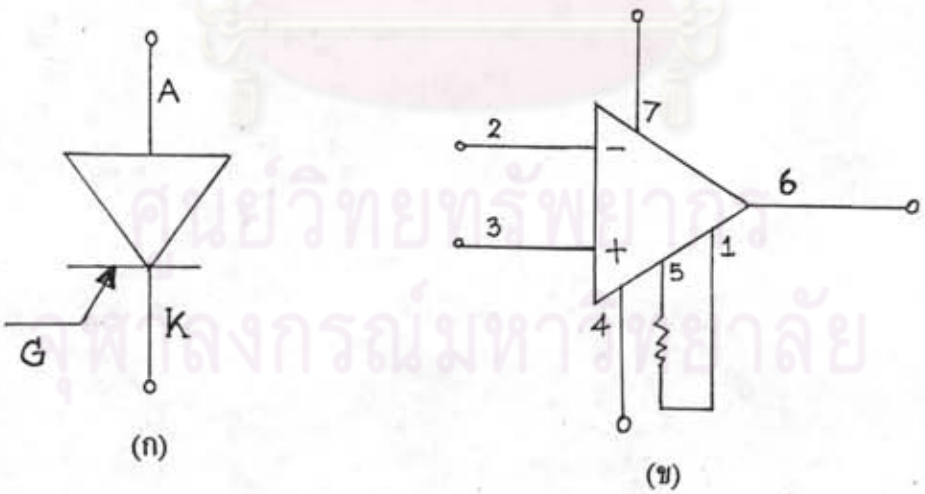
บทที่ 4

การนำแผ่นฟิล์ม PVDF มาประดิษฐ์เป็นอุปกรณ์

หัวข้อที่แล้วได้กล่าวถึงการหาสัมประสิทธิ์ไพโรอิเล็กตริกของแผ่นพอลิเมอร์ แผ่นฟิล์มที่ผ่านกระบวนการพัฒนาที่แตกต่างกัน ใช้ตัวแปรในการจัดขั้วต่างกัน จะมีสภาพไพโรอิเล็กตริกแตกต่างกัน แผ่นฟิล์มที่มีสภาพไพโรอิเล็กตริกสูงจะสามารถให้สัญญาณเอาท์พุทสูง อย่างไรก็ตามสำหรับแผ่นฟิล์มที่มีพื้นที่อิเล็กโตรดไม่มากนัก สัญญาณเอาท์พุทที่ออกมาจะไม่พอที่จะต่อกับโหลดได้โดยตรง แต่สามารถใช้ทริกอุปกรณ์ในวงจรให้ทำงานได้ ในงานวิจัยนี้จะขยายสัญญาณดังกล่าวโดยใช้ออป-แอมป์เบอร์ TL 061 CP แล้วใช้สัญญาณที่ขยายแล้วดังกล่าวทริกขาเกทของ SCR (Silicon Controlled Rectifier) ซึ่งเป็นอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำประเภทหนึ่ง สัญญลักษณ์ของ SCR แสดงในรูปที่ 4.1.1(ก) SCR จะทำงานเมื่อแรงดันที่อาโนด (A) มีค่าเป็นบวกเมื่อเทียบกับคาโทด (K) และต้องมีกระแสทริกที่ขาเกท (G) อย่างน้อยในย่านมิลลิแอมแปร์ หลังจากได้รับการทริกที่ขาเกทแล้ว SCR จะนำกระแสต่อไปแม้ว่าจะกระแสทริกที่ขาเกทจะหยุดลงแล้วก็ตาม และจะหยุดทำงานเมื่อกระแสที่ไหลผ่านอาโนดและคาโทดมีค่าต่ำกว่ากระแสโฮลดิ้ง (Holding Current, I_H) การใช้งานออป-แอมป์ TL 061 CP จะต้องต่อขาอุปกรณ์ดังรูป 4.1.1 (ข) รายละเอียดของอุปกรณ์ที่ประดิษฐ์ขึ้นมาจะกล่าวถึงต่อไปนี้ [สำนักพิมพ์ฟิสิกส์เซนเตอร์, ม.ป.ป], [พลผดุง ผดุงกุล, 2532]

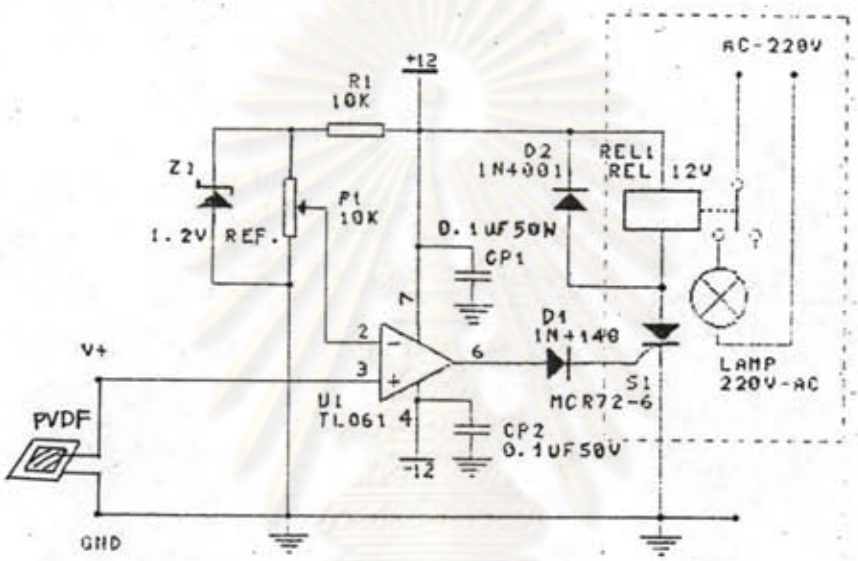


รูปที่ 4.1.1 (ก) แสดงสัญญลักษณ์ของ SCR
(ข) แสดงการต่อขาออป-แอมป์เบอร์ TL 061 CP

ออป-แอมป์เบอร์นี้มีข้อดี คือ มีอินพุทอิมพิแดนซ์ (input impedance) สูงมากประมาณ $10^{12}\Omega$ ทำให้ประจุจาก PVDF ไม่รั่วผ่านออป-แอมป์ไปทันที มิฉะนั้นจะทำให้แรงดันไฟฟ้าที่ขา 3 ของออป-แอมป์ลดเป็นศูนย์ทันที

4.1 สวิทช์สัมผัสแบบทำงานค้าง

วงจรสวิทช์สัมผัสแบบทำงานค้างแสดงดังรูป 4.1.2



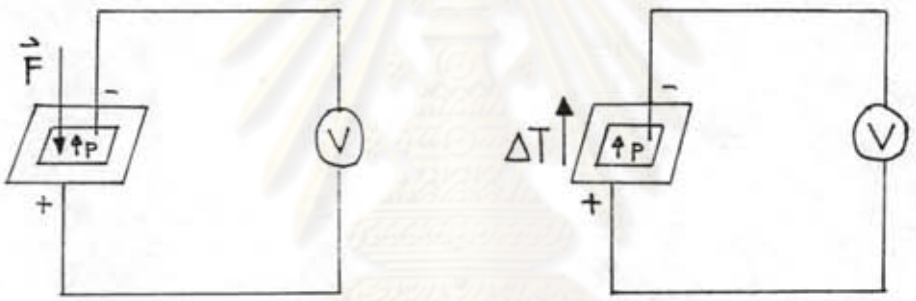
รูปที่ 4.1.2 แสดงวงจรสวิทช์สัมผัสแบบทำงานค้าง

อุปกรณ์
1. ตัวต้านทาน 10 kΩ 1 ตัว
2. ตัวต้านทานแบบปรับค่าได้ 10 kΩ 1 ตัว
3. ซีเนอร์ไดโอด 1.2 V เบอร์ DC8069 J246 1 ตัว
4. ไดโอด 2 ตัว
5. SCR เบอร์ MCR 72-6 1 ตัว
6. รีเลย์ 12 VDC 1 ตัว
7. ออป-แอมป์ เบอร์ TL 061 cp 1 ตัว
8. แผ่น PVDF 1 แผ่น

วงจรในรูป 4.1.2 ซีเนอร์ไดโอด (Z1) ได้รับการไบแอสกลับผ่านความต้านทาน R_1 จะมีแรงดันตกคร่อมเท่ากับ 1.2 V ตัวต้านทานแบบปรับค่าได้ P_1 จะทำหน้าที่แบ่งแรงดันจากซีเนอร์ไดโอดมายังขา 2 ของออป-แอมป์ โดยปรับความต้านทาน P_1 ให้แรงดันที่ขา 2 มีค่าประมาณ 0.8 V

ออป-แอมป์จะเปรียบเทียบแรงดันที่ขา 2 และ 3 ถ้าแรงดันที่ขา 3 มีค่ามากกว่าขา 2 แรงดันเอาท์พุทที่ขา 6 จะมีค่าเท่ากับค่าบวกของไฟเลี้ยงคือ +12V แต่ถ้าแรงดันที่ขา 2 มีค่ามากกว่าขา 3 แรงดันเอาท์พุทจะมีค่าเท่ากับค่าลบของไฟเลี้ยงคือ -12V ในขณะที่ยังไม่มีการแตะที่แผ่น PVDF แรงดันที่ขา 3 มีค่าต่ำกว่า 0.8 V จึงไม่มีกระแสผ่านไดโอด D_1 ไปทริก SCR ต่อเมื่อมีการแตะที่แผ่น PVDF แรงดันที่ขา 3 จะมีค่ามากกว่าขา 2 (มากกว่า 0.8 V) ทำให้แรงดันเอาท์พุทที่ขา 6 มีค่า +12V จึงมีกระแสไปทริกขาเกทของ SCR ซึ่งมีแรงดันที่อาโนดเป็นบวกเมื่อเทียบกับคาโถด ไดโอด D_2 ป้องกันแรงดันย้อนกลับบนรีเลย์ (REL 1) เมื่อ SCR นำกระแสจะมีกระแสผ่านรีเลย์ รีเลย์จึงทำงาน เป็นสวิทช์สามารถต่อไปใช้งานกับวงจรภายนอกได้ เมื่อ SCR นำกระแสแล้วจะไม่หยุดทำงาน แม้ว่าจะไม่มีกระแสทริกอีก สวิทช์นี้จึงทำงานตลอดและหยุดทำงานเมื่อตัดไฟเลี้ยงวงจร ลักษณะสวิทช์ชนิดนี้ใช้ในระบบนิรภัย

พิจารณาแผ่นฟิล์มขณะใช้งานได้รับอุณหภูมิเพิ่มขึ้น ΔT และแรงกด F ในทิศตั้งฉากกับแผ่นฟิล์ม โพลาไรเซชันมีทิศจากขั้วบวกไปขั้วลบของฟิล์มดังรูปข้างล่าง



เมื่อแผ่นฟิล์มได้รับอุณหภูมิเพิ่มขึ้นจะทำให้โพลาไรเซชันลดลง แต่แรงกด F ในทิศตั้งฉากกับระนาบของแผ่นฟิล์มมีผลทำให้โพลาไรเซชันเพิ่มขึ้น ดังนั้นเมื่อกดที่แผ่น PVDF แรงดันไฟฟ้าระหว่างขั้วฟิล์มเนื่องจากสภาพเพียสโซอิเล็กตริกหักล้างกับแรงดันไฟฟ้าเนื่องจากสภาพไพโรอิเล็กตริก ถ้าสัมผัสแผ่นฟิล์มโดยที่มิได้ออกแรงกด F จาก $D = \varepsilon_0\varepsilon' E + p\Delta T$ ระหว่างขั้วฟิล์มต่อกับออป-แอมป์ซึ่งมีความต้านทานสูงมากดังนั้น $\Delta T = -\varepsilon_0\varepsilon' V / \ell p_3$ สำหรับฟิล์มซึ่งมี $p_3 = 4 \times 10^{-5}$ C/m^{2}K, หนา $\ell = 30\ \mu m$, $\varepsilon' = 12$ พบว่าถ้าต้องการให้แรงดันไฟฟ้าขึ้นถึง 0.8 V แผ่นฟิล์มต้องได้รับอุณหภูมิเพิ่มขึ้นประมาณ 0.07° C ซึ่งถือว่าน้อยมากเมื่อเทียบกับอุณหภูมิร่างกายของคนและเกิดขึ้นได้ง่ายโดยการนำมือไปสัมผัส

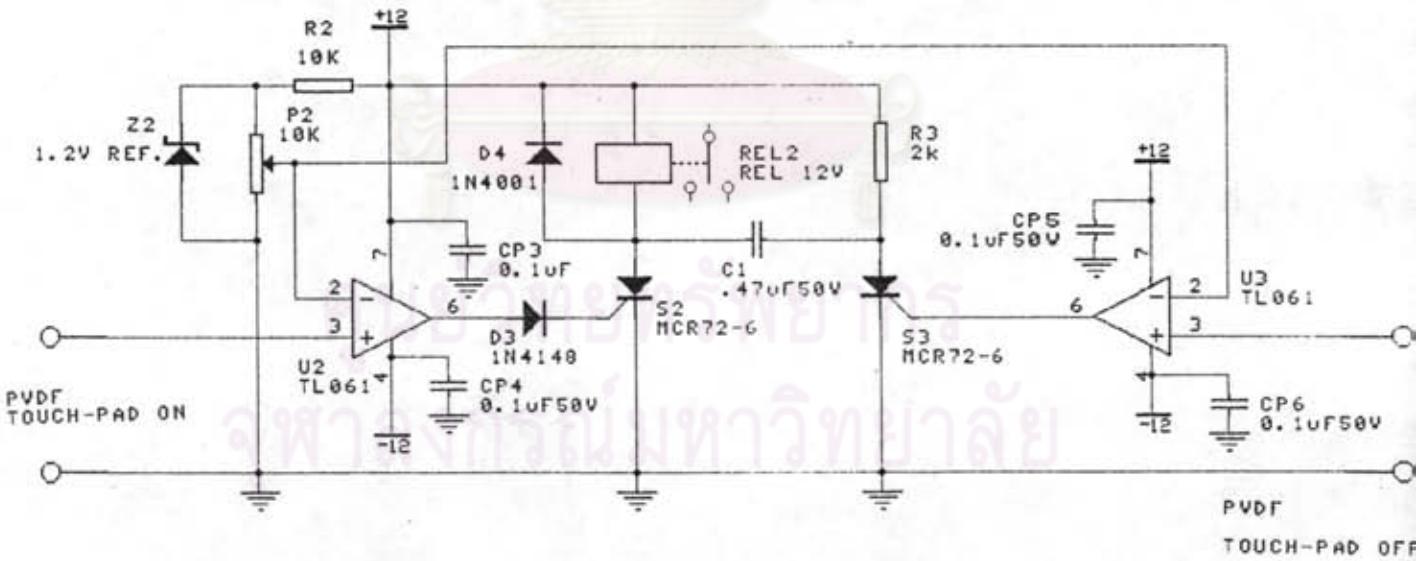
ถ้าออกแรงกดแผ่นฟิล์มด้วย ผลเนื่องจากสภาพเพียสโซอิเล็กตริก จาก $D = \varepsilon_0\varepsilon' E + d_{33} X$ จะได้ $X = \varepsilon_0\varepsilon' V / \ell d_{33}$ ถ้า $d_{33} = -32$ pC/Nm^2 และพื้นที่ฟิล์มที่ถูกกดประมาณ 1 cm^2 พบว่าการที่จะทำให้เกิดแรงดันไฟฟ้า 0.8 V หักล้างกับผลเนื่องจากสภาพไพโรอิเล็กตริกต้องใช้แรงถึง 8.8 N ซึ่งมีค่ามาก ดังนั้นในการใช้งานสวิทช์สัมผัสอาศัยแรงดันไฟฟ้าเนื่องจากสภาพไพโรอิเล็กตริกของฟิล์ม ซึ่งแรงดันไฟฟ้าหักล้างเนื่องจากสภาพเพียสโซอิเล็กตริกมีผลน้อยมาก

4..2 สัญญาณกันขโมย

ในหัวข้อที่แล้วกล่าวถึงสวิทช์สัมผัสแบบทำงานค้าง ซึ่งสามารถนำไปต่อกับวงจรภายนอกได้ ถ้า นำวงจรไซเรนสำเร็จรูปซึ่งมีขายอยู่ทั่วไปมาต่อกับรีเลย์ เมื่อแตะที่แผ่นฟิล์ม PVDF SCR จะนำกระแสเป็นผลให้ไซเรนทำงานส่งเสียงดังออกมากลายเป็นสัญญาณกันขโมย ลักษณะสัญญาณกันขโมยนี้จะติดแผ่น PVDF ในตำแหน่งที่ไม่ต้องการให้คนเข้าใกล้หรือสัมผัสถูก และเมื่อคนเข้าใกล้แผ่นฟิล์มรังสีความร้อนจากคนทำให้เกิดแรงดันขึ้นที่ขา 3 ของออป-แอมป์ เพื่อให้สัญญาณกันขโมยมีความไวสูง จึงปรับความต้านทาน P_1 ให้แรงดันที่ขา 2 มีค่าประมาณ 0.4 V แล้วแต่ความเหมาะสม แผ่นฟิล์มที่มีสภาพไพโรอิเล็กตริกสูง จะมีความไวสูงสามารถรับรังสีความร้อนจากคนในระยะไกลกว่าแผ่นฟิล์มที่มีสภาพไพโรอิเล็กตริกต่ำ

4..3 สวิทช์สัมผัสแบบปิด-เปิดได้

สวิทช์สัมผัสชนิดแรกที่กล่าวไปแล้วนั้น หลังจากทำงานแล้วจะทำงานตลอดเวลา จนกว่าจะมีการตัดไฟจากแหล่งกำเนิด วงจรจึงจะเลิกทำงาน อย่างไรก็ตามในการใช้งานจริง ๆ อาจต้องการสวิทช์ที่ทำงานในลักษณะซึ่งแตกต่างกันออกไป ในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงสวิทช์สัมผัสอีกแบบหนึ่ง ซึ่งปิด-เปิดได้ ตามความต้องการ ลักษณะของวงจรแสดงดังรูป 4.3.1



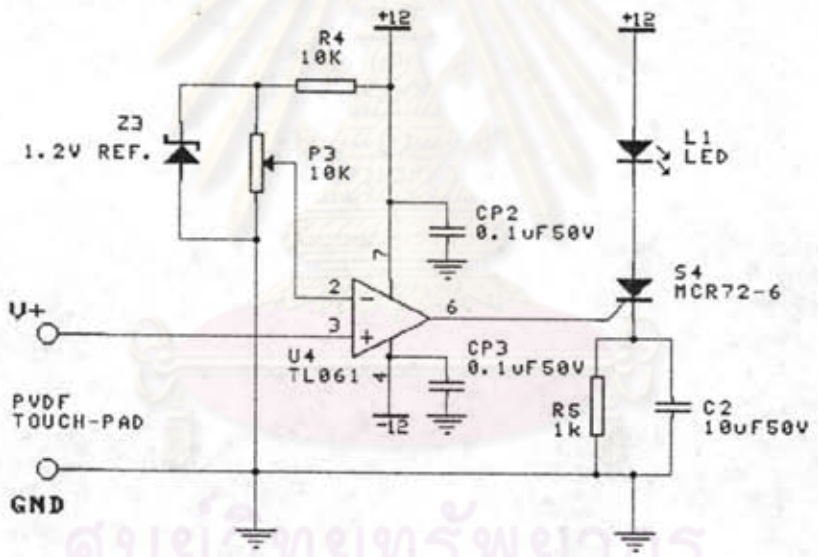
รูปที่ 4.3.1 แสดงวงจรสวิทช์สัมผัสแบบปิด-เปิดได้

วงจรในรูปคล้ายกับสวิทช์สัมผัสแบบทำงานค้าง 2 ส่วนมาประกอบกัน โดยตั้งแรงดันไฟฟ้าที่ขา 2 ของออปแอมป์ U_2 และ U_3 (ใช้ TL 061) ไว้ประมาณ 0.8 V ด้วยหลักการเดียวกับวงจรในรูป 4.1.1 เมื่อแตะแผ่น $PVDF_1$ จะทำให้ SCR S_2 นำกระแสและสวิทช์รีเลย์จะทำงาน ขณะที่ S_2 นำกระแสจะมีประจุไหลผ่าน R_3 มาเก็บที่ตัวเก็บประจุ C_1 จนมีแรงดันคร่อมเกือบ 12 V และเมื่อแตะแผ่น

$PVDF_2$ จะทำให้ S_3 นำกระแสเป็นการลดแรงดันไฟฟ้าที่ขั้วบวกของ C_1 ให้ลงกราวด์ อีกขั้วหนึ่งของ C_1 ก็มีแรงดันไฟฟ้าเป็นลบเมื่อเทียบกับกราวด์ และขั้วด้านนี้ถูกต่ออยู่กับขาอาโนดของ S_2 จึงทำให้แรงดันไฟฟ้าที่อาโนดของ S_2 เป็นลบชั่วขณะหนึ่ง ทำให้ S_2 หยุดทำงาน สวิทช์รีเลย์จะหยุดทำงานต่อเมื่อ C_1 คายประจุหมด แรงดันที่อาโนดของ S_2 จึงกลับเป็นบวกดังเดิม การใส่ D_3 เพื่อป้องกันการกระชากของไฟที่ขาเกทของ S_2 ซึ่งจะทำให้รีเลย์เปิดปิดอย่างรวดเร็วโดยไม่หยุด ส่วนที่ขา 6 ของ U_3 ไม่ต้องต่อไดโอดเพื่อให้สวิทช์ปิดได้ง่าย

4.4 สวิทช์สัมผัสแบบทำงานชั่วขณะหนึ่ง

สวิทช์สัมผัสชนิดนี้ เมื่อเปิดแล้วจะปิดได้เองในช่วงระยะเวลาหนึ่ง โดยใช้ LED เป็นตัวแสดงผลและใช้ SCR หรือทรานซิสเตอร์เป็นสวิทช์ ส่วนที่กระตุ้นการทำงานของสวิทช์มาจากสวิทช์สัมผัสแบบทำงานค้าง ลักษณะวงจรสวิทช์สัมผัสแบบทำงานชั่วขณะหนึ่ง แสดงในรูป 4.4.1 และ 4.4.2

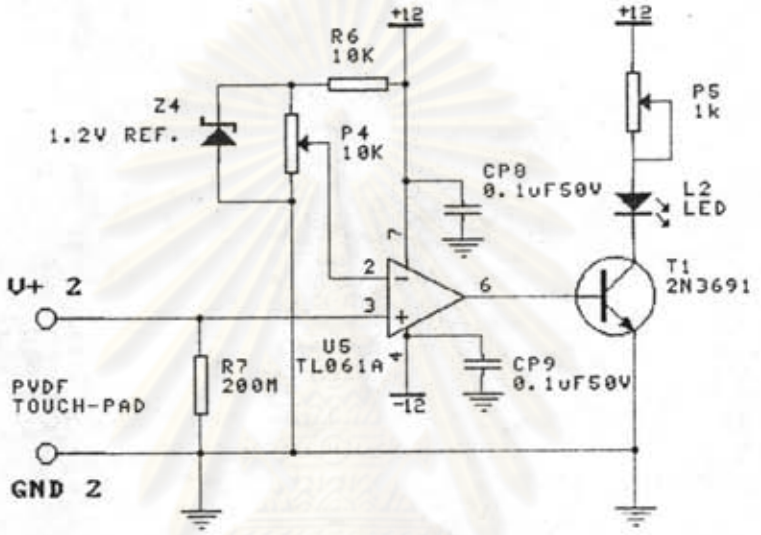


รูปที่ 4.4.1 แสดงสวิทช์สัมผัสแบบทำงานชั่วขณะหนึ่งโดยใช้ SCR

ซีกซ้ายของวงจรมาจากสวิทช์สัมผัสแบบทำงานค้าง เมื่อแตะที่แผ่น PVDF จะมีแรงดันไฟฟ้าที่เป็นบวกออกจากขา 6 ของออปแอมป์ U_4 (TL 061) ไปทริกขาเกทของ S_4 (MCR 72-6) ทำให้มีกระแสไหลผ่าน L_1 (LED) ผ่าน R_5 ลงสู่กราวด์ ระหว่างนั้นก็มีการประจุที่ C_2 เมื่อ C_2 เต็ม ทำให้แรงดันไฟฟ้าที่คาโทดของ S_4 เท่ากับแรงดันไฟฟ้าที่อาโนด ทำให้ S_4 หยุดนำกระแส LED จึงดับไปด้วย หลังจากนั้น C_2 จึงคายประจุผ่าน R_5 ลงกราวด์ โดยมีค่าคงที่เวลา $R_5C = 10^3 \times 10 \times 10^{-6} = 10^{-2}$ วินาที C_2 จึงคายประจุหมดในเวลาอันรวดเร็ว จึงเปิดสวิทช์ ได้อีกครั้งโดยแตะแผ่น PVDF ใหม่ได้ภายในเวลาอันสั้น และถ้าต้องการให้ LED สว่างนานกว่า เดิมทำได้โดยเพิ่ม C_2 และลด R_5

โดยที่ค่า R_5C ไม่ควรมีค่ามากเกิน 1 วินาที มิฉะนั้นหลังจาก สวิทช์ทำงานแล้วจะต้องคอยให้ C_2 คาย ประจุเป็นเวลานานเกินไป

สวิทช์สัมผัสแบบทำงานค้างอีกชนิดหนึ่งที่ใช้ทรานซิสเตอร์เป็นสวิทช์แสดงใน รูปที่ 4.4.2

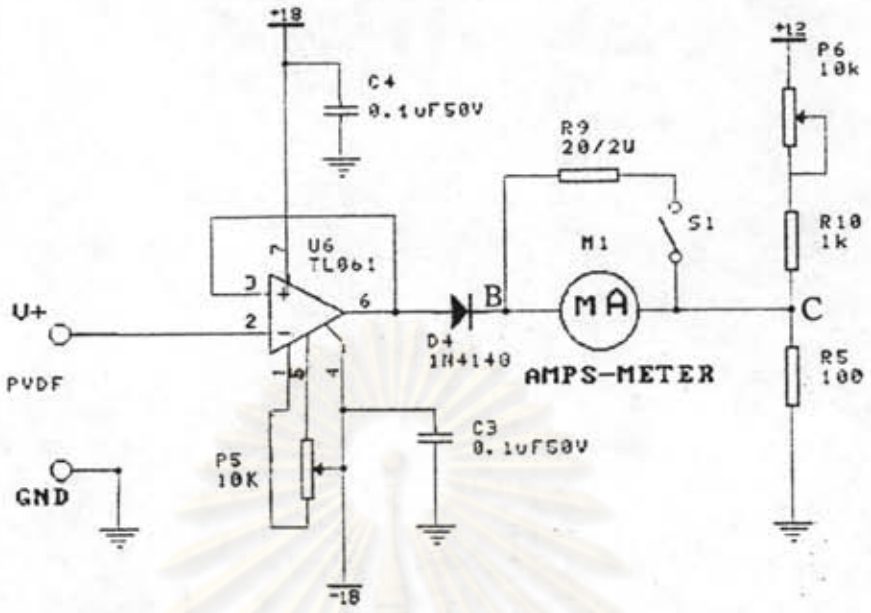


รูปที่ 4.4.2 แสดงสวิทช์สัมผัสแบบทำงานชั่วขณะหนึ่งโดยใช้ทรานซิสเตอร์

ด้านซ้ายของวงจรมาจากสวิทช์สัมผัสแบบทำงานค้าง เมื่อแตะที่แผ่น PVDF จะมีแรงดันไฟฟ้าที่เป็นบวกออกจากขา 6 ของออปแอมป์ U_5 ไปเข้าขาเบสของทรานซิสเตอร์ T_1 (2N3691) ซึ่งเป็นทรานซิสเตอร์ชนิด NPN เมื่อทรานซิสเตอร์ T_1 ได้รับการกระตุ้นที่ขาเบส ทำให้ T_1 นำกระแส L_2 (LED) จึงสว่าง เมื่อการกระตุ้นที่ขาเบสหมดลง L_2 จึงดับ การต่อตัวต้านทาน R_7 คร่อม PVDF เพื่อให้สวิทช์สามารถทำงานใหม่ อีกครั้งหนึ่งโดยไม่ต้องรอนาน

4.4 เครื่องวัดรังสีอินฟราเรด (Infrared Detector)

พอลิเมอร์ไพโรอิเล็กตริกเป็นสารที่มีความไวต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ สำหรับแผ่นฟิล์มที่มีสัมประสิทธิ์ไพโรอิเล็กตริก 4 nC/cm^2K เมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนแปลงไป 0.1 K แผ่นฟิล์มสามารถให้แรงดันถึง 1 V จึงใช้เป็นตัวรับรังสีอินฟราเรดในเครื่องวัดรังสีอินฟราเรดได้ ลักษณะวงจรแสดงดังรูป 4.5.1



รูปที่ 4.5.1 แสดงวงจรเครื่องวัดรังสีอินฟราเรด

ชีกซ้ายของวงจร (ก่อนเข้าไดโอด D_4) เป็นวงจรตามแรงดัน (Voltage follower) ซึ่งจะให้แรงดันไฟฟ้าที่ขา 6 ของ U_6 (TL 061) มีค่าเท่ากับแรงดันไฟฟ้าเนื่องจาก PVDF แต่แรงดันไฟฟ้าดังกล่าวแกว่งในช่วง 0 ถึง -1V จึงตั้งแรงดันไฟฟ้าที่จุด C เพื่อชดเชยแรงดันดังกล่าวโดยการปรับความต้านทาน P_6 จนกระทั่งเข็มของมิลลิมิเตอร์ (mA) ชี้ที่เลขศูนย์ ไดโอด D_4 ป้องกันเข็ม mA ตีกลับในกรณีที่แรงดันไฟฟ้าที่จุด B ต่ำกว่าที่จุด C การต่อ R_9 เพื่อป้องกันกระแสผ่าน mA เกินขนาดในขณะที่ปรับความต้านทาน P_6 ขณะทดลองจะโยกสวิทช์ S_1 ขึ้น เพื่อให้กระแสผ่าน mA ได้เต็มที่ ซึ่งมีค่าไม่เกิน 1 mA

ในการทดลองใช้มืออังแผ่นฟิล์ม หรือเปิดโคมไฟห่างจากแผ่นฟิล์มประมาณ 1 ฟุต พบว่าเข็มมิเตอร์เบนให้เห็นชัดเจน ในสภาพห้องปกติจะมีสัญญาณรบกวน (noise) ทำให้เข็มสั่นจึงไม่สามารถรับสัญญาณอินฟราเรดน้อย ๆ ได้ชัดเจน แต่ถ้าใช้กระดาษแข็งปิดทับแผ่นฟิล์ม พบว่าแรงดันไฟฟ้าระหว่างจุด B และ C (V_{BC}) ไม่กระเพื่อมนัก ดังนั้นวงจรชนิดนี้ควรใช้งานที่มีดปราศจากสิ่งมีชีวิตรบกวน ซึ่งจะสามารถปรับ V_{BC} ให้เป็นศูนย์ และวัดสัญญาณอินฟราเรดน้อย ๆ ได้ พบว่าวงจรดังกล่าวไม่ไวพอที่จะรับรังสีจากคนที่เดินมาใกล้ ๆ ได้ หากนำไปใช้งานจริงน่าจะมีการพัฒนาแผ่นฟิล์มให้มีสภาพไพโรอิเล็กตริกสูง ๆ ในการวิจัยนี้ใช้แผ่นฟิล์มเบอร์ D_1 ซึ่งมีประสิทธิภาพไพโรอิเล็กตริก 1.93 nC / cm^2K ซึ่งนับว่ามีค่าต่ำ อย่างไรก็ตามสามารถทำให้แผ่นฟิล์มมีค่าคงที่ดังกล่าวสูงถึง 4 nC / cm^2K ซึ่งเมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนแปลงไปเพียง 0.01 K แผ่นฟิล์มจะให้แรงดันไฟฟ้าถึง 100 mV จากนั้นนำสัญญาณดังกล่าวไปผ่านวงจรขยายแรงดันไฟฟ้าและส่งไปยังแอมมิเตอร์ วงจรเช่นนี้ก็น่าจะนำไปใช้งานได้ดีในสภาวะแวดล้อมที่ไม่มีสัญญาณอินฟราเรดรบกวนมากนัก นอกจากนี้ความหนาของอลูมิเนียมที่ฉาบเป็นอิเล็กโตรดน่าจะมีผลต่อความไวของฟิล์มในการรับรังสีด้วย

จากวงจรที่กล่าวมาข้างต้น จะเห็นว่าสามารถนำแผ่นฟิล์ม PVDF มาประยุกต์ ทำวงจรต่าง ๆ ที่ไวต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิอย่างฉับพลันได้ดี ในการวิจัยผู้วิจัยใช้แผ่นฟิล์มที่ผ่านการพัฒนามาแล้วเป็นเวลา 1 ปี และเก็บไว้อย่างไม่ถูกวิธีนัก ทำให้สภาพเพียสโซ-ไพโรอิเล็กตริกลดลงแผ่นฟิล์มที่ใช้มีพื้นที่อิเล็กโตรดเพียง 2-4 ตารางเซนติเมตร ซึ่งในการใช้งานจริงอาจใช้แผ่นฟิล์มที่มีขนาดเล็กกว่านี้ แต่มีสภาพไพโรอิเล็กตริกสูง ๆ ได้

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย