รายการอ้างอิง

1. Dr. F.H. Kreuger. Partial Discharge Detection in High-Voltage Equipment. Butterworth & Co. (Publishers) Ltd, 1989.
2. Kuffel, E., and Zaengl, W. S. High Voltage Engineering: Fundamentals. Pergamon Press Ltd., Oxford, (1st ed., 1984): 433-461.
3. Gallagher, T.J., Pearmain, A.J. High Voltage: Measurement Testing and Design. John Wiley and Sons, 1st ed., 1983.
4. นุชากร ภูมิวัฒน์. การวัดแรงดันคลื่นรบกวนวิทยุที่เกิดจากอุปกรณ์ไฟฟ้าแรงสูง. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2525
5. คมสัน เพ็ชรรักษ์, สำรวย สังข์สะอาด. การศึกษาการเกิดดีสชาร์จบางส่วนในอุปกรณ์ไฟฟ้าแรงสูง. รายงานการประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า 8 สถาบันอุดมศึกษา ครั้งที่ 7. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า วิทยาเขตธนบุรี, (2527): ก70-ก78.
6. ณรงค์ ทองฉิม. เครื่องตรวจจับดีสชาร์จบางส่วน สำหรับอุปกรณ์ไฟฟ้าแรงสูง. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, ภาควิชา วิศวกรรมไฟฟ้า บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2533
7. IEC Standard Publ. No. 270. Partial Discharge Measurements, 1981.
8. IEC Standard Publ. No. 885-2. Electrical Test Methods for Electric Cable, Part 2. Partial Discharge Tests, 1987.
9. Z.H. Meiksin and Philip C. Thackray. Electronic Design with Off-the-Shelf Integrated Circuits. Second Edition The Prentice-Hall Eletronics Library : 265
10. Harry Y-F Lam. Analog and Digital Filters, Design and Realization. Prentice-Hall 07632 :301, 378.
11. L.V. Bewley. Travelling Waves on Transmission Systems. Second Edition Dover Publications, Inc., New York : 7 - 39
12. L. Wieringa . Location of Small Discharges in Plastics Insulated High Voltage Cables. IEEE Transaction on Power Apparatus and System. Vol. PAS-104 No. 1, January 1985.
13. L.V. Bewley General Electric Company. Traveling Waves on Transmission Systems. Dover Publications, Inc., New York.
14. Milman J., and Halkias, C.C. Integrated Electronics Analog and Digital Circuits and Systems. McGraw-Hill Inc., 1971.

15. National Semiconductor Corporation, Data Books: Linear 1, 2

16. เอกชัย ลีลารัศมี. เล็ก 6 ซอฟต์แวร์ สำหรับวิเคราะห์วงจรอิเล็กทรอนิกส์เชิงเส้นแบบท่อน. ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

17. Grossner, N.R. Transformers for Electronic Circuits. McGraw-Hill Inc., 2nd ed., 1983: 177-357

18. Charles H. Knapp. Signal Progressing Techniques for Partial Discharge Site Location in Shield Cables. IEEE Transactions on Power Delivery., Vol. 5, No. 2, April 1990.

19. Two Pulse Generator Type 756 Bonar Robinson

20. J.P. Steiner. An Automated Fault Locating System. IEEE Transactions on Power Delivery. Vol. 7, No. 2, April 1992.

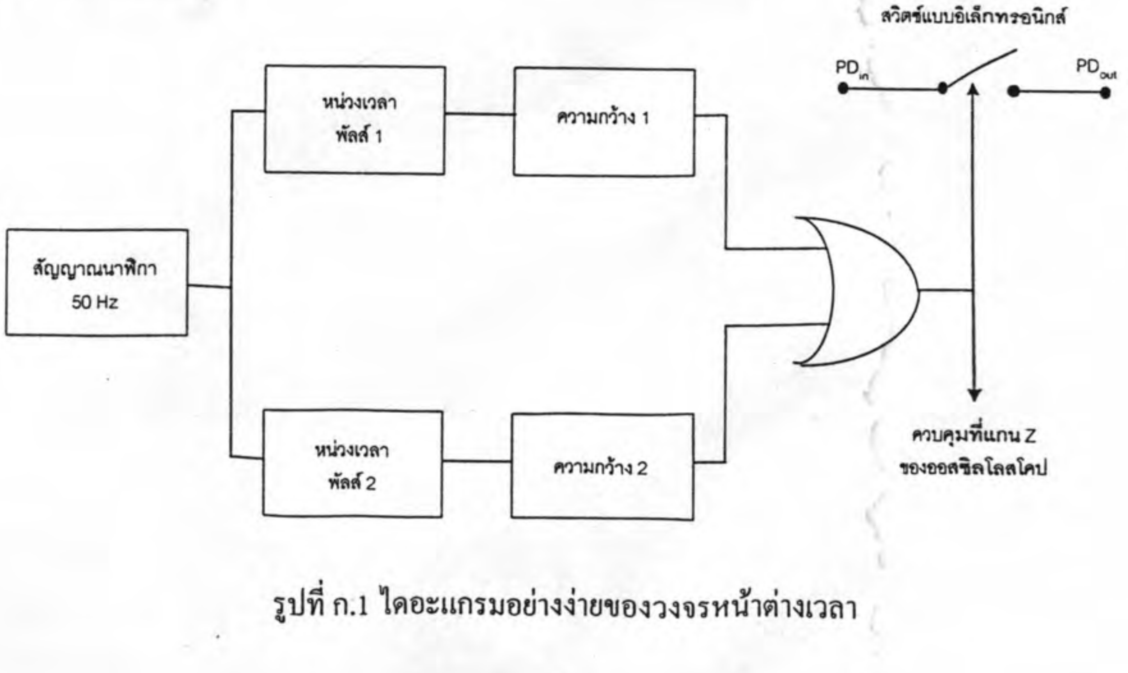
ภาคผนวก

ภาคผนวก ก.

วงจรภาคแสดงผลเครื่องตรวจจับ PD

1. วงจรกำจัดสัญญาณรบกวนแบบทรานเชียนต์

วงจรนี้ใช้ในการกำจัดสัญญาณรบกวนแบบทรานเชียนต์ที่ซิงโครไนซ์กับความถี่ของแหล่งจ่ายเช่น สัญญาณรบกวนจากการทำงานของไธรีสเตอร์ เป็นต้น โดยใช้วิธี “หน้าต่างเวลา” ซึ่งใช้สวิตซ์แบบอิเล็กทรอนิกส์ทำการเปิดวงจรตรงตำแหน่งที่มีสัญญาณรบกวน งานวิจัยนี้ได้ออกแบบวงจร “หน้าต่างเวลา” เพื่อกำจัดสัญญาณรบกวนทั้งครึ่งบวกและครึ่งลบของคาบเวลาแหล่งจ่าย รูปที่ ก.1 แสดงไดอะแกรมอย่างง่ายของวงจร “หน้าต่างเวลา” โดยรับสัญญาณไซน์ประมาณ 1 โวลต์จากแหล่งจ่ายเพื่อเปลี่ยนเป็นสัญญาณนาฬิกาที่มีความถี่ 50 เฮิร์ตซ์ จากนั้นจึงนำสัญญาณนาฬิกาไปใช้ควบคุมวงจรโมโนสเตเบิลซึ่งเป็น IC เบอร์ 74HC221 ในการหน่วงเวลาให้เหมาะสมทั้งสองชุด คือ ทั้งครึ่งบวกและครึ่งลบของคาบเวลา แล้วทำการ “OR” สัญญาณควบคุมหน้าต่างเวลาทั้งสองชุดเพื่อนำไปควบคุมการเปิดปิดวงจรของสวิตซ์แบบอิเล็กทรอนิกส์ และใช้ในการทำเครื่องหมาย “หน้าต่างเวลา” ด้วยการปรับความสว่างบนจอภาพของออสซิลโลสโคปให้แสงจ้ากว่าปกติโดยการควบคุมที่แกน Z



รูปที่ ก.1 ไดอะแกรมอย่างง่ายของวงจรหน้าต่างเวลา

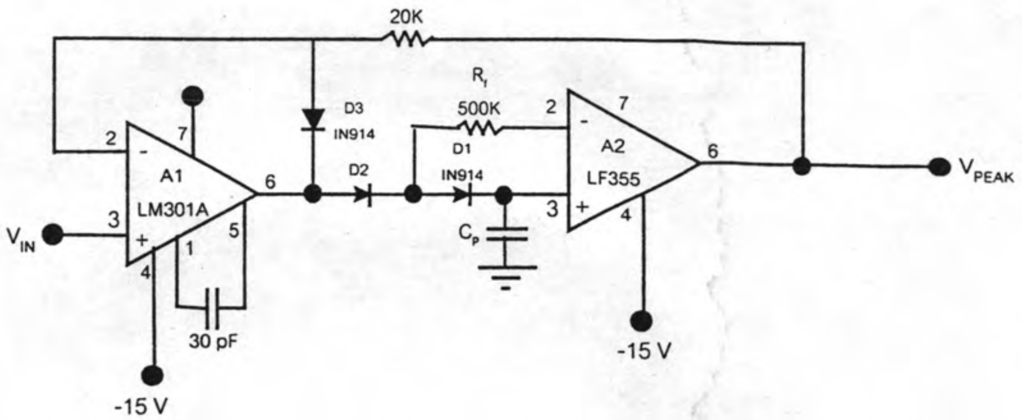
ในงานวิจัยนี้ได้ออกแบบวงจรหน้าต่างเวลาให้สามารถปรับตำแหน่ง และความกว้างได้อย่างน้อย 3° ถึง 190° ของคาบเวลาแหล่งจ่าย จากข้อมูล IC เบอร์ 74HC221 ความกว้างของเวลา T_W = 0.7 RC เนื่องจากคาบเวลาแหล่งจ่าย 50 เฮิร์ตเท่ากับ 0.02 วินาที หรือ 360° ถ้าเลือก C = 0.15 ไมโครฟารัด ดังนั้นที่ 3° จะได้ R_{MIN} = 1.5 กิโลโอห์ม และที่ 190° จะได้ R_{MAX} = 100 กิโลโอห์ม จึงเลือกความต้านทาน R = 1.5 กิโลโอห์ม ต่ออนุกรมกับโพเทนซิโอมิเตอร์ 100 กิโลโอห์ม (สเกลแบบเชิงเส้น) สวิตช์อิเล็กทรอนิกส์ในการเปิดปิดวงจรจะใช้ IC เบอร์ CD4016 วงจรกำจัดสัญญาณรบกวนแบบทรานเซียนต์ที่ออกแบบสมบูรณ์แสดงในรูปที่ ก.2

2. วงจรแสดงผลทางมิเตอร์

จากบทที่ 2 จะพบว่า เอาต์พุตของเครื่องตรวจจับ PD หรือ q นั่นก็หมายความว่ายอดของ $V_3(t)$ แปรผันตรงกับ “ประจุที่ปรากฏ PD” หรือ q ดังรูปที่ 2.6 นั่นก็หมายความว่าค่ายอดของ $V_3(t)$ ที่เอาต์พุตจะแปรผันตรงกับ q นั่นเอง ดังนั้นจึงต้องใช้มิเตอร์สำหรับอ่านค่ายอดของสัญญาณเอาต์-พุต (Peak meter) ซึ่งจะประกอบด้วยวงจรตรวจจับค่ายอดและพิโคคูลอมป์มิเตอร์ (โวลต์มิเตอร์)

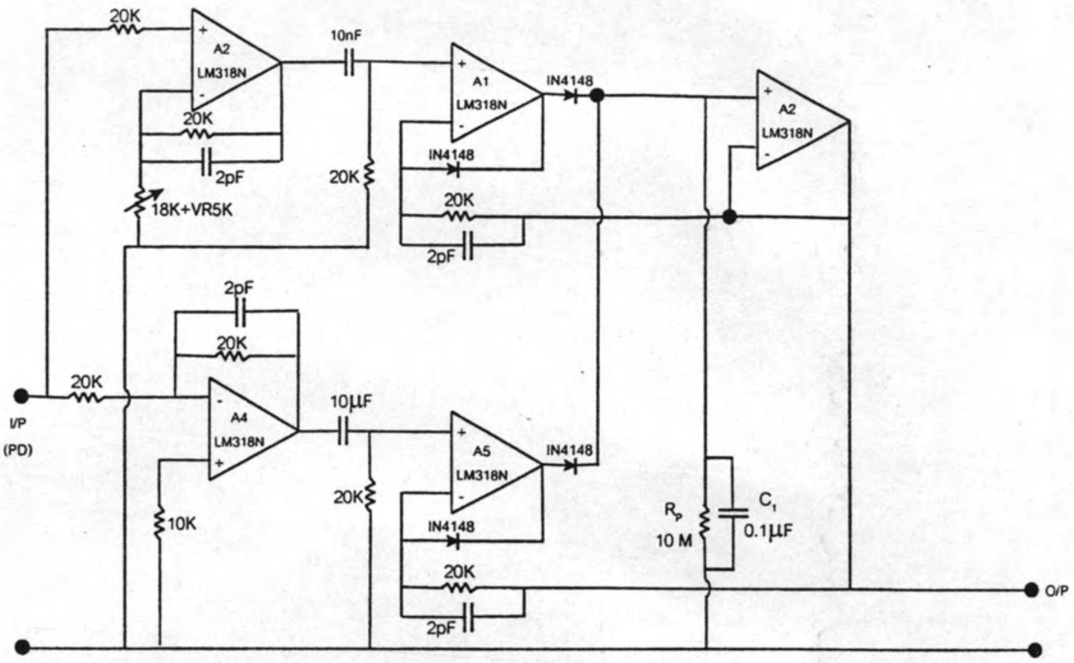
2.1 วงจรตรวจจับค่ายอด

วงจรพื้นฐานวงจรตรวจจับค่ายอดแสดงดังรูปที่ ก.3 ซึ่งสามารถเลือกในการตรวจจับค่ายอดอาจเป็นแบบบวกหรือลบก็ได้เพียงอย่างใดอย่างหนึ่ง โดยการกลับทิศทางไดโอด D_1 และ D_2 ให้เหมาะสม การทำงานของวงจรแบบนี้จะเร็วมาก เนื่องจากก่อนการตรวจจับค่ายอดแรงดันคร่อม C_1 ประมาณศูนย์หรือคงที่ ทำให้แรงดันเอาต์พุต e คงที่ด้วย แต่เมื่อมีสัญญาณมากกว่า e เข้ามาที่อินพุตของวงจร แรงดันคร่อม C_1 เปลี่ยนแปลงทันทีทันใดไม่ได้ ผลคือ ออปแอมป์ A_1 จะชาร์จประจุ C_1 ด้วยอัตราขยายแบบลูปเปิดในระยะเริ่มต้น



รูปที่ ก.3 วงจรพื้นฐานสำหรับตรวจจับค่ายอด

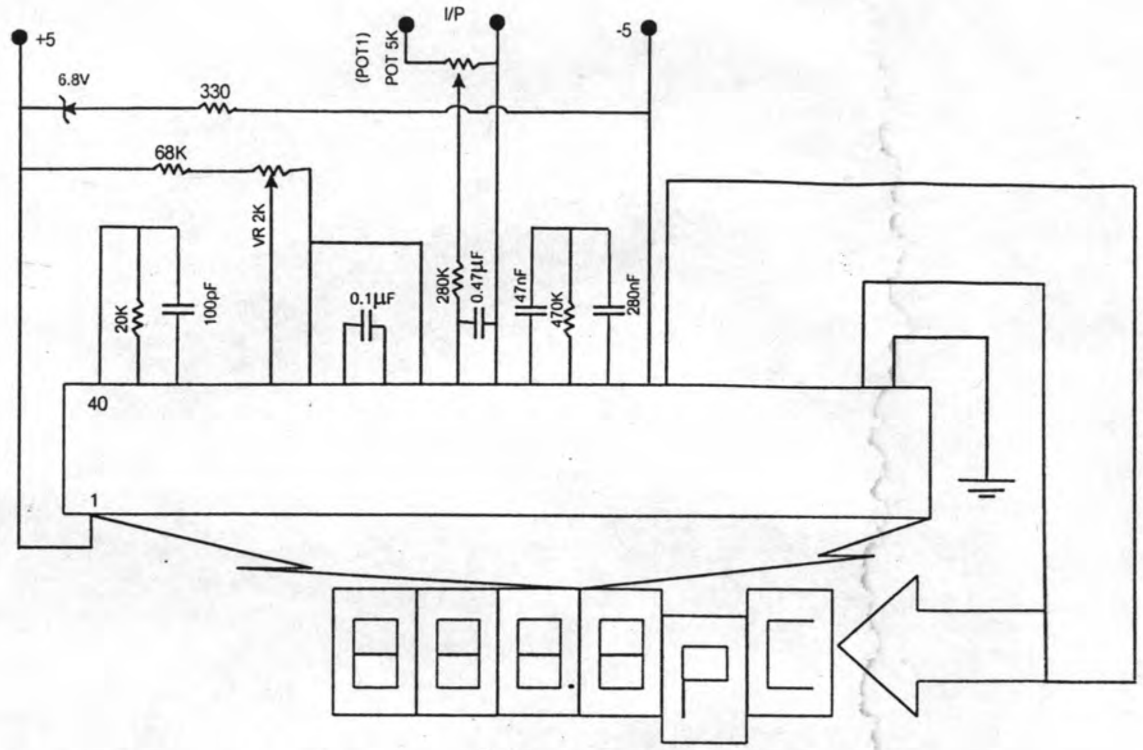
เนื่องจากสัญญาณ PD มีขั้วทั้งบวกและลบ ดังนั้นจึงต้องมีการดัดแปลงแก้ไขวงจรพื้นฐานเสียใหม่โดยการเพิ่มออปแอมป์ A_3, A_4 และ A_5 ตามลำดับ ซึ่งออปแอมป์ A_4 จะใช้ในการเลื่อนเฟสสัญญาณไป 180° เพื่อตรวจจับค่ายอดแบบลบของ PD โดยการผ่านสัญญาณ PD ไปที่ออปแอมป์ A_5 อย่างไรก็ตามวงจรที่ออกแบบยังคงมีปัญหาเรื่องการเลื่อนเฟส จึงต้องเพิ่มออปแอมป์ A_3 เข้าไปเพื่อลดผลของการเลื่อนเฟส รายละเอียดแสดงดังรูปที่ ก.4 โดยปกติจะกำหนดให้ค่าคงตัวเวลาของวงจรตรวจจับค่ายอด T = 1.0 วินาที ดังนั้นถ้ากำหนดให้ C_1 = 0.1 ไมโครฟารัด จะได้ R_P = 10 เมกกะโอห์ม ข้อดีของวงจรที่ออกแบบนี้ คือสามารถทำงานได้ที่ความถี่สูงกว่าวงจรตรวจจับค่ายอดที่ใช้วงจรเรียงกระแสแบบอิเล็กทรอนิกส์ทั่วๆ ไป



รูปที่ ก.4 วงจรตรวจจับค่ายอดของ PD

2.2 วงจรพิโคคูลอมป์มิเตอร์

วงจรพิโคคูลอมป์ ใช้ในการอ่านค่าแรงดัน DC จากวงจรตรวจจับค่ายอด เพื่อนำไปแสดงผลแบบตัวเลข หรือดิจิตอลโวลต์มิเตอร์ (DVM) โดยใช้ IC สำเร็จรูปเบอร์ ICL 7107 โดยมีโพเทนซิโอมิเตอร์ POT1 สำหรับปรับค่า “Correction factor” ให้เป็นตัวเลขที่เหมาะสมสำหรับการอ่านค่า PD ได้โดยตรง รายละเอียดของวงจรแสดงดังรูปที่ ก.5



รูปที่ ก.5 วงจรพิโคคูลอมป์มิเตอร์

3. วงจรแสดงผลทางเครื่องบันทึก

วงจรแสดงผลทางเครื่องบันทึก จะใช้ในการเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างขนาดของ PD โดยใช้สเกลแบบล็อกการิธึมกับแรงดันที่ป้อนเข้าวงจรซึ่งใช้สเกลแบบเชิงเส้น การทำงานของวงจรส่วนนี้จะรับสัญญาณอินพุตจากเอาต์พุตของวงจรตรวจจับค่ายอด ผ่านวงจรลอกการิธึมแอมปลิไฟเออร์ เพื่อเปลี่ยนขนาดของ PD แบบเชิงเส้นเป็นสเกลแบบลอกการิธึม และต่อวงจรเข้ากับแกน Y ของเครื่องบันทึก ในขณะเดียวกันแกน X ของเครื่องบันทึกจะรับสัญญาณ DC จากวงจรกิโลโวลต์-มิเตอร์ ซึ่งแกน X นี้จะแสดงค่าแรงดันที่ป้อนเข้าวงจรทดสอบโดยอ่านเป็นค่า “rms” วงจรล็อกกา-ริธึมแอมปลิไฟเออร์แสดงดังรูปที่ ก.6 ซึ่งแรงดันเอาต์พุตสามารถแสดงได้ดังนี้

$$V_{02} = V_T[(R_7 + R_8) / R_7]\ln[(V_1 / R_1)/(V_r / R_6)] \qquad (ก.1)$$

ดังนั้น $$dV_{02} / d(\ln V_i) = - V_T[(R_7 + R_8) / R_7] \qquad (ก.2)$$

โดยที่ $$V_T = T/11600 \qquad (ก.3)$$

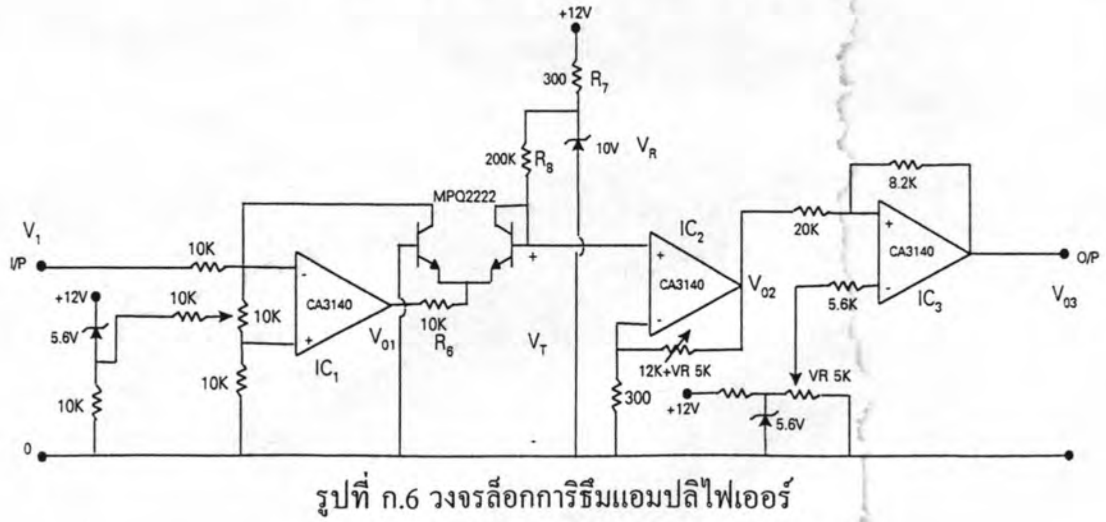
เมื่อ T คือ อุณหภูมิสัมบูรณ์ ($^\circ$K)

ถ้าต้องการเอาต์พุตที่ IC_2 คือ V_{02} = 5 โวลต์ เมื่อแรงดันอินพุต V_1 = 20 มิลลิโวลต์ ถึง 2 โวลต์ ดังนั้นเลือก R_7 = 300 โอห์ม, R_8 = 12 กิโลโอห์ม และความต้านทานแบบปรับค่าได้ VR 5K เนื่องจากแหล่งจ่ายมีแรงดัน ±12 โวลต์ ทำให้เอาต์พุตแกว่งได้ประมาณ ±10 โวลต์ ซึ่งมีค่ามากเกินไป จึงต้องลดแรงดันให้เหลือไม่เกิน ±5 โวลต์ โดยใช้ IC_3 ซึ่งมีอัตราขยาย A = 0.41 ในขณะเดียวกันจะใช้ IC_3 ในการยกระดับแรงดันไปที่แรงดันที่เหมาะสม คือให้เอาต์พุต V_{03} = 0 โวลต์ ที่ V_1 = 20 มิลลิโวลต์ และ V_{03} จะเพิ่มครั้งละ 1 โวลต์ ทุกๆ ครั้งที่ V_1 เพิ่มขึ้น 10 เท่าคือ

$$V_{03} = \log (V_1 / 20*10^{-3}) \qquad \text{(ก.4)}$$

เมื่อ V_{03} คือ แรงดันเอาต์พุตที่จะต่อเข้ากับอินพุตของเครื่องบันทึก

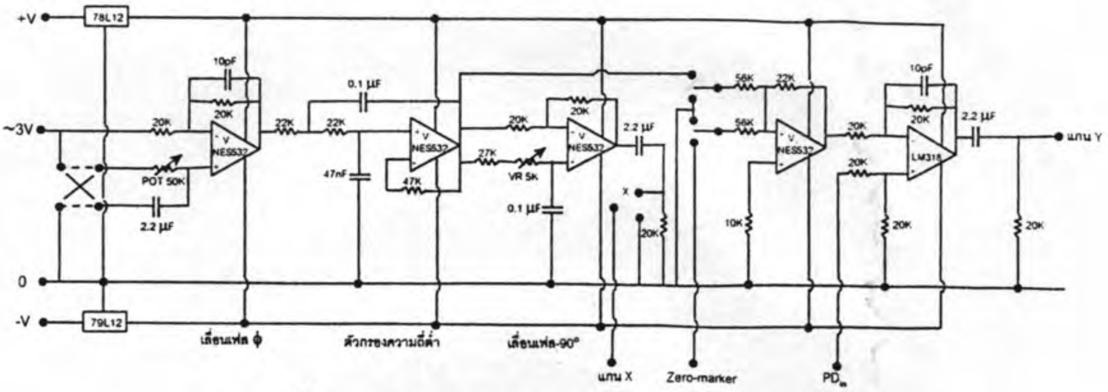
V_1 คือ แรงดันอินพุตซึ่งมีขนาดเท่ากับค่ายอดของ PD ที่ปรากฏบนแกนY บนจอภาพของออสซิลโลสโคป (1 โวลต์ต่อช่อง)



รูปที่ ก.6 วงจรล็อกการิธึมแอมปลิไฟเออร์

4. วงจรแสดงผลทางจอภาพ

วงจรแสดงผลทางจอภาพ ใช้สำหรับการแสดงผลของ PD ทางจอภาพของออสซิลโลสโคป ในงานวิจัยนี้ได้ออกแบบ และสร้างวงจรแสดงผลให้แสดงได้ทั้งบนฐานเวลาแบบวงรี และไซน์ รวม 4 แบบ แสดงดังรูปที่ ก.7



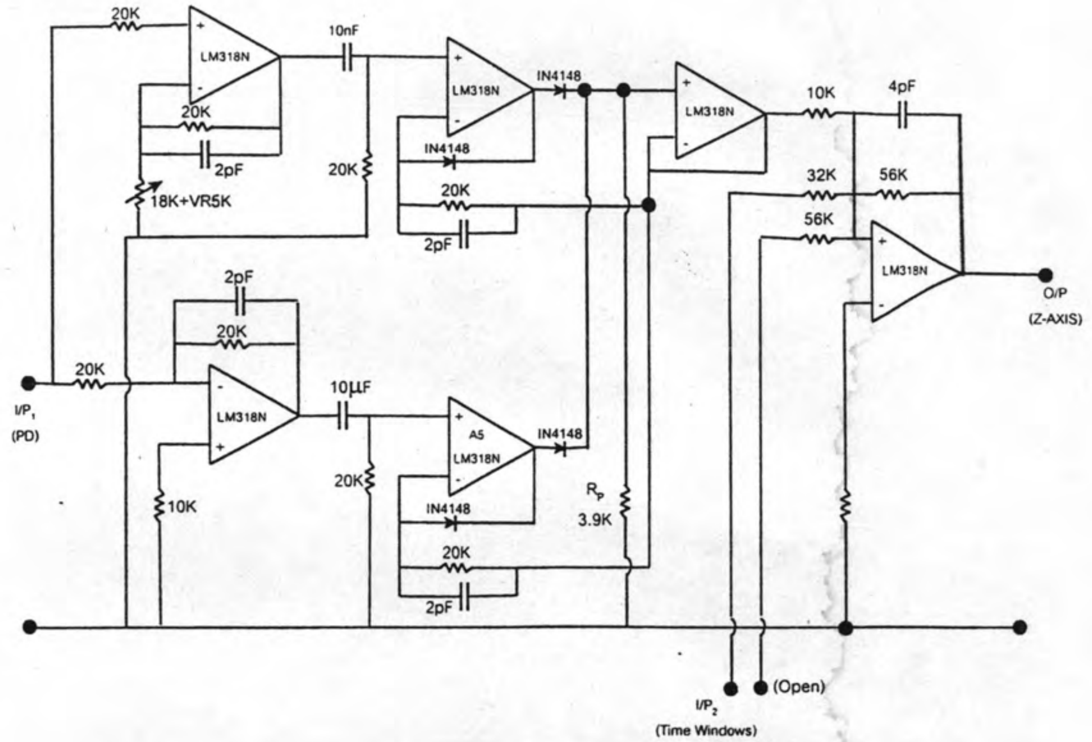
รูปที่ ก.7 วงจรแสดงผลดีสชาร์จบางส่วนทางจอภาพ

แต่อย่างไรก็ตาม เนื่องจากช่วงเวลาที่เกิด PD จะทำให้เกิดพัลส์ในเวลาสั้นๆ ทำให้การมองเห็นพัลส์ของ PD จากจอภาพของออสซิลโลสโคปไม่ชัดเจน จึงต้องมีการปรับความเข้มของแสงโดยการควบคุมระดับแรงดันเข้าที่อินพุตแกน Z ของออสซิลโลสโคป การทำเครื่องหมายตำแหน่ง "หน้าต่างเวลา" ก็ใช้แรงดันจากวงจรกำจัดสัญญาณรบกวนแบบทรานเซียนต์ควบคุมที่แกน Z เช่นเดียวกัน

นอกจากนี้วงจรแสดงผลยังทำหน้าที่รับสัญญาณแสดงตำแหน่งแรงดันศูนย์ จากวงจรกิโลโวลต์มิเตอร์ เพื่อใช้ในการบอกแรงดันศูนย์ของแหล่งจ่ายที่ป้อนเข้าวงจรทดสอบ ดังนั้นวงจรแสดงผลทางจอภาพจะประกอบด้วยวงจรสำคัญ 2 วงจรคือ

4.1 วงจรปรับความเข้มของแสงอัตโนมัติ

เพื่อให้การมองเห็นพัลส์ของ PD มีลักษณะปกติจึงควรมีการปรับความเข้มของแสงแบบอัตโนมัติ โดยทำการผ่านสัญญาณเอาต์พุต $V_3(t)$ ของ PD ตามรูปที่ 3.3 ผ่านวงจรเรียงกระแสความเร็วสูง ซึ่งมีลักษณะการทำงานของวงจรแบบเดียวกับวงจรตรวจจับค่ายอดที่กล่าวมาในข้อ 2.1) แต่ในวงจรนี้จะไม่มี C_1 และลดค่าความต้านทาน $R_P = 3.9$ กิโลโอห์ม เพื่อลดผลกระทบเนื่องจากตัวเก็บประจุภายในไดโอด สัญญาณ PD ที่ผ่านการเรียงกระแสแล้วจะนำไปรวมเข้ากับสัญญาณแสดงตำแหน่ง "หน้าต่างเวลา" ก่อนนำสัญญาณที่ได้ไปควบคุมแกน Z ของออสซิลโลสโคปต่อไป รายละเอียดของวงจรแสดงดังรูปที่ ก.8



รูปที่ ก.8 วงจรปรับความเข้มของแสงอัตโนมัติ

4.2 วงจรแสดงผลบนฐานเวลาแบบวงรีและไซน์

การแสดงผลของ PD บนฐานเวลาแบบวงรีและไซน์แสดงดังรูปที่ ก.8 ประกอบด้วยวงจรเลื่อนเฟส เพื่อใช้ในการเปลี่ยนตำแหน่งของ PD ไปยังตำแหน่งที่ต้องการ วงจรกรองใช้ในการกรองฮาร์โมนิกความถี่สูงออกจากแรงดัน 50 เฮิร์ต วงจรเลื่อนเฟสทางแกน X ของออสซิลโลสโคป และวงจรขยายผลต่างอีกสองชุดเพื่อป้อนสัญญาณ PD และสัญญาณแสดงตำแหน่งแรงดันศูนย์เข้าแกน Y ของออสซิลโลสโคป

การสร้างวงรีทำได้โดยการสร้างแรงดันดังนี้

$$X = a\, SIN(\omega t-90) \quad (ก.5)$$

หรือ

$$X = -a\, COS\omega t \quad (ก.6)$$

$$Y = b\, SIN\omega t \quad (ก.7)$$

จากสมการ (ก.6) และ (ก.7) จะได้

$$X^2/a^2 + Y^2/b^2 = COS^2 \omega t + SIN^2 \omega t = 1 \qquad (ก.8)$$

สมการที่ ก.8 คือสมการวงรีนั่นเอง โดยลักษณะวงรีที่ได้จะเป็นวงรีในแนวระดับ ดังนั้น วงรีที่สร้างโดยวิธีนี้จะดีกว่าวงรีที่สร้างโดยวิธีทั่วไป ซึ่งเป็นวงรีที่มีลักษณะเอียงจากแนวระดับ และข้อดีอีกประการหนึ่งของวงรีแบบที่สร้างนี้จะสามารถปรับมุมเฟส หรือหมุนวงรีได้อย่างต่อเนื่องจาก 0° ถึง 360° โดยขณะที่วงรีแบบทั่วไปโดยปกติแล้วจะทำการปรับมุมเฟสครั้งละ 30° นอกจากนี้ในกรณีที่ต้องการแสดงผล PD บนฐานเวลาแบบไซน์ทำได้โดยการเปลี่ยนสัญญาณแกน X เป็นสัญญาณกวาดภายในออสซิลโลสโคปแทน จากหลักการดังกล่าวทำให้เราสามารถแสดงผลได้บนฐานเวลาทั้ง 4 แบบคือ วงรีปกติ วงรีในแนวราบ ไซน์ และเส้นตรง ส่วนวงจรที่ออกแบบสมบูรณ์แสดงดังรูปที่ ก.7

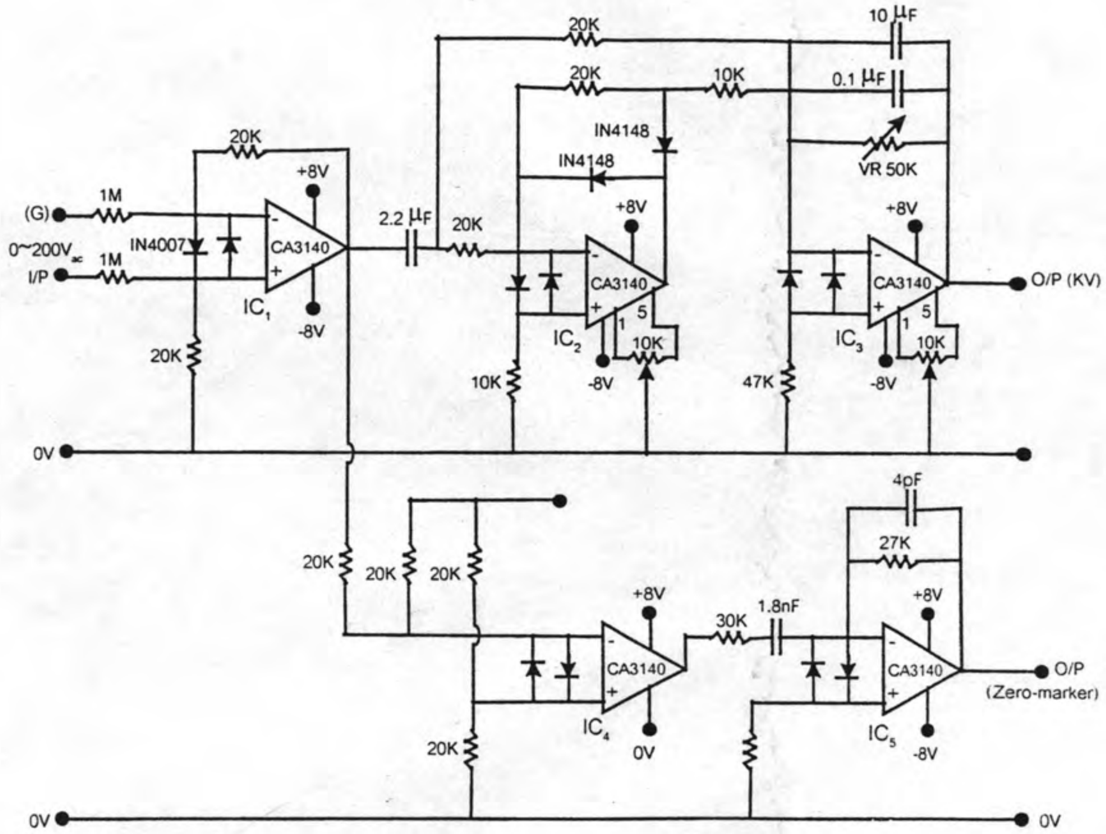
5. วงจรกิโลโวลต์มิเตอร์

วงจรกิโลโวลต์มิเตอร์ ใช้สำหรับวัดค่าแรงดัน "rms" ที่ป้อนเข้าวงจรทดสอบ การอ่านค่าแรงดันจะแสดงผลแบบตัวเลขโดยใช้ดิจิตอลโวลต์มิเตอร์ และทางแกน Y ของเครื่องบันทึก หน้าที่สำคัญอีกประการหนึ่งของวงจรนี้ก็คือการบอกตำแหน่งแรงดันศูนย์ของแหล่งจ่ายที่ป้อนเข้าวงจรทดสอบเรียกว่า "Zero-marker" ดังนั้นการออกแบบวงจรกิโลโวลต์จะประกอบด้วยวงจรดังนี้

5.1 วงจรแปลงผันกระแสสลับเป็นกระแสตรง และบอกตำแหน่งศูนย์

วงจรนี้จะรับแรงดันสูง (AC) คือ 0 ถึง 200 กิโลโวลต์ ผ่านโวลเตจดิไวเดอร์ ซึ่งมีอัตราส่วน 1:1000 ทำให้วงจรนี้รับแรงดันจริงคือ 0-200 V_{rms} แต่อย่างไรก็ตามแรงดันนี้ยังมีค่าสูงเกินกว่าที่วงจรอิเล็กทรอนิกส์ทั่วไปจะรับได้ ดังนั้นการออกแบบจึงต้องมีวงจรลดขนาดแรงดันให้ต่ำกว่า 10 โวลต์ ก่อนทำการเรียงกระแสและกรองสัญญาณเอาต์พุตที่ได้ให้เรียบ เพื่อนำไปแสดงผลที่วงจรดิจิตอลโวลต์มิเตอร์ต่อไป วงจรที่ออกแบบแสดงดังรูปที่ ก.9 โดย IC_1 ซึ่งเป็นวงจรขยายผลต่างจะทำหน้าที่ลดขนาดแรงดันด้วยอัตราส่วน 50:1 หรืออัตราขยายเท่ากับ 0.02 และลดสัญญาณรบกวนเนื่องจากเกิดกราวด์ลูป หลังจากนั้นแล้วจึงนำสัญญาณที่ได้นี้ไปทำการเรียงกระแส และกรองสัญญาณเอาต์พุตให้เรียบที่ IC_2 และ IC_3 ตามลำดับ ซึ่งแรงดันเอาต์พุตที่ IC_3 คือ 0 ถึง 2 โวลต์ (DC) ทำให้สัญญาณนี้แปรผันตรงกับแรงดันอินพุตคือ 0 ถึง 200 V(rms) การบอกตำแหน่งแรงดัน

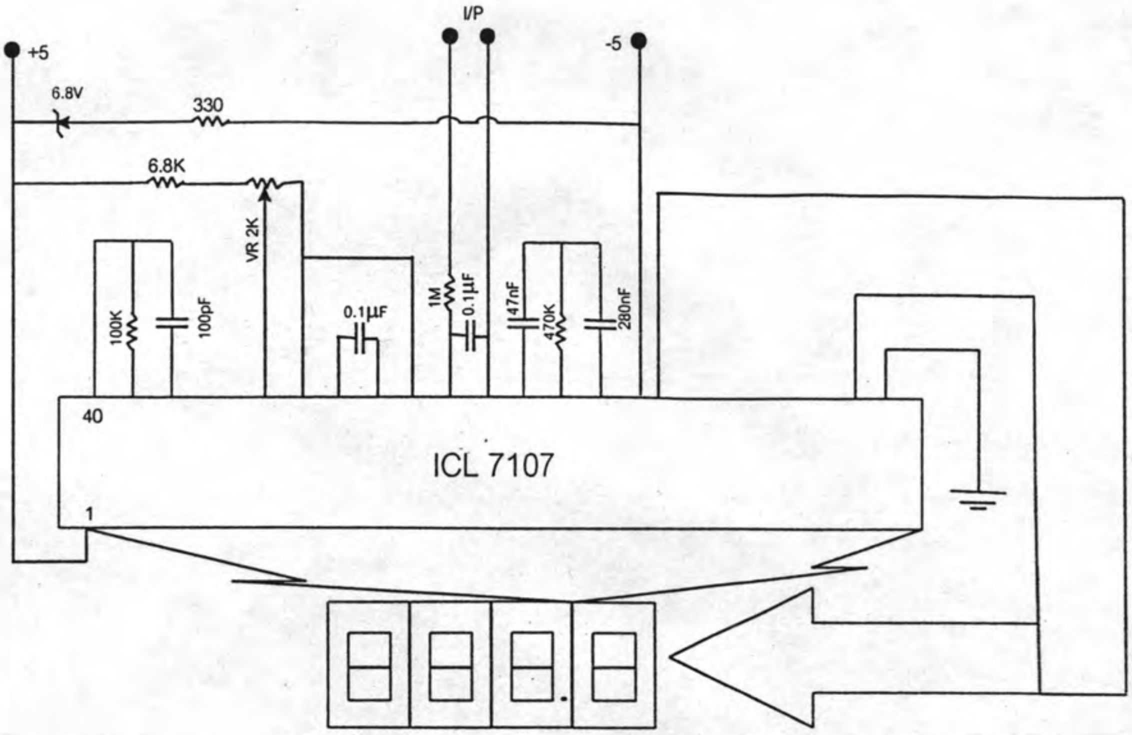
ศูนย์จะใช้วงจร "Zero-marker" โดยรับแรงดันจากเอาต์พุต IC_1 ซึ่งเป็นสัญญาณไซต์ เพื่อนำมาเปลี่ยนแรงดันเป็นสัญญาณสี่เหลี่ยมที่ IC_4 และเปลี่ยนสัญญาณนี้เป็นสัญญาณลดลงแบบเอกซ์โพ-เนนเชียล โดยใช้วงจรดีฟเฟอร์เรนติเอเตอร์ ที่ IC_5 ก่อนที่จะส่งสัญญาณนี้ต่อไปยังวงจรแสดงผลจอภาพต่อไป



รูปที่ ก.9 วงจรแปลงผันกระแสสลับเป็นกระแสตรง และบอกตำแหน่งศูนย์

5.2 วงจรดิจิตอลโวลต์มิเตอร์

วงจรดิจิตอลโวลต์มิเตอร์ (DVM) ใช้ในการอ่านแรงดันตรงที่ได้จากข้อ 5.1 ด้วยวิธีแสดงผลแบบตัวเลข โดยใช้ IC สำเร็จรูป เบอร์ ICL 7107 ซึ่งการออกแบบจะใช้วิธีเดียวกับการออกแบบวงจรโวลต์มิเตอร์ที่ได้อธิบายไปแล้วในข้อ 2.2 รายละเอียดของวงจรแสดงดังรูปที่ ก.10



รูปที่ ก.10 วงจรดิจิตอลโวลต์มิเตอร์

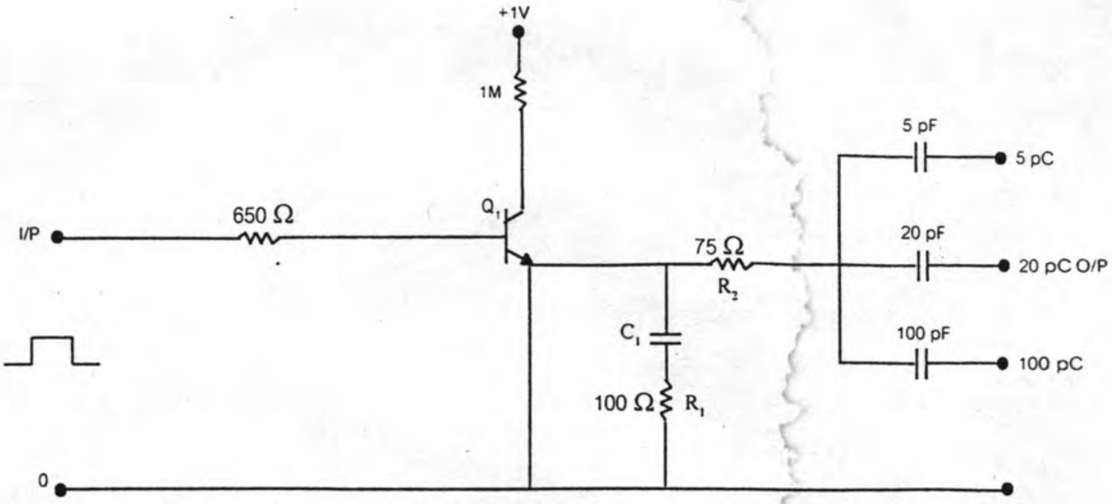
6. วงจรกำเนิดพัลส์มาตรฐาน

วงจรกำเนิดพัลส์มาตรฐาน จะประกอบด้วยวงจรปรับเทียบดีสชาร์จมาตรฐานและวงจรกำเนิดพัลส์คู่ การออกแบบจะแยกพิจารณาดังนี้คือ

6.1 วงจรปรับเทียบดีสชาร์จมาตรฐาน

วงจรปรับเทียบดีสชาร์จมาตรฐานจะประกอบด้วยวงจรสร้างแรงดันรูปขั้น ต่ออนุกรมกับตัวเก็บประจุ แรงดันจะมีช่วงเวลาขึ้นไม่เกิน 0.1 ไมโครวินาที และลดลงด้วยค่าคงตัวเวลาประมาณ 1000 ไมโครวินาที วงจรแสดงในรูปที่ ก.11

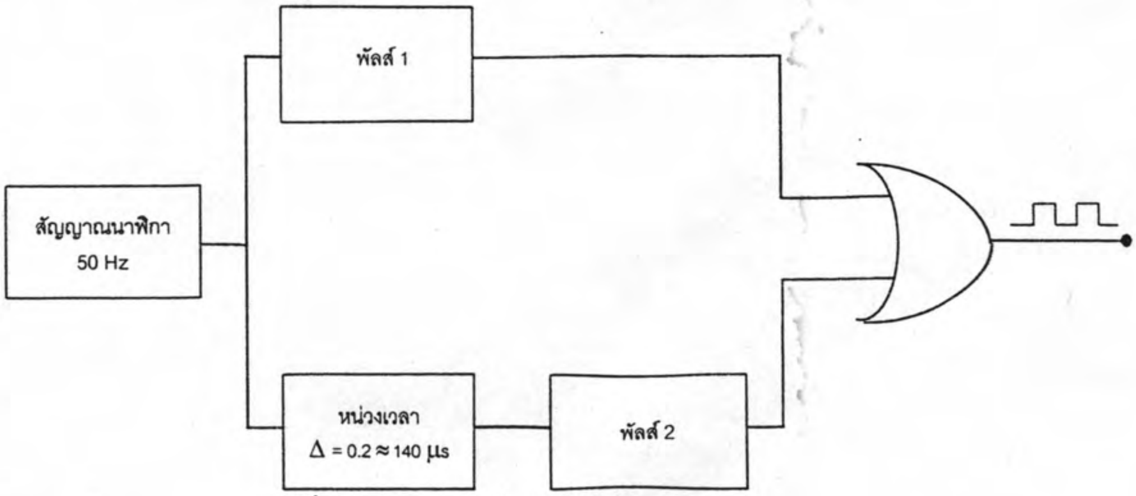
จากรูปที่ ก.12 ในขณะที่ Q_1 ไม่นำกระแสแรงดัน U_0 จะเพิ่มขึ้นด้วยค่าคงตัว เวลาคือ $t_1 = (R_1+R_2)C_1 = 1000$ ไมโครวินาที จากแรงดัน 0 เป็น 1 โวลต์ เมื่อ Q_1 สวิตช์นำกระแสทำให้แรงดัน U_0 ลดลงเป็น 0 โวลต์อย่างรวดเร็วโดยใช้เวลา < 0.1 ไมโครวินาที สำหรับทรานซิสเตอร์เบอร์ 2N2222A จะมีช่วงเวลาขึ้น <20 นาโนวินาที ความต้านทาน R_2 ใช้ในการหน่วงไม่ให้ U_0 เกิดการแกว่ง และจำกัดกระแสดีสชาร์จจาก C_1 เพื่อให้ Q_1 อิ่มตัวในขณะนำกระแส



รูปที่ ก.11 วงจรปรับเทียบดีสชาร์จมาตรฐาน

6.2 วงจรกำเนิดพัลส์คู่

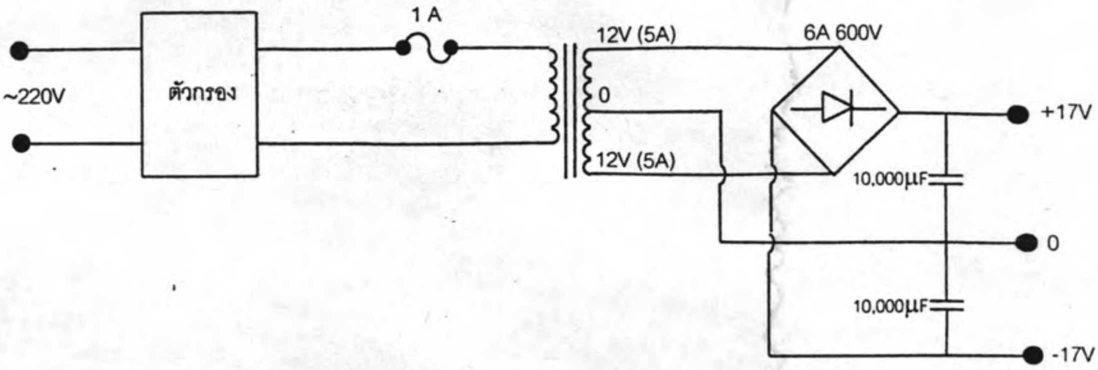
การออกแบบวงจรกำเนิดพัลส์คู่จะใช้ IC เบอร์ 74LS221 ซึ่งเป็นวงจรโมโนสเตเบิลอย่างง่ายในการสร้างพัลส์ที่มีความกว้างประมาณ 100 นาโนวินาที โดยการเลือกค่า R = 1.5 กิโลโอห์ม และ C = 75 พิโคฟารัด (คำนวนอย่างคร่าวๆ) การปรับระยะเวลาระหว่างพัลส์ก็ยังคงใช้วงจรโมโนสเตเบิลเช่นเดิม โดยเลือกตัวความต้านทานปรับค่าได้เท่ากับ 50 กิโลโอห์ม (สเกลแบบล็อกการิธึม) และ C = 147 นิโคฟารัด สำหรับช่วงเวลา 0.2 ถึง 4.7 ไมโครวินาที หรือ C = 3900 พิโคฟารัด สำหรับช่วงเวลา 3.7 ถึง 140 ไมโครวินาที หลังจากที่สร้างพัลส์ทั้งสองพัลส์ได้แล้ว ก็ทำการ "OR" สัญญาณพัลส์เข้าด้วยกันโดยใช้ IC เบอร์ 74F32 แสดงในรูปที่ ก.12



รูปที่ ก.12 วงจรกำเนิดพัลส์คู่อย่างง่าย

6.3 วงจรแหล่งจ่ายไฟเลี้ยง

แหล่งจ่ายไฟตรงใช้สำหรับจ่ายแรงดันสำหรับเลี้ยงวงจรทั้งหมด และแหล่งจ่ายไฟสลับประมาณ 12 โวลต์ สำหรับวงจร "หน้าต่างเวลา" และแสดงผลทางจอภาพ แสดงดังรูปที่ ก.13 โดยสามารถจ่ายกระแสได้ประมาณ 1.5 แอมแปร์ ที่แรงดันไม่น้อยกว่า 15 โวลต์



รูปที่ ก.13 วงจรแหล่งจ่ายไฟเลี้ยง

7. การต่อวงจรที่ออกแบบและประกอบสร้าง

การต่อวงจรและการประกอบวงจรต่างๆ เข้าไว้ด้วยกัน จะต้องพยายามหลีกเลี่ยงการเกิดกราวน์ลูป และบางวงจรที่มีความไวสูงอาจจะต้องมีชีลด์เพื่อป้องกันสัญญาณรบกวน รายละเอียดดังรูปที่ 3.1 บทที่ 3 ซึ่งแสดงเครื่องตรวจจับ PD ที่ประกอบสมบูรณ์แล้ว

ภาคผนวก ข.

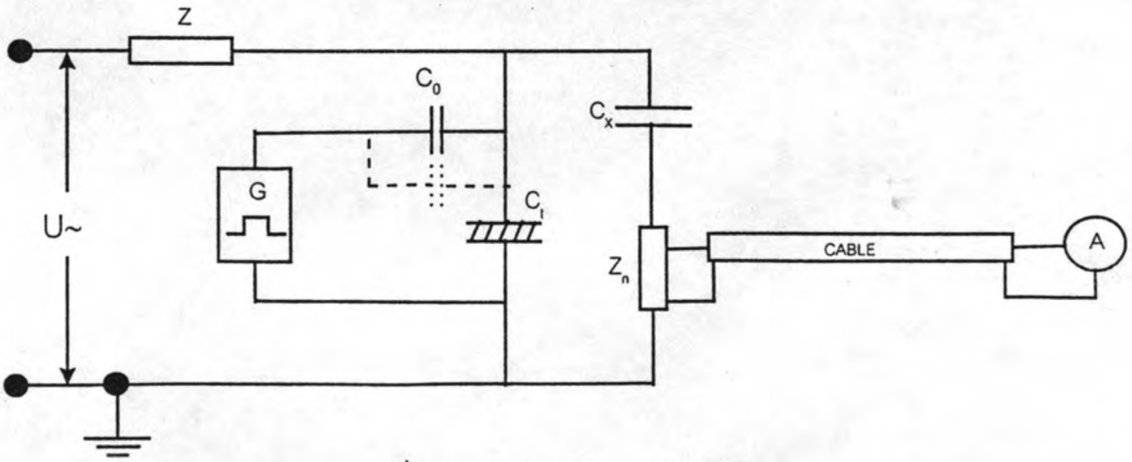
เครื่องปรับเทียบดีสชาร์จมาตรฐาน

เครื่องปรับเทียบดีสชาร์จมาตรฐาน (Discharge Calibrator) [8]

สมการสัญญาณเอาต์พุต $V_3(t)$ ของเครื่องตรวจจับ PD ดูรูปที่ 2.6 คือ

$$V_3(t) = q[C_k/(C_k+C_t)]h(t) \quad \text{(ข.1)}$$

จากสมการ ข.1 จะเห็นว่า สัญญาณเอาต์พุต $V_3(t)$ แปรตามขนาดของตัวเก็บประจุคับปลิงและวัสดุทดสอบ จึงต้องมีการปรับเทียบด้วยค่า PD มาตรฐานก่อนทำการป้อนแรงดันเข้าวงจรทดสอบโดยใช้ "เครื่องปรับเทียบดีสชาร์จมาตรฐาน" (Discharge calibrator) เพื่อใช้ในการจำลองการเกิด PD ด้วยการส่งผ่านกระแสพัลส์ที่มีขนาดของดีสชาร์จค่ามาตรฐาน q_o ที่ขั้วทั้งสองของวัสดุทดสอบ ดังรูป เครื่องปรับเทียบดีสชาร์จมาตรฐานประกอบด้วยแหล่งจ่ายแรงดันรูปขั้น หรือแรงดันแบบสี่เหลี่ยม U_o ต่ออนุกรมกับตัวเก็บประจุขนาดเล็ก (Calibrating capacitor) C_o ตามมาตรฐาน IEC (IEC Publ. No. 270) กำหนดให้ $C_o < 0.1\ (C_t + C_K)$ [9]



รูปที่ ข.1 วงจรสำหรับการปรับเทียบ

ภาคผนวก ค.

คำศัพท์

Absolute Temperature	อุณหภูมิสัมบูรณ์ (°K)
Amplifier	วงจรขยายสัญญาณ
Apparent Charge	ประจุที่ปรากฏ
Background Noise	สัญญาณรบกวนที่เกิดจากเครื่องตรวจจับ PD ไปปรากฏที่เอาต์พุต
Band-Pass Filter (BPF)	ตัวกรองความถี่กลาง
Boltzmann's Constant	ค่าคงตัวของโบลต์ซมันซ์ = $1.38*10^{-23}$ J/°K
Breakdown Voltage	แรงดันเบรกดาวน์
Characteristic Impedance	คาแรคเตอรีสติกอิมพีแดนซ์
Coupling Capacitor	ตัวเก็บประจุคับปลิง
Cut-off Frequency	ความถี่ตัด
Detection Impedance	อิมพีแดนซ์วัด
Discharge Calibrator	เครื่องปรับเทียบดีสชาร์จมาตรฐาน
Double Pulse Generator	เครื่องกำเนิดพัลส์คู่
Equivalent Bandwidth	แบนด์วิดท์สมมูล
Equivalent Circuit	วงจรสมมูล
Filter	ตัวกรอง
Frequency Domain	โดเมนความถี่
High-Pass Filter (HPF)	ตัวกรองความถี่ผ่านสูง
Internal Discharge	ดีสชาร์จภายใน
Low-Pass Filter (LPF)	ตัวกรองความถี่ผ่านต่ำ
Measuring Impedance	อิมพีแดนซ์วัด
Minimum Detectable of PD	ค่าพัลส์ต่ำสุดที่เครื่องสามารถตรวจจับได้ หรือความไว
Partial Discharge	ดีสชาร์จบางส่วน
Sensitivity	ความไว
Test Object	วัสดุทดสอบ
Travelling Wave	คลื่นจร
Wide-Band PD Detector	เครื่องตรวจจับ PD แบบแถบกว้าง

ประวัติผู้วิจัย

นายวิชัย วรรธนะโสภณ เกิดเมื่อวันที่ 28 มิถุนายน พ.ศ. 2511 สำเร็จการศึกษาวิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า ที่จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2534

ในด้านการทำงาน เคยทำงานด้านการติดตั้งระบบไฟฟ้า สถานีจ่ายไฟฟ้าขนาด 115 KV ของการไฟฟ้าฝ่ายผลิต และงานติดตั้งระบบไฟฟ้า ปรับอากาศ สุขาภิบาล เป็นเวลา 6 ปี

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย