟใน Figure 3 จะเห็นได้ว่าค่าสภาพยอมทางไฟฟ้าจะมีผลทำให้ความถี่คutoffเลื่อน ซึ่งมีผลทำให้ค่าความชันของ transition zone มีการเปลี่ยนแปลงไปด้วย เราสามารถสังเกตระดับแรงดันคร่อมตัวต้านทานเมื่อค่าสภาพยอมทางไฟฟ้ามีค่าเปลี่ยนแปลงไป (เมื่อความเข้มข้นของน้ำยางเปลี่ยนแปลงไป) แล้ว ทำการหาความสัมพันธ์ของระดับแรงดันคร่อมตัวต้านทานกับปริมาณเนื้อยางแห้งที่เราหาได้จากห้องปฏิบัติการจริง

จากการสังเกตกราฟใน Figure 4 จะเห็นได้ว่า ค่าสภาพยอมทางไฟฟ้าเท่ากับ 20 และ 40 มีผลทำให้ความแตกต่างของระดับแรงดันที่คร่อมตัวต้านทานมีค่าต่างกันที่สุดประมาณที่ความถี่ 100 กิโลเฮิร์ตซ์ ซึ่งน่าจะเป็นความถี่ที่เหมาะสมในการนำไปใช้งานได้



**Figure 4** Voltage Difference across the Resistor

การออกแบบตัวเก็บประจุไฟฟ้าเพื่อทำหน้าที่เป็นเซนเซอร์นั้น เซนเซอร์จำเป็นต้องสัมผัสกับน้ำยางพาราสดให้มากที่สุด โครงสร้างของตัวเก็บประจุไฟฟ้าแบบนี้สามารถแบ่งออกเป็น 3 โครงสร้างหลักๆคือ ตัวเก็บประจุแบบอินเตอร์ดิจิตัล (Interdigital capacitor) ตัวเก็บประจุแบบร่วมแกน (Coaxial capacitor) และตัวเก็บประจุแบบแผ่นขนาน (Parallel plate capacitor) ดังแสดงใน Figure 5 โดยมีงานวิจัยของ Jaworek และคณะ<sup>9</sup> ได้นำเอาโครงสร้างของตัวเก็บประจุที่อิเล็กทรอนิกส์มีลักษณะเป็นแผ่นทรงกระบอกในรูปแบบต่าง ๆ ดัง Figure 6 มาใช้ในการหาค่าอัตราส่วนระหว่าง ก๊าซและของเหลวภายในท่อไดอิเล็กทริก จากผลการทดลอง ทำให้ทราบว่า การจัดอิเล็กทรอนิกส์ให้มีลักษณะดัง Figure 6a มีผลทำให้ค่าเก็บประจุไฟฟ้าเปลี่ยนแปลงมากที่สุดเมื่อเทียบกับรูปแบบอื่นๆ ดังนั้นผู้วิจัยได้เห็นข้อดีของโครงสร้างแบบ Figure 6a จึงนำเอาโครงสร้างนี้มาใช้ในการหาเปอร์เซ็นต์เนื้อยางแห้ง โดยผลการทดลองจะนำเสนอในหัวข้อต่อไป



**Figure 5** (a) Interdigital Capacitor (b) Coaxial Capacitor (c) Parallel Plate Capacitor

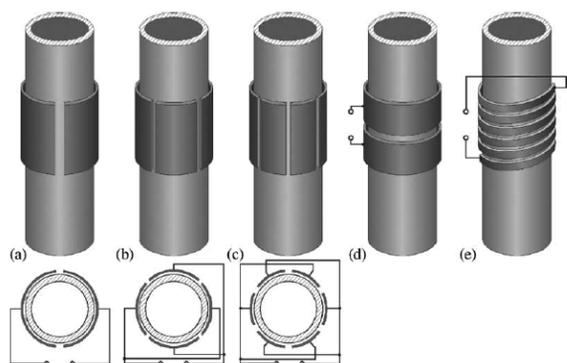


Figure 6 Different structures of Electrodes

### วิธีการดำเนินงานวิจัย

ในงานวิจัยจะกล่าวถึงวิธีดำเนินการวิจัย ซึ่งประกอบด้วย ขั้นตอนการสร้างเซนเซอร์ที่มีแผ่นอิเล็กโทรดเป็นทรงกระบอก การเตรียมตัวอย่างน้ำยางพาราสด และการหาเปอร์เซ็นต์เนื้อยางแห้งในน้ำยางพาราสด และวิธีการทดลองทางวงจรไฟฟ้า

การสร้างเซนเซอร์ลักษณะนี้ จะใช้แผ่นอลูมิเนียมช่วยในการทำหน้าที่เป็นอิเล็กโทรด จำนวน 2 แผ่น ดัดรอบกระบอกพลาสติกแล้วต่อสายไฟ 2 เส้น เพื่อใช้เป็นสายนำสัญญาณไฟฟ้ามายังตัวเซนเซอร์ เซนเซอร์ที่ออกแบบไว้มีขนาดความยาว 10 เซนติเมตร และมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 3 เซนติเมตร โครงสร้างของเซนเซอร์ แสดงดัง Figure 7

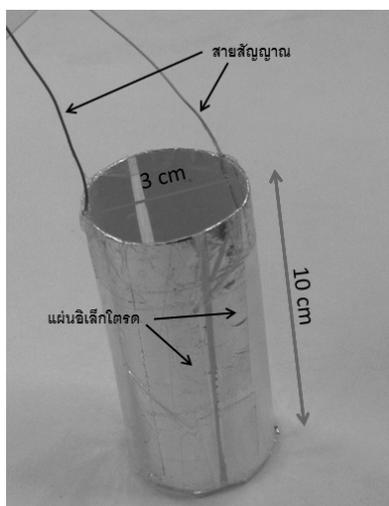


Figure 7 The Proposal Capacitor Sensor

ในงานวิจัยนี้ได้เตรียมตัวอย่างน้ำยางพาราออกเป็น 2 กลุ่มเพื่อทำการทดลอง โดยกลุ่มตัวอย่างแรกคือ น้ำยางพาราสดจากสวนยางพารามาทำการเจือจางด้วยน้ำกลั่น เพื่อให้เปอร์เซ็นต์ยางมีการเปลี่ยนแปลง 10 ตัวอย่าง โดยห่างกันตัวอย่างละ 2เปอร์เซ็นต์ ดังแสดงใน Table 1 กลุ่มที่ 2

คือ มีสิ่งเจือปนที่เป็นน้ำตาลในน้ำยางพาราสด ดังแสดงTable 2 การหาเปอร์เซ็นต์เนื้อยางแห้งทำได้โดยเริ่มจากการชั่งน้ำยางประมาณ 100 กรัม ใส่ในบีกเกอร์ จากนั้นเติมกรดฟอร์มิกเข้มข้น 2 % คนให้เข้ากัน จนยางจับตัว จากนั้นทำการรีดยางให้เป็นแผ่นบางหนา 2 มิลลิเมตร และนำไปล้างน้ำให้สะอาด แล้วอบที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 16 ชั่วโมง ด้วยตู้อบอากาศร้อน จากนั้นนำแผ่นยางแห้งไปไล่ความชื้นออกด้วยหม้อตุ๋นความชื้น เป็นเวลา 30 นาที จากนั้นนำแผ่นยางแห้งไปชั่งน้ำหนักเพื่อหาน้ำหนักของแผ่นยางแห้ง ในการคำนวณเปอร์เซ็นต์ยางแห้ง ใช้สูตรคำนวณดังนี้

$$\text{เปอร์เซ็นต์ยางแห้ง (\%)} = \frac{B}{A} \times 100 \quad (4)$$

- เมื่อ
- A คือ น้ำหนักของน้ำยางพาราสด (กรัม)
  - B คือ น้ำหนักของเนื้อยางแห้ง (กรัม)

Table 1 Group 1: Fresh Latex with Different Concentrations

Samples	Fresh Latex (g)	distilled water (g)	Dry Rubber (%)
1	200	0	33.16
2	187	13	31.01
3	173	27	28.69
4	160	40	26.53
5	146	54	24.21
6	133	67	22.05
7	120	80	19.90
8	107	93	17.74
9	93	107	15.42
10	80	120	13.27

Table 2 Group 2: Fresh Latex with Sugar Adulteration

Samples	Fresh Latex (g)	Sugar (g)
1	120	20
2	120	30
3	120	40
4	120	50

ในการทดลองเราได้เตรียมตัวอย่างของน้ำยางพาราตามกลุ่มตัวอย่างที่ได้กล่าวมาข้างต้นเพื่อใช้ในการทดลอง ดังแสดงใน Figure 8 และประกอบวงจรตามแผนภาพใน Figure

2 เพื่อให้ได้วงจรจริงตาม Figure 9 ซึ่งประกอบด้วย เครื่องกำเนิดสัญญาณไซน์ เครื่องวัดสัญญาณ แบบออสซิลโลสโคป (ตรงกลาง)

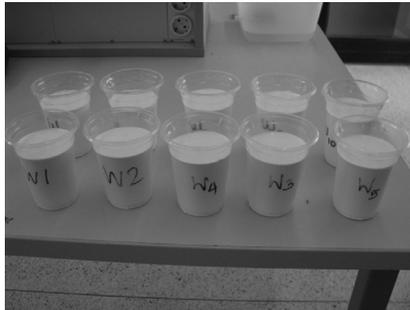


Figure 8 Group 1: Fresh Latex Samples

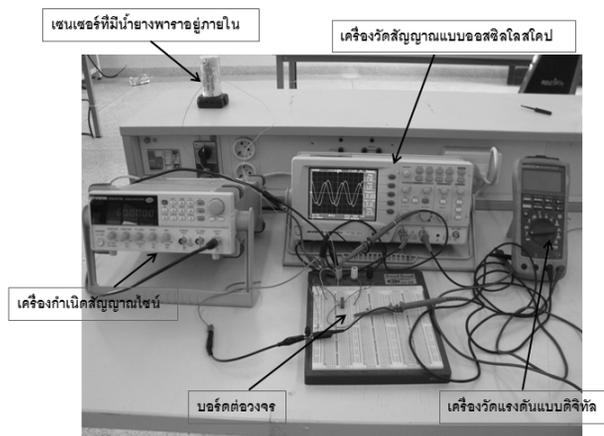


Figure 9 Experimental Setup

เครื่องวัดแรงดันแบบดิจิตอล (ขवासุด) บอร์ดต่อวงจร และเซนเซอร์น้ำยางเมื่อประกอบวงจรเสร็จเรียบร้อยดัง Figure 9 ซึ่งทำการทดลองโดยการปรับแรงดันยอด (peak voltage) ที่เครื่องกำเนิดสัญญาณไซน์ให้ได้ 10 โวลต์ และทำการปรับค่าความต้านทานปรับค่าได้จนกระทั่งระดับแรงดันที่อ่านได้จากเครื่องวัดแรงดันแบบดิจิตอลอ่านค่าได้ในระดับที่สนใจ ซึ่งค่าความต้านทานที่เหมาะสมคือ 91.84 กิโลโอห์ม จากนั้นทำการบันทึกค่าแรงดันจากเครื่องวัดแรงดันแบบดิจิตอล เมื่อทำการเปลี่ยนแปลงความถี่ของเครื่องกำเนิดสัญญาณไซน์ ทำการทดลองกับทุกตัวอย่าง

### ผลการทดลอง และวิจารณ์

ผู้วิจัยได้แบ่งการแสดงผลการทดลองดังต่อไปนี้ ผลการวิจัยซึ่งเกิดจากการเปลี่ยนแปลงความถี่ของเครื่องกำเนิดสัญญาณไซน์ การเปลี่ยนแปลงเปอร์เซ็นต์ของน้ำยางพาราและผสมสิ่งเจือปนคือน้ำตาล พร้อมทั้งข้อวิจารณ์ที่ได้จากการทดลอง

### ผลของน้ำยางพาราสดต่อค่าแรงดันของวงจรกรองสัญญาณความถี่สูงผ่าน

เมื่อทำการศึกษาค่าแรงดันของวงจรกรองสัญญาณความถี่สูงผ่าน เมื่อเซนเซอร์สัมผัสน้ำยางพาราสด และความถี่ของเครื่องกำเนิดสัญญาณไซน์เปลี่ยนแปลงไป พบว่า เมื่อความถี่ทางไฟฟ้าเพิ่มขึ้นจาก 1 กิโลเฮิร์ตซ์ จนถึง 70 กิโลเฮิร์ตซ์ มีผลทำให้ค่าแรงดันตกคร่อมตัวต้านทานของวงจรกรองสัญญาณความถี่สูงผ่านสูงขึ้นด้วย โดยแสดงใน Figure 10 ซึ่งจะเห็นได้ว่า กราฟให้ค่าแรงดันที่เพิ่มสูงขึ้นเมื่อความถี่ทางไฟฟ้าสูงขึ้น ซึ่งเป็นลักษณะที่พบได้ทั่วไปในวงจรกรองสัญญาณความถี่สูงผ่านเพราะว่าความถี่ที่มีค่าสูงขึ้นมีผลทำให้ระดับแรงดันสูงขึ้นเป็นไปตามสมการที่ 2

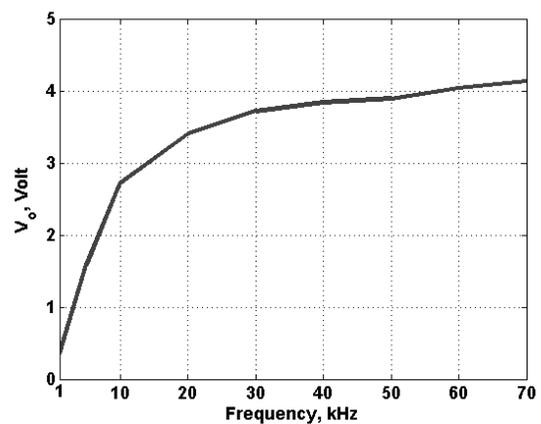
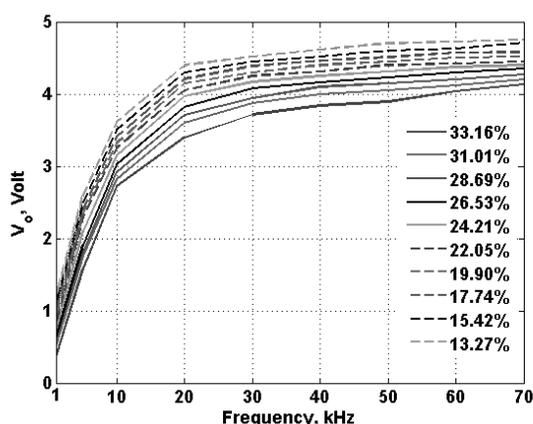


Figure 10 Relationship between voltage and frequency for fresh latex

### ผลของเปอร์เซ็นต์ของน้ำยางพาราต่อค่าแรงดันของวงจรกรองสัญญาณความถี่สูงผ่าน

เมื่อนำตัวอย่างทดลองกลุ่มที่ 1 ตาม Table 1 จากการทดลองพบว่า เมื่อความถี่ทางไฟฟ้าเพิ่มขึ้นจาก 1 กิโลเฮิร์ตซ์ จนถึง 70 กิโลเฮิร์ตซ์ มีผลทำให้ค่าแรงดันตกคร่อมตัวต้านทานไฟฟ้าของวงจรกรองสัญญาณความถี่สูงผ่านสูงขึ้นด้วย และเมื่อเปอร์เซ็นต์เนื้อยางแห้งในน้ำยางพาราสดลดลง มีผลทำให้แรงดันตกคร่อมตัวต้านทานไฟฟ้ามีค่าเพิ่มขึ้น ดังแสดงใน Figure 11



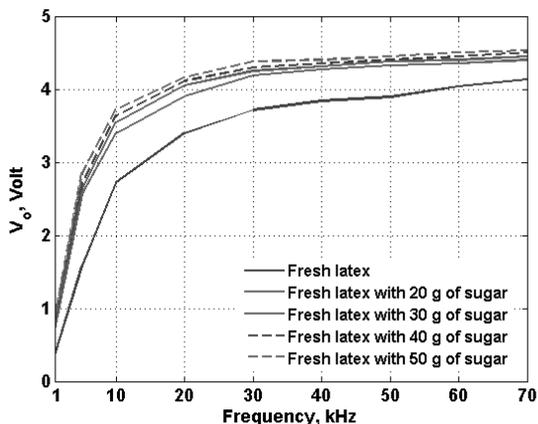
**Figure 11** Relationship between output voltage and frequency with different concentrations of fresh latex

### ผลของน้ำตาลที่เจือปนในน้ำยางต่อค่าแรงดันของวงจรกรองสัญญาณความถี่สูงผ่าน

เมื่อนำตัวอย่างการทดลองกลุ่มที่ 2 ซึ่งได้แสดงส่วนประกอบตาม Table 2 จากการทดลองพบว่า เมื่อความถี่ทางไฟฟ้าเพิ่มขึ้นจาก 1 กิโลเฮิร์ตซ์ จนถึง 70 กิโลเฮิร์ตซ์ มีผลทำให้ค่าแรงดันตกคร่อมตัวต้านทานไฟฟ้าของวงจรกรองสัญญาณความถี่สูงผ่านสูงขึ้นด้วย และเมื่อปริมาณของน้ำตาลเพิ่มขึ้น มีผลทำให้แรงดันตกคร่อมตัวต้านทานมีค่าเพิ่มขึ้น ดังแสดงใน Figure 12

### วิจารณ์ผลการทดลอง

เมื่อทำการศึกษาค่าแรงดันของวงจรกรองสัญญาณความถี่สูงผ่านในขณะที่เซนเซอร์สัมผัสน้ำยางพาราสด และ ความถี่ของเครื่องกำเนิดสัญญาณไซน์เปลี่ยนแปลงไปพบว่า เมื่อความถี่ทางไฟฟ้าเพิ่มขึ้นจาก 1 กิโลเฮิร์ตซ์ จนถึง 70 กิโลเฮิร์ตซ์ มีผล



**Figure 12** Relationship between output voltage and frequency with sugar adulteration in fresh latex

ทำให้ค่าแรงดันตกคร่อมตัวต้านทานไฟฟ้าของวงจรกรองสัญญาณความถี่สูงผ่านสูงขึ้นด้วย ดัง Figure 10 การที่ค่าแรงดันตกคร่อมตัวต้านทานไฟฟ้ามีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อความถี่ทางไฟฟ้าสูงขึ้น เพราะว่า ค่าอิมพีแดนซ์ของตัวเซนเซอร์มีค่าลดลงเมื่อความถี่มีค่าสูงขึ้นดังสมการที่ 5 จึงมีผลทำให้ได้ความสัมพันธ์ดัง Figure 10

$$Z = -j \frac{1}{2\pi f C} \quad (5)$$

เมื่อ  $Z$  คือ อิมพีแดนซ์ของเซนเซอร์คาร์ปาซิเตอร์  
 $f$  คือ ความถี่ทางไฟฟ้า

เมื่อทำการเจือจางน้ำยางพาราสดตาม Table 1 หรือ กลุ่มตัวอย่างที่ 1 และได้ทำการศึกษาถึงผลกระทบต่อค่าแรงดันของวงจรกรองสัญญาณความถี่สูงผ่าน และความถี่ของเครื่องกำเนิดสัญญาณไซน์เปลี่ยนแปลงไป พบว่า เมื่อความถี่ทางไฟฟ้าเพิ่มขึ้นจาก 1 กิโลเฮิร์ตซ์ จนถึง 70 กิโลเฮิร์ตซ์ มีผลทำให้ค่าแรงดันตกคร่อมตัวต้านทานไฟฟ้าของวงจรกรองสัญญาณความถี่สูงผ่านสูงขึ้น ดัง Figure 11 ซึ่งมีลักษณะคล้ายคลึงกับ Figure 10 แต่เมื่อมีเปอร์เซ็นต์ของยางแห้งลดลงมีผลทำให้ค่าแรงดันตกคร่อมตัวต้านทานไฟฟ้ามีค่าสูงขึ้น แสดงว่าอิมพีแดนซ์ของเซนเซอร์ดังสมการที่ 5 มีค่าลดลง นั้นหมายถึงค่าเก็บประจุของเซนเซอร์มีค่าสูงขึ้น

สำหรับผลการศึกษากลุ่มตัวอย่างที่ 2 สิ่งเจือปนได้แก่ น้ำตาลมีผลต่อค่าแรงดันของวงจรกรองสัญญาณความถี่สูงผ่าน และความถี่ของเครื่องกำเนิดสัญญาณไซน์เปลี่ยนแปลงไป พบว่า เมื่อความถี่ทางไฟฟ้าเพิ่มขึ้นจาก 1 กิโลเฮิร์ตซ์ จนถึง 70 กิโลเฮิร์ตซ์ มีผลทำให้ค่าแรงดันตกคร่อมตัวต้านทานไฟฟ้าของวงจรกรองสัญญาณความถี่สูงผ่านสูงขึ้น ดัง Figure 12 ซึ่งมีลักษณะคล้ายคลึงกับ Figure 10 และ 11 เมื่อมีการเติมน้ำตาลในปริมาณที่มากขึ้นจาก 14-29% โดยน้ำหนักมีผลทำให้ระดับแรงดันคร่อมตัวต้านทานสูงขึ้นแต่ไม่มากนัก

### สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองน้ำยางพาราสดมีผลทำให้ระดับค่าแรงดันตกคร่อมตัวต้านทานไฟฟ้าของวงจรกรองสัญญาณความถี่สูงผ่านมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อความถี่ทางไฟฟ้าเพิ่มขึ้นจาก 1 กิโลเฮิร์ตซ์ จนถึง 70 กิโลเฮิร์ตซ์ เมื่อทำการเจือจางพาราสดด้วยน้ำกลั่นเพื่อเปลี่ยนแปลงเปอร์เซ็นต์เนื้อยางแห้ง มีผลทำให้ระดับค่าแรงดันตกคร่อมตัวต้านทานไฟฟ้าของวงจรกรองสัญญาณความถี่สูงผ่านมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อความถี่ทางไฟฟ้าเพิ่มขึ้นจาก 1 กิโลเฮิร์ตซ์ จนถึง 70 กิโลเฮิร์ตซ์ และเมื่อ



เปอร์เซ็นต์เนื้อยางแห้งลดลง มีผลทำให้ระดับค่าแรงดันมีไฟฟ้ามีค่าสูงขึ้นเนื่องจากอิมพีแดนซ์ของเซนเซอร์มีค่าลดลง ซึ่งจากผลการทดลองสามารถแบ่งระดับคุณภาพน้ำยางพาราสดได้แม้มีปริมาณเท่ากัน ดังนั้นการทดลองนี้สามารถแยกแยะได้

เมื่อทำการเติมสารเจือปน ได้แก่ น้ำตาลลงในน้ำยางพาราสด มีผลทำให้ระดับค่าแรงดันตกคร่อมตัวต้านทานไฟฟ้าของวงจรกรองสัญญาณความถี่สูงผ่านมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อความถี่ทางไฟฟ้าเพิ่มขึ้นจาก 1 กิโลเฮิร์ตซ์ จนถึง 70 กิโลเฮิร์ตซ์ และเมื่อปริมาณน้ำตาลสูงขึ้น มีผลทำให้ระดับค่าแรงดันมีไฟฟ้ามีค่าสูงขึ้น ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการทดลองนี้สามารถตรวจสอบว่ามีสารเจือปนในน้ำยางได้

ผลจากการวิจัยทั้งหมดสรุปได้ว่า มีความเป็นไปได้ที่จะนำระบบวงจรนี้ และเซนเซอร์ที่ถูกออกแบบนี้ มาใช้ในการพัฒนาต่อยอดเพื่อพัฒนาเป็นเครื่องมือที่ใช้ในการหาเปอร์เซ็นต์ยางแห้งในน้ำยางพาราสดได้

### กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณหน่วยปฏิบัติการวิจัยแม่เหล็กไฟฟ้าเชิงคำนวณและระบบเชิงแสง (Research Unit for Computational Electromagnetics and Optical Systems, CEMOS) คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม และ สาขาเทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์ คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยนครพนม

### เอกสารอ้างอิง

1. กรมพัฒนาที่ดิน.ยางพารา. เอกสารวิชาการ 2548. หน้า 1-127.
2. ศราวุธ วงศ์พงษ์คำ. การพัฒนาชุดทดสอบคุณภาพของน้ำยางพารา. วิทยานิพนธ์มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี 2553. หน้า 1-71.
3. ศรยา เจริญลาภ. การศึกษาและพัฒนาเครื่องมือทดสอบคุณภาพของน้ำยางพารา.วิทยานิพนธ์มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี 2552. หน้า 1-102.
4. วิสุทธิ์ ศุกุลรัตน์. การวัดปริมาณยางในน้ำยาง. หนังสือพิมพ์กสิกรรม 2546. ปีที่ 76 ฉบับที่ 5. กย-ตค
5. Khalid, K., Hassan, J., Yusof, W. Dielectric Phenomena in Hevea Rubber Latex and Its Applications. Proceedings of the 5th International Conference on Properties and Applications of Dielectric Materials. Seoul, Korea. 1997. p.78-81.

6. Zhao, Z., Jin, X., Zhang, L., Yu, X. Novel Measurement System for Dry Rubber Content in Concentrated Natural Latex based on Annular Photoelectric Sensor. International Journal of Physical Sciences. 2010. 5(3): p. 251-260.
7. Rejikumar, R., Philip, J. Estimation of Dry Rubber Content in Natural Rubber Latex by Differential Scanning Calorimetry. Journal of Thermal Analysis and Calorimetry. 2010. 101: 1047-1050.
8. ประยุทธ์ อัครเอกฉมาลิน, เสวก พงษ์สำราญ, สมพร ศรีวัฒนพล. เครื่องวัด %DRC โดยใช้ความถี่คลื่นไมโครเวฟ. 2554.
9. Jaworek, A., Krupa A. (2004). Gas/Liquid Ratio Measurements by RF Resonance Capacitance Sensor. Sensors and Actuators A. 2004. 113: 133-139.