บทที่ 2

อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง[4]

การวัดค่าคงที่ไดอิเลคตริคที่ความถี่ต่ำของสารละลายผลึกเหลวนีมาคิดอาจทำได้โดยอาศัยหลักการของตัวเก็บประจุไฟฟ้า กล่าวคือ จะต้องสร้างตัวเก็บประจุที่สามารถบรรจุสารไดอิเลคตริคที่เป็นของเหลวไว้ได้ ถ้าเราวัดความจุของตัวเก็บประจุเปล่าที่สร้างขึ้น และวัดความจุของตัวเก็บประจุขณะบรรจุสารไดอิเลคตริคได้แล้ว ก็สามารถคำนวณค่าคงที่ไดอิเลคตริคได้โดยสมการ (2-1)

$$K = \frac{C}{C_0} \qquad (2-1)$$

โดย K = ค่าคงที่ไดอิเลคตริคของสาร

C_0 = ความจุของตัวเก็บประจุเปล่า

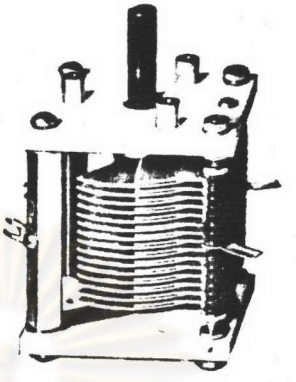
C = ความจุของตัวเก็บประจุเมื่อบรรจุสารไดอิเลคตริค

2.1 ตัวเก็บประจุไฟฟ้า

การสร้างตัวเก็บประจุสำหรับวัดค่าคงที่ไดอิเลคตริคของสารที่เป็นของเหลวนั้นโดยมากนิยมสร้างเป็นโลหะทรงกระบอก 2 ชั้น สูงประมาณ 5 ถึง 8 เซนติเมตร รัศมีของทรงกระบอกในประมาณ 1 เซนติเมตร ระยะระหว่างผิวของทรงกระบอกทั้งสองชั้นประมาณ 0.05 เซนติเมตร ตัวเก็บประจุลักษณะดังกล่าวนี้สร้างได้ยากมาก เนื่องจากระยะห่างระหว่างทรงกระบอกทั้งสองชั้นน้อยมากนั่นเอง มักจะเกิดการลัดวงจรในขณะในขณะวัดความจุ และยังมีปัญหาเกี่ยวกับสัญญาณรบกวนจากภายนอกอยู่เสมอ ดังนั้นจึงได้ดัดแปลงจากอุปกรณ์ที่หาได้ง่าย คือใช้ตัวเก็บประจุแบบปรับค่าได้ (variable capacitor) ซึ่งเป็นแบบที่ใช้ในวงจรเลือกสถานี (tuning circuit) ของเครื่องรับวิทยุโดยทั่วไปดังรูปที่ 2.1

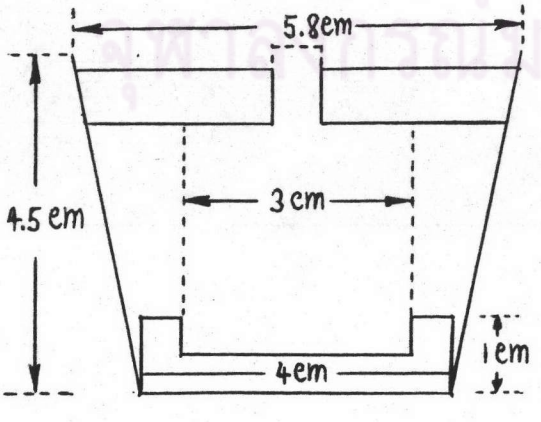
010341

i 17113659



รูปที่ 2.1 แสดงตัวเก็บประจุแบบปรับค่าได้ที่ใช้ในการทดลอง

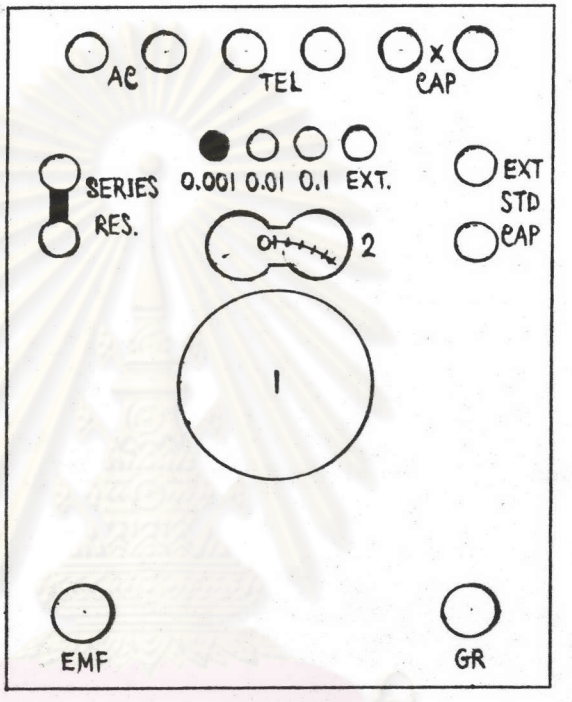
ตัวเก็บประจุดังกล่าวบรรจุอยู่ในภาชนะทรงกระบอกซึ่งทำด้วยแก้วหรือกระเบื้องเคลือบเส้นผ่าศูนย์กลาง 5.80 เซนติเมตร สูง 4.50 เซนติเมตร ที่กันภาชนะซึ่งมีเส้นผ่าศูนย์กลาง 4.00 เซนติเมตรใช้แท่งเทฟลอน (teflon) หนา 1.00 เซนติเมตร เส้นผ่าศูนย์กลางขนาดใกล้เคียงกับก้นภาชนะ เจาะเป็นช่องสี่เหลี่ยมผืนผ้าขนาดกว้าง 3.00 เซนติเมตร ยาว 3.50 เซนติเมตร ตัวเก็บประจุจะถูกตรึงไว้ในช่องที่เจาะนี้ ด้านบนภาชนะที่บรรจุตัวเก็บประจุมีฝาครอบปิดสนิทเพื่อป้องกันการระเหยของสารไดอิเลคตริคที่ใส่ไว้ภายใน ตัวฝาครอบเจาะเป็นช่องกลมเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 0.80 เซนติเมตร ทั้งนี้เพื่อให้แกนหมุนของตัวเก็บประจุลอดผ่านออกมาได้ ลักษณะของอุปกรณ์ที่สร้างขึ้นแสดงดังรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 แสดงอุปกรณ์ที่ใช้ประกอบกับตัวเก็บประจุแบบปรับค่าได้

2.2 เครื่องมือวัดความจุของตัวเก็บประจุ

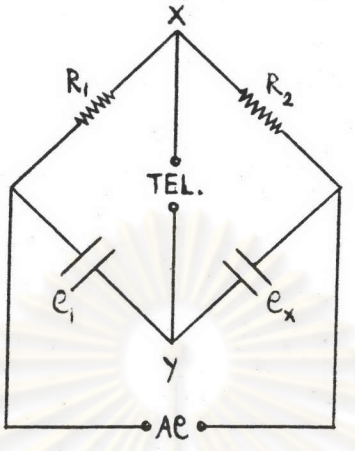
การวัดความจุของตัวเก็บประจุในการทดลองนี้ ทำได้โดยใช้วงจรบริดจ์สำเร็จรูปของ Leeds and Northrup Company ดังแสดงในรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 แสดงบริดจ์ที่ใช้ในการทดลอง

บริดจ์ชนิดนี้ประกอบด้วยตัวต้านทานที่ปรับค่าได้ 2 ตัว คือ R_1 และ R_2 การปรับค่าทำได้โดยหมุนสไลเดอร์หมายเลข 1 สเกลหมายเลข 2 จะทำหน้าที่บอกค่าอัตราส่วนระหว่าง R_1 กับ R_2 ซึ่งอ่านได้ละเอียดถึง 0.01 นอกจากนี้ยังมีตัวเก็บประจุมาตรฐาน 3 ตัวซึ่งมีความจุ 0.1, 0.01 และ 0.001 ไมโครฟารัดต่ออยู่ด้วยตามลำดับ ตัวเก็บประจุเหล่านี้เป็นชนิดใช้ปลั๊กเสียบ (plug in) ตัวเก็บประจุที่เราต้องการวัดความจุจะต้องต่อเข้าที่ตำแหน่ง C_x สำหรับวงจรบริดจ์สามารถเขียนได้ดังรูปที่ 2.4

หลักการทำงานของบริดจ์นี้อธิบายได้ว่า เมื่อต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับเข้าที่ตำแหน่ง A.C. จะเกิดความต่างศักย์ระหว่างจุด X และ Y ซึ่งสามารถวัดได้โดยใช้โวลต์มิเตอร์ หูฟังโทรศัพท์ (telephone receiver) หรือออสซิลโลสโคปที่ต่อ



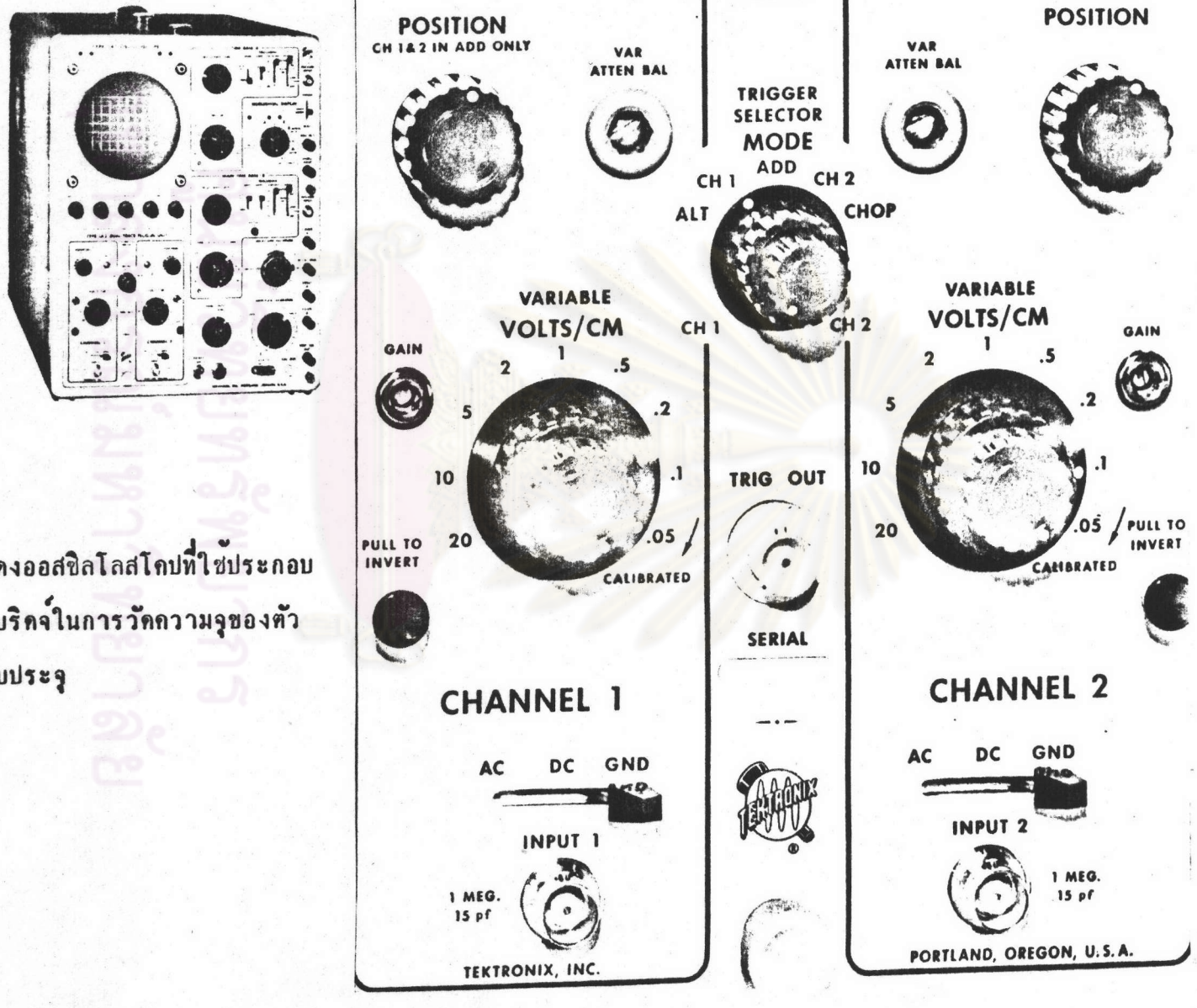
รูปที่ 2.4 แสดงวงจรของบริดจ์สำเร็จรูป

ไว้ที่ตำแหน่ง TEL. ถ้าปรับค่า R_1 และ R_2 จนกระทั่งอัตราส่วนระหว่าง R_1 กับ R_2 มีค่าเหมาะสม จะทำให้ความต่างศักย์ระหว่าง X และ Y เป็นศูนย์ เงื่อนไขสำคัญที่จะทำให้เกิดสภาพนี้เขียนได้ดังสมการ (2-2)

$$R_1C_1 = R_2C_x \qquad (2\text{-}2)$$

สำหรับเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับที่ใช้ในการทดลองนี้ คือ National Audio Oscillator model VP702 ของบริษัท Matsushita สามารถสร้างความถี่ได้ตั้งแต่ 0 ถึง 200000 เฮิรซ์ โดยให้ความต่างศักย์ขาออก (output voltage) ได้ตั้งแต่ 0 ถึง 10 โวลต์ ส่วนเครื่องมือที่ใช้วัดความต่างศักย์ระหว่าง X และ Y คือ ออสซิลโลสโคปรุ่น 549 ของบริษัท Tektronix ลักษณะของอุปกรณ์แสดงดังรูปที่ 2.5

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 2.5 แสดงออสซิลโลสโคปที่ใช้ประกอบกับบริดจ์ในการวัดความจุของตัวเก็บประจุ

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.3 การทดสอบอุปกรณ์การทดลอง

การทดสอบความแม่นยำของอุปกรณ์ต่าง ๆ ทำได้โดยนำไปวัดค่าคงที่ไดอิเลคตริคของสารมาตรฐานบางชนิด สารที่ใช้ในการทดสอบ คือ เบนซีน (benzene) ซึ่งมีค่าคงที่ไดอิเลคตริคเป็นไปตามสมการ (2-3)[1]

$$K = 2.274 - 0.0020\ (25 - t) \qquad (2\text{-}3)$$

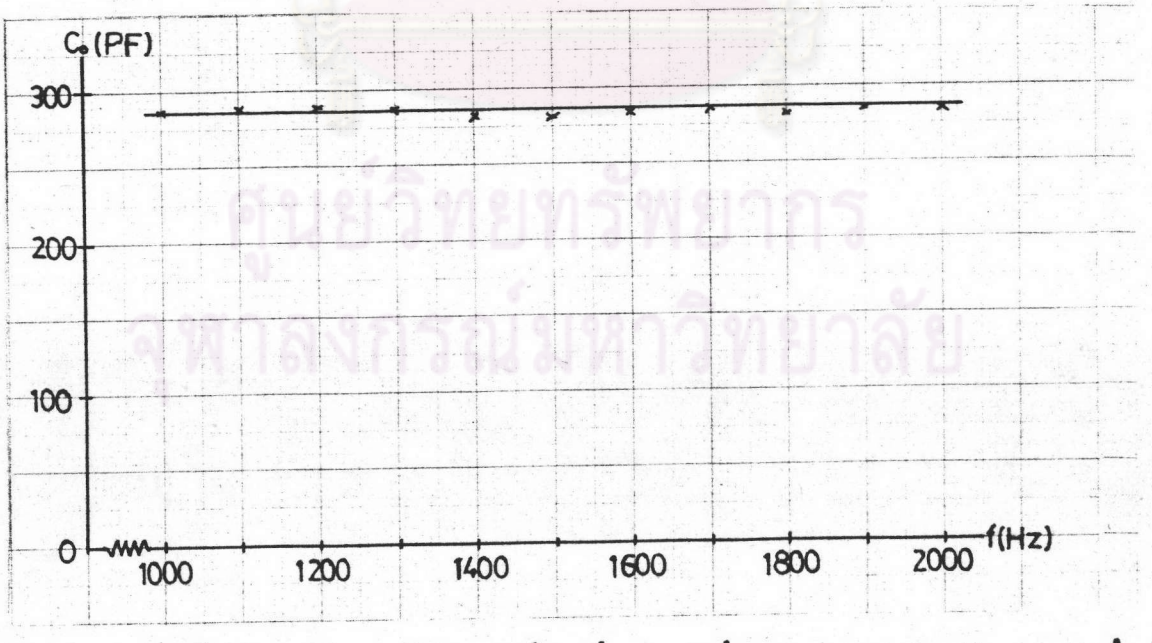
โดย t = อุณหภูมิของสารซึ่งจะต้องอยู่ระหว่าง 15 ถึง 30 องศาเซลเซียส

ในการวัดค่าคงที่ไดอิเลคตริคของเบนซีนนั้น ขั้นแรกจะต้องวัดความจุของตัวเก็บประจุเปล่าที่สร้างขึ้นก่อน ต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับเข้ากับบริดจ์ที่ตำแหน่ง A.C. และต่อ channel 2 ของออสซิลโลสโคปเข้าที่ตำแหน่ง TEL.ตามรูปที่ 2.3 ตั้งสเกล VOLTS/CM และ TIME/CM ของออสซิลโลสโคปไว้ที่ตำแหน่ง 0.05 และ 0.1 มิลลิวินาทีตามลำดับ ส่วนตัวเก็บประจุมาตรฐานของบริดจ์นั้น ใช้ค่า 0.001 ไมโครฟารัด ตั้งความถี่ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับเริ่มตั้งแต่ 1000 ไปจนถึง 2000 เฮิรซ์ โดยเพิ่มขึ้นช่วงละ 100 เฮิรซ์ ค่าความต่างศักย์ขาออกตั้งไว้ที่ตำแหน่ง 5 โวลต์ ต่อตัวเก็บประจุที่สร้างขึ้นไว้ที่ตำแหน่ง C_x

เมื่อกดสวิทช์ EMF จะมีสัญญาณไฟฟ้ากระแสสลับผ่านเข้าไปยังบริดจ์ ความต่างศักย์ระหว่าง X และ Y อ่านได้จากจอออสซิลโลสโคป ปรับสไลเดอร์หมายเลข 1 จนกระทั่งสัญญาณไฟฟ้ากระแสสลับที่อ่านได้จากจอออสซิลโลสโคปมีค่าความต่างศักย์ต่ำที่สุด อ่านค่าอัตราส่วนระหว่าง R_1 กับ R_2 จากสเกลของบริดจ์ แล้วนำไปคูณกับค่าความจุของตัวเก็บประจุมาตรฐานที่ใช้ จะได้ความจุของตัวเก็บประจุตามต้องการ ค่าความจุของตัวเก็บประจุเปล่าที่วัดได้แสดงไว้ในตารางที่ 2.1 เมื่อนำค่าความจุที่วัดได้กับค่าความถี่จากตารางที่ 2.1 มาเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ จะได้ดังรูปที่ 2.6

ตารางที่ 2.1 แสดงความจุของตัวเก็บประจุเปล่าที่ความถี่ต่าง ๆ

ความถี่ (เฮิรซ์)	ความจุ (พิโคฟารัด)
1000	286
1100	288
1200	289
1300	288
1400	282
1500	282
1600	284
1700	285
1800	282
1900	286
2000	286



รูปที่ 2.6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความถี่กับความจุของตัวเก็บประจุเปล่า

จากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างความจุของตัวเก็บประจุเปล่ากับความถี่ของไฟฟ้ากระแสสลับที่ใช้ ปรากฏว่ามีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (coefficient of correlation) เท่ากับ 0.393 สรุปได้ว่าความจุของตัวเก็บประจุเปล่ามีแนวโน้มที่จะไม่เปลี่ยนแปลงตามความถี่ของไฟฟ้ากระแสสลับ

ดังนั้นจะได้ค่าความจุเฉลี่ยของตัวเก็บประจุเปล่าเท่ากับ 285 พิโคฟารัด โดยที่ความคลาดเคลื่อนของการวัดเท่ากับ 2 พิโคฟารัด หรือประมาณ 0.85 เปอร์เซนต์

ขั้นต่อไปคือวัดความจุของตัวเก็บประจุเมื่อบรรจุเบนซีนที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เติมเบนซีนประมาณ 30 ลูกบาศก์เซนติเมตรลงในภาชนะที่บรรจุตัวเก็บประจุปิดฝาครอบให้สนิท หมุนแกนของตัวเก็บประจุไปมาเพื่อไล่ฟองอากาศที่อาจเข้าไปแทรกอยู่ระหว่างแผ่นขนานของตัวเก็บประจุออกให้หมด โดยวิธีการเช่นเดียวกับการวัดความจุของตัวเก็บประจุเปล่า จะได้ค่าความจุของตัวเก็บประจุที่บรรจุเบนซีนดังตารางที่ 2.2

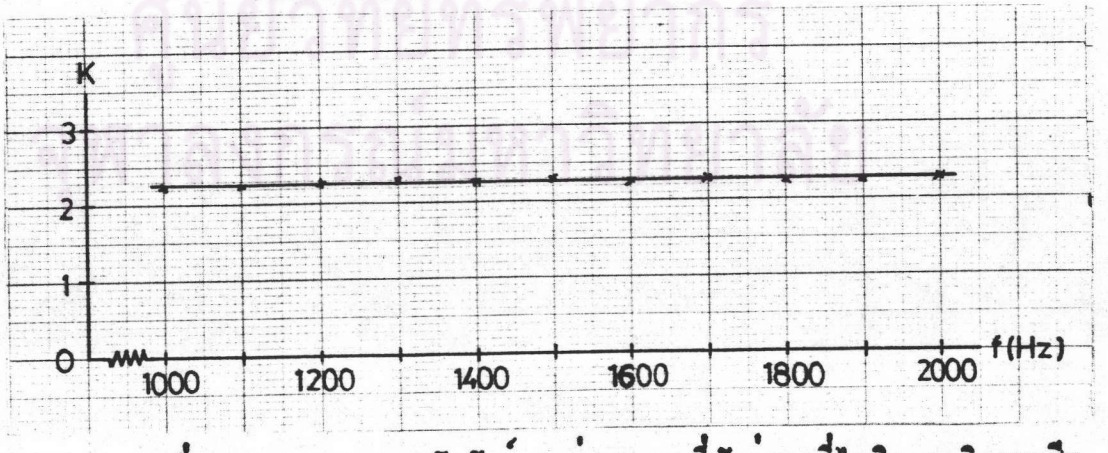
ความถี่ (เฮิรซ์)	ความจุ (พิโคฟารัด)
1000	646
1100	649
1200	648
1300	655
1400	649
1500	654
1600	646
1700	657
1800	646
1900	646
2000	649

ตารางที่ 2.2 แสดงความจุของตัวเก็บประจุเปล่าที่ความถี่ต่าง ๆ

จากค่าความจุของตัวเก็บประจุเปล่าและค่าความจุของตัวเก็บประจุเมื่อบรรจุเบนซีนตามตารางที่ 2.2 สามารถนำไปคำนวณค่าคงที่ไดอิเลคตริคของเบนซีนที่ความถี่ต่ำได้ตามตารางที่ 2.3 และได้กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความถี่กับค่าดังกล่าวตามรูป 2.7

ตารางที่ 2.3 แสดงค่าคงที่ไดอิเลคตริคของเบนซีนที่ความถี่ต่าง ๆ

ความถี่ (เฮิรซ์)	ค่าคงที่ไดอิเลคตริค
1000	2.267
1100	2.277
1200	2.274
1300	2.298
1400	2.277
1500	2.295
1600	2.267
1700	2.305
1800	2.267
1900	2.267
2000	2.277



รูปที่ 2.7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความถี่กับค่าคงที่ไดอิเลคตริคเบนซีน

จากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างค่าคงที่ไดอิเลคตริคของเบนซีนกับความถี่ของสนามไฟฟ้า ปรากฏว่ามีค่ากำลังสองของสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เท่ากับ 0.103 จึงสรุปได้ว่าค่าคงที่ไดอิเลคตริคของเบนซีนไม่เปลี่ยนแปลงไปตามความถี่ของไฟฟ้ากระแสสลับในช่วง 1000 ถึง 2000 เฮิทซ์ ดังนั้นจะได้ค่าคงที่ไดอิเลคตริคโดยเฉลี่ยของเบนซีนที่ความถี่ต่ำเท่ากับ 2.279 โดยที่ความคลาดเคลื่อนของการวัดเท่ากับ 0.023 หรือประมาณ 0.58 เปอร์เซนต์

โดยการใช้สมการ (2-3) คำนวณค่าคงที่ไดอิเลคตริคของเบนซีน พบว่าค่าดังกล่าวที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียสเท่ากับ 2.274 จะเห็นได้ว่าค่าที่วัดได้คลาดเคลื่อนไปจากทฤษฎีเพียง 0.13 เปอร์เซนต์ ดังนั้นเราสามารถใช้อุปกรณ์ที่สร้างขึ้นวัดค่าคงที่ไดอิเลคตริคที่ความถี่ต่ำของสารที่เป็นของเหลวชนิดอื่น ๆ ได้

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย