



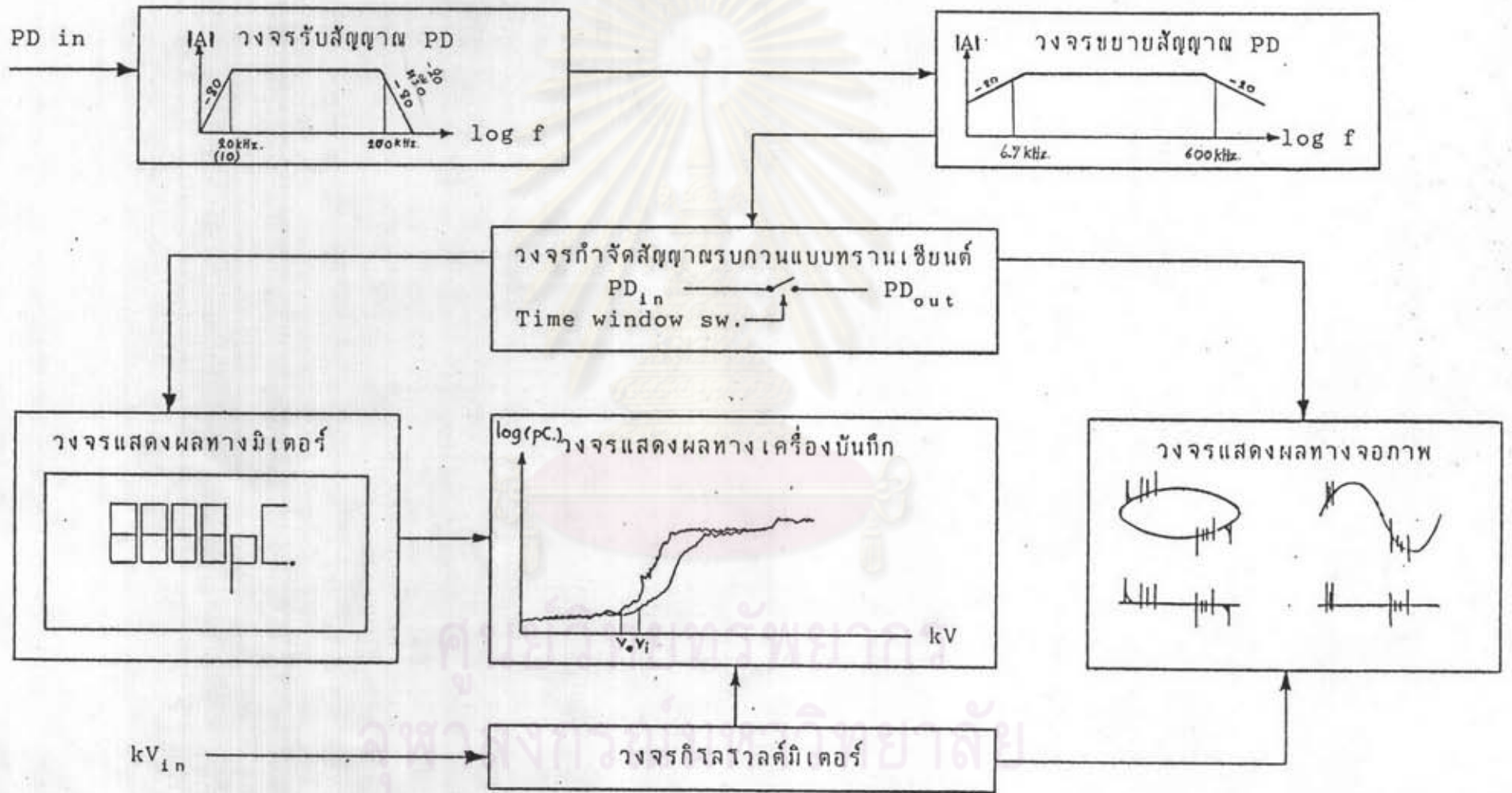
### การออกแบบและประกอบสร้าง

เครื่องตรวจจับดีเอสอาร์บางส่วนที่ออกแบบและสร้างนี้เป็นเครื่องตรวจจับดีเอสอาร์บางส่วนแบบแถบกว้าง ซึ่งมีลักษณะคุณสมบัติต่างๆ ตามข้อกำหนดของมาตรฐาน IEC ที่กล่าวมาแล้วในข้อ 2.5 ในบทนี้จะกล่าวถึงรายละเอียดเกี่ยวกับส่วนประกอบ และการออกแบบของเครื่องวัด

#### 3.1 ส่วนประกอบของเครื่องตรวจจับดีเอสอาร์บางส่วน

การออกแบบและสร้างเครื่องตรวจจับดีเอสอาร์บางส่วน ในทางปฏิบัตินั้นจะมีความสลับซับซ้อนกว่าวงจรที่กล่าวมาแล้วในบทที่ 2 เนื่องจากพัลส์ของ PD มีขนาดเล็กมากปกติมีค่าประมาณเป็นไมโครโวลต์ถึงมิลลิโวลต์ ทำให้สัญญาณรบกวนจากภายนอกเข้าไปรบกวนเครื่องตรวจจับ PD ได้ง่าย จึงต้องมีการออกแบบวงจรเพิ่มเติมพิเศษจากวงจรพื้นฐานเดิมโดยมีวัตถุประสงค์หลักคือ เพื่อลดผลกระทบของสัญญาณรบกวนจากภายนอกหรือเป็นส่วนช่วยทำให้การตรวจจับ PD มีประสิทธิภาพสูงขึ้น งานวิจัยนี้ได้ออกแบบและประกอบสร้างส่วนต่างๆ ของเครื่องตรวจจับ PD แสดงในรูปที่ 3.1 ซึ่งประกอบด้วยวงจรหลัก 8 วงจรด้วยกันคือ

- 1) วงจรรับสัญญาณ PD ใช้สำหรับรับสัญญาณ PD จากวงจรทดสอบ
- 2) วงจรขยายสัญญาณ PD ใช้สำหรับขยายสัญญาณ PD ให้มีขนาดตามต้องการ
- 3) วงจรกำจัดสัญญาณรบกวนแบบทรานเซียนต์ วงจรส่วนนี้ใช้สำหรับการกำจัดสัญญาณรบกวนแบบทรานเซียนต์ที่ซึ่ง โครโนซ์กับความเร็วของแหล่งจ่าย เช่น สัญญาณรบกวนแบบทรานเซียนต์เนื่องจากการทำงานของ ทรานซิสเตอร์ เป็นต้น การกำจัดสัญญาณรบกวนนี้จะใช้วิธี "หน้าต่างเวลา" ที่กล่าวมาแล้วในบทที่ 2
- 4) วงจรแสดงผลทางมิเตอร์ ใช้สำหรับอ่านค่ายอดของสัญญาณ PD
- 5) วงจรแสดงผลทางเครื่องบันทึก ใช้สำหรับการดูแรงดันเริ่มเกิด PD ( $V_p$ ) และแรงดันหมดสิ้น PD ( $V_o$ ) ของวัสดุทดสอบ นอกจากนี้รูปแบบของกราฟที่ได้จากกรณีนี้สามารถนำไปใช้ในการวิเคราะห์ความบกพร่องของฉนวนที่ใช้ทำอุปกรณ์หรือวัสดุทดสอบต่อไป



6) วงจรแสดงผลทางจอภาพ ใช้สำหรับแสดงรูปแบบของ PD และวัดขนาดของ PD นอกจากนี้ยังใช้ในการบอกตำแหน่งของ "หน้าต่างเวลา" อีกด้วย

7) วงจรกิโลโวลต์มิเตอร์ ใช้สำหรับบอกขนาดของแรงดันที่ป้อนเข้าวงจรทดสอบเป็นค่า "rms" โดยต่อจากด้านภาคแรงต่ำของ โวลเตจดีไวเดอร์ที่มีอัตราส่วนแรงดันประมาณ 1:1000 และสามารถปรับเปลี่ยนให้อ่านค่ายอดได้ (สำหรับแรงดันแบบไซน์) นอกจากนี้วงจรส่วนนี้ยังทำหน้าที่สร้าง "Zero-marker" เพื่อใช้เป็นจุดบอกตำแหน่งศูนย์ของแรงดันที่ป้อนเข้าวงจรทดสอบขณะทำการแสดงผลทางจอภาพ

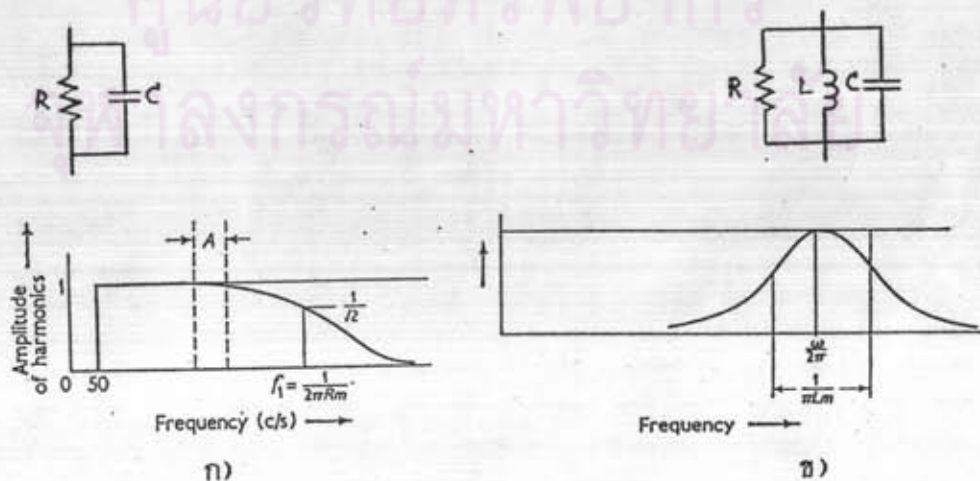
8) วงจรกำเนิดพัลส์มาตรฐาน ใช้สำหรับการปรับเทียบและตรวจสอบคุณสมบัติการเกิดชุปเปอร์โพสิชันของเครื่องตรวจจับ PD ที่ใช้ในการทดสอบเคเบิล

9) วงจรแหล่งจ่ายไฟเลี้ยง ใช้ในการจ่ายแรงดันเลี้ยงวงจรทั้งหมด

### 3.2 การออกแบบวงจรเครื่องตรวจจับดีสชาร์จบางส่วน

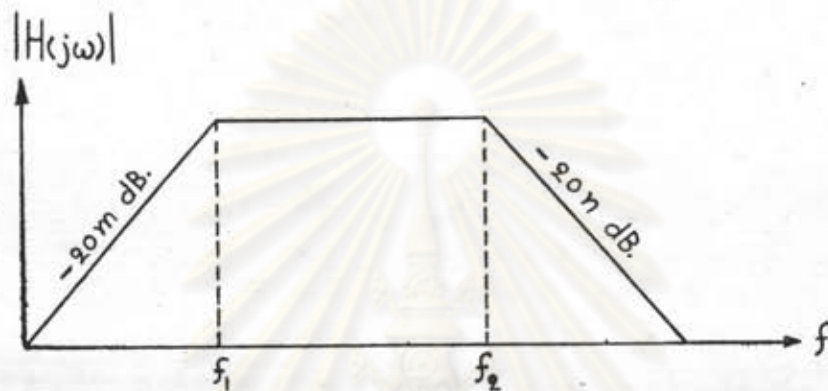
#### 3.2.1 วงจรรับสัญญาณดีสชาร์จบางส่วน

วงจรรับสัญญาณดีสชาร์จบางส่วน โดยปกติจะเป็นอิมพีแดนซ์วัตต์  $Z_m$  ซึ่งอาจจะเป็นแบบ RC หรือ RLC ต่อขนานกัน [1] จากการวิเคราะห์ที่ในโดเมนความถี่พบว่า อิมพีแดนซ์วัตต์แบบ RC ไม่สามารถลดแรงดันตกคร่อมตัวมันเองเนื่องจากกระแสความถี่แหล่งจ่าย (50-60 เฮิร์ตซ์) ไหลผ่าน ในขณะที่อิมพีแดนซ์วัตต์แบบ RLC จะมีลักษณะเป็นตัวกรองความถี่กลางอันดับที่ 2 จึงถือได้ว่าอิมพีแดนซ์วัตต์ทั้งสองชนิดเป็นตัวกรองที่มีประสิทธิภาพต่ำ ในรูปที่ 3.2 ก) และ 3.2 ข) แสดงลักษณะของอิมพีแดนซ์วัตต์และการตอบสนองความถี่แบบ RC และ RLC ตามลำดับ



รูปที่ 3.2 ลักษณะอิมพีแดนซ์วัตต์และการตอบสนองความถี่แบบ RC และ RLC

เนื่องจากการใช้อิมพีแดนซ์วัตแบบ RC และ RLC ซึ่งเป็นตัวกรองที่มีประสิทธิภาพต่ำ จะก่อให้เกิดปัญหาใหญ่ๆ ตามมา 2 ประการคือ การเพิ่มความไวของวงจรทำได้ยาก เนื่องจากหม้อแปลงแบบแถบกว้างเกิดการอ้อมตัว และทำให้วงจรขยายภาคแรกๆ รับแรงดันอินพุตสูงเกินไป การแก้ปัญหาวิธีหนึ่งก็คือการออกแบบอิมพีแดนซ์วัตให้มีคุณสมบัติเป็นตัวกรองความถี่กลางที่มีอันดับสูงขึ้น [16] ทำให้ประสิทธิภาพของตัวกรองดียิ่งขึ้น แสดงในรูปที่ 3.3 เมื่อ  $m, n = 1, 2, 3 \dots$



รูปที่ 3.3 ลักษณะการตอบสนองความถี่ของตัวกรองอันดับสูงของอิมพีแดนซ์วัต

หลักเกณฑ์ในการออกแบบอิมพีแดนซ์วัตที่มีคุณสมบัติเป็นตัวกรองความถี่กลางอันดับสูงเป็นดังนี้

1) การเลือกแบนด์วิดท์

แบนด์วิดท์สำหรับเครื่องตรวจจับ PD โดยทั่วไปจะอยู่ในย่านความถี่ตั้งแต่ 10 กิโลเฮิรต์ซ์ ถึง 1 เมกกะเฮิรต์ซ์ [17] แต่ช่วงที่ปลอดภัยของรบกวนมากที่สุดจะอยู่ในช่วงความถี่ตั้งแต่ 40 ถึง 200 กิโลเฮิรต์ซ์ [22] อย่างไรก็ตามการเลือกแบนด์วิดท์ของเครื่องตรวจจับ PD แบบแถบกว้างต้องไม่แคบจนเกินไป เพราะนอกจากจะให้เอาต์พุตไม่เป็นแบบ "๕-response" แล้วยังทำให้ความไวในการวัดลดลงอีกด้วย

2) การเลือกอันดับของตัวกรองและความถี่ตัด

การเลือกอันดับของตัวกรองจะต้องสัมพันธ์กับความถี่ตัดของตัวกรองด้วย กล่าวคือ ต้องเลือกอันดับความถี่ตัดต่ำ  $f_1$  ให้สูงพอที่จะกำจัดสัญญาณความถี่ต่ำจากแหล่งจ่าย (50-60 เฮิรต์ซ์) และลดสัญญาณรบกวนที่เข้าทางทางแหล่งจ่ายเนื่องจากอุปกรณ์สวิตซ์ เช่น ไทริสเตอร์ได้เช่นเดียวกัน ซึ่งความถี่ของสัญญาณรบกวนนี้อาจมีความถี่สูงถึง 5 กิโลเฮิรต์ซ์ [24] ขณะเดียวกันการเลือกความถี่ตัดสูง  $f_2$  ต้องไม่สูงมากนัก เพื่อลด

คลื่นรบกวนวิทยุให้มากที่สุด สำหรับเครื่องตรวจจับ PD แบบแถบกว้าง ซึ่งให้เอาต์พุตแบบ "α-response" ปกติควรมี  $f_2 : f_1 \geq 10 : 1$  [17]

### 3) การเลือกอินพุตอิมพีแดนซ์

การทดสอบอุปกรณ์ไฟฟ้าแรงสูงต่างๆ ไป การเลือกอินพุตอิมพีแดนซ์มีค่าสูงจะทำให้ความไวในการวัดสูงตามไปด้วย แต่การเลือกอิมพีแดนซ์สูงเกินไปจะทำให้ผลตอบสนองความถี่สูงของวงจรลดลง เนื่องจากค่าคงตัวเวลา เพิ่มขึ้น ( $\tau = R_m C_m$ ) ผลกระทบอันนี้อาจทำให้เอาต์พุตของเครื่องตรวจจับ PD เป็นแบบ "β-response" เมื่อวัสดุทดสอบ  $C_x$  และตัวเก็บประจุคัปปลิง  $C_k$  มีขนาดใหญ่ ดังนั้นข้อควรคำนึงในการออกแบบคือ ควรเลือก  $R_m \leq 1/(6\pi f_2 C_m)$  เมื่อ  $C_m$  คือค่าตัวเก็บประจุประสิทธิผลที่ต่อขนานกับ  $R_m$  และ  $R_m$  คือ ความต้านทานอินพุตของอิมพีแดนซ์วัด

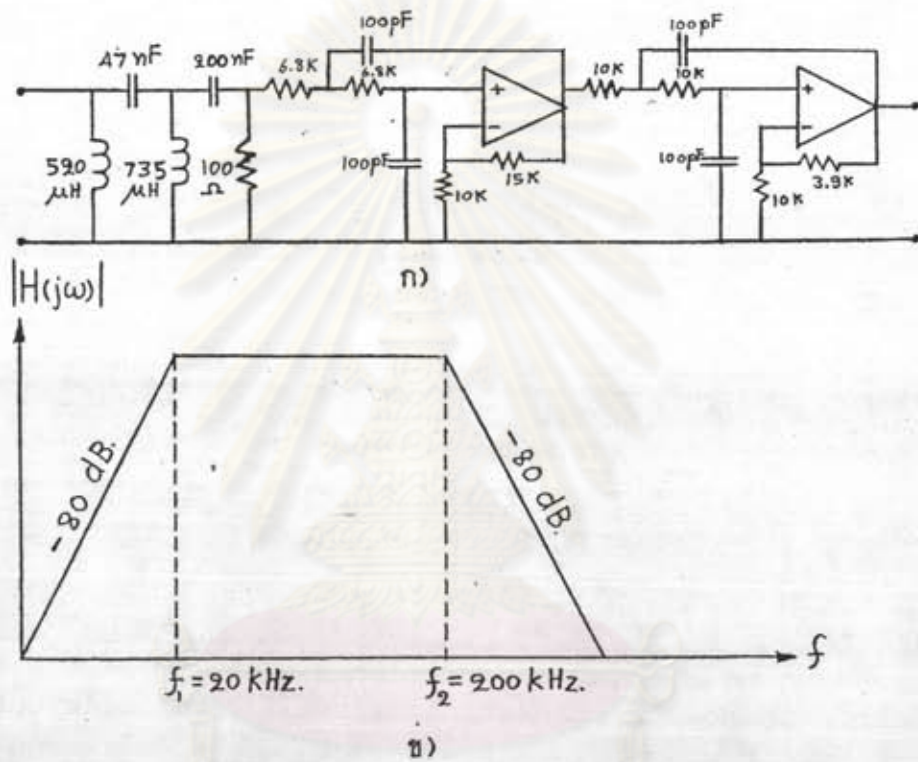
จากเงื่อนไขที่กล่าวมาแล้ว การออกแบบวงจรรับสัญญาณ PD จะแยกพิจารณา ดังนี้คือ

#### 3.2.1.1 วงจรรับสัญญาณดีส์ซาร์จบางส่วนสำหรับวัสดุทดสอบทั่วไป

การออกแบบวงจรรับสัญญาณดีส์ซาร์จบางส่วนแบบแถบกว้าง เพื่อให้เป็นไปตามข้อกำหนดในข้อ 2.5 จึงต้องมีการประเมินประเมินเงื่อนไข 1) และ 2) โดยการออกแบบตัวกรองความถี่กลางที่มีแบนด์วิดท์ 20 ถึง 200 กิโลเฮิรตซ์ที่ประกอบด้วยตัวกรองความถี่สูง HPF อันดับที่ 4 ชนิด Butterworth ต่อลำดับกับตัวกรองความถี่ต่ำ LPF อันดับที่ 4 ชนิด Chebyshev (0.1 ดีบี) [25] เนื่องจากวงจรรับสัญญาณ PD นี้ออกแบบมาเพื่อใช้ในการทดสอบโดยใช้ตัวเก็บประจุคัปปลิง  $C_k$  ขนาดเล็ก คือ  $C_k \leq 2$  นาโนฟารัด จากเงื่อนไข 3) จึงเลือกอินพุตอิมพีแดนซ์  $R_m \leq 1/(6\pi 200 \times 10^3 \times 2 \times 10^{-9}) = 133$  โอห์ม ควรเลือก  $R_m = 100$  โอห์ม วงจรตัวกรองความถี่กลางที่ออกแบบแสดงดังรูปที่ 3.4 โดยรูปที่ 3.4 ก) แสดงวงจรที่ออกแบบ และรูปที่ 3.4 ข) แสดงลักษณะการตอบสนองความถี่โดยประมาณ ซึ่งจะเห็นว่า LPF สามารถลดแรงดันที่ความถี่ 50 เฮิรตซ์ได้ 208 ดีบี หรือลดแรงดันที่อินพุตจาก 100 โวลต์เหลือเพียง 3.9 นาโนโวลต์ที่กระแสอินพุต 1 แอมแปร์

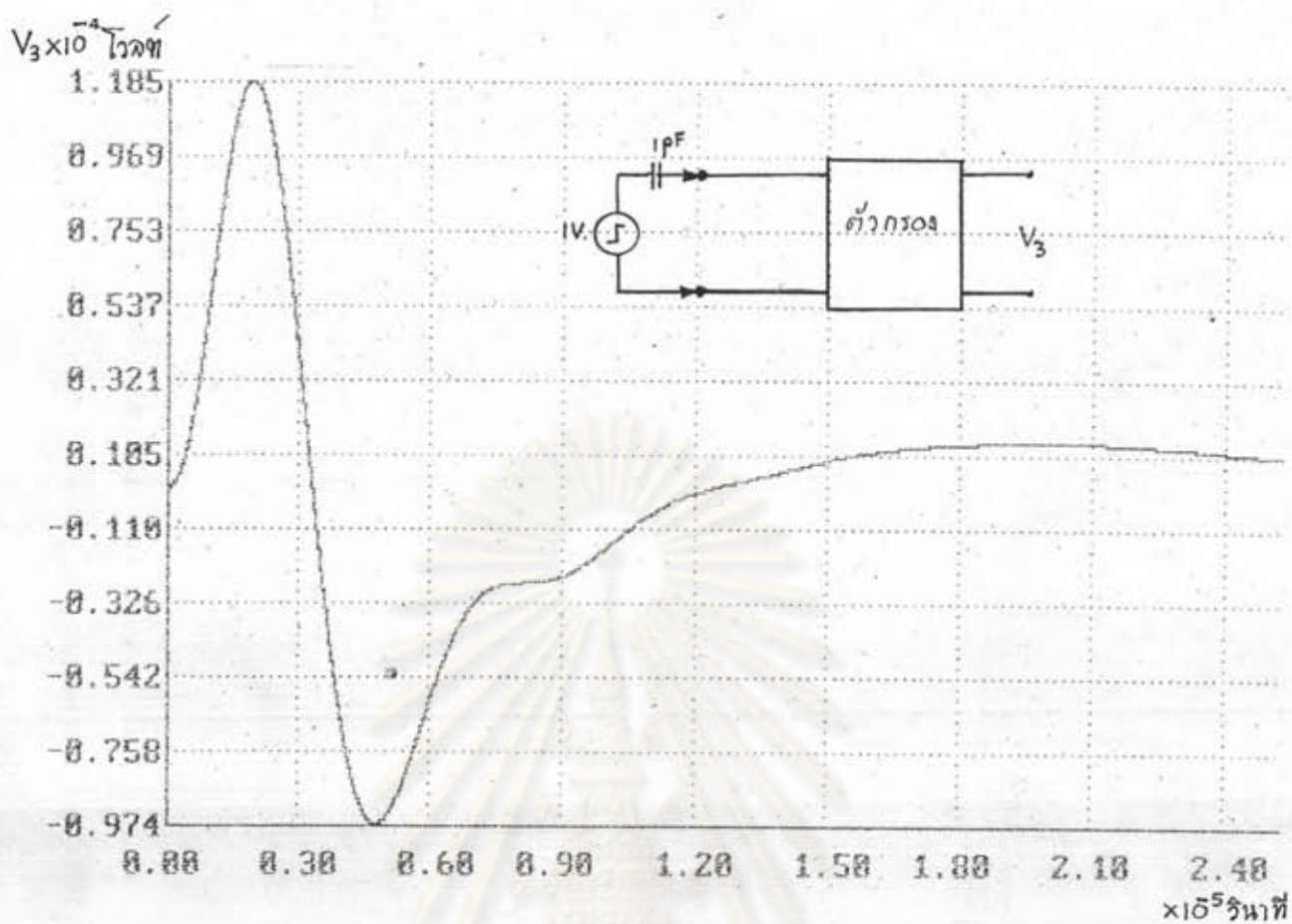
จากการวิเคราะห์ผลตอบสนองแบบอิมพัลส์ของตัวกรองที่ออกแบบนี้ด้วยคอมพิวเตอร์ [26] โดยการป้อนกระแสพัลส์สั้นๆ (ช่วงเวลา  $< 0.1$  ไมโครวินาที) ที่มีขนาดประจุ  $q = 1$  พิโคคูลอมบ์ที่อินพุต จะให้เอาต์พุต  $V_o = 118.5$  ไมโครโวลต์ ดังรูปที่ 3.5 เนื่องจากอัตราขยายของตัวกรองเท่ากับ 3.475 เท่า ดังนั้นจากสมการ (2.19) จะได้แฟกเตอร์สำหรับการตอบสนองแบบอิมพัลส์ทางด้านปฐมภูมิ

$\xi_p = 118.5/3.475 = 34.1$  ไมโครโวลต์ต่อพิโคคูลอมป์ การออกแบบนี้ต้องคำนึงถึงผลของสัญญาณรบกวนด้วย ผลของสัญญาณรบกวนจะทำให้ความไวลดลง จึงต้องเพิ่มวงจรพีแอมป์ไฟเออร์แบบสัญญาณรบกวนต่ำโดยใช้ IC เบอร์ LM318N ซึ่งมีอัตราขยาย 20 เท่า และหม้อแปลงแบบแถบกว้างที่มีอัตราส่วน 1:8 ในการปรับปรุงอัตราส่วน S/N ให้สูงขึ้น วงจรอย่างง่ายสำหรับการคำนวณแสดงดังรูปที่ 3.6

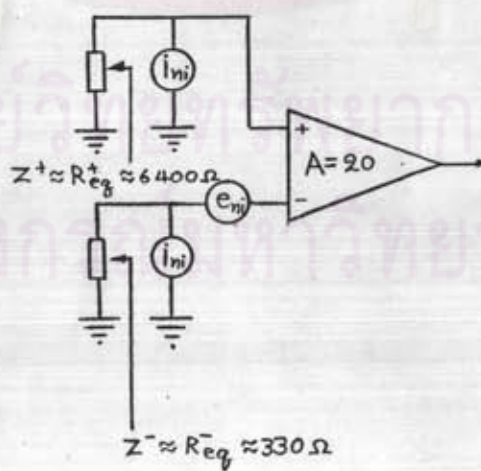


รูปที่ 3.4 ตัวกรองความถี่กลางและการตอบสนองความถี่ของวงจรรับสัญญาณ PD สำหรับวัสดุทดสอบทั่วไป

จากรูปที่ 3.6 จะได้สัญญาณรบกวนรวมที่อินพุตของวงจรขยาย  $V_{n(rms)} = 7.5$  ไมโครโวลต์ เนื่องจากประสิทธิภาพในการแปลงแรงดันขึ้นของหม้อแปลงแบบแถบกว้างประมาณ 6.87 เท่า ดังนั้นแฟกเตอร์สำหรับการตอบสนองแบบอิมพัลส์ทางด้านทฤษฎี  $\xi_s = 6.87 \times 34.1 = 234.3$  ไมโครโวลต์ต่อพิโคคูลอมป์ จากสมการ (2.19) เมื่อพิจารณาความไวที่  $C_k = C_v = 1$  นาโนฟารัด จะได้  $q_{min} = [5(1+1)/(234.3)(1)](7.5) = 0.32$  พิโคคูลอมป์ รายละเอียดเกี่ยวกับการคำนวณรบกวนสัญญาณที่อินพุตของออปแอมป์ การออกแบบตัวเท็นเซอร์ และหม้อแปลงแบบแถบกว้างแสดงในภาคผนวกที่ ข, ค และ ง ตามลำดับ

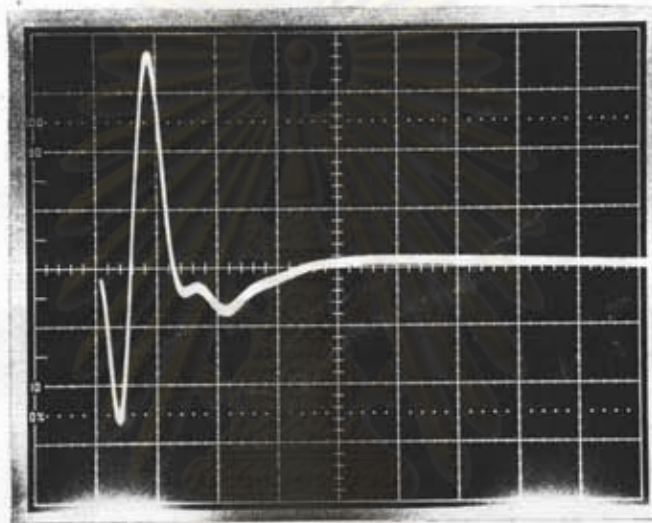


รูปที่ 3.5 ผลตอบสนองแบบอิมพัลส์ของตัวกรองความถี่กลาง สำหรับวิสตูดสอบทั่วไป เมื่อป้อนกระแสพัลส์ที่มี  $q = 1$  พิโคคูลอมบ์



รูปที่ 3.6 วงจรอย่างง่ายสำหรับการคำนวณสัญญาณรบกวน

การออกแบบวงจรรับสัญญาณดีสชาร์จสำหรับวัสดุทดสอบทั่วไปนี้ไม่เหมาะสมสำหรับการทดสอบเคเบิลยาว เนื่องให้สัญญาณเอาต์พุตแบบ "p-response" ดังรูปที่ 3.7 ในรูปที่ 3.8 แสดงวงจรรับสัญญาณ PD ที่ออกแบบสมบูรณ์แล้ว โดยมีเอาต์พุตประมาณ 0.4 โวลต์ต่อพิโคคูลอมบ์



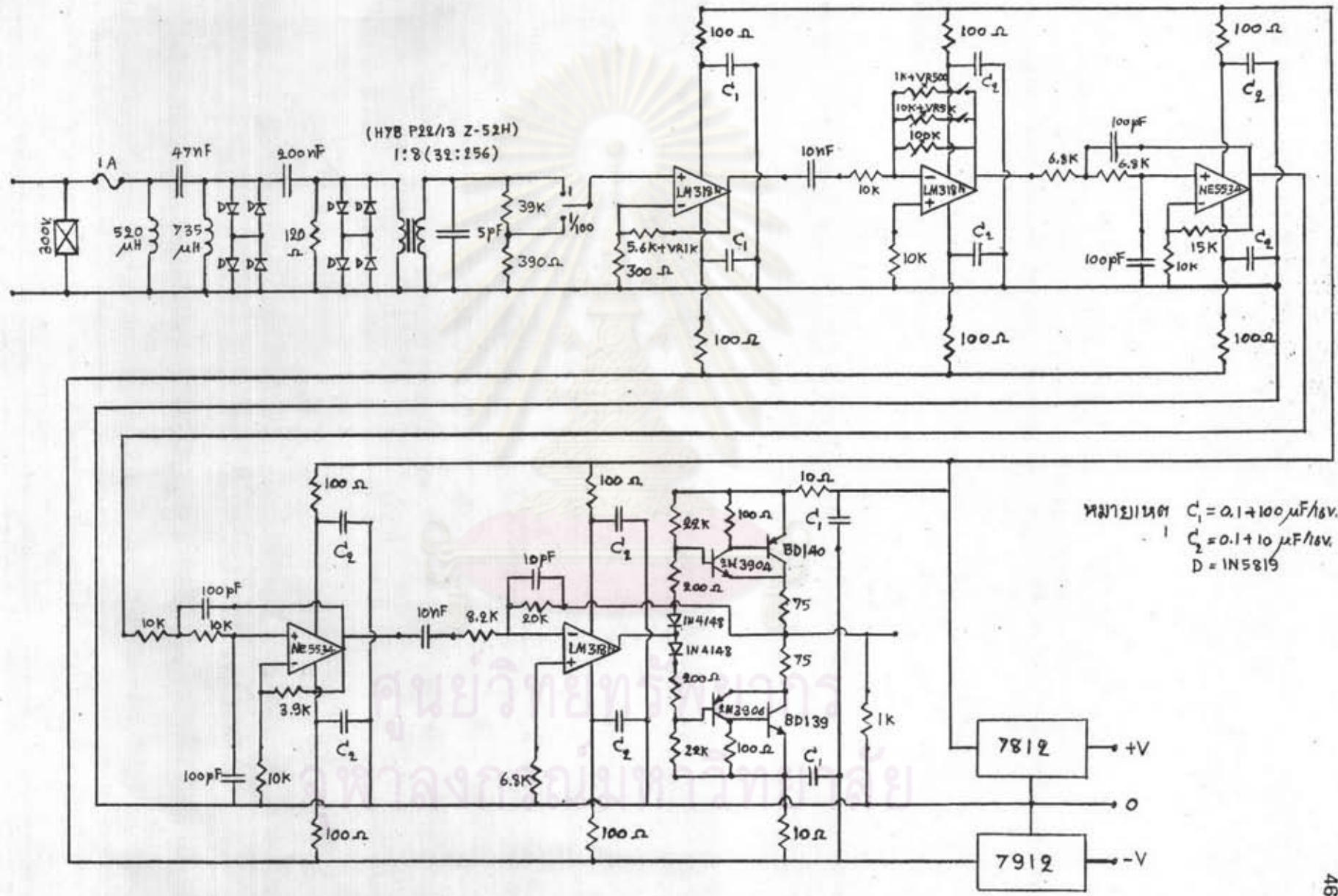
รูปที่ 3.7 การเกิด "p-response" ของวงจรรับสัญญาณ PD สำหรับวัสดุทดสอบทั่วไป เมื่อใช้ทดสอบเคเบิลที่  $Z_o = 10$  โอห์ม และ  $C_k = 10$  นาโนฟารัด

### 3.2.1.2 วงจรรับสัญญาณดีสชาร์จบางส่วนสำหรับเคเบิลยาว

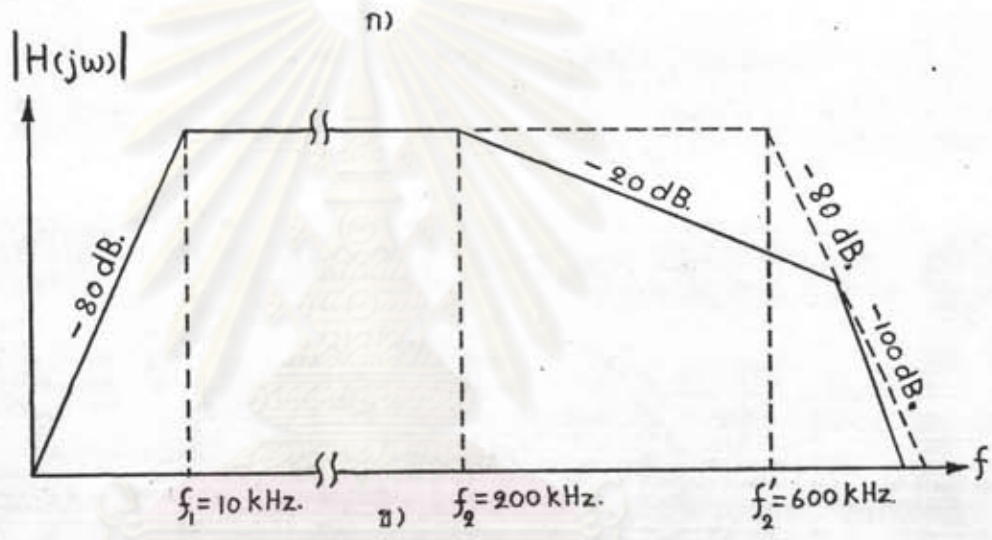
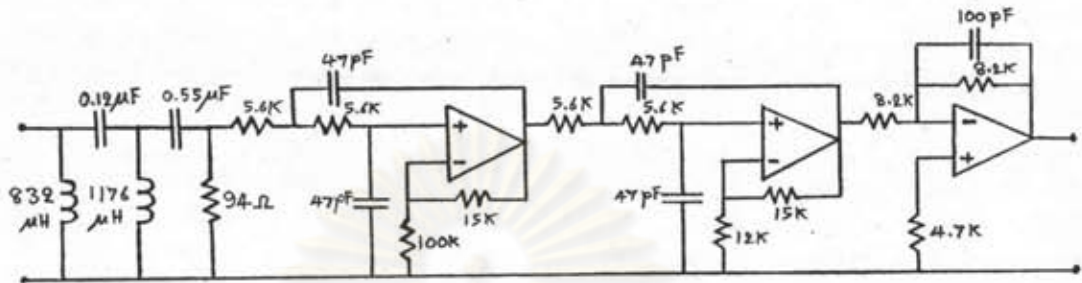
เพื่อหลีกเลี่ยงปัญหาที่เกิดขึ้นในข้อ 3.2.1.1 ขณะทำการทดสอบเคเบิลยาว และต้องการลักษณะเอาต์พุตเป็นแบบ "u-response" เมื่อใช้  $C_k = 4$  ถึง 20 นาโนฟารัด (นิยมใช้กันมากในทางปฏิบัติ) จากการวิเคราะห์ห้วงจรด้วยคอมพิวเตอร์ [26] พบว่าควรเลือกตัวกรองความถี่กลางที่มีแบนด์วิดท์ 10 ถึง 200 กิโลเฮิรตซ์ และอินพุตอิมพีแดนซ์เท่ากับ 80 โอห์ม ซึ่งประกอบด้วยตัวกรองความถี่สูง HPF อันดับที่ 4 ชนิด Butterworth ต่อลำดับกับตัวกรองความถี่ต่ำลำดับที่ 1 ชนิด Butterworth



รูปที่ 3.8 วงจรรับสัญญาณ PD สำหรับวัดค่าคลื่นหัวไฟฟ้อกแบบสมบูรณ์

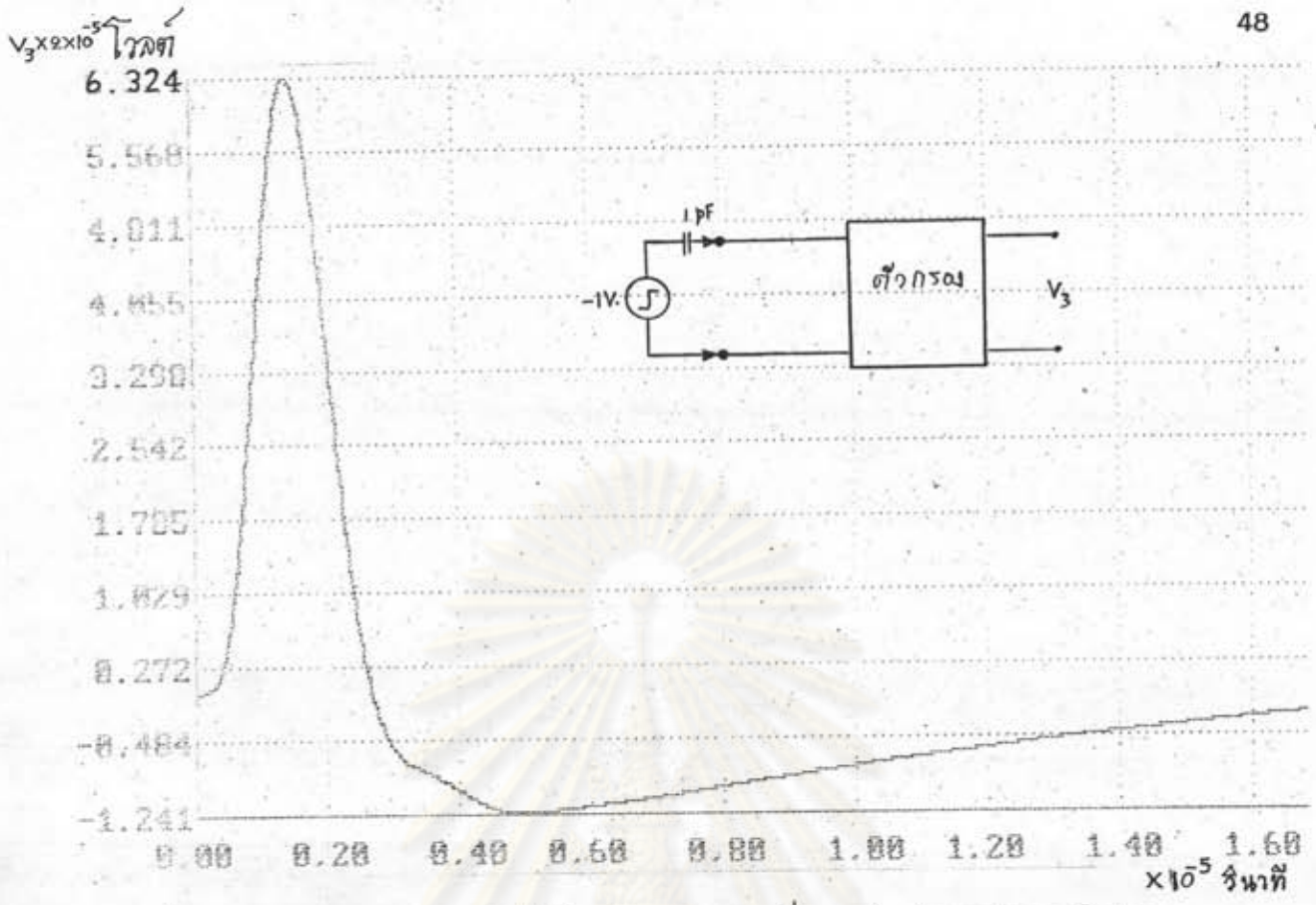


แต่อย่างไรก็ตามตัวกรองความถี่ต่ำนี้ถ้าจัดสัญญาณคลื่นวิทยุได้ไม่ดี จึงต้องใช้ตัวกรองความถี่ต่ำอันดับที่ 4 ชนิด Butterworth เพิ่มที่ความถี่ประมาณ 600 กิโลเฮิรต์ซ์ ในรูปที่ 3.9 ก) แสดงวงจรที่ออกแบบ และรูปที่ 3.9 ข) แสดงการตอบสนองความถี่โดยประมาณของตัวกรองที่ออกแบบ



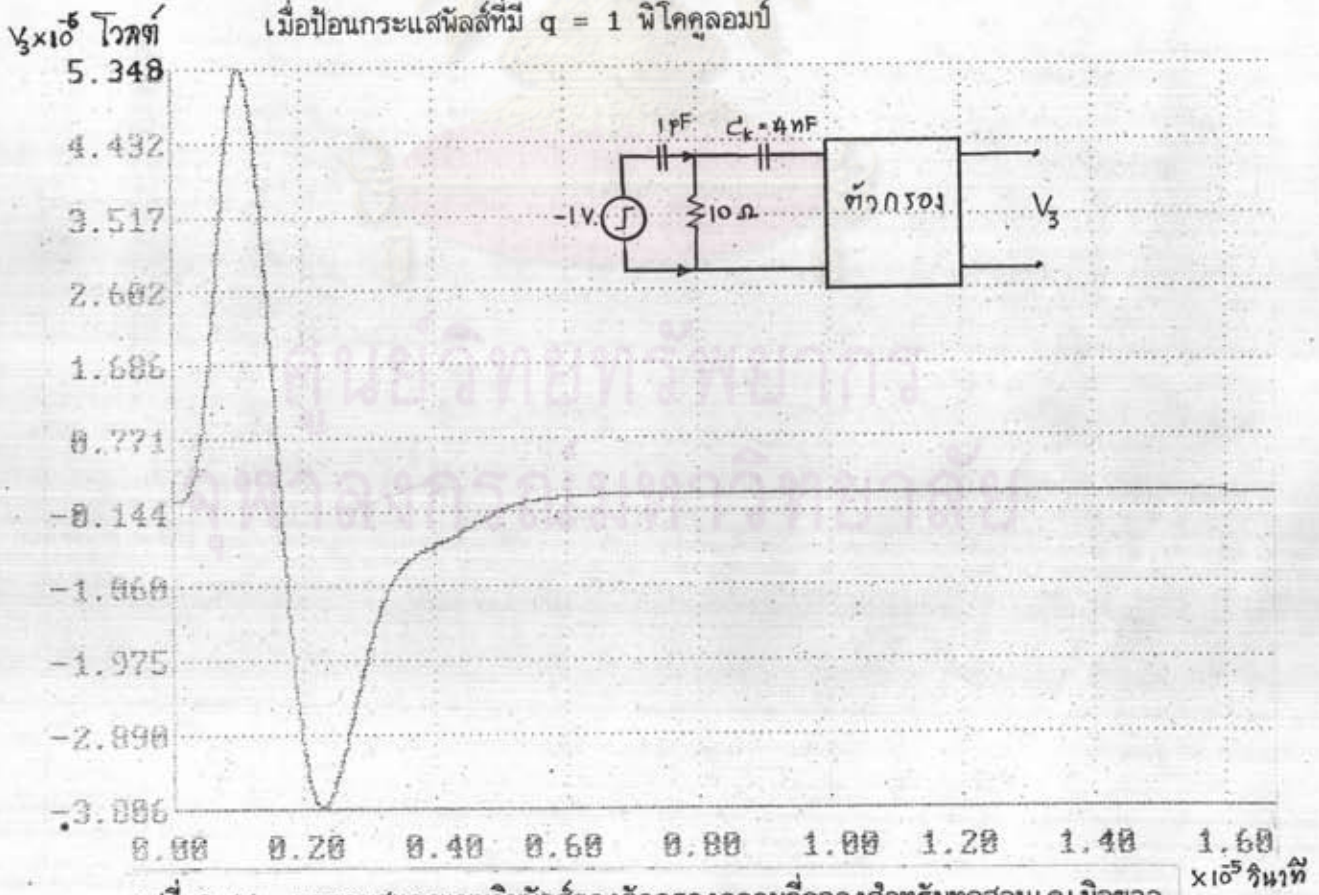
รูปที่ 3.9 ตัวกรองความถี่กลางและการตอบสนองความถี่ของวงจรรับสัญญาณ PD สำหรับทดสอบเคเบิลใยแก้ว

เมื่อทำการวิเคราะห์ผลตอบสนองแบบอิมพัลส์ของตัวกรองที่ออกแบบนี้ด้วยคอมพิวเตอร์ [26] โดยการป้อนกระแสพัลส์สั้นๆ (ช่วงเวลา < 0.1 ไมโครวินาที) ที่มีขนาดประจุ  $q = 1$  พิโคคูลอมบ์ที่อินพุต จะให้เอาต์พุต  $V_o = 126.5$  ไมโครโวลต์ ดังรูปที่ 3.10 เนื่องจากอัตราขยายของตัวกรองเท่ากับ 2.59 เท่า ดังนั้นจะได้  $\xi_p = 48.89$  ไมโครโวลต์ต่อพิโคคูลอมบ์ การปรับ S/N จะใช้วิธีเดียวกับข้อ 3.2.1.1 โดยจะใช้หม้อแปลงแบบแถบกว้างที่มีอัตราส่วน 1:9 ซึ่งมีประสิทธิภาพในการแปลงแรงดันขึ้นประมาณ 7.84 ดังนั้น  $\xi_s = 48.89 \times 7.84 = 383$  ไมโครโวลต์ต่อพิโคคูลอมบ์ จากการคำนวณ  $V_{n(rms)} = 6.55$  ไมโครโวลต์ จะได้ความไวที่  $C_k = C_v = 1$  นาโนฟารัด คือ  $Q_{min} = 5[(1+1)/(383)(1)](6.55) = 0.17$  พิโคคูลอมบ์



รูปที่ 3.10 ผลตอบสนองแบบอิมพัลส์ของตัวกรองความถี่กลางสำหรับทดสอบเคเบิลยาว

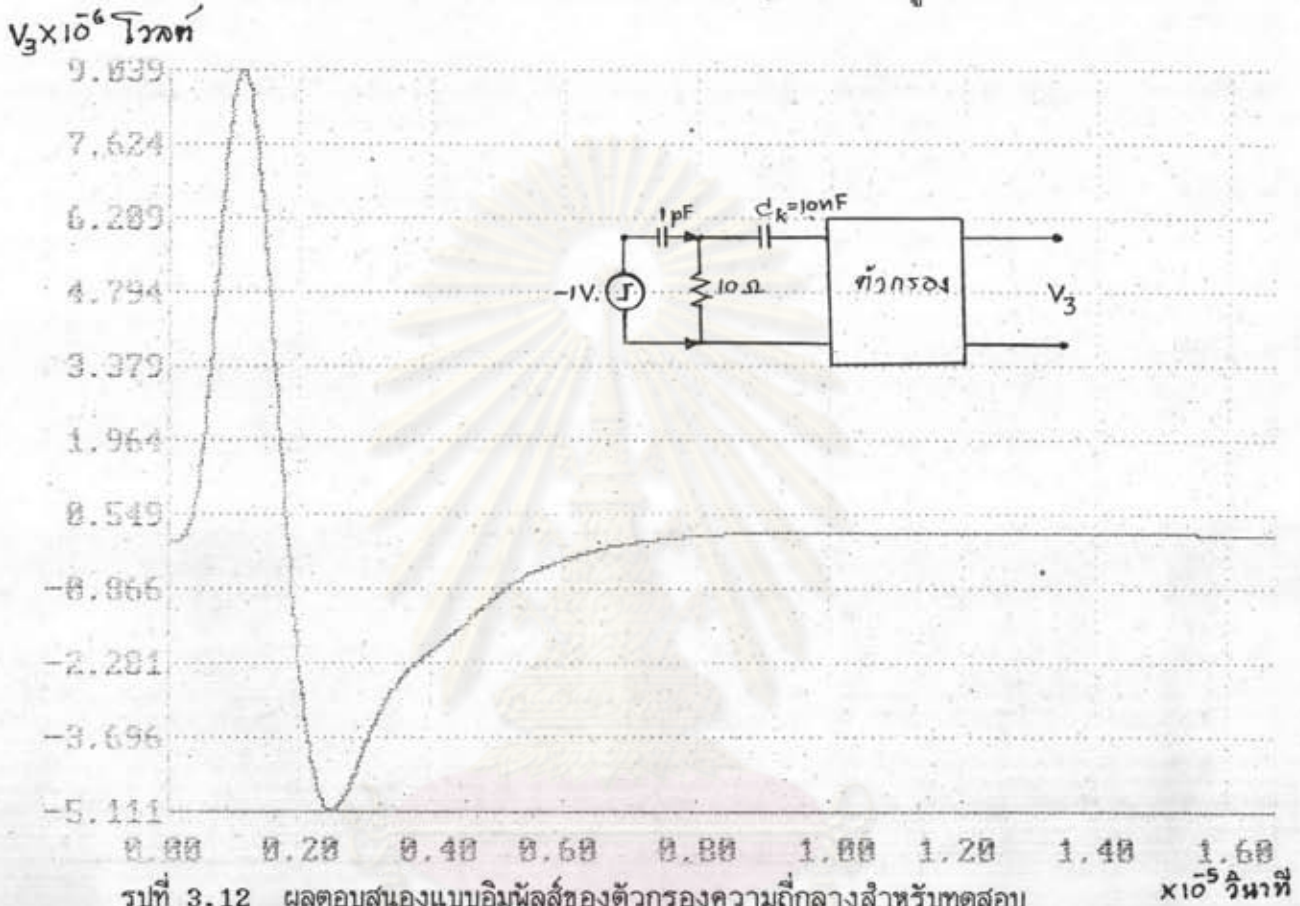
เมื่อป้อนกระแสพัลส์ที่มี  $q = 1$  พิโคคูลอมป์



รูปที่ 3.11 ผลตอบสนองแบบอิมพัลส์ของตัวกรองความถี่กลางสำหรับทดสอบเคเบิลยาว

เมื่อใช้  $R = 10$  โอห์ม,  $C_k = 4$  นาโนฟารัด และ  $q = 1$  พิโคคูลอมป์

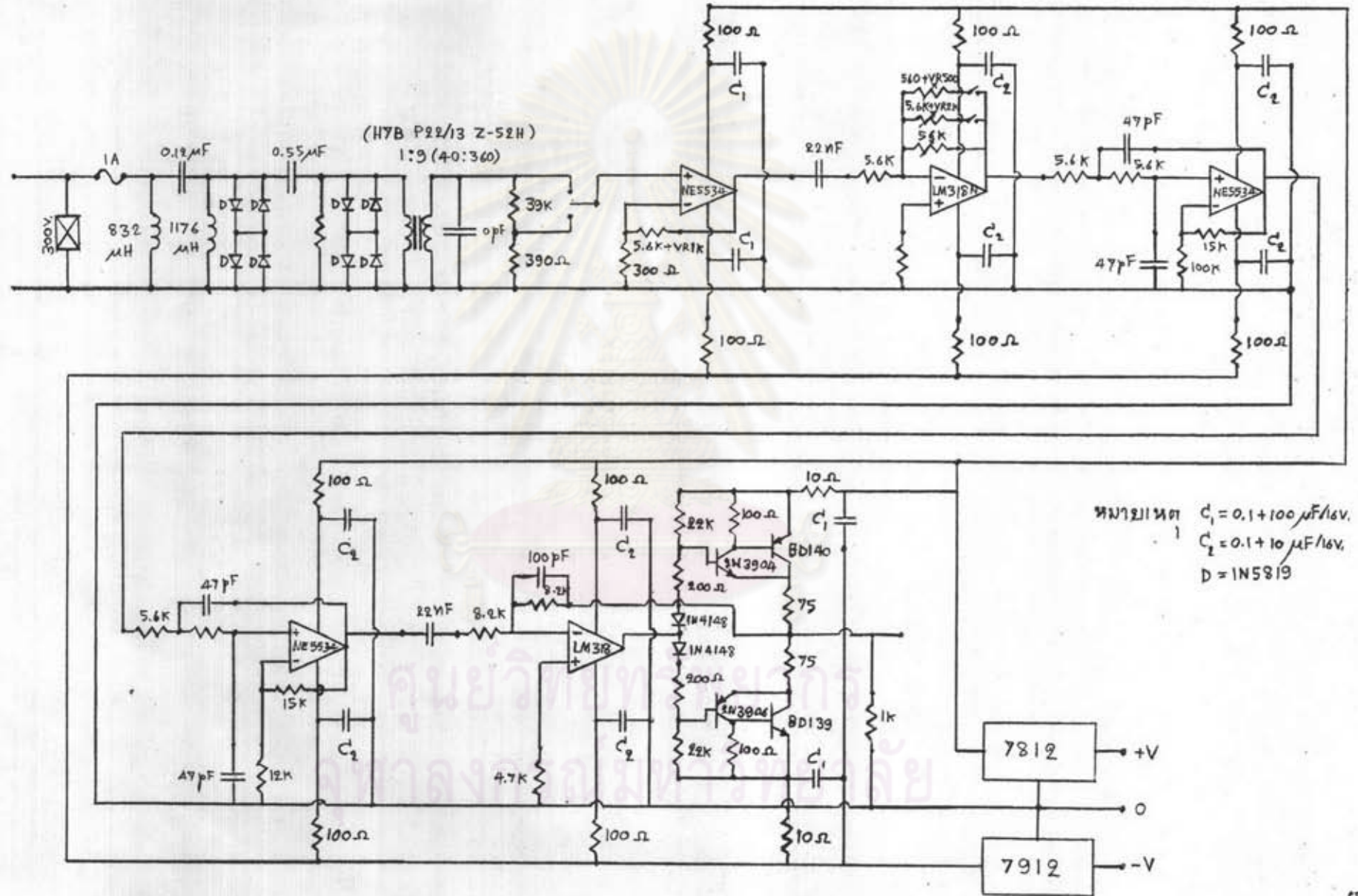
การคำนวณความไวสำหรับเคเบิลทำได้ โดยการใช้ตัวความต้านทาน(ที่มีค่าเท่ากับ  
 คาแรคเตอร์ริสติกของเคเบิล) ต่ออนุกรมกับ  $C_k$  คร่อมที่อินพุตของตัวกรองความถี่กลางที่  
 ออกแบบดังรูปที่ 3.11 และรูปที่ 3.12 โดยใช้  $R = Z_o = 10$  โอห์ม  $C_k = 4$  และ  $10$   
 นาโนฟารัด ตามลำดับแล้วจึงทำการบ่อนกระแสพัลส์ที่มี  $q = 1$  พิโคคูลอมป์คร่อมตัวต้านทาน  $R$



เคเบิลยาวเมื่อใช้  $R = 10$  โอห์ม,  $C_k = 10$  นาโนฟารัด และ  $q = 1$  พิโคคูลอมป์

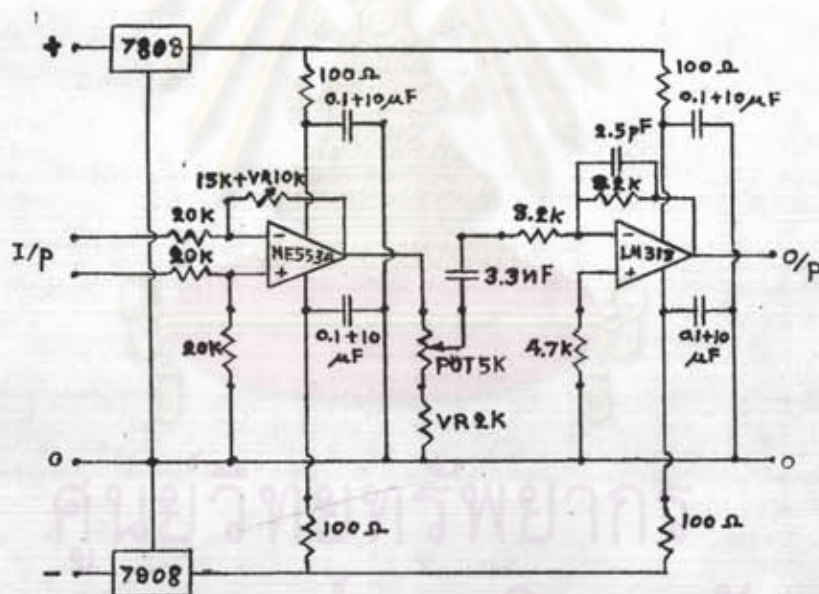
เนื่องจาก  $f(C_k, Z_o) Z_o / (Z_o + Z) = [V_3(\text{เคเบิล}) / V_3(\text{ปกติ})]$  ดังนั้นที่  
 $R = 10$  โอห์ม  $C_k = 4$  นาโนฟารัด จะได้  $f(C_k, Z_o) Z_o / (Z_o + Z) = 5.348 / 126.5$   
 $= 4.228 \times 10^{-2}$  และที่  $C_k = 10$  นาโนฟารัด จะได้  $f(C_k, Z_o) Z_o / (Z_o + Z) =$   
 $7.145 \times 10^{-2}$  จากสมการ (2.29) ที่  $C_k = 4$  นาโนฟารัด และ  $x = 0$  เมตรจะได้  
 $q_{min} = 5(6.55) / [(4.228 \times 10^{-2})(383)] = 2.0$  พิโคคูลอมป์ และที่  $C_k = 10$   
 นาโนฟารัด จะได้  $q_{min} = 5(6.55) / [(7.145 \times 10^{-2})(383)] = 1.2$  พิโคคูลอมป์  
 วงจรรับสัญญาณ PD สำหรับเคเบิลยาวสมบูรณ์แสดงในรูปที่ 3.13 วงจรที่ออกแบบในกรณีนี้  
 สามารถทดสอบได้ทั้งเคเบิลยาวและวัสดุทดสอบทั่วๆ ไป แต่การกำจัดสัญญาณรบกวนจะ  
 ทำได้น้อยกว่าวงจรรับสัญญาณ PD ในข้อ 3.2.1.1

รูปที่ 3.13 วงจรรับสัญญาณ PD สำหรับโมดูลเลเซอร์



### 3.2.2 วงจรขยายสัญญาณเตี๊สซาร์บางส่วน

วงจรรขยายสัญญาณ PD ประกอบด้วยวงจรรขยายผลต่างต่อลำดับกับวงจรรขยายแบบกลับเฟส แสดงดังรูปที่ 3.14 วงจรรขยายผลต่างซึ่งมีอัตราขยายเท่ากับ 1 ทำหน้าที่ลดสัญญาณแบบ "คอมมอน โมด" ที่เกิดจากราวด์ลูปและทำหน้าที่เป็นบัฟเฟอร์ให้ตัวลดทอนแรงดัน เพื่อใช้ในการปรับอัตราขยายให้ได้เอาต์พุตที่วงจรรขยายแบบกลับเฟสตามต้องการแบนด์วิธของวงจรรขยายจะอยู่ในช่วงความถี่  $f_1/3$  ถึง  $3f_2$  คือ ประมาณ 3.3 ถึง 600 กิโลเฮิรตซ์ เนื่องจากเอาต์พุตของวงจรรรับสัญญาณ PD มี  $V_o = 0.4$  โวลต์ต่อฟิโคคูลอมป์ ดังนั้นถ้าต้องการเอาต์พุตสูงสุดประมาณ 4 โวลต์ จึงต้องออกแบบวงจรรขยายแบบกลับเฟสที่มีอัตราขยายประมาณ 10 เท่า ในขณะที่เดียวกันเพื่อให้การปรับอัตราขยายละเอียดเพียงพอจึงควรออกแบบตัวลดทอนแรงดัน ซึ่งเป็น โฟเทนซิออมิเตอร์ให้ม้อตราลดทอนตั้งแต่ 0.05 ถึง 1 เท่า



รูปที่ 3.14 วงจรรขยายสัญญาณเตี๊สซาร์บางส่วน

### 3.2.3 วงจรกำจัดสัญญาณรบกวนแบบทรานเซียนต์

วงจรรนี้ใช้ในการกำจัดสัญญาณรบกวนแบบทรานเซียนต์ที่ซึ่ง โครโนซ์กับความถี่ของแหล่งจ่ายเช่น สัญญาณรบกวนแบบทรานเซียนต์เนื่องจากการทำงานของทรอริสเตอร์ เป็นต้น โดยใช้วิธี "หน้าต่างเวลา" ซึ่งจะใช้สวิตช์แบบอิเล็กทรอนิกส์ทำการเปิดวงจรรตรงตำแหน่งที่มีสัญญาณรบกวน งานวิจัยนี้ได้ออกแบบวงจรร "หน้าต่างเวลา" เพื่อกำจัดสัญญาณ

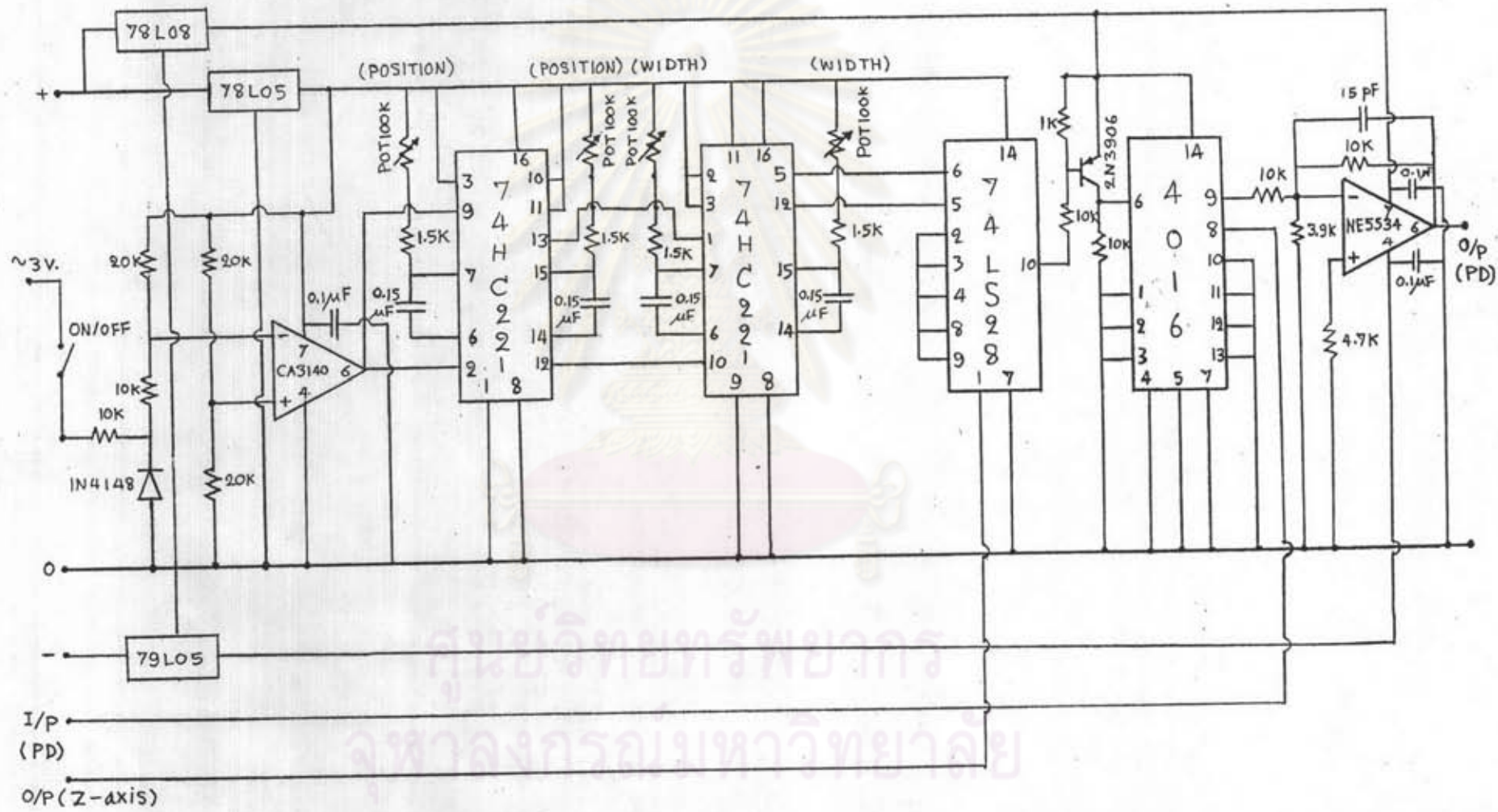
รบกวนทั้งครึ่งบวกและครึ่งลบของคาบเวลาแหล่งจ่าย ในรูปที่ 3.15 แสดงไดอะแกรมอย่างง่ายของวงจร "หน้าต่างเวลา" โดยรับสัญญาณไซน์ประมาณ 3 โวลต์จากแหล่งจ่าย เพื่อเปลี่ยนเป็นสัญญาณนาฬิกาที่มีความถี่ 50 เฮิร์ตซ์ จากนั้นจึงนำสัญญาณนาฬิกาไปใช้ควบคุมวงจรโมโนสเตเบิลซึ่งเป็น IC เบอร์ 74HC221 ในการหน่วงเวลาให้เหมาะสมทั้ง 2 ชุด คือ ทั้งครึ่งบวก และครึ่งลบของคาบเวลา แล้วทำการ "OR" สัญญาณควบคุมหน้าต่างเวลาทั้ง 2 ชุด เพื่อนำไปควบคุมการเปิดปิดวงจรของสวิตช์แบบอิเล็กทรอนิกส์ และใช้ในการทำเครื่องหมาย "หน้าต่างเวลา" ด้วยการปรับความสว่างบนจอภาพของออสซิลโลสโคป ให้แสงจ้ากว่าปกติโดยการควบคุมที่แกน Z



รูปที่ 3.15 ไดอะแกรมอย่างง่ายของวงจรหน้าต่างเวลา

ในงานวิจัยนี้ได้ออกแบบวงจรหน้าต่างเวลาให้สามารถปรับตำแหน่งและความกว้างได้อย่างน้อย  $3^\circ$  ถึง  $190^\circ$  ของคาบเวลาแหล่งจ่าย จากข้อมูล IC เบอร์ 74HC221 ความกว้างของเวลา  $T_w = 0.7 RC$  เนื่องจากคาบเวลาแหล่งจ่าย 50 เฮิร์ตซ์เท่ากับ 0.02 วินาทีหรือ  $360^\circ$  ถ้าเลือก  $C = 0.15$  ไมโครฟารัด ดังนั้นที่  $3^\circ$  จะได้  $R_{min} = 1.5$  กิโลโห์ม และที่  $190^\circ$  จะได้  $R_{max} = 100$  กิโลโห์ม จึงเลือกความต้านทาน  $R = 1.5$  กิโลโห์ม ต่ออนุกรมกับโพเทนชิโอมิเตอร์ 100 กิโลโห์ม (สเกลแบบเชิงเส้น) สวิตช์อิเล็กทรอนิกส์ในการเปิดปิดวงจรจะใช้ IC เบอร์ CD4016 วงจรกำจัดสัญญาณรบกวนแบบทรานเซียนต์ที่ออกแบบสมบูรณ์แสดงในรูปที่ 3.16

รูปที่ 3.16 วงจรกำลังสัญญาณการควบคุมการเคลื่อนที่



ศูนย์วิจัยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

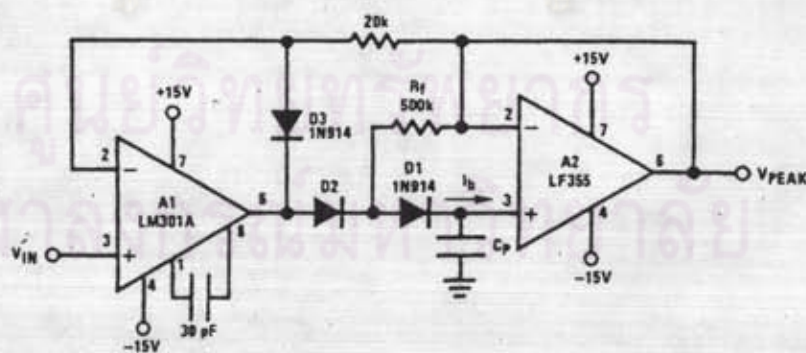


### 3.2.4 วงจรแสดงผลทางมิเตอร์

จากสมการ (2.11) จะพบว่า เอาต์พุตของเครื่องตรวจจับ PD หรือ  $V_D(t)$  แปรผันตรงกับ "ประจุที่ปรากฏของ PD หรือ  $q$ " นั่นก็หมายความว่าค่ายอดของ  $V_D(t)$  ที่เอาต์พุตจะแปรผันตรงกับ  $q$  นั้นเอง ดังนั้นจึงต้องใช้มิเตอร์สำหรับอ่านค่ายอดของ สัญญาณเอาต์พุต (Peak meter) ซึ่งจะประกอบด้วยวงจรตรวจจับค่ายอดและฟิโคคูมบ์ มิเตอร์ (โวลต์มิเตอร์)

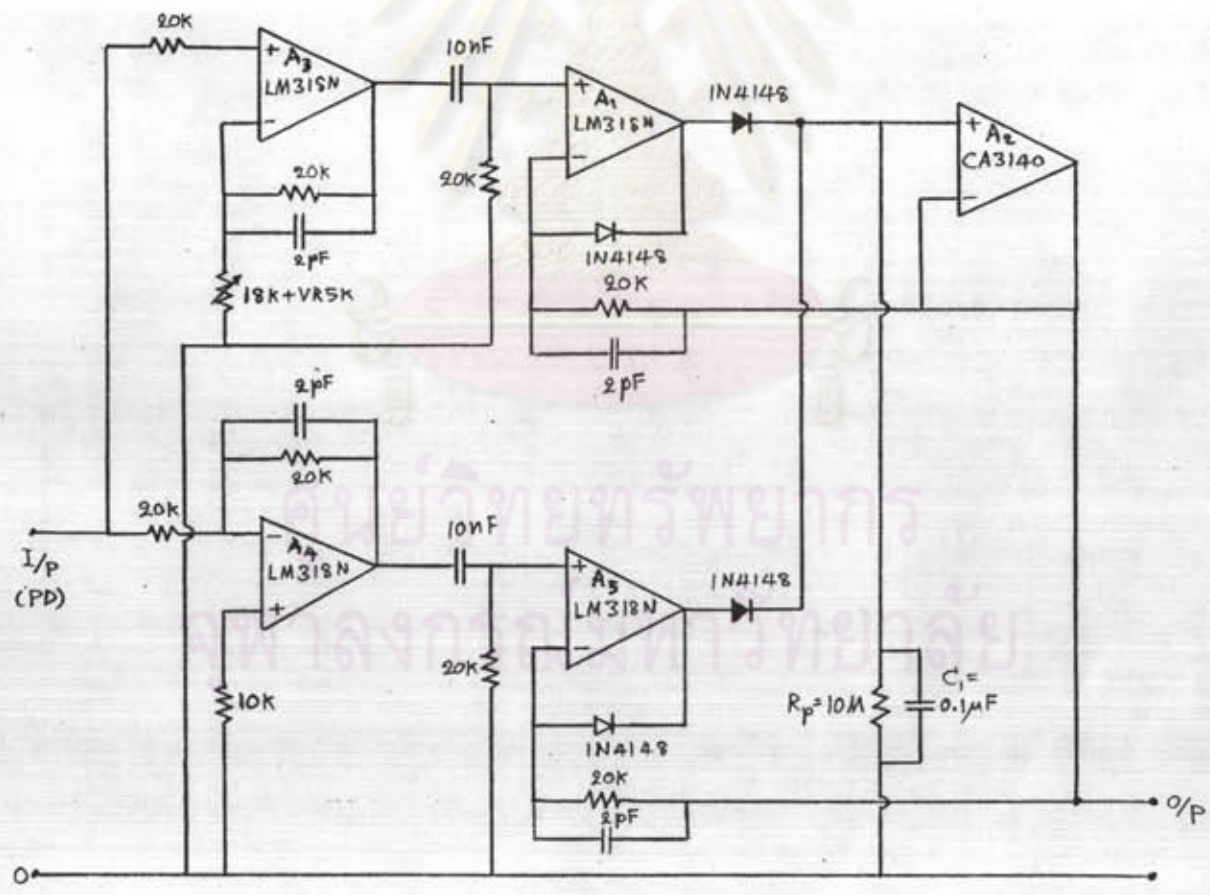
#### 3.2.4.1 วงจรตรวจจับค่ายอด

วงจรพื้นฐานวงจรตรวจจับค่ายอดแสดงดังรูปที่ 3.17 [30] ซึ่งสามารถเลือก ในการตรวจจับค่ายอดอาจเป็นแบบบวกหรือลบก็ได้เพียงอย่างเดียวหนึ่ง โดยการกลับ ทิศทางไดโอด  $D_1$  และ  $D_2$  ให้เหมาะสม การทำงานของวงจรแบบนี้จะเร็วมาก เนื่องจาก ก่อนการตรวจจับค่ายอดแรงดันคร่อม  $C_1$  ประมาณศูนย์หรือคงที่ ทำให้แรงดันเอาต์พุต  $e$  คงที่ด้วย แต่เมื่อมีสัญญาณมากกว่า  $e$  เข้ามาที่อินพุตของวงจร แรงดันคร่อม  $C_1$  เปลี่ยนแปลงทันทีทันใดไม่ได้ ผลคือ ออปแอมป์  $A_1$  จะชาร์จประจุ  $C_1$  ด้วยอัตราขยาย แบบลูปเปิดในระยะเริ่มต้น



รูปที่ 3.17 วงจรพื้นฐานสำหรับตรวจจับค่ายอด

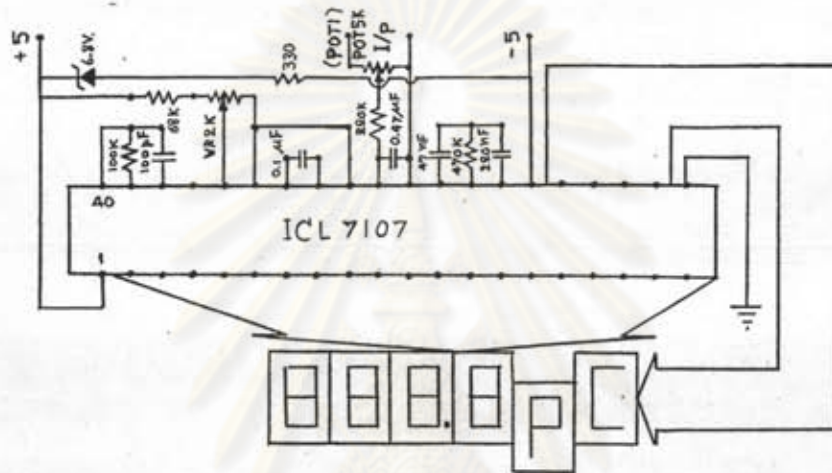
เนื่องจากสัญญาณ PD มีช่วงทั้งบวกและลบ ดังนั้นจึงต้องมีการตัดแปลงแก้ไข วงจรพื้นฐานเสียใหม่ โดยการเพิ่มออปแอมป์  $A_3$ ,  $A_4$  และ  $A_5$  ตามลำดับ ซึ่งออปแอมป์  $A_4$  จะใช้ในการเลื่อนเฟสสัญญาณไป  $180^\circ$  เพื่อตรวจจับค่ายอดแบบลบของ PD โดยการผ่านสัญญาณ PD ไปที่ออปแอมป์  $A_5$  อย่างไรก็ตามวงจรที่ออกแบบยังคงมีปัญหาเรื่องการเลื่อนเฟสจึงต้องเพิ่มออปแอมป์  $A_3$  เพิ่มเข้าไปเพื่อลดผลของการเลื่อนเฟส รายละเอียดแสดงดังรูปที่ 3.18 โดยปกติจะกำหนดให้ค่าคงตัวเวลาของวงจรตรวจจับค่ายอด  $T = 1.0$  วินาที [16] ดังนั้นถ้ากำหนดให้  $C_1 = 0.1$  ไมโครฟารัด จะได้  $R_p = 10$  เมกะโห์ม ข้อดีของวงจรที่ออกแบบนี้คือสามารถทำงานได้ที่ความถี่สูงกว่าวงจรตรวจจับค่ายอดที่ใช้วงจรเรียงกระแสแบบอิเล็กทรอนิกส์ทั่วไป [28]



รูปที่ 3.18 วงจรตรวจจับค่ายอดของ PD

### 3.2.4.2 วงจรพีโคคูลอมป์มิเตอร์

วงจรพีโคคูลอมป์มิเตอร์ ใช้ในการอ่านค่าแรงดัน DC จากวงจรตรวจจับค่ายอด เพื่อนำไปแสดงผลแบบตัวเลขหรือดิจิตอลโวลต์มิเตอร์ (DVM) โดยใช้ IC สำเร็จรูปเบอร์ ICL 7107 โดยมีโพเทนชิออมิเตอร์ POT1 สำหรับปรับค่า "Correction factor" ให้เป็นตัวเลขที่เหมาะสมสำหรับการอ่านค่า PD ได้โดยตรง รายละเอียดของวงจรแสดงดังรูปที่ 3.19



รูปที่ 3.19 วงจรพีโคคูลอมป์มิเตอร์

### 3.2.5 วงจรแสดงผลทางเครื่องบันทึก

วงจรแสดงผลทางเครื่องบันทึก จะใช้ในการเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างขนาดของ PD หรือ "ประจุที่ปรากฏ" ของ PD โดยใช้สเกลแบบลอการิทึมกับแรงดันที่ป้อนเข้าวงจรทดสอบซึ่งใช้สเกลแบบเชิงเส้น การทำงานของวงจรส่วนนี้จะรับสัญญาณอินพุตจากเอาต์พุตของวงจรตรวจจับค่ายอดผ่านวงจรลอการิทึมแอมพลิไฟเออร์ เพื่อเปลี่ยนขนาดของ PD จากสเกลแบบเชิงเส้นเป็นสเกลแบบลอการิทึม และต่อวงจรเข้ากับแกน Y ของเครื่องบันทึก ในขณะที่เดียวกันแกน X ของเครื่องบันทึกจะรับสัญญาณ DC จากวงจรถ่ายค่าโวลต์มิเตอร์ ซึ่งแกน X นี้จะแสดงค่าแรงดันที่ป้อนเข้าวงจรทดสอบโดยอ่านเป็นค่า "rms" วงจรลอการิทึมแอมพลิไฟเออร์แสดงดังรูปที่ 3.20 [29] ซึ่งแรงดันเอาต์พุตสามารถคำนวณได้ดังนี้

$$V_{o2} = V_T [(R_7 + R_8) / R_7] \ln [(V_1 / R_1) / (R_8 / V_T)] \quad (3.1)$$

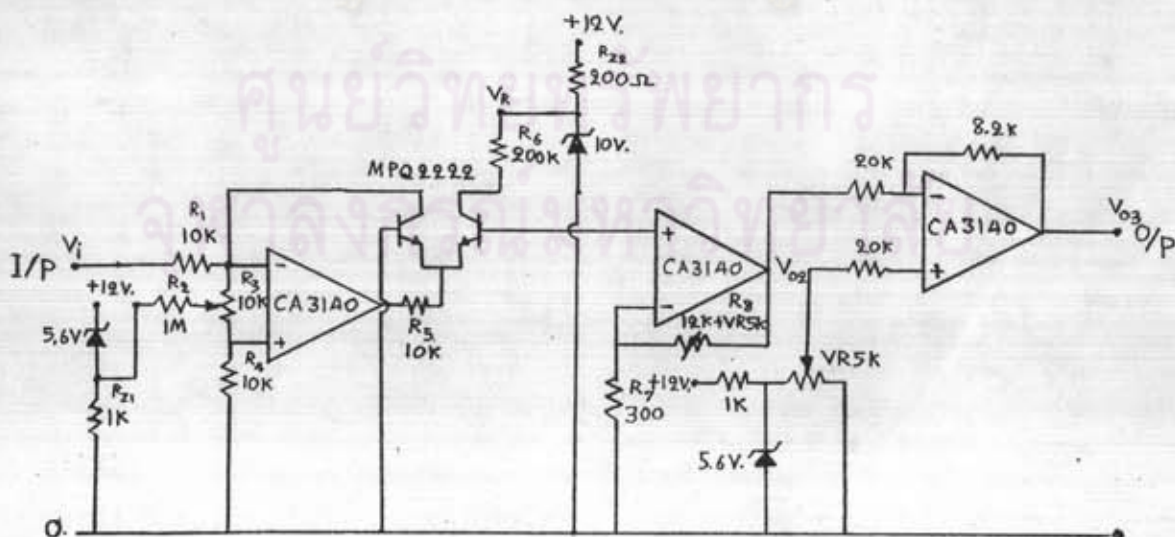
$$\text{ดังนั้น } dV_{o2} / d(\ln V_1) = -V_T [(R_7 + R_8) / R_7] \quad (3.2)$$

โดยที่  $V_T = T/11600$  (3.3)  
 เมื่อ  $T$  คือ อุณหภูมิสัมบูรณ์ (°K)

ถ้าต้องการเอาต์พุตที่  $IC_2$  คือ  $V_{o2} = 5$  โวลต์ เมื่อแรงดันอินพุต  $V_1 = 20$  มิลลิโวลต์ ถึง 2 โวลต์ ดังนั้นเลือก  $R_7 = 300$  โอห์ม,  $R_8 = 12$  กิโลโอห์ม และ ความต้านทานแบบปรับค่าได้ VR5K เนื่องจากแหล่งจ่ายมีแรงดัน  $\pm 12$  โวลต์ ทำให้เอาต์พุตกว้างได้ประมาณ  $\pm 10$  โวลต์ ซึ่งมีค่ามากเกินไป จึงต้องลดแรงดันให้เหลือไม่เกิน  $\pm 5$  โวลต์ โดยใช้  $IC_3$  ซึ่งมีอัตราขยาย  $A = 0.41$  ในขณะเดียวกันจะใช้  $IC_3$  ในการยกระดับแรงดันไปที่แรงดันที่เหมาะสมคือ ให้เอาต์พุต  $V_{o3} = 0$  โวลต์ที่  $V_1 = 20$  มิลลิโวลต์ และ  $V_{o3}$  จะเพิ่มครั้งละ 1 โวลต์ ทุกๆ ครั้งที่  $V_1$  เพิ่มขึ้น 10 เท่าคือ

$$V_{o3} = \log(V_1/20 \times 10^{-3}) \quad (3.4)$$

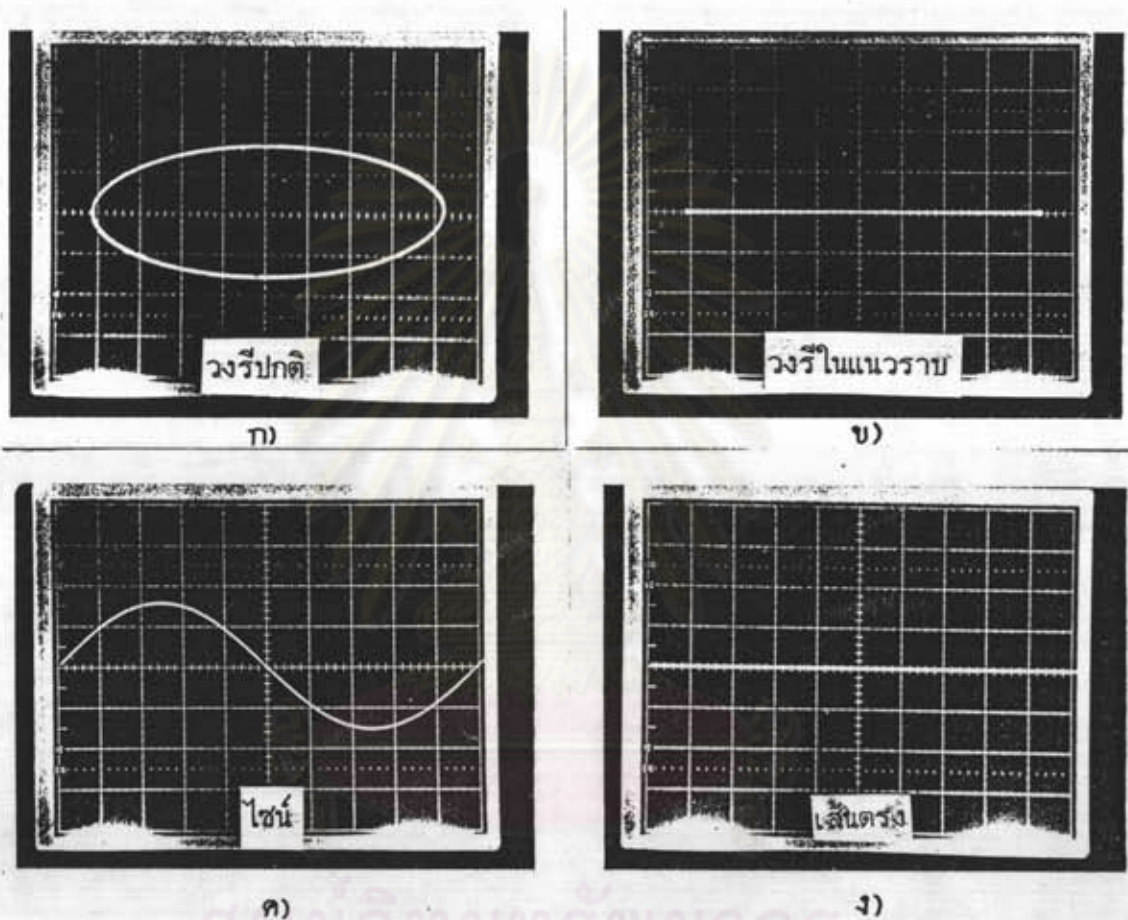
เมื่อ  $V_{o3}$  คือ แรงดันเอาต์พุตที่จะต่อเข้ากับอินพุตของเครื่องบันทึก  
 $V_1$  คือ แรงดันอินพุตซึ่งมีขนาดเท่ากับค่ายอดของ PD ที่ปรากฏทาง แกน Y บนจอภาพของออสซิลโลสโคป (1 โวลต์ต่อช่อง)



รูปที่ 3.20 วงจรลอการิทึมแอมพลิไฟเออร์

### 3.2.6 วงจรแสดงผลทางจอภาพ

วงจรแสดงผลทางจอภาพ ใช้สำหรับการแสดงผลของ PD ทางจอภาพของ ออสซิลโลสโคป ในงานวิจัยนี้ได้ออกแบบและสร้างวงจรแสดงผลให้ได้ทั้งบนฐานเวลา แบบวงรีและไซน์ รวม 4 แบบ แสดงดังรูปที่ 3.21



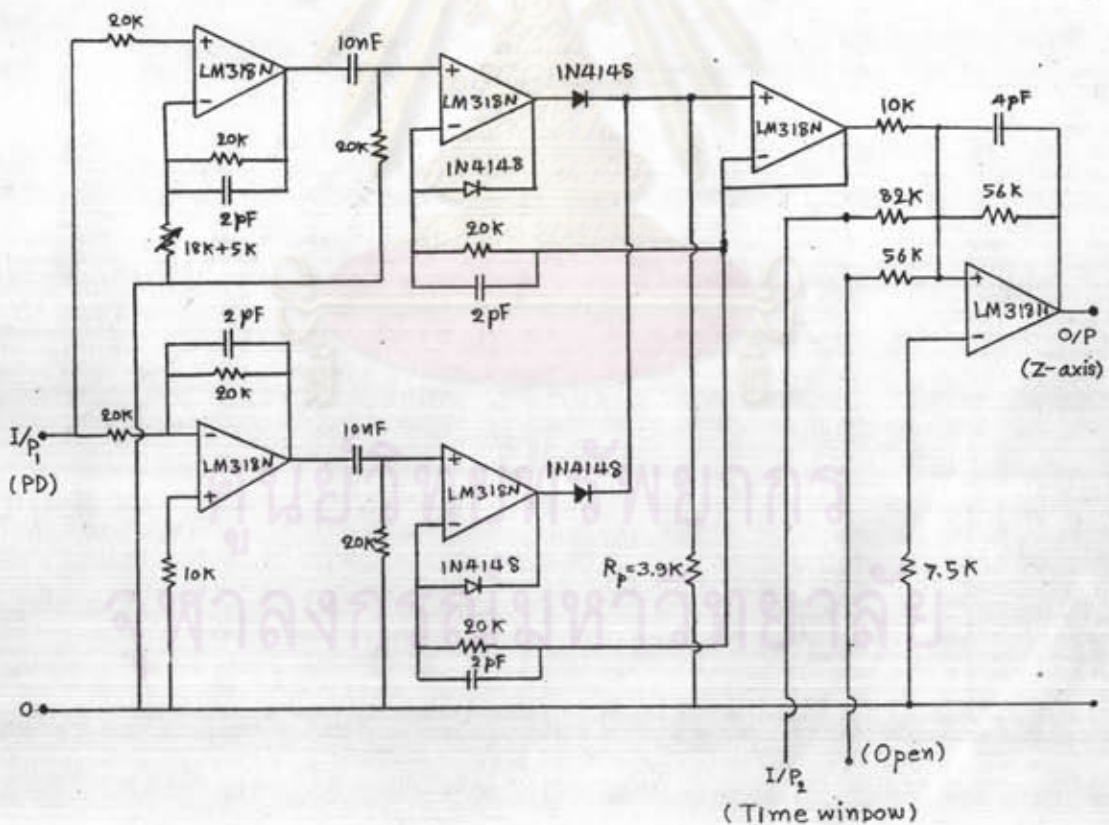
รูปที่ 3.21 การแสดงผลแบบต่างๆ

แต่อย่างไรก็ตามเนื่องจากช่วงเวลาที่เกิด PD จะทำให้เกิดพัลส์ในเวลาสั้นๆ ทำให้การมองเห็นพัลส์ของ PD จากจอภาพของออสซิลโลสโคปไม่ชัดเจน จึงต้องมีการปรับความเข้มของแสง โดยการควบคุมระดับแรงดันเข้าที่อินพุตแกน Z ของออสซิลโลสโคป การทำเครื่องหมายตำแหน่ง "หน้าตาเวลา" ก็ใช้แรงดันจากวงจรกำจัดสัญญาณรบกวนแบบทรานเซียนต์ควบคุมที่แกน Z เช่นเดียวกัน

นอกจากนี้วงจรแสดงผลยังทำหน้าที่รับสัญญาณแสดงตำแหน่งแรงดันศูนย์ จากวงจร กิโลโวลต์มิเตอร์ เพื่อใช้ในการบอกแรงดันศูนย์ของแหล่งจ่ายที่ป้อนเข้าวงจรทดสอบ ดังนั้นวงจรแสดงผลทางจอภาพจะประกอบด้วยวงจรสำคัญ 2 วงจรคือ

### 3.2.6.1 วงจรปรับความเข้มของแสงอัตโนมัติ

เพื่อให้การมองเห็นพัลส์ของ PD มีลักษณะปกติ จึงควรมีการปรับความเข้มของแสงแบบอัตโนมัติ โดยทำการผ่านสัญญาณเอาต์พุต  $V_o(t)$  ของ PD ผ่านวงจรเรียงกระแสความเร็วสูง ซึ่งมีลักษณะการทำงานของวงจรแบบเดียวกับวงจรตรวจจับค่ายอดที่กล่าวมาในข้อ 4.4.1) แต่วงจรนี้จะไม่มีการใช้  $C_1$  และลดค่าความต้านทาน  $R_p = 3.9$  กิโลโอห์ม เพื่อลดผลกระทบเนื่องจากตัวเก็บประจุภายในไดโอด สัญญาณ PD ที่ผ่านการเรียงกระแสแล้วจะนำไปรวมเข้ากับสัญญาณแสดงตำแหน่ง "หน้าต่างเวลา" ก่อนนำสัญญาณที่ได้ไปควบคุมแกน Z ของออสซิลโลสโคปต่อไป รายละเอียดของวงจรแสดงดังรูปที่ 3.22



รูปที่ 3.22 วงจรปรับความเข้มของแสงอัตโนมัติ

### 3.2.6.2 วงจรแสดงผลบนฐานเวลาแบบวงรีและไซน์

การแสดงผลของ PD บนฐานเวลาแบบวงรีและไซน์แสดงดังรูปที่ 3.22 ประกอบด้วยวงจรถ่ายเฟส เพื่อใช้ในการเปลี่ยนตำแหน่งของ PD ไปยังตำแหน่งที่ต้องการ วงจรกรองใช้ในการกรองฮาร์มอนิกความถี่สูงออกจากแรงดัน 50 เฮิรตซ์ วงจรเลื่อนเฟสทางแกน X ของออสซิลโลสโคป และวงจรขยายผลต่างอีก 2 ชุด เพื่อป้อนสัญญาณ PD และสัญญาณแสดงตำแหน่งแรงดันศูนย์เข้าแกน Y ของออสซิลโลสโคป

การสร้างวงรีทำได้โดยการสร้างแรงดันดังนี้

$$X = a\sin(\omega t - 90^\circ) \quad (3.5)$$

หรือ  $X = -a\cos\omega t \quad (3.6)$

$$Y = b\sin\omega t \quad (3.7)$$

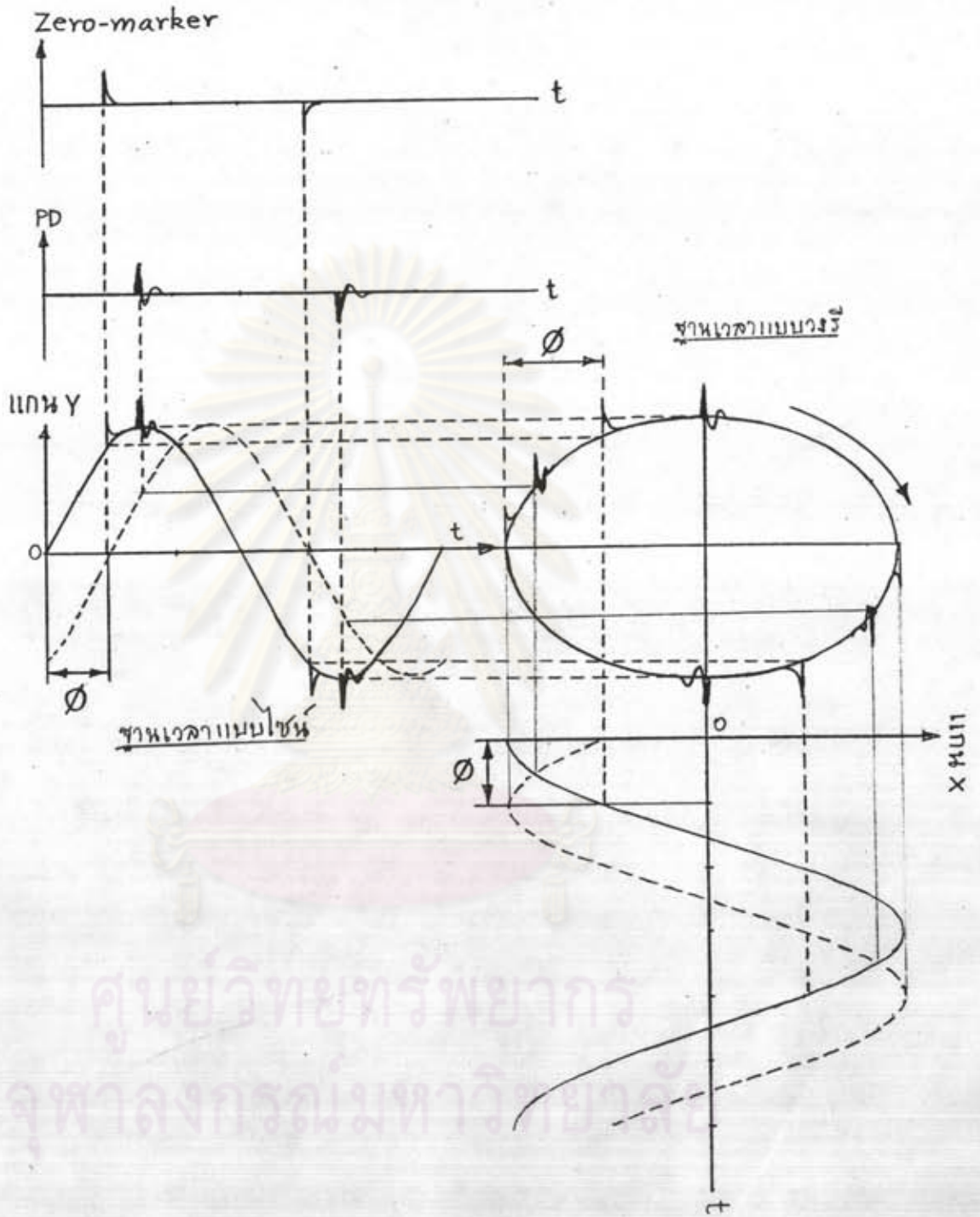
จากสมการ (3.6) และ (3.7) จะได้

$$X^2/a^2 + Y^2/b^2 = \cos^2\omega t + \sin^2\omega t = 1 \quad (3.8)$$

สมการที่ (3.8) คือสมการวงรีนั่นเอง โดยลักษณะวงรีที่ได้จะเป็นวงรีในแนวระดับ ดังนั้นวงรีที่สร้างโดยวิธีนี้จะดีกว่าวงรีที่สร้างโดยวิธีทั่วไป ซึ่งเป็นวงรีที่มีลักษณะเอียงจากแนวระดับ และข้อดีอีกประการหนึ่งของวงรีแบบที่สร้างนี้ จะสามารถปรับมุมเฟสหรือหมุนวงรีได้อย่างต่อเนื่องจาก  $0^\circ$  ถึง  $360^\circ$  ในขณะที่วงรีแบบทั่วไปปกติแล้วจะทำการปรับมุมเฟสครั้งละ  $30^\circ$  นอกจากนี้ในกรณีที่ต้องการแสดงผล PD บนฐานเวลาแบบไซน์ทำได้โดยการเปลี่ยนสัญญาณแกน X เป็นสัญญาณกวาดภายในออสซิลโลสโคปแทน จากหลักการดังกล่าวทำให้เราสามารถแสดงผลได้บนฐานเวลาทั้ง 4 แบบ คือ วงรีปกติ วงรีในแนวราบ ไซน์ และเส้นตรง ตามลำดับแสดงดังรูปที่ 2.23 ส่วนวงจรที่ออกแบบสมบูรณ์แสดงดังรูปที่ 3.24

### 3.2.7 วงจรกิโลโวลต์มิเตอร์

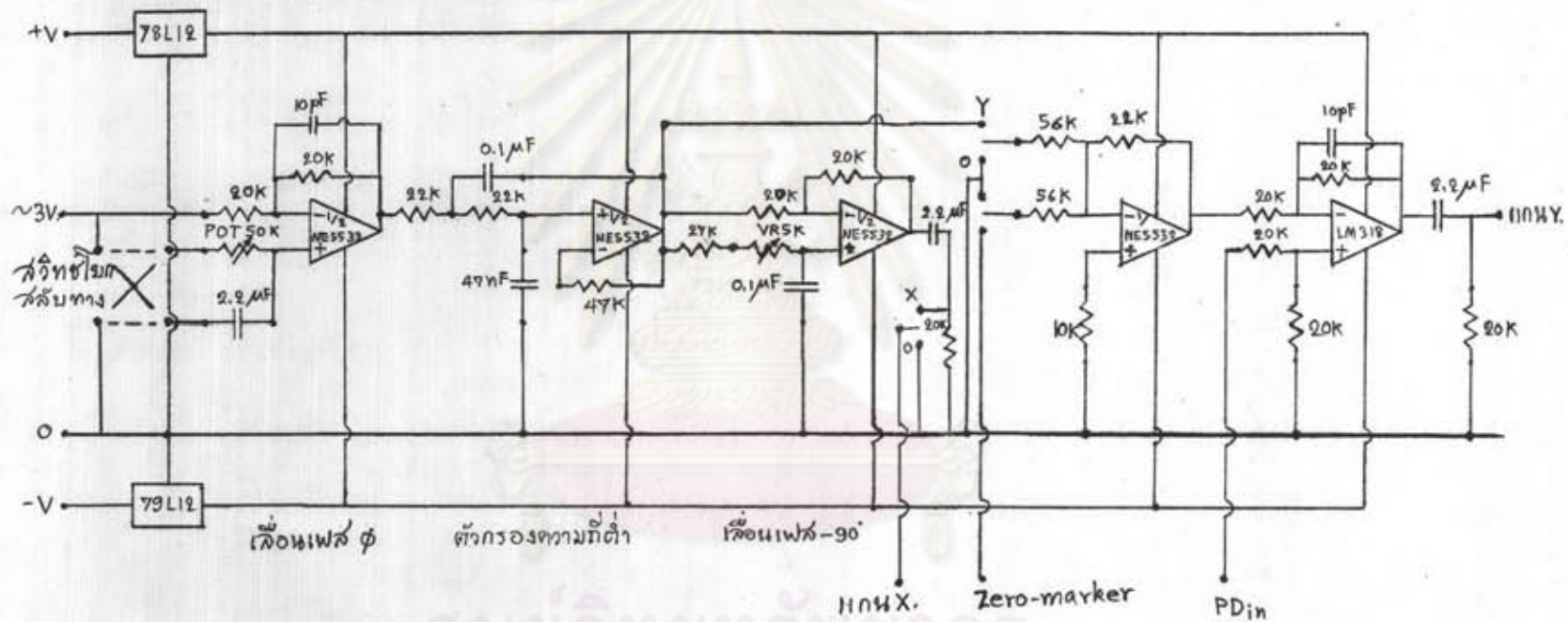
วงจรกิโลโวลต์มิเตอร์ ใช้สำหรับวัดค่าแรงดัน "rms" ที่ป้อนเข้าวงจรทดสอบ การอ่านค่าแรงดันจะแสดงผลแบบตัวเลข โดยใช้ดิจิตอลโวลต์มิเตอร์ และทางแกน Y ของเครื่องบันทึก หน้าที่สำคัญอีกประการหนึ่งของวงรีก็คือการบอกตำแหน่งแรงดันศูนย์ของแหล่งจ่ายที่ป้อนเข้าวงจรทดสอบเรียกว่า "Zero-marker" ดังนั้นการออกแบบวงจรกิโลโวลต์ จะประกอบด้วยวงจรถ่ายเฟส



รูปที่ 3.23 หลักการแสดงผลตัวชี้สารจางส่วนบนฐานเวลาแบบต่างๆ



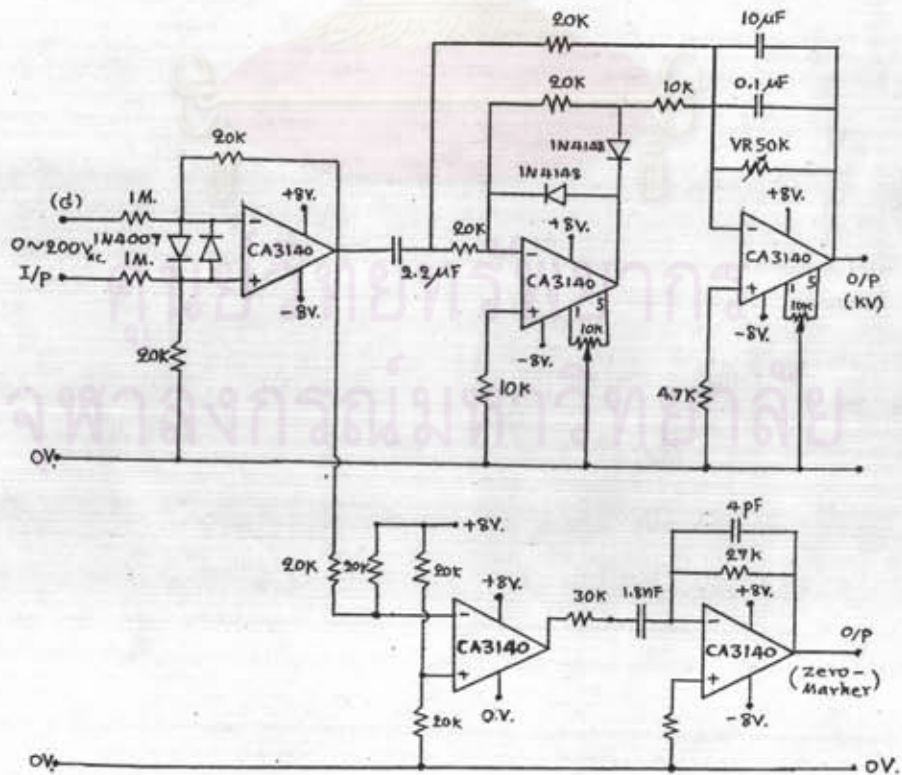
รูปที่ 3.24 วงจรแสดงผลต่อสรีรศาสตร์บางส่วนของภาพ



ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3.2.7.1 วงจรแปลงผันกระแสสลับเป็นกระแสตรงและบอกตำแหน่งศูนย์

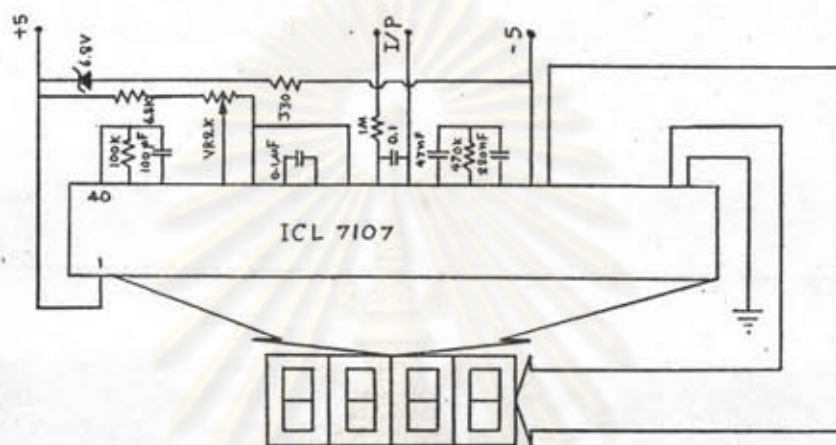
วงจรนี้จะรับแรงดันสูง (AC) คือ 0 ถึง 200 กิโลโวลต์ ผ่านโวลต์เจติโวลต์เตอร์ ซึ่งมีอัตราส่วน 1:1000 ทำให้วงจรนี้รับแรงดันจริงคือ 0 ถึง 200 V<sub>rms</sub> แต่อย่างไรก็ตาม แรงดันนี้ยังมีค่าสูง เกินกว่าที่วงจรอิเล็กทรอนิกส์ทั่วไปจะรับได้ ดังนั้นการออกแบบจึงต้องมี วงจรลดขนาดแรงดันให้ต่ำกว่า 10 โวลต์ ก่อนทำการเรียงกระแสและกรองสัญญาณเอาต์พุต ที่ได้ให้เรียบ เพื่อนำไปแสดงผลที่วงจรดิจิตอลโวลต์มิเตอร์ต่อไป วงจรที่ออกแบบแสดงดัง รูปที่ 3.25 โดย IC<sub>1</sub> ซึ่งเป็นวงจรขยายผลต่างจะทำหน้าที่ลดขนาดแรงดันด้วยอัตราส่วน 50:1 หรืออัตราขยายเท่ากับ 0.02 และลดสัญญาณรบกวนเนื่องจากเกิดกราวด์ลูป หลังจากนั้นแล้วจึงนำสัญญาณที่ได้ไปทำการเรียงกระแส และกรองสัญญาณเอาต์พุตให้เรียบ ที่ IC<sub>2</sub> และ IC<sub>3</sub> ตามลำดับ ซึ่งแรงดันเอาต์พุตที่ IC<sub>3</sub> คือ 0 ถึง 2 โวลต์ (DC) ทำให้สัญญาณนี้แปรผันตรงกับแรงดันอินพุตคือ 0 ถึง 200 V(rms) การบอกตำแหน่งแรงดัน ศูนย์จะใช้วงจร "Zero-marker" โดยรับแรงดันจากเอาต์พุต IC<sub>1</sub> ซึ่งเป็นสัญญาณไซน์ เพื่อนำมาเปลี่ยนแรงดันเป็นสัญญาณสี่เหลี่ยมที่ IC<sub>4</sub> และเปลี่ยนสัญญาณนี้เป็นสัญญาณลดลงแบบ เอกซ์โพเนนเชียล โดยใช้วงจรดีเฟอว์เรนต์เอดเตอร์ ที่ IC<sub>5</sub> ก่อนที่จะส่งสัญญาณนี้ต่อไปยัง วงจรแสดงผลจอภาพต่อไป



รูปที่ 3.25 วงจรแปลงผันกระแสสลับเป็นกระแสตรงและบอกตำแหน่งศูนย์

### 3.2.7.2 วงจรดิจิทัลโวลต์มิเตอร์

วงจรดิจิทัลโวลต์มิเตอร์ (DVM) ใช้ในการอ่านแรงดันตรงที่ได้จากข้อ 4.7.2 ) ด้วยวิธีแสดงผลแบบตัวเลข โดยใช้ IC สำเร็จรูปเบอร์ ICL 7107 ซึ่งการออกแบบจะใช้วิธีเดียวกับการออกแบบวงจรโวลต์มิเตอร์ที่ได้อธิบายไปแล้วในข้อ 4.4.2) รายละเอียดของวงจรแสดงดังรูปที่ 3.26



รูปที่ 3.26 วงจรดิจิทัลโวลต์มิเตอร์

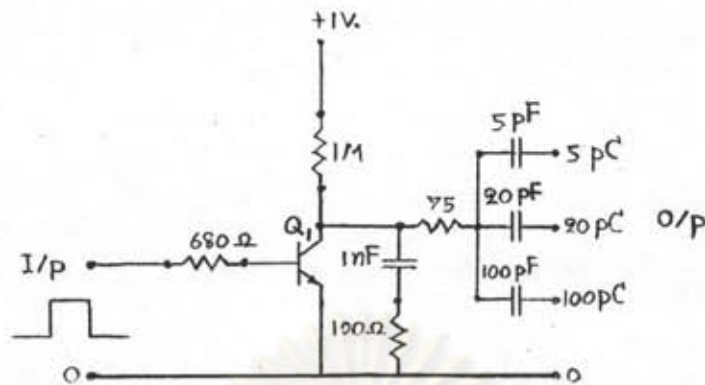
### 3.2.8 วงจรกำเนิดพัลส์มาตรฐาน

วงจรกำเนิดพัลส์มาตรฐาน จะประกอบด้วยวงจรปรับเทียบดีสซาร์จมาตรฐาน และวงจรกำเนิดพัลส์คู่ การออกแบบจะแยกพิจารณา ดังนี้คือ

#### 3.2.8.1) วงจรปรับเทียบดีสซาร์จมาตรฐาน

วงจรปรับเทียบดีสซาร์จมาตรฐานจะประกอบด้วยวงจรสร้างแรงดันรูปขึ้น ต่ออนุกรมกับตัวเก็บประจุ แรงดันจะมีช่วงเวลานับไม่เกิน 0.1 ไมโครวินาที และลดลงด้วยค่าคงตัวเวลาประมาณ 1000 ไมโครวินาที วงจรแสดงในรูปที่ 3.27

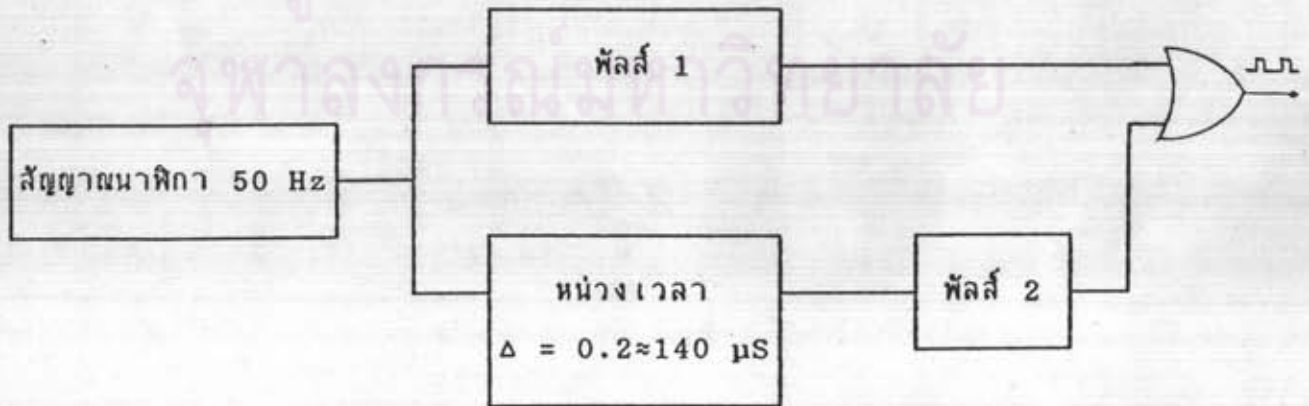
จากรูปที่ 3.27 ในขณะที่  $Q_1$  ไม่นำกระแสแรงดัน  $U_o$  จะเพิ่มขึ้นด้วยค่าคงตัวเวลา คือ  $t_1 = (R_1 + R_2)C_1 = 1000$  ไมโครวินาที จากแรงดัน 0 เป็น 1 โวลต์ เมื่อ  $Q_1$  สวิตช์นำกระแสทำให้แรงดัน  $U_o$  ลดลงเป็น 0 โวลต์อย่างรวดเร็วโดยใช้เวลา  $< 0.1$  ไมโครวินาที สำหรับทรานซิสเตอร์เบอร์ 2N2222A จะมีช่วงเวลานับ  $< 20$  นาโนวินาที ความต้านทาน  $R_2$  ใช้ในการหน่วงไม่ให้  $U_o$  เกิดการแกว่ง และจำกัดกระแสดีสซาร์จจาก  $C_1$  เพื่อให้  $Q_1$  อิ่มตัวในขณะนำกระแส



รูปที่ 3.27 วงจรปรับเทียบพัลส์ซาร์มาตรฐาน

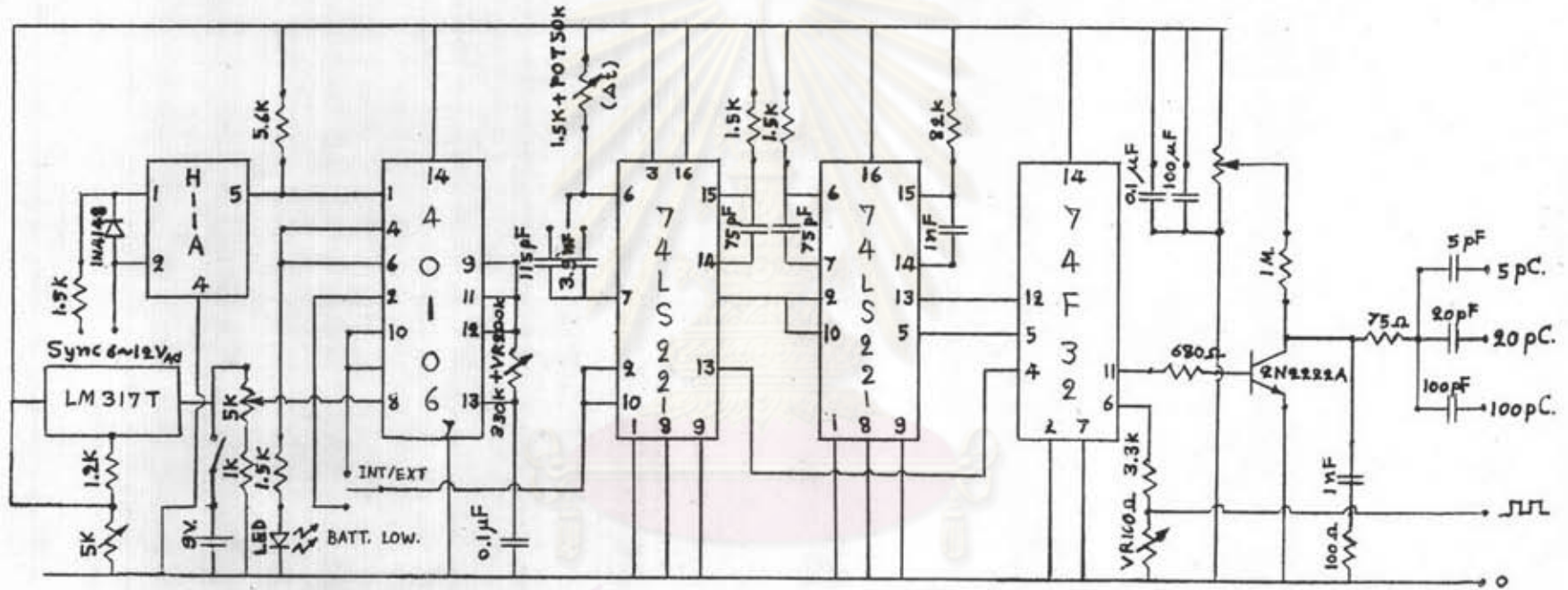
3.2.8.2) วงจรกำเนิดพัลส์คู่

การออกแบบวงจรกำเนิดพัลส์คู่จะใช้ IC เบอร์ 74LS221 ซึ่งเป็นวงจรโมโนสเตเบิลอย่างง่ายในการสร้างพัลส์ที่มีความกว้างประมาณ 100 นาโนวินาที โดยการเลือกค่า  $R = 1.5$  กิโลโอห์ม และ  $C = 75$  นีโคฟาริต (คำนวณอย่างคร่าวๆ) การปรับระยะเวลาระหว่างพัลส์ก็ยังคงใช้วงจรโมโนสเตเบิลเช่นเดิม โดยเลือกตัวความต้านทานปรับค่าได้เท่ากับ 50 กิโลโอห์ม (สเกลแบบลอกการิทึม) และ  $C = 147$  นีโคฟาริต สำหรับช่วงเวลา 0.2 ถึง 4.7 ไมโครวินาที หรือ  $C = 3900$  นีโคฟาริต สำหรับช่วงเวลา 3.7 ถึง 140 ไมโครวินาที หลังจากการสร้างพัลส์ทั้งสองพัลส์ได้แล้วก็ทำการ "OR" สัญญาณพัลส์เข้าด้วยกันโดยใช้ IC เบอร์ 74F32 แสดงในรูปที่ 3.28 วงจรสมบูรณ์ที่ใช้สร้างพัลส์มาตรฐานแสดงในรูปที่ 3.29



รูปที่ 3.28 วงจรกำเนิดพัลส์คู่อย่างง่าย

รูปที่ 3.29 วงจรกำเนิดพัลส์มาตรฐาน

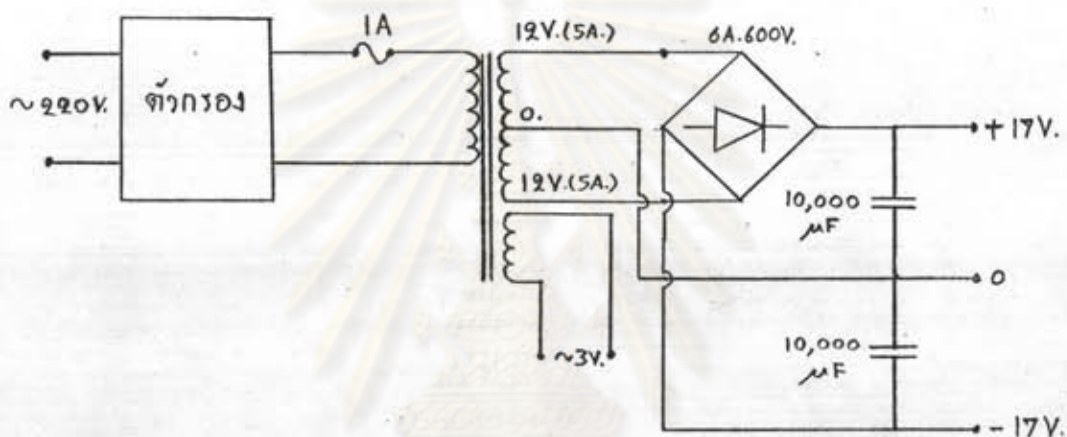


หมายเหตุ, แบตเตอรี่ 9V. Type IEC 6F22 (PP3) ๒ ก้อน

ศูนย์วิทยุทางการแพทย์  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

### 3.2.9 วงจรแหล่งจ่ายไฟเลี้ยง

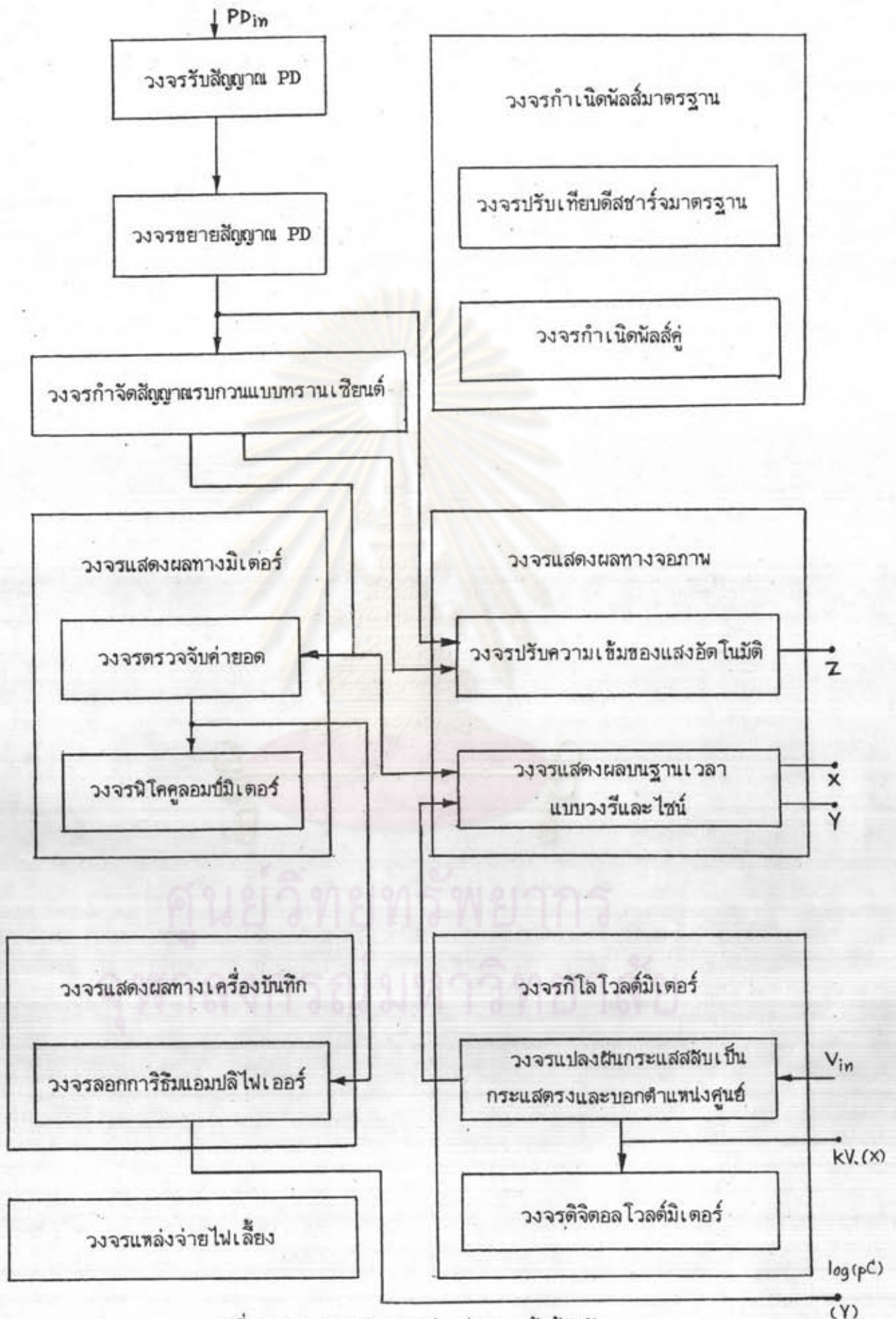
แหล่งจ่ายไฟดีซีใช้สำหรับจ่ายแรงดันสำหรับเลี้ยงวงจรทั้งหมด และแหล่งจ่ายไฟ AC ประมาณ 3 โวลต์ สำหรับวงจร "หน้าต่างเวลา" และแสดงผลทางจอภาพ แสดงดังรูปที่ 3.30 โดยสามารถจ่ายกระแสได้ประมาณ 1.5 แอมแปร์ที่แรงดันไม่น้อยกว่า 15 โวลต์



รูปที่ 3.30 วงจรแหล่งจ่ายไฟเลี้ยง

### 3.3 การต่อวงจรที่ออกแบบและประกอบสร้าง

การต่อวงจรและการประกอบวงจรต่างๆ เข้าไว้ด้วยกัน จะต้องพยายามหลีกเลี่ยงการเกิดกราวด์ลูป และบางวงจรที่มีความไวสูงอาจจะต้องมีชิลด์เพื่อป้องกันสัญญาณรบกวน รายละเอียดแสดงในรูปที่ 3.31 รูปที่ 3.32 แสดงเครื่องตรวจจับ PD ที่ประกอบสมบูรณ์แล้ว



รูปที่ 3.31 การต่อวงจรส่วนต่างๆ เข้าด้วยกัน



รูปที่ 3.32 เครื่องตรวจจับ PD ที่ประกอบสมบูรณ์.

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย