

ค่าพารามิเตอร์ทางไฟฟ้าที่เป็นไปได้สำหรับการจำแนกไวน์หมากเมา โดยใช้ตัวตรวจจับแบบอินเตอร์ดิจิทัลคาปาซิเตอร์ Electrical Parameters Possibilities for Classification of Mak Mao Wine by Interdigital Capacitor Sensor

สรารวุฒิ บุญเกิดรัมย์^{1*} ก้องภพ ขาวามาตย์¹ สุทธิชัย นิลจินดา² รุจิรา จงคล้ายกลาง² หรรษกร วรธนะสาร³ ทศวรรษ สีตะวัน³
E-mail: sarawoot.b@snru.ac.th

บทคัดย่อ

การแบ่งประเภทไวน์เป็นปัญหาสำคัญสำหรับอุตสาหกรรมการผลิตไวน์หมากเมา ซึ่งอาจทำให้เกิดความเสียหายทางเศรษฐกิจและก่อให้เกิดความเสี่ยงต่อผู้บริโภค บทความนี้นำเสนอการวิเคราะห์ทางสถิติของความสัมพันธ์ระหว่างความถี่ไฟฟ้าและค่าพารามิเตอร์ทางไฟฟ้าของไวน์ซึ่งประกอบด้วยค่าการนำไฟฟ้าและค่าความจุทางไฟฟ้าของไวน์ 4 ตัวอย่าง โดยใช้ตัวตรวจจับแบบอินเตอร์ดิจิทัลคาปาซิเตอร์ ซึ่งประดิษฐ์จากแผ่นวงจรพิมพ์ ผลการวิเคราะห์การถดถอยทางสถิติเชิงสัมพันธ์ของค่าการนำไฟฟ้าและค่าความจุทางไฟฟ้าของไวน์ตัวอย่างมีค่าระหว่าง $0.901 \leq r \leq 0.976$ โดยผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าพารามิเตอร์ของไวน์ตัวอย่างเปลี่ยนแปลงไปตามการเพิ่มขึ้นของความถี่ไฟฟ้า

คำสำคัญ: ไวน์หมากเมา ตัวตรวจจับแบบอินเตอร์ดิจิทัลคาปาซิเตอร์ (IDC) ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์

Abstract

Wine classification is essential problem for the Mak Mao wine production industry. It can reason economic damage and poses a risk to consumers. This paper presents the statistical analysis of the correlation between the electrical frequency and the electrical parameters of wine consist of conductance and capacitance of the four wine samples using the Interdigital Capacitor which fabricated of printed circuit board. The result of relation statistical regression analysis of electrical parameters conductance and capacitance between $0.901 \leq r \leq 0.976$ the experimental results show the parameters of wines sample changed with the increase of frequency. It demonstrates that each sample of wine

Keywords: Mak Mao Wine, Interdigital Capacitor Sensor (IDC), Correlation Coefficient.

ความเป็นมาของปัญหา

มะเเฒ่า หรือ หมากเเฒ่า (ชื่อวิทยาศาสตร์: *Antidesma thwaitesianum*) เป็นผลไม้พื้นเมืองภาคอีสาน พบมากในจังหวัดสกลนคร โดยเฉพาะหมากเเฒ่าหลวงซึ่งเป็นผลไม้ที่นิยมนำมาแปรรูป เช่น เครื่องดื่มน้ำเเฒ่าและไวน์ มีการรวมตัวกันของเกษตรกรในรูปแบบสหกรณ์เพื่อผลิตจำหน่าย แต่ปัญหาที่พบคือคุณภาพของการผลิตแต่ละครั้งไม่สม่ำเสมอและมีหลายปัจจัยที่ส่งผลต่อคุณภาพของไวน์ ดังนั้นกระบวนการตรวจสอบคุณภาพไวน์จึงเป็นกระบวนการที่มีความสำคัญ ซึ่งคุณภาพของไวน์หมากเเฒ่าสามารถพิจารณาได้จากการวิเคราะห์ทางเคมีและกายภาพ เช่น ความสามารถในการละลายความเป็นกรด ปริมาณแอลกอฮอล์สารประกอบคาร์บอนิล สารประกอบฟีนอลิก สารประกอบไนโตรเจน เป็นต้น [1]

การผลิตไวน์ต้องได้รับการตรวจสอบคุณภาพ ได้แก่ ความเข้มข้น สี ความหนืด รสหวาน เปรี้ยวและฝาด แม้ว่าผู้ผลิตจะแยกสีของหมากเเฒ่าแล้วก็ตาม แต่รสชาติและความหวานของก็เปลี่ยนไปเช่นกัน กระบวนการหมักและบ่มไวน์แม้ว่าการตรวจสอบไวน์สามารถทดสอบผ่านลิ้นอิเล็กทรอนิกส์ [2] ซึ่งประกอบด้วยขั้นตอนการเรียนรู้และการประมวลผลสัญญาณทางเทคนิค รวมถึงการวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก PCA และโครงข่ายประสาทเทียม ANN เป็นรูปแบบหนึ่งของ Perceptron multilayer ซึ่งวิธีการดังกล่าวมีความซับซ้อนและมีค่าใช้จ่ายและเทคโนโลยีในการสร้างค่อนข้างสูง ดังนั้นแนวคิดของบทความนี้คือ การวิเคราะห์ทางสถิติของความสัมพันธ์ระหว่างความถี่ไฟฟ้าและค่าพารามิเตอร์ทางไฟฟ้าของไวน์โดยใช้ตัวตรวจจับแบบอินเตอร์ดิจิทัลคาปาซิเตอร์ (Interdigital Capacitor Sensor, IDC) ซึ่งใช้กันอย่างแพร่หลาย เช่น เซนเซอร์วัดความชื้นสำหรับระบบคลินิกแบบพกพา [3] การตรวจหาสารพิษชีวภาพทางทะเลที่เป็นอันตรายในอาหารทะเล [4], การใช้งานไปโอเซนเซอร์ [5,6,7,8] การตรวจวัดปริมาณน้ำตาลในสารละลาย

¹ คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร

² คณะวิทยาการจัดการ มหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร

³ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร

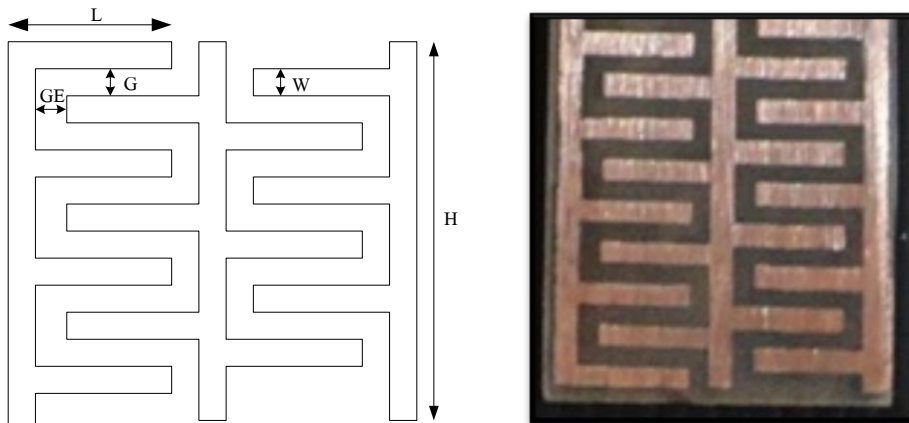
น้ำตาล [9] ระดับน้ำ [10] การประยุกต์ใช้ทางวิทยาศาสตร์ [11] ประยุกต์ใช้ในการระบุลักษณะของน้ำซูปแอปเปิ้ลพาสเจอร์ไรส์ [12] การปนเปื้อนของนมด้วยน้ำ [13,14,15] พารามิเตอร์ทางไฟฟ้าของผลิตภัณฑ์อาหาร [16] ได้รับการออกแบบโดยใช้หลักการตัวเก็บประจุรวมสองแผ่นและ เชื่อมต่อกับแรงดันไฟฟ้าทำให้เกิดสนามไฟฟ้าระหว่างแผ่นตัวนำ ตัวตรวจจับแบบอินเตอร์ดิจิทัลคาปาซิเตอร์ใช้ในการวัดค่าพารามิเตอร์ทางไฟฟ้าที่สัมพันธ์กับค่าของไดอิเล็กทริก (Dielectric) ประกอบด้วย ค่าการนำไฟฟ้า (Conductance) และความจุทางไฟฟ้า (Capacitance) ค่าพารามิเตอร์ทางไฟฟ้าจะเปลี่ยนไปตามพารามิเตอร์ของวัสดุไดอิเล็กทริก (Dielectric material) ที่อยู่ในโวนแต่ละชนิดซึ่งจะมีค่าไดอิเล็กทริกที่แตกต่างกัน ดังนั้นจุดประสงค์ของการศึกษานี้เพื่อจำแนกค่าพารามิเตอร์ทางไฟฟ้าผ่านกระบวนการตรวจจับไฟฟ้าโดยตัวตรวจจับแบบอินเตอร์ดิจิทัลคาปาซิเตอร์

วัสดุและวิธีการ

การทดลองเริ่มต้นด้วยการศึกษาการออกแบบตัวตรวจจับแบบอินเตอร์ดิจิทัลคาปาซิเตอร์ [10] ภาพประกอบที่ 1 แสดงมุมมองด้านบนของตัวตรวจจับแบบอินเตอร์ดิจิทัลคาปาซิเตอร์ สามารถประดิษฐ์ขึ้นด้วยแผ่นวงจรพิมพ์ด้านเดียว บนฉนวนอีพ็อกซี (Epoxy) โดยใช้หลักการของตัวเก็บประจุซึ่งถูกกำหนดโดยพารามิเตอร์ ความยาว (L) และความกว้างของแต่ละตัวนำ (W) ช่องว่างระหว่างตัวนำ (G) ช่องว่างที่ปลายตัวนำ (GE) สำหรับความสูง (H) จะคงที่ ความหนาของทองแดงบนแผ่นวงจรพิมพ์ 35 μ m การทดลองครั้งนี้ใช้พารามิเตอร์ของตัวตรวจจับแบบอินเตอร์ดิจิทัลคาปาซิเตอร์ดังนี้ ความยาว 5 mm. ความกว้าง 1 mm. ช่องว่างระหว่างแผ่นตัวนำ 1 mm. และจำนวนตัวนำ 9 แผ่น หลังจากเสร็จสิ้นกระบวนการสร้างจะทำการการตรวจสอบชิ้นส่วนที่แยกออกจากกันและนำเศษทองแดงขนาดเล็กที่ไม่ต้องการออกจากแผ่นวงจรพิมพ์ ตัวตรวจจับแบบอินเตอร์ดิจิทัลคาปาซิเตอร์ที่ประดิษฐ์ขึ้นสุดท้าย ภาพประกอบที่ 1 ตัวตรวจจับแบบอินเตอร์ดิจิทัลคาปาซิเตอร์สำหรับวัดค่าพารามิเตอร์ทางไฟฟ้าของโวนที่อยู่ในโวนในปริมาตร 300 ml. $\epsilon = 25$ ค่าความจุทางไฟฟ้าของตัวเก็บประจุ [10] สามารถหาได้จากสมการ (1)

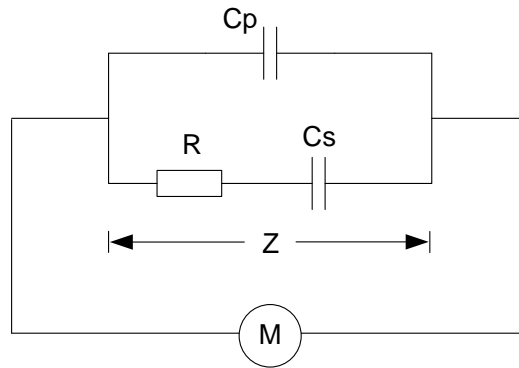
$$C = \epsilon_0 \epsilon_r \frac{A}{d} \quad (1)$$

โดยที่ C คือความจุทางไฟฟ้ามีหน่วยเป็น (Farad; F), ϵ_0 คือค่าความขบข้มของสนามไฟฟ้าของสุญญากาศ (Permittivity of free space) เท่ากับ 8.854188×10^{-12} F/m, ϵ_r คือ สภาวะยอมสัมพัทธ์ (Relative permittivity) ของโวน = 80.3



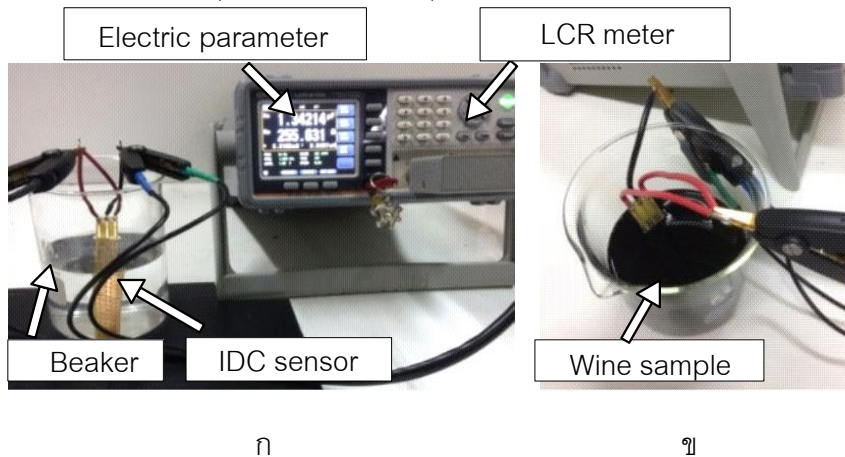
ภาพประกอบที่ 1 การออกแบบตัวตรวจจับแบบอินเตอร์ดิจิทัลคาปาซิเตอร์ที่ใช้ในการทดลอง

การทดลองนี้ใช้ตัวอย่างโวนหมากเมาเป็นจำนวน 4 ตัวอย่าง ประกอบด้วยโวนตัวอย่าง A, B, C และ D ตามลำดับซึ่งได้มาจาก Sakon winery Part.,Ltd. อำเภอกุฉินารายณ์ จังหวัดสกลนคร เครื่องมือวัดค่าพารามิเตอร์ทางไฟฟ้าของโวนหมากเมาเป็น เครื่องวัด LCR (GW INSTRON LCR-6100: 10.00 mV-2.00 V. Freq.10~100 kHz. ($\pm 0.01\%$) ความถี่ทดสอบ 10 Hz, 50 Hz, 60 Hz, 100 Hz, 120 Hz, 1 kHz, 2 kHz, 10 kHz, 20 kHz, 40 Hz, 50 kHz และ 100 kHz ตามลำดับ แรงดันไฟฟ้า (Vin) เท่ากับ 2 V. ซึ่งมีค่าบวกและลบ ก่อนที่จะวัดค่าพารามิเตอร์ทางไฟฟ้าของโวนจะทำการวัดค่าพารามิเตอร์ของน้ำกลั่นก่อนที่อุณหภูมิระหว่าง 25-35 $^{\circ}$ C เพื่อทดสอบความเป็นไปได้ก่อนที่จะวัดค่าพารามิเตอร์ทางไฟฟ้าของโวน



ภาพประกอบที่ 2 แผนผังของการวัดค่าพารามิเตอร์ทางไฟฟ้าของไวน์

การวัดค่าพารามิเตอร์ทางไฟฟ้าของไวน์ดำเนินการตามแผนผังของการวัดที่พัฒนา[16] ภาพประกอบที่ 2 ได้แก่ ค่าความจุไฟฟ้าขนานเทียบเท่า (C_p -equivalent parallel capacitance) ค่าความจุไฟฟ้าอนุกรมเทียบเท่า (C_s -equivalent serial capacitance), ค่าความต้านทาน (R -resistance) ค่าความต้านทานต่อไฟฟ้ากระแสสลับ (Z -impedance) เครื่องมือในการวัด (M -measuring instrument) และการติดตั้งอุปกรณ์สำหรับการทดลองในภาพประกอบที่ 3 การทดลองนี้ตัวอย่างไวน์ A ถูกเทลงในบีกเกอร์ขนาด 500 ml. ความถี่ในการทดลองเริ่มต้นที่ 100 Hz และแรงดันไฟฟ้า 2 V. จะถูกส่งออกจากเครื่องวัด LCR ไปยังตัวตรวจจับแบบอินเทอร์ดิจิทัลคาปาซิเตอร์ จากนั้นอ่านค่าพารามิเตอร์และบันทึกผลดังแสดงในตารางที่ 1 และทำการทดลองโดยใช้ความถี่ที่กำหนดจนถึง 100 kHz เมื่อการทดลองวัดค่าพารามิเตอร์ของไวน์ตัวอย่าง A เสร็จแล้วทำการทดลองและบันทึกผลตัวอย่างไวน์ B, C และ D ตามลำดับตามตารางที่ 1 ทำการทดลองโดยทำซ้ำ 5 ครั้งสำหรับแต่ละตัวอย่าง (\bar{X}) จนครบ 4 ตัวอย่าง ผลการทดลองถูกวิเคราะห์โดยค่าเฉลี่ยและค่าสัมประสิทธิ์ความแปรปรวน (CV) ในตารางที่ 1 โดยการทดลองนี้จะศึกษาความสัมพันธ์และการวิเคราะห์ทางสถิติการถดถอยของค่าพารามิเตอร์ทางไฟฟ้าของไวน์ ได้แก่ ค่าอิมพีแดนซ์ (Impedance; Z) ส่วนกลับของอิมพีแดนซ์ (Admittance; Y) ความต้านทาน (Resistance; R) ค่าความนำไฟฟ้า (Conductance; G) ความจุทางไฟฟ้าเทียบเท่าขนาน (Parallel equivalent capacitance; C_p) และความจุทางไฟฟ้าเทียบเท่าอนุกรม (Series equivalent capacitance; C_s)



ภาพประกอบที่ 3 (ก) การติดตั้งอุปกรณ์สำหรับทดลอง (ข) มุมมองด้านบนของตัวตรวจจับแบบอินเทอร์ดิจิทัลคาปาซิเตอร์

ผลการทดลอง

การทดลองวัดค่าพารามิเตอร์ทางไฟฟ้าของไวน์ (ตารางที่ 1,2) แต่ละตัวอย่างพบว่าตัวอย่างไวน์ A ค่าเฉลี่ยการนำไฟฟ้า Z และ R ประมาณ 4.345Ω , ค่า Y และ G ประมาณ 0.0023 mS . ในขณะที่ค่าความจุไฟฟ้า C_p ประมาณ 3.80 nF . และ C_s ประมาณ 0.013 nF . ตัวอย่างไวน์ B ค่าเฉลี่ยการนำไฟฟ้า Z และ R ประมาณ 111.5Ω , ค่า Y และ G ประมาณ 0.113 mS . ในขณะที่ C_p ประมาณ 0.003 nF . และ C_s โดยประมาณ 0.055 nF . ตัวอย่างไวน์ C ค่าเฉลี่ยการนำไฟฟ้า Z และ R ประมาณ 41.35Ω , ค่า Y และ G ประมาณ 0.0023 mS . ในขณะที่ค่าความจุไฟฟ้า C_p ประมาณ 3.80 nF . และ C_s ประมาณ 0.031 nF . ตัวอย่างไวน์ D ค่าเฉลี่ยการนำไฟฟ้า Z และ R อยู่ที่ประมาณ 39.20Ω , ค่า Y และค่า G ประมาณ 0.032 mS . ในขณะที่ค่าความจุไฟฟ้า C_p ประมาณ 2.17 nF . และ C_s โดยประมาณ 0.51 nF .

ตารางที่ 1 ผลการวัดค่าการนำไฟฟ้าของไวน์ตัวอย่างไวน์

wine	statistic	Conductance parameters			
		Z [Ω]	Y [mS]	R [Ω]	G [mS]
A	\bar{x}	4.41	2.3×10^{-3}	4.28	2.2×10^{-3}
	CV[%]	1.0×10^{-1}	9.2×10^{-2}	5.1×10^{-2}	1.3×10^{-1}
B	\bar{x}	1.1×10^2	9.0×10^{-3}	1.1×10^2	9.0×10^{-3}
	CV[%]	2.7×10^{-2}	3.8×10^{-2}	2.7×10^{-2}	2.6×10^{-2}
C	\bar{x}	4.2×10^1	4.0×10^{-2}	4.1×10^1	5.5×10^{-3}
	CV[%]	4.4×10^{-2}	4.3×10^{-2}	6.0×10^{-2}	3.0×10^{-2}
D	\bar{x}	3.4×10^1	6.0×10^{-2}	4.4×10^1	3.0×10^{-3}
	CV[%]	3.6×10^{-1}	3.0×10^{-1}	8.4×10^{-1}	7.3×10^{-1}

ตารางที่ 2 ผลการวัดค่าความจุไฟฟ้าของไวน์ตัวอย่างไวน์

wine	statistic	Capacitance parameters	
		Cp [μ F]	Cs [μ F]
A	\bar{x}	7.3×10^{-7}	1.3×10^{-5}
	CV[%]	3.8×10^{-1}	8.0×10^{-1}
B	\bar{x}	2.6×10^{-6}	5.5×10^{-5}
	CV[%]	4.5×10^{-2}	2.2×10^{-2}
C	\bar{x}	3.8×10^{-3}	3.1×10^{-5}
	CV[%]	8.3×10^{-2}	4.8×10^{-2}
D	\bar{x}	2.2×10^{-3}	5.1×10^{-4}
	CV[%]	2.6×10^{-1}	4.5×10^{-1}

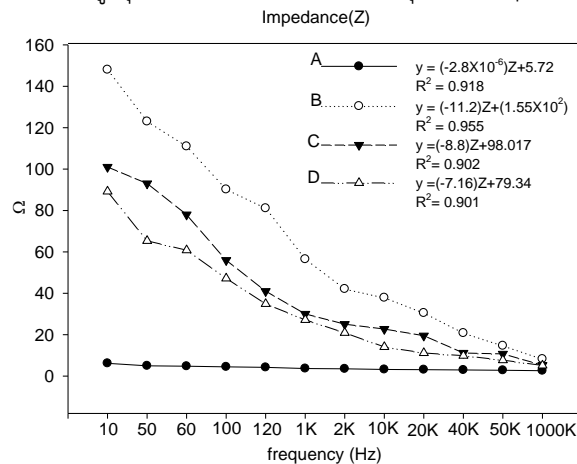
ตารางที่ 3 ความสัมพันธ์ของการวิเคราะห์ทางสถิติและเส้นโค้งการถดถอยของค่าพารามิเตอร์ทางไฟฟ้าของไวน์

	parameters	r	α	Regression equations
Wine A	Z [Ω]	0.918	0.000**	$y = (-2.8 \times 10^{-6})Z + 5.72$
	Y [mS]	0.956	0.000**	$y = (2.0 \times 10^{-4})Y + (1.5 \times 10^{-3})$
	R [Ω]	0.953	0.000**	$y = (-2.6 \times 10^{-1})R + 5.17$
	G [mS]	0.945	0.000**	$y = (2.0 \times 10^{-4})G + (1.4 \times 10^{-3})$
	Cp [μ F]	0.976	0.000**	$y = (-1.0 \times 10^{-3})Cp + 0.012$
	Cs [μ F]	0.908	0.000**	$y = (-3.0 \times 10^{-6})Cs + (3 \times 10^{-5})$
Wine B	Z [Ω]	0.955	0.000**	$y = (-11.2)Z + (1.55 \times 10^2)$
	Y [mS]	0.914	0.000**	$y = (2.5 \times 10^{-3})Y + (5.0 \times 10^{-4})$
	R [Ω]	0.960	0.000**	$y = (-10.5)R + (1.46 \times 10^1)$
	G [mS]	0.901	0.000**	$y = (2.4 \times 10^{-3})G + (1.0 \times 10^{-4})$
	Cp [μ F]	0.902	0.000**	$y = (-4.0 \times 10^{-6})Cp + (4.0 \times 10^{-5})$
	Cs [μ F]	0.903	0.000**	$y = (-2.0 \times 10^{-4})Cs + (2.0 \times 10^{-4})$
Wine C	Z [Ω]	0.902	0.000**	$y = (-8.8)Z + 98.017$
	Y [mS]	0.925	0.000**	$y = (2.0 \times 10^{-3})Y + (1.44 \times 10^{-2})$
	R [Ω]	0.904	0.000**	$y = (-4.217)R + 49.329$
	G [mS]	0.918	0.000**	$y = (2.2 \times 10^{-3})G + (1.25 \times 10^{-2})$

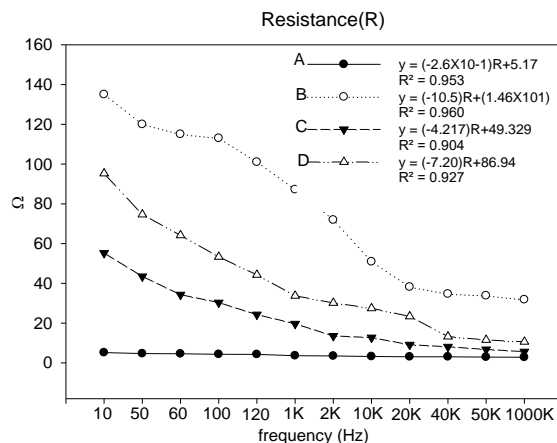
ตารางที่ 3 (ต่อ)

	parameters	r	α	Regression equations
	Cp [μ F]	0.959	0.000**	$y = (-6.0 \times 10^{-4})Cp + (7.5 \times 10^{-3})$
	Cs [μ F]	0.902	0.000**	$y = (-6 \times 10^{-6})Cs + (7 \times 10^{-5})$
Wine D	Z [Ω]	0.901	0.000**	$y = (-7.16)Z + 79.34$
	Y [mS]	0.903	0.000**	$y = (2.5 \times 10^{-3})Y + (2.0 \times 10^{-4})$
	R [Ω]	0.927	0.000**	$y = (-7.20)R + 86.94$
	G [mS]	0.904	0.000**	$y = (2.5 \times 10^{-3})G + (7.0 \times 10^{-4})$
	Cp [μ F]	0.901	0.000**	$y = (-3.0 \times 10^{-4})Cp + (4.2 \times 10^{-3})$
	Cs [μ F]	0.901	0.000**	$y = (-1.0 \times 10^{-5})Cs + (1.0 \times 10^{-4})$

การวิเคราะห์ทางสถิติที่ดำเนินการการศึกษา (ตารางที่ 3) แสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์ทางสถิติที่ใกล้ชิด ($\alpha = 0.01$) ระหว่างความถี่ทางไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงกับพารามิเตอร์ที่ทดสอบ (Z, R, Y, G, Cp Cs) ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) ที่คำนวณได้สำหรับความสัมพันธ์เหล่านั้นมีค่าสูงและอยู่ในช่วงตั้งแต่ 0.959 ถึง 0.976 ความสัมพันธ์ที่ศึกษาอธิบายโดยสมการถดถอย $y = a + bx$ ซึ่งช่วยให้คำนวณความสัมพันธ์ได้อย่างแม่นยำ การทดสอบของไวน์ A พบว่าค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ค่า Cp สูงสุดและค่า Cs น้อยที่สุดอยู่ที่ 0.976 ถึง 0.908 การทดสอบของไวน์ B พบว่าค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ค่าสูงสุดของ R และค่าต่ำสุดของ G อยู่ที่ 0.960 ถึง 0.901 การทดลองของไวน์ C พบว่าค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ค่าสูงสุดของ Cp และค่าที่น้อยที่สุดของ Z อยู่ที่ 0.959 ถึง 0.902 การทดลองของไวน์ D พบว่าค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ค่าสูงสุดของ R และเป็นค่าที่น้อยที่สุดของ Z, Cp และ Cs อยู่ที่ 0.927 ถึง 0.901

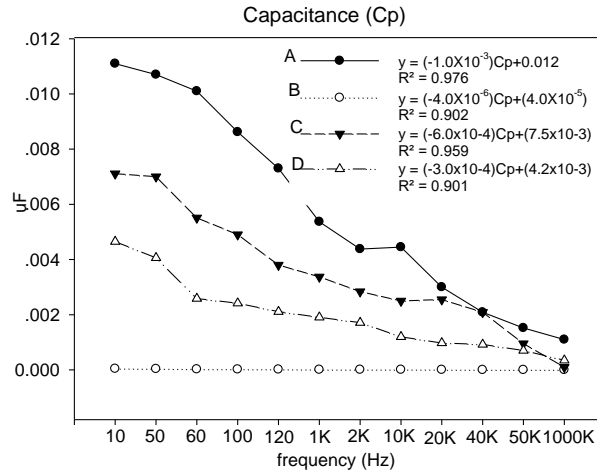


ภาพประกอบที่ 4 การตอบสนองเชิงเส้นด้วยค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างค่าอิมพีแดนซ์ของไวน์กับความถี่ทดสอบ

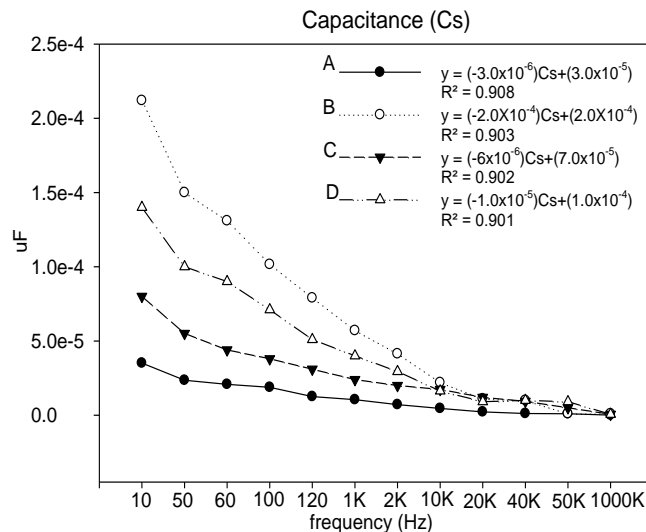


ภาพประกอบที่ 5 การตอบสนองเชิงเส้นด้วยค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างค่าความต้านทานของไวน์กับความถี่ทดสอบ

การตอบสนองเชิงเส้นด้วยค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างค่าอิมพีแดนซ์ของไวน์กับความถี่ทดสอบ ภาพประกอบที่ 4 ของ Z ของไวน์ A, B, C และ D เท่ากับ 0.918, 0.955, 0.902 และ 0.901 ตามลำดับ การตอบสนองเชิงเส้น R ภาพประกอบที่ 5 ของไวน์ A, B, C และ D มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เท่ากับ 0.953, 0.960, 0.904 และ 0.927 ตามลำดับ การตอบสนองเชิงเส้นของ Cp ภาพประกอบที่ 6 ของไวน์ A, B, C และ D ที่มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เท่ากับ 0.976, 0.902, 0.959 และ 0.901 ตามลำดับ การตอบสนองเชิงเส้นของ Cs ภาพประกอบที่ 7 ของไวน์ A, B, C และ D เท่ากับ 0.908, 0.903, 0.902 และ 0.901 ตามลำดับ

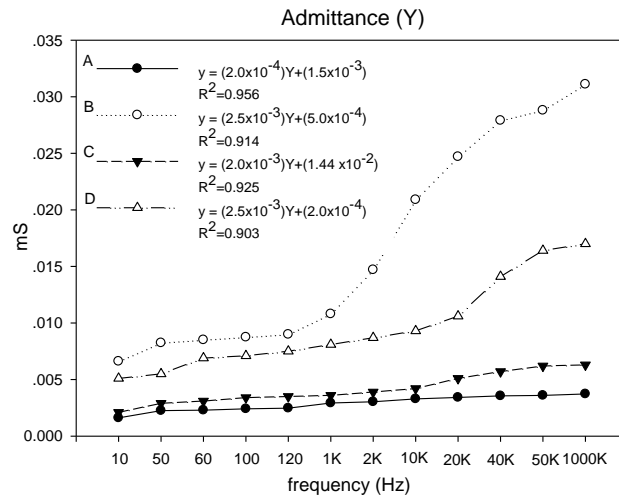


ภาพประกอบที่ 6 การตอบสนองเชิงเส้นด้วยค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างค่าความจุไฟฟ้าที่ต่อแบบขนานของไวน์กับความถี่ทดสอบ

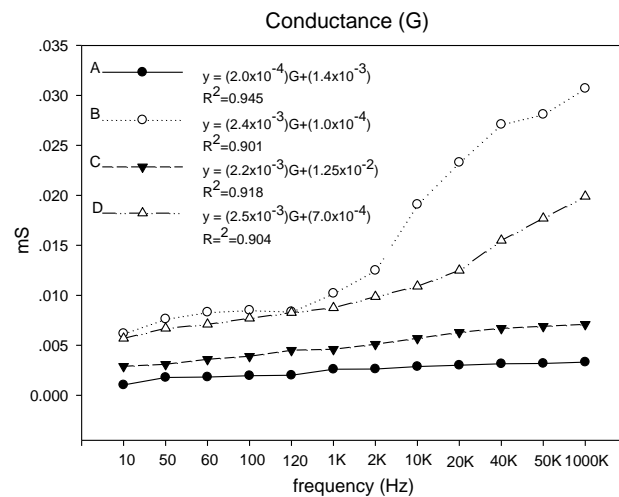


ภาพประกอบที่ 7 การตอบสนองเชิงเส้นด้วยค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างค่าความจุไฟฟ้าที่ต่อแบบอนุกรมของไวน์กับความถี่ทดสอบ

การตอบสนองเชิงเส้นด้วยค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างค่าส่วนกลับของอิมพีแดนซ์ของไวน์กับความถี่ทดสอบ ภาพประกอบที่ 8 ของไวน์ A, B, C และ D เท่ากับ 0.956, 0.914, 0.925 และ 0.903 การตอบสนองเชิงเส้นด้วยค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างค่าความนำไฟฟ้าของไวน์กับความถี่ทดสอบความเป็นเชิงเส้น ภาพประกอบที่ 9 ของไวน์ A, B, C และ D เท่ากับ 0.945, 0.901, 0.918 และ 0.904 ตามลำดับ



ภาพประกอบที่ 8 การตอบสนองเชิงเส้นด้วยค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างค่าส่วนกลับของอิมพีแดนซ์ของไวน์กับความถี่ทดสอบ



ภาพประกอบที่ 9 การตอบสนองเชิงเส้นด้วยค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างค่าความนำไฟฟ้าของไวน์กับความถี่ทดสอบ

บทสรุป

การทดลองนี้ได้นำเสนอผลการวิเคราะห์ทางสถิติของความสัมพันธ์ระหว่างความถี่ไฟฟ้าและค่าพารามิเตอร์ทางไฟฟ้าของไวน์ ซึ่งประกอบด้วยค่าการนำไฟฟ้าและค่าความจุทางไฟฟ้าของไวน์ 4 ตัวอย่าง โดยใช้ตัวตรวจจับแบบอินเตอร์ดิคัลคาปาซิเตอร์ ผลของค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างค่าการนำไฟฟ้าของไวน์และความถี่โดยใช้สมการถดถอย แสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์กันโดยตรงอย่างมาก คือ $0.901 \leq r \leq 0.960$ ในขณะเดียวกันค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างค่าความจุทางไฟฟ้าของไวน์และความถี่แสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์กันโดยตรงอย่างมากเช่นกัน นอกจากนี้ผลที่อธิบายข้างต้นแสดงให้เห็นว่าตัวตรวจจับแบบอินเตอร์ดิคัลคาปาซิเตอร์สามารถวัดค่าพารามิเตอร์ทางไฟฟ้าที่มีอยู่ในไวน์ สามารถนำไปใช้ในการพัฒนาและแปรผลความแตกต่างของไวน์ได้

เอกสารอ้างอิง

- [1] Maria Luz Rodriguez-Mendez, Constantin Apetrei, Irina Mirela Apetrei, Sonia Villanueva, I. J.A. de Saja, Ignacio Nevares and M. del Alamo. Combination of an electronic nose, an electronic tongue and an electronic eye for the Analysis of Red Wines aged with alternative methods, IEEE International Symposium on Industrial Electronics (ISIE), (2007), 2782-2787.
- [2] Yennifer Yuliana Rios Diaz and Cristhian Manuel Duran. Electronic Tongue for Wine Discrimination, using PCA and ANN. International Congress of Engineering Mechatronics and Automation (CIIMA), IEEE, (2014), 1-5.

- [3] Céline Laville and Claude Pellet. Interdigitated humidity sensors for a portable clinical microsystem. IEEE Transactions on Biomedical Engineering, (2002), 49 (10), 1162-1167.
- [4] Mohd Syaifudin Abdul Rahman, K. P. Jayasundera and S.C.Mukhopadhyay. A low cost novel sensing system for detection of dangerous marine biotoxins in seafood. Sensors and Actuators B: Chemical, (2009), 137 (1), 67-75.
- [5] Stephen M. Radke and Evangelyn Alocilja .Design and fabrication of a micro impedance biosensor for bacterial detection. IEEE Sensors Journal, (2004), 4 (4), 434-440.
- [6] Stephen M. Radke and Evangelyn C. Alocilja. A high density microelectrode array biosensor for detection of E. coli O157:H7. Biosensors and Bioelectronics, (2005), 20 (8), 1662-1667.
- [7] Stephen M. Radke and Evangelyn C. Alocilja. A microfabricated biosensor for detecting foodborne bioterrorism agents. IEEE Sensors Journal, 2005. 5 (4), 744-750.
- [8] Madhukar Varshney and Yanbin Li. Interdigitated array microelectrodes based impedance biosensors for detection of bacterial cells. Biosensors and Bioelectronics, (2009), 24 (10), 2951-2960.
- [9] Niwat Angkawisittpan ang and T. Manasri. Determination of Sugar Content in Sugar Solutions using Interdigital Capacitor Sensor MEASUREMENT SCIENCE REVIEW, (2012), Vol,12, No. 1.
- [10] Sarawoot Boonkirdram, Worawat Sa-ngiamvibool . A Novel Planar Interdigital Capacitor Level Sensor August Przeglad Elektrotechniczny (2015), Vol, 1(8):93-97
- [11] Alaeddin S. Abu-Abed and Robert Glenn Lindquist. Capacitive interdigital sensor with inhomogeneous nematic liquid crystal film. Electrical and Computer Engineering Department. Huntsville, University of Alabama in Huntsville, (2008), Research B, Vol. 7, 75-87
- [12] Ryszard Żywica, Grażyna Pierzynowska-Korniak and Joanna Wójcik. Application of food products electrical model parameters for evaluation of apple puree dilution. Journal of Food Engineering 67 (2005), 413-418
- [13] Songgrod Phimphisan, Worawat Sa-ngiamvibool, Determination of Water added in Raw Milk using Interdigital Capacitor Sensor, Przeglad Elektrotechniczny, (2015), R. 91 NR 9.
- [14] Joanna K. Banach , Ryszard Żywica , Jerzy Szpendowski and Katarzyna Kiełczewska, Possibilities of Using Electrical Parameters of Milk for Assessing its Adulteration with Water. International Journal of Food Properties, (2012), 15:274-280
- [15] Stojan Rendeovski, Ahmed Sulaiman Ali Alghanbeer Alkhanbouli, Khaled Saif Mohamed Ali Al Shaabi and Saif Abdullah Ali Ahmed. Testing For Added Water in Milk with Handheld LCR Meter. IOSR Journal of Environmental Science, Toxicology and Food Technology (IOSR-JESTFT), (May.2017), PP 23-30.
- [16] Anna Nakonieczna, Bartosz Paszkowski, Andrzej Wilczek, Agnieszka Szyptowska and Wojciech Skierucha, Electrical impedance measurements for detecting artificial chemical additives in liquid food products. Food Control 66 (2016), 116e129