บทที่ 3

การพัฒนาเครื่องมือที่ใช้เตรียมแผ่นฟิล์มพอลิเมอร์เพียสโซอิเล็กตริก PVDF

ในการพัฒนาพอลิเมอร์PVDF ให้มีสภาพเพียสโซอิเล็กตริกนั้นจำเป็นต้องอาศัยอุปกรณ์เครื่องมือหลายชิ้นด้วยกัน เช่น เครื่องยืดฟิล์ม เครื่องฉาบอิเล็กโทรด เตาอบ เครื่องกำเนิดความต่างศักย์โวลต์สูง และเครื่องมือวัด เป็นต้น สำหรับอุปกรณ์สำเร็จรูปดังกล่าวมานี้ค่อนข้างจะราคาแพง ดังนั้นเพื่อเป็นการประหยัดงบประมาณ ในงานวิจัยนี้จึงได้คิดสร้างและพัฒนาเครื่องมือบางชิ้นขึ้นใช้เองโดยใช้วัสดุที่พอจะสามารถหาได้ภายในประเทศ ส่วนเครื่องมือบางชิ้นที่มีอยู่ก่อนแล้วจะศึกษาวิธีการใช้พร้อมทั้งปรับปรุงให้สามารถใช้งานได้สะดวกยิ่งขึ้น ดังมีรายละเอียดจะกล่าวถึงตามลำดับต่อไปนี้

3.1 เตาอบ

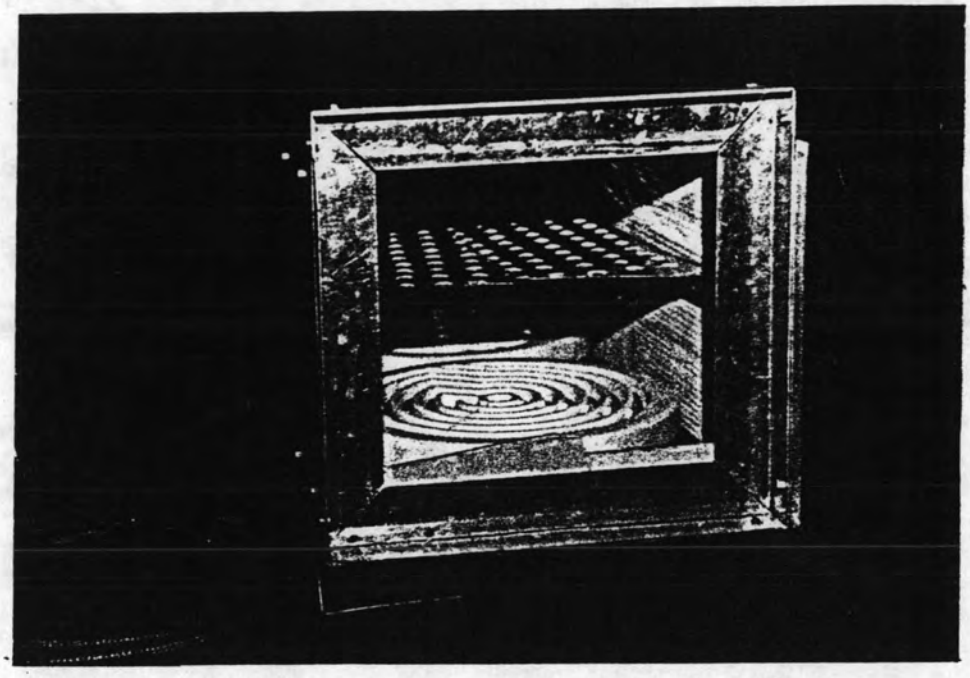
ในการวิจัยนี้เตาอบเป็นอุปกรณ์ที่ใช้สำหรับอบแผ่นฟิล์มพอลิเมอร์ PVDF ที่ผ่านการยืดมาแล้ว เพื่อลดรอยฉีกขาดระดับจุลภาคและช่วยให้โครงสร้างของแผ่นฟิล์มพอลิเมอร์ PVDF คลายตัวลดความเครียดอันเกิดเนื่องมาจากการยืดทำให้ฟิล์มอยู่ตัวดีขึ้น นอกจากนั้นในการจัดชั้วให้แก่แผ่นฟิล์มพอลิเมอร์ PVDF ในการวิจัยนี้จะกระทำที่อุณหภูมิต่างๆในช่วงตั้งแต่อุณหภูมิห้องถึงประมาณ 100 องศาเซลเซียส เพื่อศึกษาผลของอุณหภูมิขณะจัดชั้วต่อสภาพเพียสโซอิเล็กตริกของแผ่นฟิล์มด้วย ซึ่งก็สามารถจะกระทำได้ภายในเตาอบนี้

3.1.1 การออกแบบเตาอบ

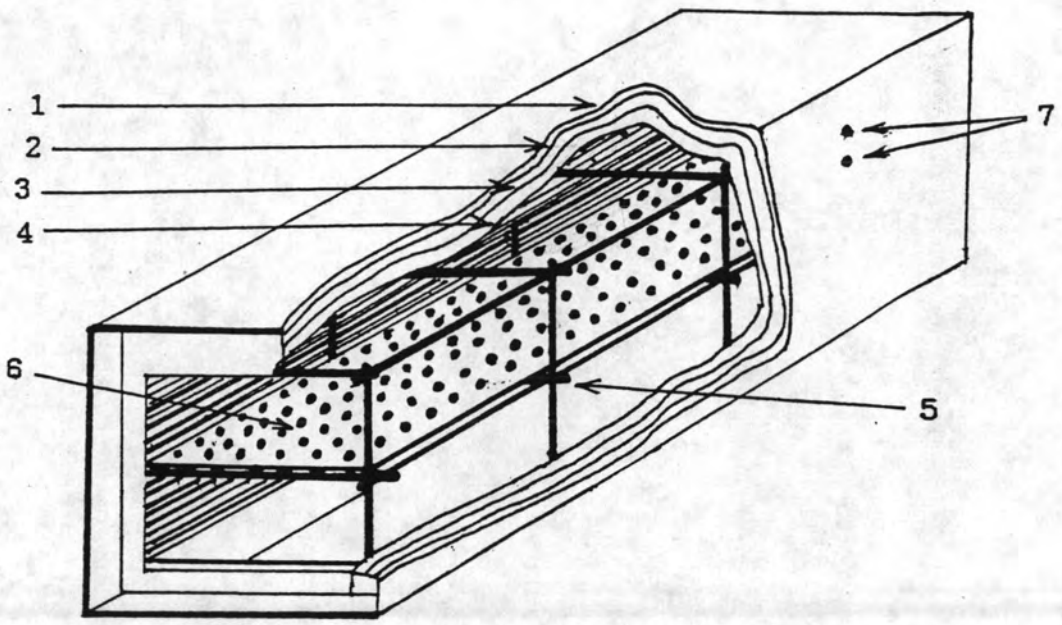
ในขั้นตอนการอบแผ่นฟิล์มพอลิเมอร์ PVDF ที่ผ่านการยืดมาแล้วนั้นต้องทำการอบขณะ

ที่แผ่นฟิล์มยังยึดติดอยู่กับเครื่องยึด ดังนั้นเตาอบที่ใช้ในงานวิจัยนี้จึงต้องมีรูปร่างและขนาดใหญ่พอที่จะใส่เครื่องยึดเข้าไปได้และนอกจากนั้นอุณหภูมิที่ใช้อบอยู่ในช่วง 100-120 °C จึงต้องออกแบบให้ใช้งานได้ในช่วงอุณหภูมินี้ด้วย

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

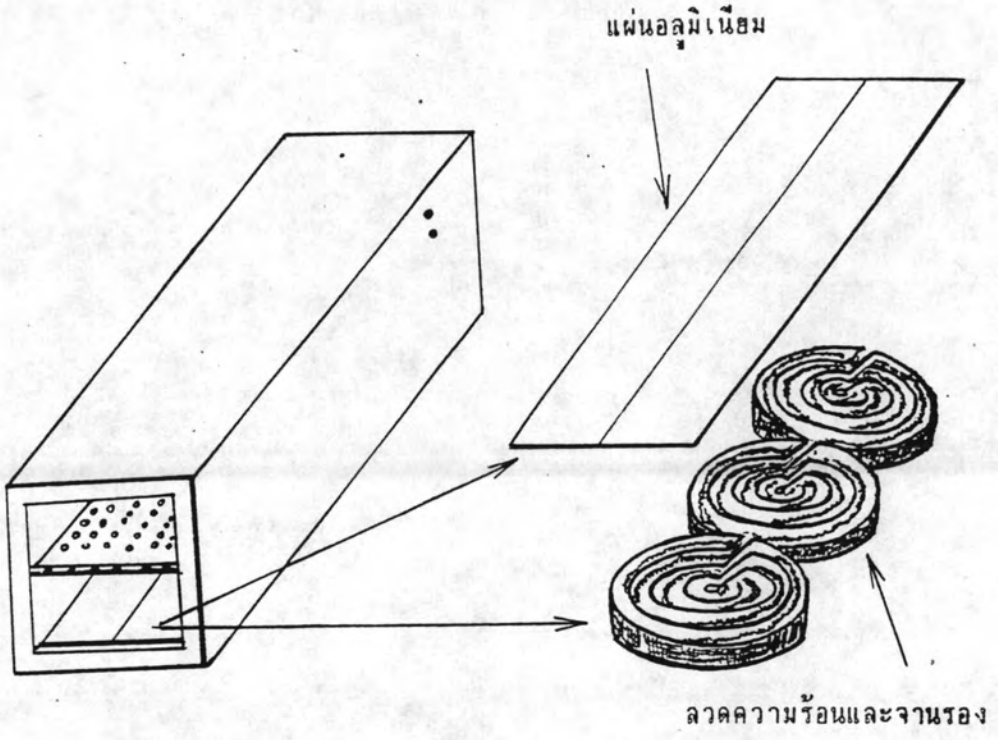


รูปที่ 3.1 แผนภาพแสดงด้านหน้าของเตาอบ



1. อลูมิเนียม
2. ฉนวนกั้นความร้อน
3. อลูมิเนียม
4. กระเบื้องเซรามิก
5. โครงเหล็ก
6. ตะแกรงอลูมิเนียม
7. รูสำหรับสอดเทอร์มิสเตอร์หรือเทอร์โมคอปเปิล

รูปที่ 3.2 แผนภาพแสดงให้เห็นส่วนประกอบภายในของเตาอบ



รูปที่ 3.3 แผนภาพแสดงส่วนที่ให้ความร้อนแก่เตาอบ

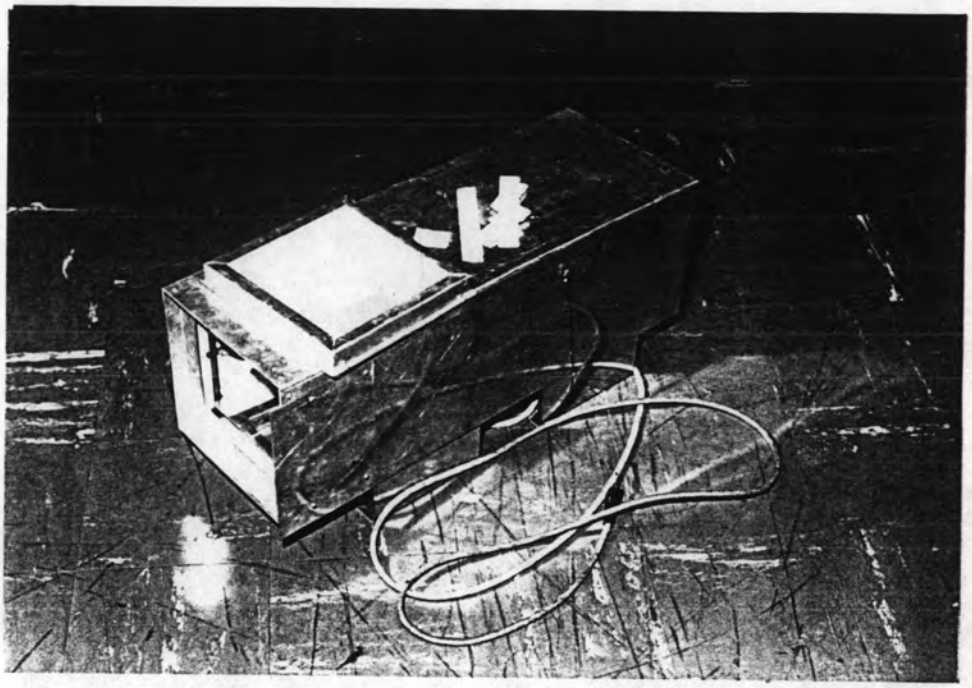
เตาอบที่สร้างขึ้นนั้นมีลักษณะเป็นรูปทรงสี่เหลี่ยมมุมฉาก ดังแสดงในรูปที่ 3.2 และ 3.3 มีขนาดภายนอกกว้าง 23 เซนติเมตร สูง 22 เซนติเมตร และยาว 66 เซนติเมตร รอบนอกหุ้มด้วยแผ่นอลูมิเนียม ถัดเข้าไปเป็นฉนวนกั้นความร้อนหนา 0.5 เซนติเมตร แผ่น

อลูมิเนียม และกระเบื้องทนไฟนวกเซรามิกซึ่งใช้ในงานก่อสร้างทั่วๆไปตามลำดับ กระเบื้องทนไฟนี้จะทำหน้าที่เก็บกักและแผ่ความร้อนไปยังทุกๆจุดภายในปริมาตรของเตาอบ ผนังของเตาอบมีความหนารวมทั้งสิ้นประมาณ 1.5 เซนติเมตร ชั้นในสุดมีโครงเหล็กซึ่งทำจากเหล็กเส้นขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 4 มิลลิเมตร โครงเหล็กดังกล่าวจะช่วยยึดผนังทั้ง 5 ด้าน ภายในเตาอบเอาไว้ ตรงพื้นด้านล่างมีแผ่นอลูมิเนียมวางทับอยู่บนขดลวดความร้อนเพื่อกั้นการแผ่ความร้อนโดยตรงจากลวดความร้อนซึ่งจะช่วยให้ความร้อนจากลวดความร้อนแผ่ไปยังทุกๆจุดอย่างสม่ำเสมอ

ภายในห้องอบมีขนาดกว้าง 20.2 เซนติเมตร ยาว 61 เซนติเมตร และสูง 15.5 เซนติเมตร ถูกกั้นออกเป็น 2 ส่วน ด้วยโครงเหล็กซึ่งยึดติดอยู่กับผนังด้านข้าง บนโครงเหล็กนี้มีแผ่นอลูมิเนียมเจาะรูกลมไว้ทั่วตลอดทั้งแผ่นเป็นตะแกรงอลูมิเนียมวางทับอยู่ ดังนั้นถึงแม้ว่าภายในเตาอบจะถูกแบ่งออกเป็น 2 ส่วน แต่ก็ไม่เป็นอุปสรรคต่อการถ่ายเทอากาศหรือความร้อนระหว่าง 2 ส่วนนี้ ในการอบแผ่นฟิล์มก็จะนำเอาแผ่นฟิล์มพร้อมเครื่องยึดวางไว้บนตะแกรงอลูมิเนียมนี้ และที่ผนังด้านข้างของเตาอบได้เจาะรูจำนวน 2 รู ไว้เพื่อสำหรับสอดอุปกรณ์วัดอุณหภูมิภายในเตาอบในขณะที่ใช้งาน เช่น เทอร์มิสเตอร์ หรือเทอร์โมคับเปิล เป็นต้น

3.1.2 ตัวให้กำเนิดความร้อน

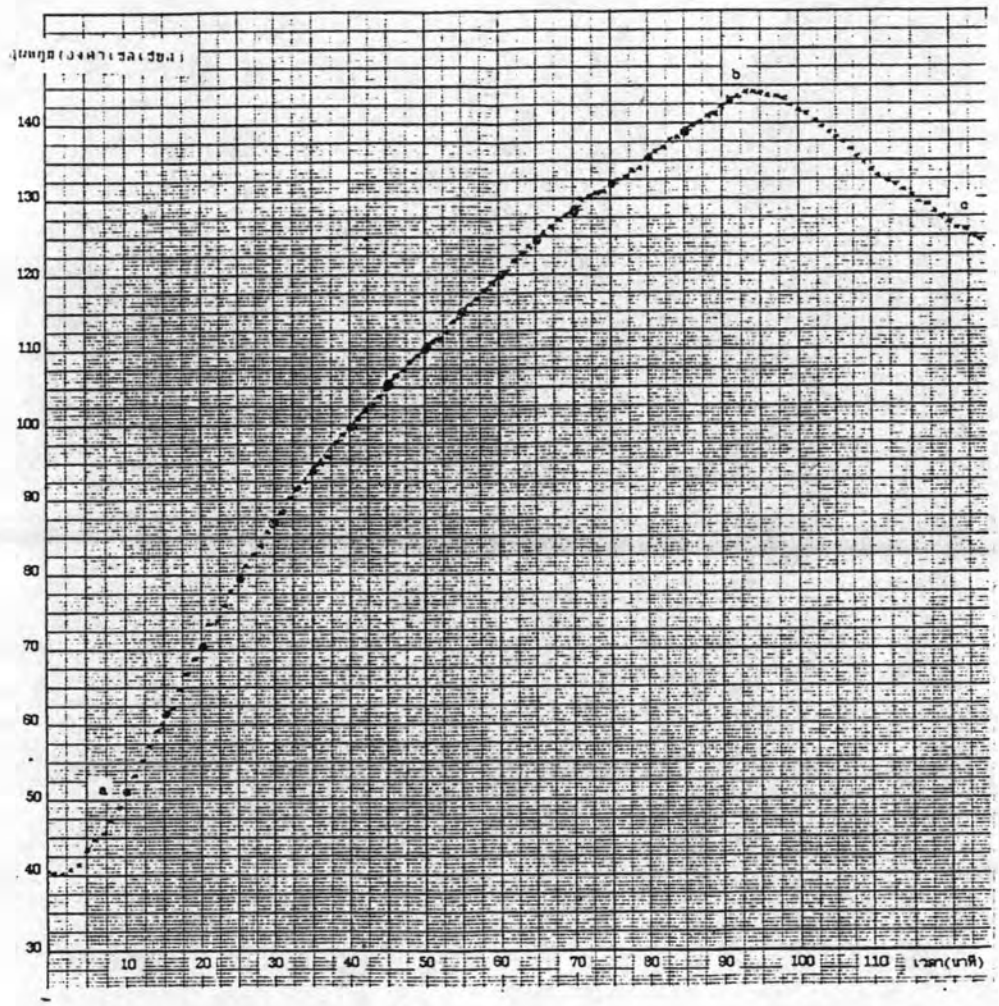
ส่วนที่ทำหน้าที่ให้กำเนิดพลังงานความร้อนหรือเปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าเป็นความร้อนคือลวดนิโครม โดยการนำเอาลวดนิโครมจำนวน 3 เส้น ขดวางบนจานรองซึ่งเป็นวัสดุทนความร้อนและเป็นฉนวน แล้วต่อแบบอนุกรมเข้าด้วยกัน ดังแผนภาพแสดงในรูปที่ 3.3 ซึ่งได้ความต้านทานรวม 114 โอห์ม เตาอบนี้ใช้ไฟกระแสสลับขนาดแรงเคลื่อน 220 โวลต์ ภาพถ่ายของเตาอบดังแสดงอยู่ในรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.4 ภาพแสดงลักษณะภายนอกของเตาอบ

3.1.3 การทำงานของเตาอบ

เพื่อศึกษาการใช้งานจึงได้ทำการทดสอบโดยจ่ายกระแสไฟฟ้าความต่างศักย์ 220 โวลต์ ให้ในช่วง 91 นาทีแรก แล้วจึงหยุดจ่าย วัดอุณหภูมิด้วยเทอร์โมคับเปิลและอ่านค่าทุกๆ 1 นาที ตั้งแต่เริ่มจ่ายกระแส จากนั้นนำข้อมูลไปเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับเวลาได้ดังรูปที่ 3.5

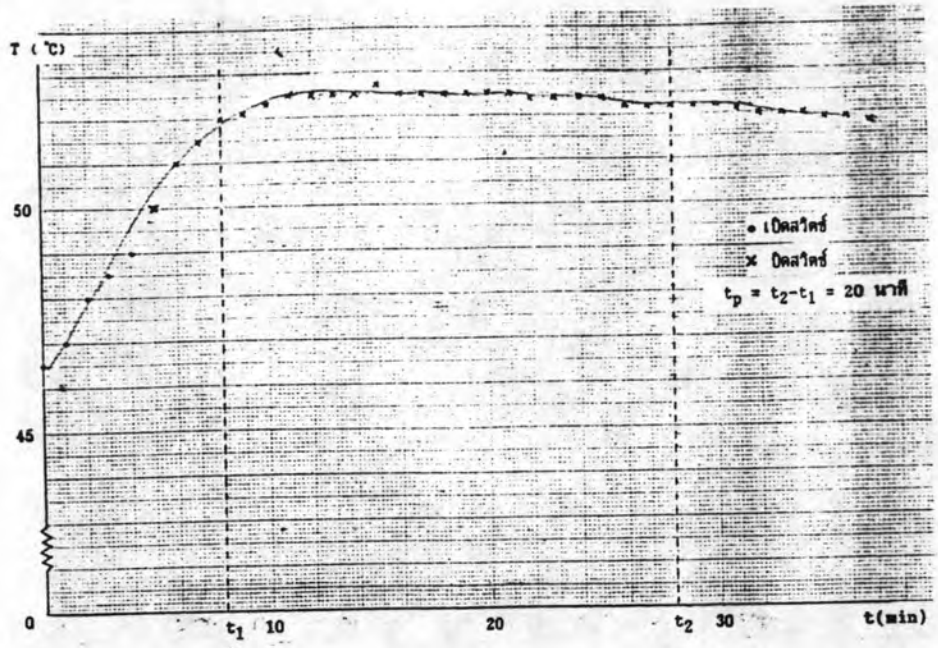


รูปที่ 3.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิของเตาอบกับเวลา เมื่ออุณหภูมิของสิ่งแวดล้อมเท่ากับ 33 องศาเซลเซียส

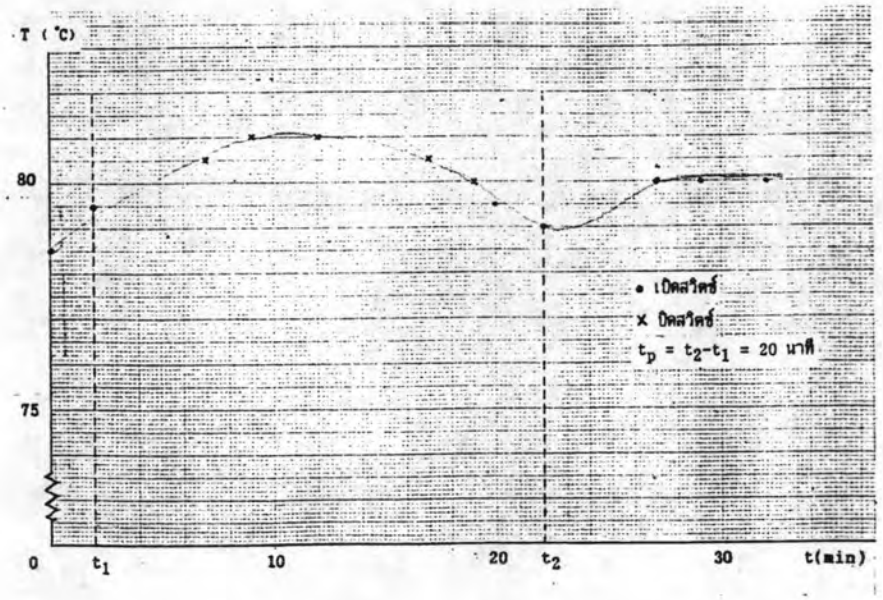
จากรูปที่ 3.5 กราฟในช่วง ab มีความชันเป็นบวก โดยที่ในช่วงต้นมีความชันมาก แต่เมื่อเวลาผ่านไปความชันของกราฟจะค่อยๆลดลงและมีแนวโน้มว่าจะลดลงจนเป็นศูนย์ที่เวลาหนึ่ง ซึ่งสามารถอธิบายได้ว่า เมื่อให้กระแสแก่เตาอบทำให้เตาอบมีอุณหภูมิเพิ่มขึ้นกราฟจึงมีความชันเป็นบวก แต่เนื่องจากกำลังงานที่ให้แก่เตาอบคงที่และที่อุณหภูมิสูงๆ อัตราการคายพลังงานจะมากขึ้น ขณะที่อัตราการเก็บสะสมพลังงานลดลง จึงทำให้ความชันของกราฟลดลง ส่วนในช่วง bc ซึ่งเป็นช่วงที่หยุดจ่ายกระแสให้แก่เตาอบ ลักษณะกราฟในช่วงนี้มีความชันติดลบ และ เมื่อเวลาผ่านไปความชันจะติดลบน้อยลงเรื่อยๆ เหตุที่เป็นเช่นนี้เพราะเมื่อหยุดให้กระแสเตาอบจะคายพลังงานออกมากกว่าที่รับเข้าไป และอัตราการคายพลังงานแปรผันตรงกับผลต่างของกำลังสี่ของอุณหภูมิสัมบูรณ์ของผิวเตาอบกับสิ่งแวดล้อม ความชันของกราฟจึงมีค่าติดลบน้อยลงเรื่อยๆ

ในการจัดขั้วให้แก่ฟิล์มพอลิเมอร์ในงานวิจัยนี้จะกระทำที่อุณหภูมิ T_P ในช่วงเวลา t_P ค่าหนึ่ง ซึ่งในกรณีของการจัดขั้วที่อุณหภูมิสูงกว่าอุณหภูมิห้องก็จะกระทำภายในเตาอบที่สร้างขึ้นนี้ และต้องควบคุมอุณหภูมิของเตาอบให้มีค่า T_P เป็นเวลานาน t_P ด้วยซึ่งสามารถทำได้ดังนี้ ในขั้นแรกป้อนแรงเคลื่อนไฟฟ้าสลับ 220 โวลต์ จนกระทั่งเตาอบมีอุณหภูมิใกล้ถึง T_P เล็กน้อย แล้วจึงลดกำลังงานที่ให้แก่เตาอบด้วยการใช้มือ ปิด-เปิดสวิตช์ ซึ่งจากกราฟในรูปที่ 3.5 จะเห็นว่าเมื่อปิดสวิตช์อุณหภูมิของเตาอบไม่ได้ลดลงในทันทีแต่จะเพิ่มขึ้นไปอีกเล็กน้อยแล้วจึงค่อยลดลง โดยอาศัยสมบัติดังกล่าวนี้ ก็จะสามารถควบคุมอุณหภูมิของเตาอบให้เป็น T_P ใดๆ ได้ด้วยการปิด-เปิดสวิตช์ ตัวอย่างการควบคุมอุณหภูมิ $T_P = 52 \pm 0.7$ °C, $t_P = 20$ นาที แสดงดังรูปที่ 3.6 (ก) ตัวอย่างการควบคุมอุณหภูมิ $T_P = 80 \pm 1$ °C, $t_P = 20$ นาที แสดงดังรูปที่ 3.6 (ข)

ที่อุณหภูมิสูงๆ $T_P \geqslant 100$ °C, $t_P = 20$ นาที การควบคุมอุณหภูมิทำได้ง่ายมากกล่าวคือ ป้อนแรงเคลื่อนไฟฟ้าสลับ 220 โวลต์ ให้แก่เตาอบตลอดเวลา และเปิดฝาปิดของเตาอบออก อุณหภูมิของเตาอบจะเปลี่ยนน้อยมากในช่วงเวลา $t_P = 20$ นาที



(ก)



(ข)

รูปที่ 3.6 แสดงตัวอย่างการควบคุมอุณหภูมิ $T_p = 52 \pm 0.7$ °C และ $T_p = 80 \pm 1$ °C ในช่วงเวลา t_p = 20 นาที

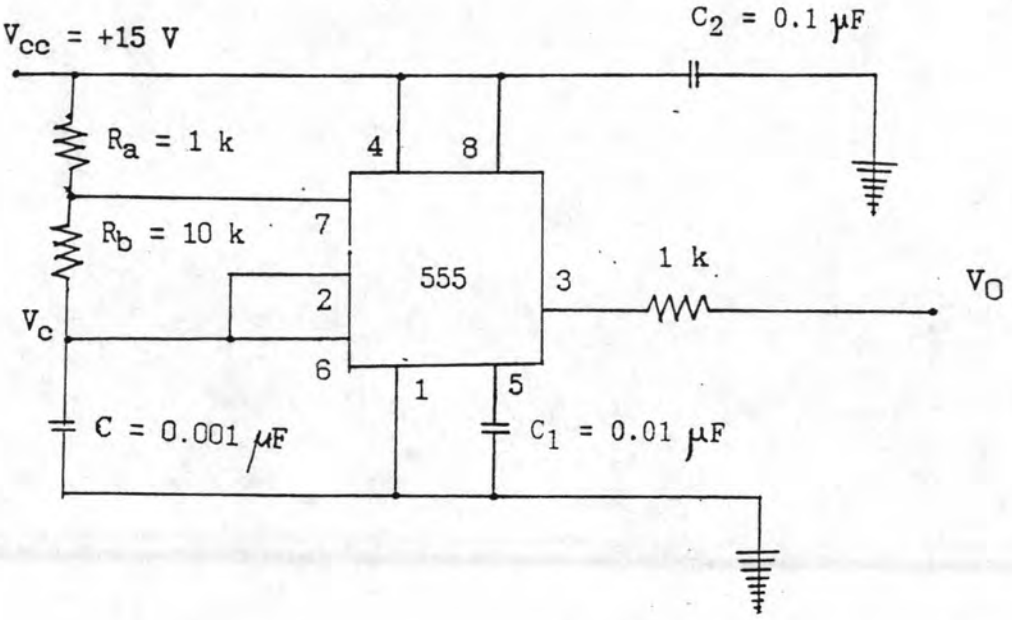
3.2 เครื่องกำเนิดความต่างศักย์โวลต์สูง (High Voltage Supply)

แผ่นฟิล์มพอลิเมอร์ PVDF ที่ผ่านการยืดและการอบมาแล้วนั้นยังไม่มีสมบัติเป็นสารเพียสโซอิเล็กตริกเพราะไดโพลถาวรทางไฟฟ้าของแต่ละผลึกในแผ่นฟิล์มพอลิเมอร์ PVDF มีทิศทางอย่างสุ่ม ซึ่งส่งผลให้ไดโพลรวมเนื่องจากผลึกทั้งหมดหักล้างกันเป็นศูนย์ วิธีที่จะทำให้แผ่นฟิล์มพอลิเมอร์ PVDF เป็นสารเพียสโซอิเล็กตริกได้ ก็โดยการจัดขั้วซึ่งจะต้องผ่านสนามไฟฟ้าที่มีความเข้มสูงถึง 100 MV/m หรือมากกว่านี้ ในทิศตั้งฉากกับระนาบของแผ่นฟิล์ม ดังนั้นในการวิจัยนี้จึงต้องใช้เครื่องกำเนิดความต่างศักย์สูงเพื่อสร้างสนามไฟฟ้าความเข้มสูงดังกล่าว สำหรับแผ่นฟิล์มพอลิเมอร์ที่ผ่านการยืดมาแล้วจะมีความหนาอยู่ในช่วง 20 - 30 ไมโครเมตร อย่างกรณีของฟิล์มซึ่งหนา 30 ไมโครเมตร ถ้าต้องการใช้สนามไฟฟ้าขนาด 100 MV/m ในทิศตั้งฉากกับแผ่นฟิล์มแล้วก็จะต้องใช้ความต่างศักย์ไม่ต่ำกว่า 3,000 V ดังนั้นจึงต้องพัฒนาเครื่องกำเนิดความต่างศักย์ที่สามารถสร้างความต่างศักย์สูงขนาด 3,000 V ได้

อย่างไรก็ตามสำหรับเครื่องกำเนิดความต่างศักย์โวลต์สูงนี้ได้มีการสร้างไว้ก่อนแล้ว [เอกชัย แซ่ช่าง,2532] จึงเพียงแต่ศึกษาหลักการ วิธีใช้ และปรับปรุงเพื่อให้สามารถใช้กับงานวิจัยนี้ได้อย่างเหมาะสม เครื่องกำเนิดความต่างศักย์โวลต์สูงดังกล่าวสร้างโดยอาศัยหลักการของการเหนี่ยวนำแม่เหล็กไฟฟ้าซึ่งมีหม้อแปลงเป็นส่วนประกอบที่สำคัญ เพื่อทำหน้าที่เปลี่ยนความต่างศักย์ไฟฟ้า

สำหรับวงจรสร้างความต่างศักย์โวลต์สูงนั้นมีอยู่ 2 ส่วน ด้วยกัน คือวงจรทางด้านปฐมภูมิและวงจรทางด้านทุติยภูมิของหม้อแปลง ในส่วนของวงจรทางด้านปฐมภูมิจะสร้างสัญญานรูปสี่เหลี่ยมขนาด 0-30 V ความถี่ 70 KHz ป้อนเข้าสู่ขดลวดปฐมภูมิโดยใช้ Timer IC 555 จากการที่ความถี่ของสัญญานที่ป้อนเข้าสู่ขดลวดปฐมภูมิมีค่าสูงจึงเลือกใช้หม้อแปลงแกนเฟอร์ไรต์ในการแปลงสัญญานให้สูงขึ้น เพราะหม้อแปลงชนิดนี้สามารถลดการสูญเสียกำลังงานที่ส่งผ่านไปยังขดทุติยภูมิได้ดี นอกจากนั้นเพื่อให้ศักย์ไฟฟ้าที่ออกทางด้านทุติยภูมิ มีค่า 0-3,000 V ตามต้องการ จึงใช้หม้อแปลงที่มีอัตราส่วนจำนวนรอบของขดลวดปฐมภูมิต่อจำนวนรอบของขดลวด

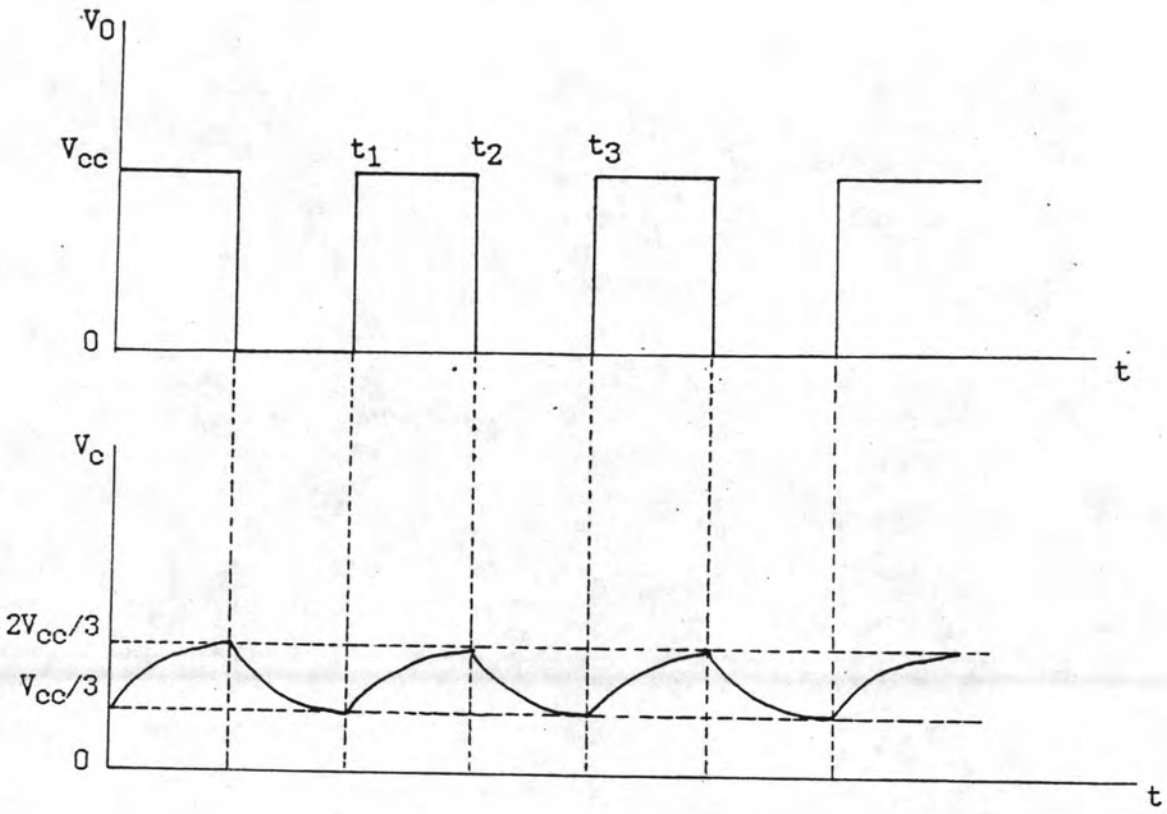
ทุติยภูมิเท่ากับ 1/100 จากนั้นใช้ไดโอดกรองกระแสสลับซึ่งออกมาจากขดทุติยภูมิเป็นกระแสตรงและใช้ตัวเก็บประจุปรับแต่งกระแสให้เรียบอีกทีหนึ่ง



รูปที่ 3.7 แสดงวงจรอะสเตเบิ้ลมัลติไวเบรเตอร์ ซึ่งประกอบขึ้นจาก Timer IC 555

จากรูปที่ 3.7 Timer IC 555 จะถูกควบคุมการทำงานด้วยศักย์ไฟฟ้า V_c ที่ขา 6 เมื่อวงจรได้รับแรงดันไบอัสจากแหล่งจ่ายกำลัง ตัวเก็บประจุ C จะเก็บสะสมประจุผ่านตัวต้านทาน R_a และ R_b มีผลให้ศักย์ไฟฟ้า V_c มีค่าสูงขึ้น ในช่วงที่ V_c มีค่าเพิ่มขึ้นจาก $V_{cc}/3$ ถึง $2V_{cc}/3$ สัญญาณออก V_o มีค่าเท่ากับ V_{cc} และเมื่อ V_c มีค่าเท่ากับ $2V_{cc}/3$ วงจร upper comparator(ขา 1 และขา 2)จะกระตุ้นวงจรพลิบฟล็อบ ซึ่งอยู่ภายในตัวไอซี ทำให้ขา 7 ต่อกับขา 1(หรือลัดวงจรลงดิน)ซึ่งมีผลให้ตัวเก็บประจุ C เริ่มคายประจุผ่านตัวต้านทาน R_b ลงสู่ดิน ทำให้ศักย์ V_c มีค่าลดลงจาก $2V_{cc}/3$ ถึง $V_{cc}/3$ ช่วงนี้สัญญาณออก V_o มีค่าเท่ากับ 0 ต่อเมื่อ V_c มีค่าเท่ากับ $V_{cc}/3$ ขา 7 จะขาดจากดิน และเริ่มการทำงานของวงจรใหม่อีกครั้งหนึ่งสลับกันไปเช่นนี้เรื่อยๆ ซึ่งสามารถแสดงการเปรียบเทียบศักย์ V_o กับ V_c

ให้เห็นได้ดังรูปที่ 3.8



รูปที่ 3.8 แสดงการเปรียบเทียบสัญญาณ V_o กับ V_c ที่เวลาต่างๆ

จากคำอธิบายข้างต้นจะเห็นว่าขณะที่ Timer IC 555 ทำงาน ตัวเก็บประจุ C ก็จะทำการเก็บประจุและคายประจุสลับกันไปด้วยความถี่เท่ากับความถี่ของสัญญาณออกด้วย

จากการวิเคราะห์วงจร พบว่าในช่วงที่ C กำลังสะสมประจุ หรือเมื่อค่าของ V_c กำลังเพิ่มขึ้นจาก $V_{cc}/3$ ไปเป็น $2V_{cc}/3$ นั้นจะได้

$$V_c(t) = V_{cc}\{1 - \exp[-t/C(R_a + R_b)]\} \qquad (3.2.1)$$

ถ้า $V_c(t_1) = V_{cc}/3$ และ $V_c(t_2) = 2V_{cc}/3$ จะได้

$$t_2 - t_1 = C(R_a + R_b)\ln 2 \qquad (3.2.2)$$

และขณะที่ C กำลังคายประจุหรือขณะที่ค่าของ V_c กำลังลดจาก $2V_{cc}/3$ เป็น $V_{cc}/3$ จะได้

$$V_c(t) = (2V_{cc}/3)\exp[-(t - t_2)/CR_b] \qquad (3.2.3)$$

ถ้าให้ $V_c(t_3) = V_{cc}/3$ จะได้

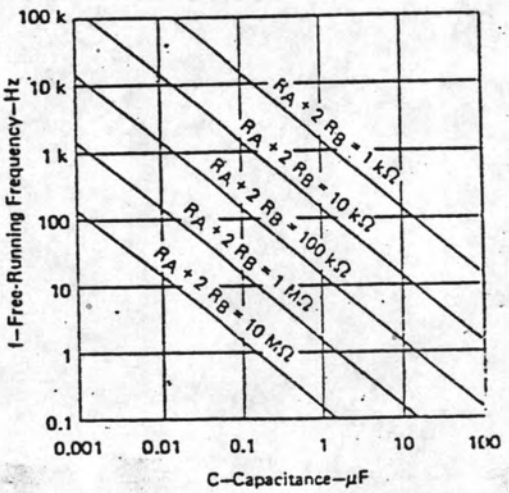
$$t_3 - t_2 = CR_b\ln 2 \qquad (3.2.4)$$

ดังนั้นคาบ(T)ของสัญญาณ V_o

$$T = t_3 - t_1 = C(R_a + 2R_b)\ln 2 \qquad (3.2.5)$$

เมื่อ f เป็นความถี่ของ V_o , $f = 1/T$

จากสมการจะเห็นว่า f มีค่าขึ้นอยู่กับ C และ $(R_a + 2R_b)$ ซึ่งสามารถเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง f กับ C ที่ $(R_a + 2R_b)$ต่างๆได้ดังรูปที่ 3.9

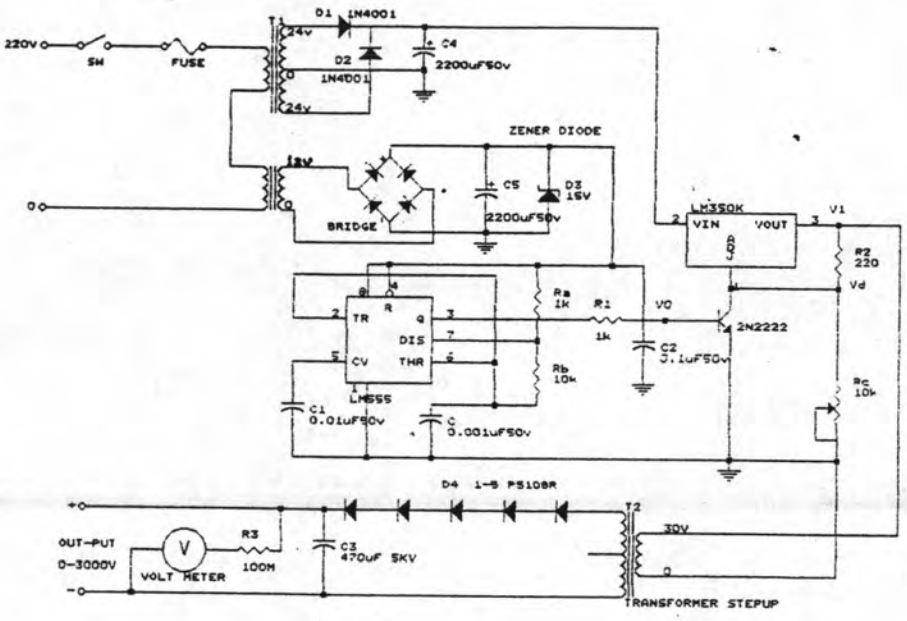


รูปที่ 3.9 กราฟแสดงค่าความถี่ของ V_o ที่ความจุ C และความต้านทาน$(R_a + 2R_b)$ ค่าต่างๆ

ในงานนี้ $R_a = 10^3$ โอห์ม, $R_b = 10^4$ โอห์ม และ $C = 10^{-9}$ ฟารัด ดังนั้นจะได้ความถี่

$$f = [\, 10^{-9}(2.1 \times 10^4)(0.693)]^{-1} \text{ Hz}$$

$$= 6.9 \times 10^4 \text{ Hz}$$



รูปที่ 3.10 แสดงวงจรรวมของเครื่องกำเนิดความต่างศักย์โวลต์สูง

สัญญาณรูปสี่เหลี่ยมขนาด 0-15 V ความถี่ 70 KHz ซึ่งสร้างจาก Timer IC 555 จะส่งไปบังคับให้ IC LM 350K ทำการจ่ายศักย์ไฟฟ้าเป็นสัญญาณรูปสี่เหลี่ยมและมีความถี่เท่ากันให้แก่ขดลวดปฐมภูมิเพื่อแปลงสัญญาณให้มีขนาด 0-3,000 V ดังรายละเอียดที่จะกล่าวต่อไปนี้

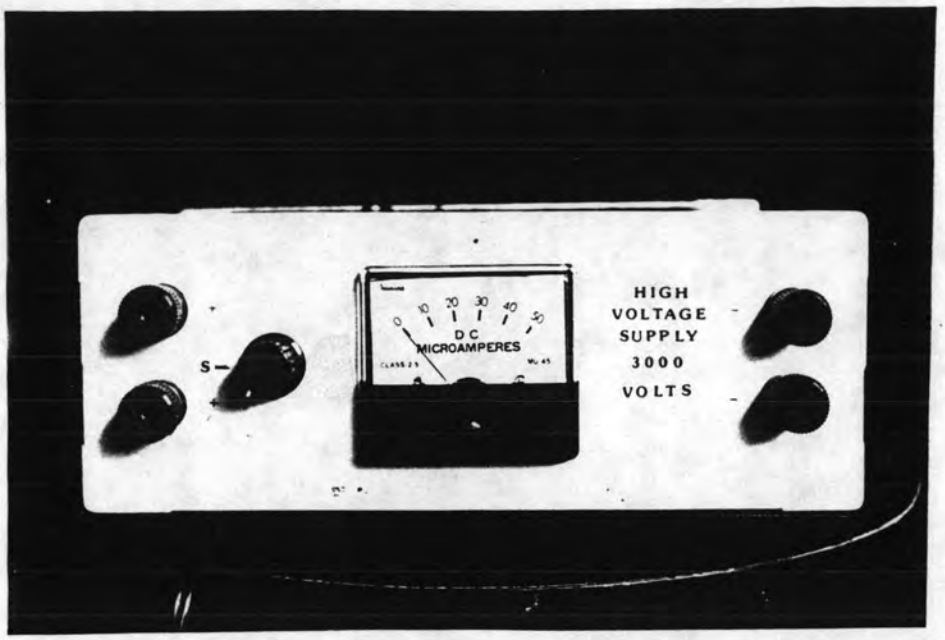
ขณะที่ศักย์ $V_o = V_{cc}$ ทรานซิสเตอร์ 2N2222 จะถูกกระตุ้นทำให้ขา AD ของ IC LM 350K ลัดวงจรลงดิน ในจังหวะนี้สัญญาณออก V_1 จะเท่ากับ 0 หรือมีค่าน้อยมาก แต่เมื่อ V_o เท่ากับ 0 ศักย์ที่กระตุ้นที่ขา AD จะเท่ากับ V_d สัญญาณออก V_1 จะมีค่าแปรผันตาม V_d ซึ่งสามารถปรับค่า V_1 ให้อยู่ในช่วง 0-30 V ได้ โดยการปรับ R_c จากนั้นสัญญาณ V_1 ก็จะถูก

แปลงให้สูงขึ้นด้วยหม้อแปลง ซึ่งมีจำนวนรอบของขดลวดปฐมภูมิและทุติยภูมิเป็น 20 และ 2,000 รอบ ตามลำดับ สัญญาณที่ออกมาจึงอยู่ในช่วง 0-3,000 V ตามต้องการ แต่สัญญาณที่ออกทางด้านทุติยภูมิเป็นสัญญาณกระแสสลับ เพื่อให้เป็นกระแสตรงจึงทำการกรองด้วยไดโอดและปรับให้เรียบด้วยตัวเก็บประจุอีกทีหนึ่ง ซึ่งก็จะได้เครื่องกำเนิดความต่างศักย์โวลต์สูงตามต้องการ

จากการทดสอบใช้งานพบว่า เมื่อปรับความต่างศักย์สูงขึ้นกระแสไฟฟ้าสูงสุดที่จ่ายได้จะลดลง ดังที่แสดงไว้ในตารางที่ 1 แต่อย่างไรก็ตามเครื่องกำเนิดความต่างศักย์โวลต์สูงที่พัฒนาขึ้นนี้ก็มีสมบัติเพียงพอที่จะใช้ในงานวิจัยนี้ได้ ภาพของเครื่องมือแสดงไว้ใน รูปที่ 3.11 โดยทั่วไปในการจัดชั้วให้แก่แผ่นฟิล์มใช้กระแสน้อยมาก เครื่องกำเนิดความต่างศักย์โวลต์สูงนี้จึงสามารถใช้กับงานวิจัยนี้ได้ดีพอสมควร

ตารางที่ 1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความต่างศักย์กับกระแสที่จ่าย

ศักย์ไฟฟ้า(โวลต์)	กระแส(ไมโครแอมป์)
1,600	320
1,950	195
2,100	140
2,300	115
2,450	98
2,500	83
2,600	74
2,650	66
2,700	60
2,750	55



รูปที่ 3.11 แสดงภาพของเครื่องกำเนิดความต่างศักย์โวลต์สูง

3.3 เครื่องวัดประจุไฟฟ้า(Charge Amplifier)

ในงานวิจัยนี้ เมื่อได้เตรียมฟิล์มพอลิเมอร์เพียสโซอิเล็กตริกแล้วจะต้องทำการวัดค่าสัมประสิทธิ์ d_{31} เพื่อศึกษาวิธีการและขบวนการในการเตรียมฟิล์มให้ได้ฟิล์มที่มีค่า d_{31} สูงสุด ดังนั้นจึงจำเป็นจะต้องพัฒนาเครื่องมือที่ใช้วัดหาค่า d_{31} ของแผ่นฟิล์ม โดยจะวัดค่าประจุที่แผ่นฟิล์มเพียสโซอิเล็กตริกคายออกมาเมื่อมีแรงเค้น F มากระทำ แล้วจึงนำไปหาค่า d_{31} ต่อไป แต่เนื่องจากประจุที่แผ่นฟิล์มเพียสโซอิเล็กตริกคายออกมาอาจจะมีปริมาณน้อยมาก ดังนั้นเครื่องมือที่สร้างขึ้นจึงจำเป็นจะต้องมีความไวและแม่นยำสูงเพียงพอ ในงานพัฒนาเครื่องวัดประจุไฟฟ้านี้จึงทำโดยอาศัยออปแอมป์ (Operational Amplifier) ที่มีอินพุตอิมพิแดนซ์สูงมากๆช่วยขยายสัญญาน

I17147931

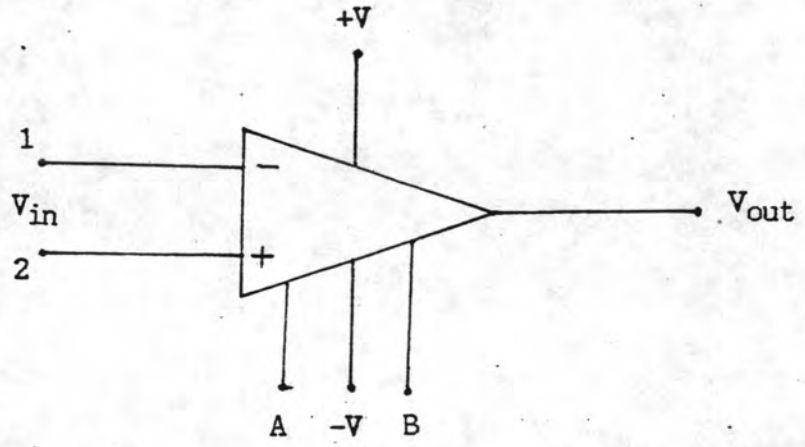
3.3.1 สมบัติทั่วๆไปของออปแอมป์

ไอ ซี ออปแอมป์ คืออุปกรณ์โซลิดเสตท(Solid State) ชนิดหนึ่ง ซึ่งถูกออกแบบมาให้สามารถทำงานได้หลายรูปแบบ มีความสะดวกในการนำไปใช้งานและสามารถประกอบเป็นวงจรได้โดยการต่อร่วมกับอุปกรณ์ภายนอกเพียงไม่กี่ตัวเท่านั้น ไอ ซี ออปแอมป์ พื้นฐานประกอบด้วยวงจรภายในภาคต่างๆดังนี้

1. วงจรขยายผลต่างที่มีอินพุตอิมพิแดนซ์สูงมาก ดังนั้นกระแสเข้าที่ขั้วอินพุตจะต่ำจนเกือบเท่ากับศูนย์

2. วงจรขยายศักย์ไฟฟ้าซึ่งมีกำลังขยายสูงมาก หมายความว่า ความต่างศักย์ไฟฟ้าระหว่างขั้วอินพุตควรมีค่าเข้าใกล้ศูนย์

3. วงจรขยายภาคเอาต์พุตที่มีเอาต์พุตอิมพิแดนซ์ต่ำมากจนไม่ทำตัวเป็นโหลดต่อภาคเอาต์พุตของวงจรขยาย



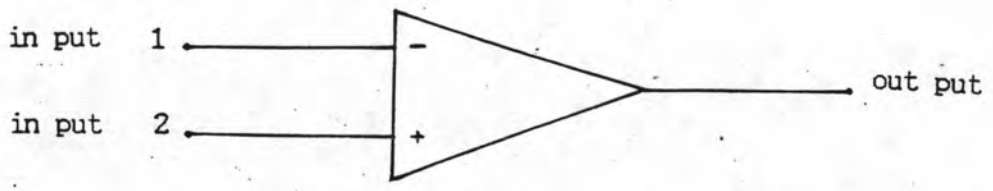
รูปที่ 3.12 แสดงสัญลักษณ์ทั่วไปของออปแอมป์

รูปที่ 3.12 แสดงสัญลักษณ์ทั่วไปของออปแอมป์ ซึ่งประกอบด้วยขั้วอินพุต 2 ขั้ว ขั้วสำหรับแหล่งจ่ายไฟ 2 ขั้ว ขั้วเอาต์พุต 1 ขั้ว และขั้วสำหรับปรับออฟเซ็ทหรือการชดเชยความถี่อีก 2 ขั้ว (ขั้ว A และ B) ขั้วอินพุตทั้งสองของออปแอมป์มีลักษณะที่ต่างกันดังนี้ คือ

สำหรับขั้วลบเมื่อป้อนไฟตรงหรือไฟสลับเข้าไป ในขณะที่ขั้วบวกต่อกับจุดอ้างอิงจุดหนึ่ง สัญญาณที่ออกมาที่เอาต์พุตจะมีเฟสตรงข้ามกับอินพุต ส่วนการป้อนสัญญาณที่ขั้วบวก เอาต์พุตจะมีเฟสตรงกันกับอินพุต ดังนั้นจึงอาจกล่าวได้ว่าเครื่องหมายที่อินพุต คือการแสดงเฟสของเอาต์พุตเทียบกับอินพุตนั่นเอง

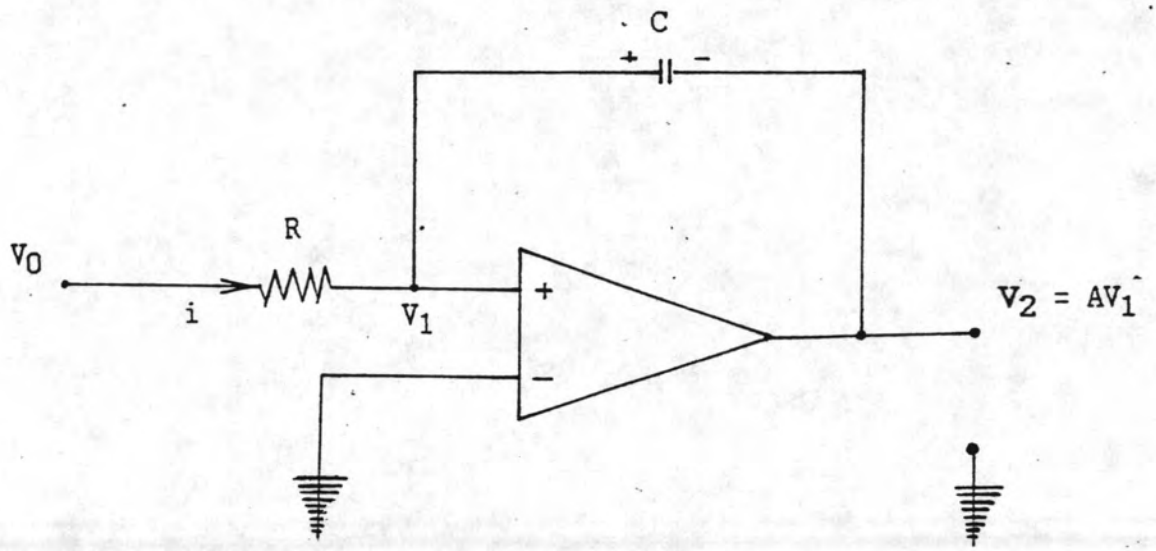
3.3.2 ลักษณะการทำงานของออปแอมป์

ออปแอมป์ ในอุดมคติจะมีกำลังขยาย(A)เป็นอนันต์ แต่ในทางปฏิบัติกำลังขยายอาจมีค่าสูงสุดประมาณ 10^3 ถึง 10^9 ในขณะเปิดลูป ดังแสดงในรูปที่ 3.13 ในขณะที่เกิดความแตกต่างของศักย์ไฟฟ้าเพียงเล็กน้อยระหว่างขั้วอินพุตทั้งสอง เอาต์พุตจะสามารถให้สัญญานสูงขึ้นหลายเท่าหากแต่จะถูกจำกัดด้วยขนาดของแหล่งจ่ายไฟเลี้ยงที่เราป้อนให้แก่ออปแอมป์ด้วย อย่างไรก็ตาม เอาต์พุตก็จะไม่สามารถมีค่าสูงสุดเท่ากับศักย์ไฟฟ้าจากแหล่งจ่ายไฟเลี้ยงได้จริง อันเนื่องมาจากสมบัติเฉพาะตัวของวงจรเอง ทำให้ศักย์ไฟฟ้าที่เอาต์พุตสูงสุดอาจมีค่าประมาณ 90 % ของศักย์ไฟฟ้าจากแหล่งจ่ายไฟเลี้ยงเท่านั้น จากสมบัติข้างต้นสามารถนำออปแอมป์ในขณะเปิดลูปไปใช้งานเป็นวงจรเปรียบเทียบศักย์ไฟฟ้าได้ โดยเอาต์พุตจะเปลี่ยนทันทีเมื่อมีความแตกต่างของศักย์ไฟฟ้าที่เกิดขึ้นระหว่างขั้วอินพุตของออปแอมป์



รูปที่ 3.13 แสดงออปแอมป์ขณะเปิดลูป

นอกจากนี้การใช้ออปแอมป์ในลักษณะของลูปปิด(มีการป้อนกลับ) ก็มีประโยชน์สูงมาก ดังที่ใช้ในงานพัฒนาเครื่องวัดประจุนี้



รูปที่ 3.14 แสดงวงจรของเครื่องวัดประจุ(Charge Amplifier)

จากรูปที่ 3.14 แสดงวงจรของเครื่องวัดประจุ โดยใช้ออปแอมป์ที่มีอิมพิแดนซ์สูงมากต่อแบบลูปปิดอยู่กับความต้านทาน R และตัวเก็บประจุ C

ให้ V_o , V_1 และ V_2 เป็นศักย์ไฟฟ้าตรงตำแหน่งดังรูป

A เป็นกำลังขยายของออปแอมป์

q เป็นประจุไฟฟ้าในตัวเก็บประจุ C

จากการพิจารณา พบว่า $V_1 \approx 0$, $V_2 < 0$ ซึ่งจะได้

$$q = C(V_1 - V_2) = C(1-A)V_1 \qquad (3.3.1)$$

หาอนุพันธ์เทียบกับเวลาของสมการ(3.3.1)จะได้

$$i = C(1-A)dV_1/dt \qquad (3.3.2)$$

เนื่องจากอินพุตอิมพิแดนซ์มีค่าสูงมากถือได้ว่าไม่มีกระแสไหลเข้าสู่ออปแอมป์ดังนั้น

$$i = [V_o(t) - V_1]/R \qquad (3.3.3)$$

จากสมการ(3.3.2)และ(3.3.3)ได้

$$C(1-A)dV_1/dt = [V_o(t)-V_1]/R$$

1 มีค่าน้อยมากเมื่อเทียบกับ A และ $-V_1 << V_o$ โดยการประมาณค่าจะได้

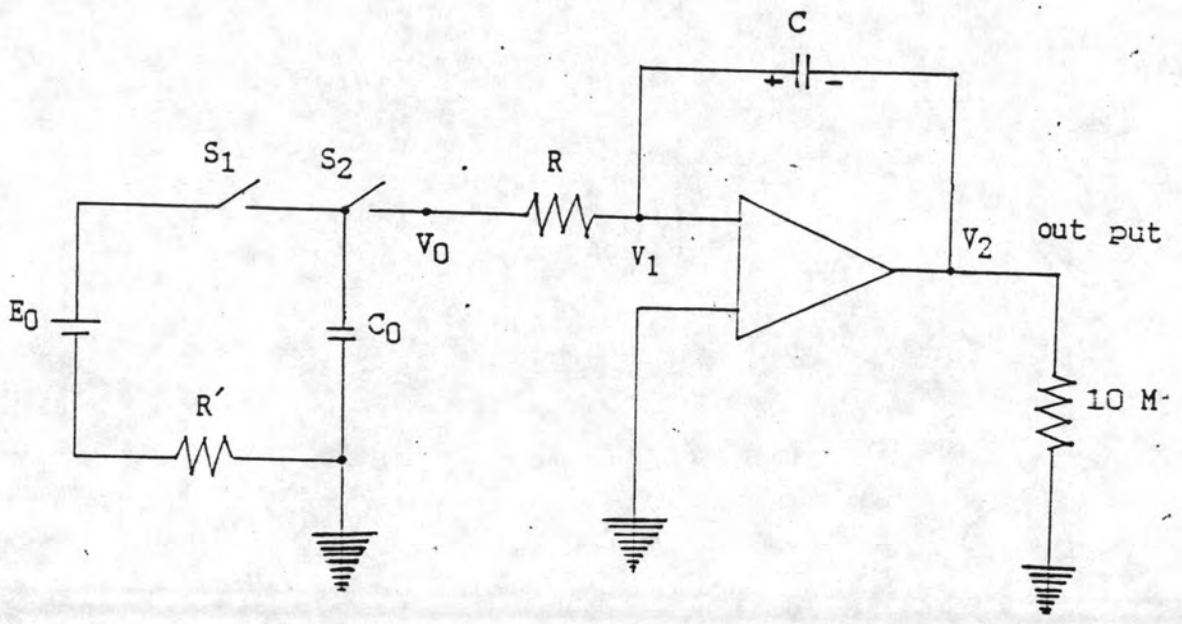
$$RCAdV_1/dt = -V_o(t)$$

$$dV_2/dt = -V_o(t)/RC$$

ถ้า $V_2(0) = 0$ จะได้

$$V_2(t) = -(RC)^{-1}\int_0^t V_o(\tau)d\tau \qquad (3.3.4)$$

3.3.3 ลักษณะการทำงานของเครื่องวัดประจุอย่างง่าย มีรายละเอียดดังต่อไปนี้



รูปที่ 3.15 แสดงวงจรของเครื่องวัดประจุก่อนการทำงาน

จากรูปที่ 3.15 เมื่อปิดสวิทช์ S_1 ขณะที่ S_2 ยังเปิดอยู่ประจุ Q จากแหล่งกำเนิดแรงเคลื่อนไฟฟ้า E_o จะถูกเก็บสะสมไว้ในตัวเก็บประจุ C_o จนกระทั่งเกิดการสมดุลนั่นคือกระแสไฟฟ้าจะหยุดไหลเมื่อ $Q = C_oE_o$ จากนั้นเปิดสวิทช์ S_1 แล้วปิดสวิทช์ S_2 เป็นการเริ่มต้นการทำงานของเครื่องวัดประจุ ตัวเก็บประจุ C_o จะคายประจุออกผ่านตัวต้านทาน R ไปเก็บสะสมอยู่ที่ C จากสมการ(3.3.4)

$$V_2(t) = -(RC)^{-1}\int_o^t V_o(\tau)d\tau$$

และ

$$iR = V_o(t)-V_1 \simeq V_o(t)$$

$$V_e = -(RC)^{-1}\int_o^t iR\, d\tau$$

ถ้าเวลาผ่านไปนานพอสมควร $t >> C_oR$ จะได้

$$V_e = -C^{-1}\int_o^{\infty} i\, d\tau$$

$$= -Q/C$$

หรือ $$Q = -V_eC$$

เนื่องจากในงานวิจัยนี้ประจุ Q มีค่าน้อย เพื่อให้ V_e มีค่าสูงพอที่จะวัดได้จึงใช้ตัวเก็บประจุ C ที่มีค่าความจุพอเหมาะ เช่น 200 พิโคฟารัด เป็นต้น จาก V_e ที่วัดได้ เราสามารถวัดประจุ Q ที่ตัวจุ C_o ได้ การวัดประจุจะเที่ยงตรงดี ถ้าออปแอมป์มีกำลังขยาย A สูงมาก และมีค่าความต้านทานภายในสูงมาก เช่น 10^{12} โอห์ม เครื่องมือคุณภาพสูงนี้สามารถนำไปศึกษาสภาพเพียสโซอิเล็กตริกของแผ่นฟิล์มได้