หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 3

การออกแบบระบบควบคุมการทดสอบแรงดันอิมพัลส์แบบอัตโนมัติ

ระบบควบคุมการทดสอบแรงดันอิมพัลส์แบบอัตโนมัติจะประกอบด้วยวงจรควบคุมการอัดประจุ วงจรสั่งพัลส์ไกสวิตช์ วงจรอ่านค่ายอดแรงดันอิมพัลส์ วงจรตรวจจับกระแสเบรกดาวน์ และไมโครโปรเซสเซอร์ ดังที่กล่าวแล้วในบทที่ 2 ในที่นี้จะได้กล่าวถึงการออกแบบในแต่ละส่วนต่อไป

3.1 การออกแบบและประกอบสร้างวงจรควบคุม

ในงานวิจัยนี้จะใช้เครื่องควบคุมตัวจ่ายแรงดันอัดประจุ [3] เป็นตัวจ่ายแรงดันให้กับเครื่องกำเนิดแรงดันอิมพัลส์และระบบวัด [4] และวัดค่ายอดแรงดันอิมพัลส์ด้วยเครื่องวัดค่ายอดแรงดันอิมพัลส์ ซึ่งแต่ละส่วนมีคุณลักษณะที่กำหนดดังนี้

1) เครื่องกำเนิดแรงดันอิมพัลส์แบบ 4 ชั้น ขนาด 400 กิโลโวลต์ ชั้นละ 100 กิโลโวลต์ มีค่าตัวเก็บประจุอิมพัลส์รวม 12.5 nF มีดีซีโวลเตจดิไวเดอร์ที่ทำหน้าที่แบ่งทอนแรงดันอัดประจุ 0 ถึง $\pm$ 100 กิโลโวลต์ ลงเหลือ 0 ถึง $\pm$ 100 โวลต์ และมีอิมพัลส์โวลเตจดิไวเดอร์ทำหน้าที่แบ่งทอนแรงดันอิมพัลส์ 0 ถึง $\pm$ 400 กิโลโวลต์ ลงต่ำกว่า $\pm$ 1600 โวลต์ และการสั่งพัลส์ไกสวิตช์สามารถทำได้โดยส่งพัลส์ 220 โวลต์ ให้แก่โซลีนอยด์เพื่อให้โซลีนอยด์ทำงานส่งแรงอัดคัปปลิงผ่านแท่งเบกะไลท์ไปที่เซรามิกส์เปียโซไฟฟ้า

2) เครื่องควบคุมตัวจ่ายแรงดันอัดประจุ ขนาด 7.5 kVA จะปรับแรงดันเข้ากระแสสลับ 220 โวลต์ ให้แก่หม้อแปลงไฟฟ้าแรงสูงโดยการควบคุมสัญญาณแรงดันไฟตรง 0-5.0 โวลต์ ที่นำไปควบคุมวงจรขับเกตเอสซีอาร์ขนาด 600 โวลต์ 90 แอมป์ และสามารถส่งพัลส์ไกสวิตช์โดยการกดปุ่ม TRIGGER ซึ่งเป็นสวิตช์กดติดปล่อยดับเป็นการจ่ายไฟเลี้ยง 12 โวลต์ ให้กับรีเลย์ที่ทำหน้าที่ปิดเปิดหน้าสัมผัสทำให้เกิดการต่อสัญญาณไฟกระแสสลับ 220 โวลต์ ให้แก่โซลีนอยด์ในเครื่องกำเนิดแรงดันอิมพัลส์

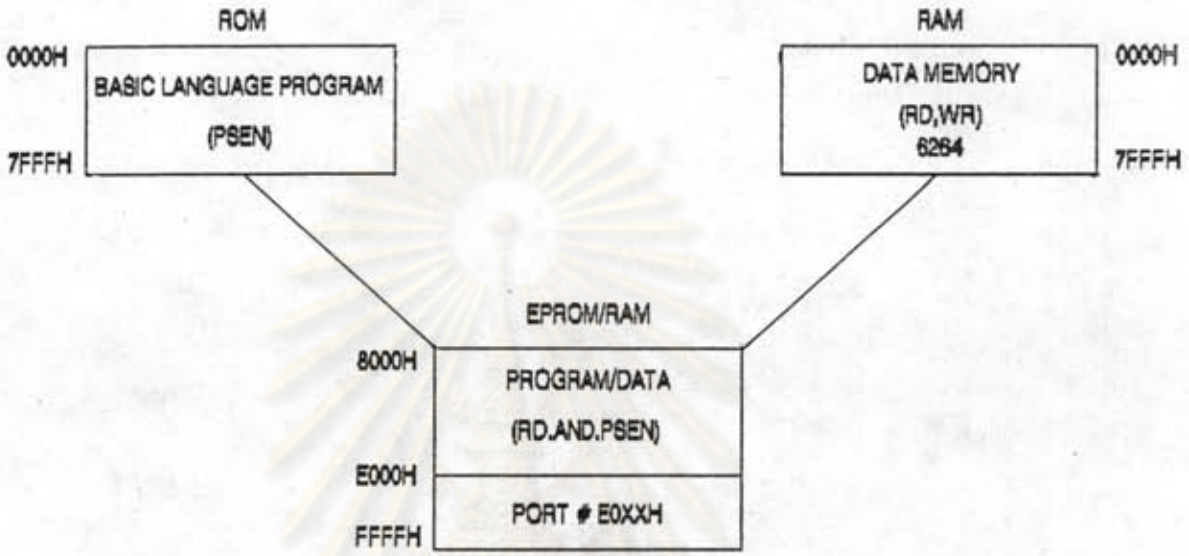
3) เครื่องวัดค่ายอดแรงดันอิมพัลส์ของ HAEFELY Type 64M สามารถรับแรงดันอิมพัลส์อินพุตจากอิมพัลส์โวลเตจดิไวเดอร์ $\pm$ 1600 โวลต์ และให้ผลในรูป

สัญญาณ BCD 3 digit ซึ่งสามารถต่ออินเตอร์เฟสกับไอซีตระกูล TTL ขนาด 5 โวลต์ ไปที่หัวต่อแบบ 36 ขั้ว แอมฟีนอล ที่อยู่ด้านหลัง

3.1.1 วงจรอินเตอร์เฟสระหว่างไมโครโปรเซสเซอร์กับอุปกรณ์อื่นๆ

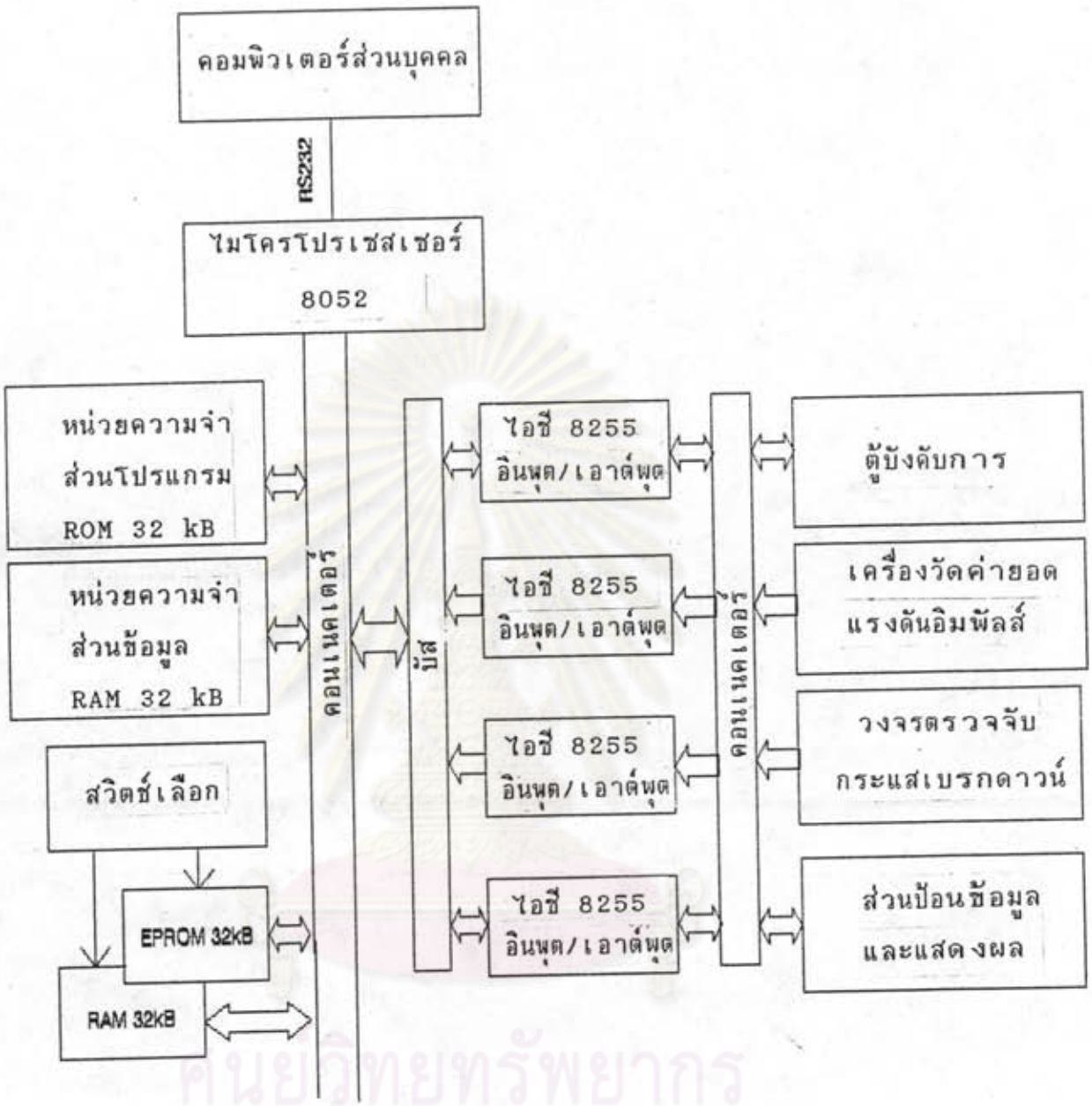
ในงานวิจัยนี้ได้นำไมโครโปรเซสเซอร์มาใช้สั่งงานควบคุมการทดสอบแทนผู้ปฏิบัติงาน ซึ่งมีหน้าที่กว้างๆคือ อ่านแรงดันอัดประจุและส่งสัญญาณควบคุมเกตเอสซีอาร์ด้วยสัญญาณอนาลอก ตรวจจับการเกิดวาบไฟและอ่านค่ายอดแรงดันอิมพัลส์ในรูปสัญญาณดิจิตอล และติดต่อรับข้อมูลและคำสั่ง แสดงผลทางหน้าปัทม์และเครื่องพิมพ์ ซึ่งขอบข่ายของงานไม่กว้างนัก และการทดสอบแรงดันสูงอิมพัลส์ควรจะป้อนแรงดันดีสชาร์จไม่เกิน 3 ครั้งต่อนาที จึงไม่ต้องการความเร็วสูงมากนัก ซึ่งไมโครโปรเซสเซอร์ขนาด 8 บิตก็เพียงพอต่อขนาดของงานระดับนี้ ดังนั้นจึงเลือกใช้ไมโครโปรเซสเซอร์ขนาด 8 บิต ซึ่งไมโครโปรเซสเซอร์ เบอร์ 8052 ได้มีการผลิตเป็นบอร์ดสำเร็จรูป ที่มีการประกอบกับหน่วยความจำรอม แร็มและไอซี 8255 เฟอริเฟอรอลอินเตอร์เฟส ในหน่วยความจำรอมมีการเก็บโปรแกรมภาษาเบสิก และสามารถนำมาใช้ร่วมกับเครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลได้โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป PROCOMM PLUS ซึ่งติดต่อกับไมโครโปรเซสเซอร์โดยต่อแบบมาตรฐานอนุกรม RS232 และในบอร์ดสำเร็จรูปนี้จะมีการต่อบัสข้อมูล แอดเดรส และสัญญาณควบคุม ทั้งหมดไปที่คอนเนคเตอร์ จึงสะดวกต่อการเพิ่มขยายวงจรนอกจากนี้ยังสามารถเก็บโปรแกรมของผู้ใช้ไว้ในแร็มที่ใช้แบตเตอรีหรือในอีพรอมได้ การจัดหน่วยความจำจะแยกกันระหว่างหน่วยความจำสำหรับข้อมูลกับหน่วยความจำที่เป็นโปรแกรม ดังแสดงในรูปที่ 3.1 ซึ่งมีโปรแกรมภาษาเบสิกอยู่ในรอมแอดเดรส 0000H-7FFFH และเก็บข้อมูลชั่วคราวได้ที่แร็มที่แอดเดรส 0000H-7FFFH ส่วนข้อมูลของผู้ใช้ที่ต้องการเก็บถาวรสามารถเก็บไว้ที่ 8000H-DFFFH ส่วนแอดเดรส E000H-FFFFH มีไว้ให้ผู้ใช้นำไปประยุกต์ใช้งานอื่นๆ การนำบอร์ดสำเร็จรูปนี้มาประยุกต์ใช้งานจะให้ความสะดวกมากกว่า ราคาถูก สามารถหาซื้อได้ง่าย การขยายวงจรเพิ่มเติม การสั่งงานและตรวจแก้ไขโปรแกรมจะทำได้ง่าย แต่เนื่องจากพอร์ตอินพุต/เอาต์พุตมีเพียง 4 พอร์ต ซึ่งน้อยเกินไป ไม่พอเหมาะกับขนาดวงจรที่จะขยายเพิ่มเติม จึงได้ขยายพอร์ตเพิ่มขึ้นโดยการเพิ่มวงจรเลือกแอดเดรสด้วยไอซี 74138 และเพิ่มไอซี 8255เฟอริเฟอรอลอินเตอร์เฟส ซึ่งเป็นพอร์ตขนานที่สามารถโปรแกรมได้ และสามารถกำหนดพอร์ตอินพุต/เอาต์พุต ได้ทั้งหมด 3 พอร์ต (24 บิต) ซึ่งการอินเตอร์เฟสระหว่างไมโครโปรเซสเซอร์กับเครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลและไอซี 8255 ได้แสดงไว้ในรูป

ที่ 3.2 ไมโครโปรเซสเซอร์สามารถส่งคำสั่งให้แก่ไอซี 8255 โดยเลือกแอดเดรสของตัวที่ต้องการสั่งงานซึ่งแต่ละตัวจะมีแอดเดรสแตกต่างกันดังแสดงในตารางที่ 3.1



รูปที่ 3.1 แผนผังการจัดหน่วยความจำ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 3.2 ผังแสดงการอินเตอร์เฟสระหว่างไมโครโปรเซสเซอร์กับเครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลและระหว่างไมโครโปรเซสเซอร์กับอุปกรณ์อื่นๆ

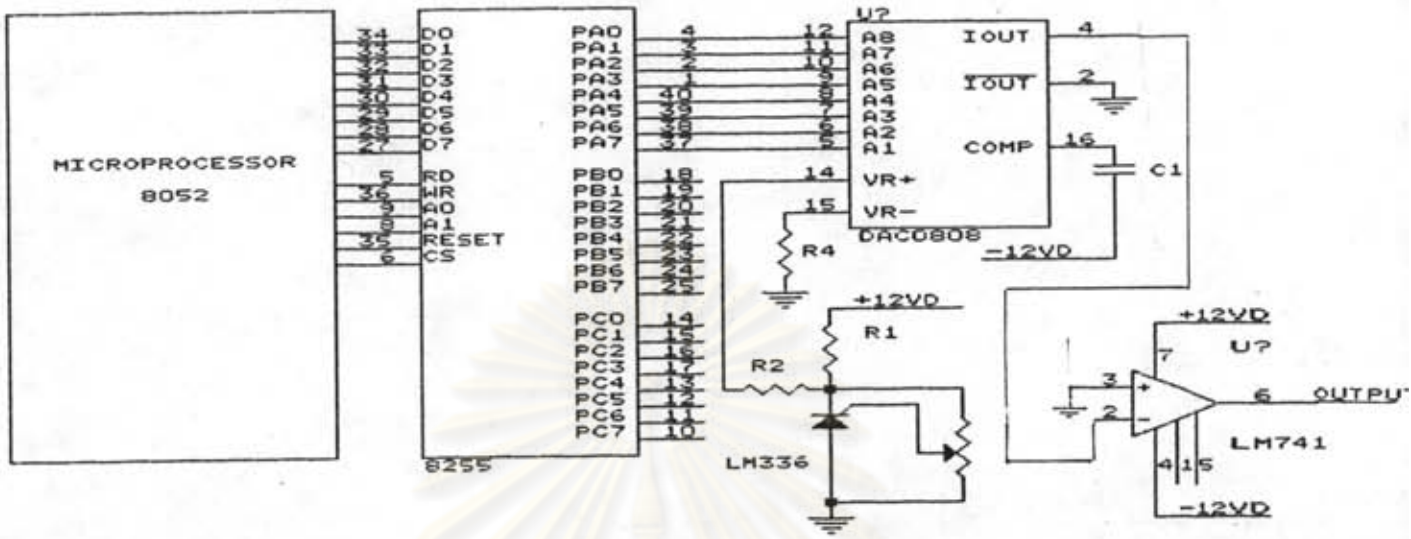
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 3.1 แอดเดรสของไอซี 8255

ไอซี 8255 ตัวที่	แอดเดรส	หน้าที่
1	0FE80H-0FE83H	แสดงผลทางเครื่องพิมพ์
2	0FF80H-0FF83H	แสดงผลทาง 7 SEGMENT
3	0E0C8H-0E0CBH	ขับไดโอดปล่อยแสง
4	0FF90H-0FF93H	รับข้อมูลจากแป้นกดและปุ่มควบคุม
5	0E0C0H-0E0C3H	ควบคุมแรงดันเกตเอสซีอาร์
6	0E0C4H-0E0C7H	อ่านค่าแรงดันอัดประจุ
7	0FF90H-0FF8BH	ควบคุมพัลส์ไกสวิตช์และรีเลย์
8	0E0CCH-0E0CFH	อ่านค่ายอดแรงดันอิมพัลส์และกระแสเบรกดาวน์

3.1.2 การควบคุมแรงดันอัดประจุ 0 ถึง $\pm$ 100 กิโลโวลต์ด้วยเอสซีอาร์

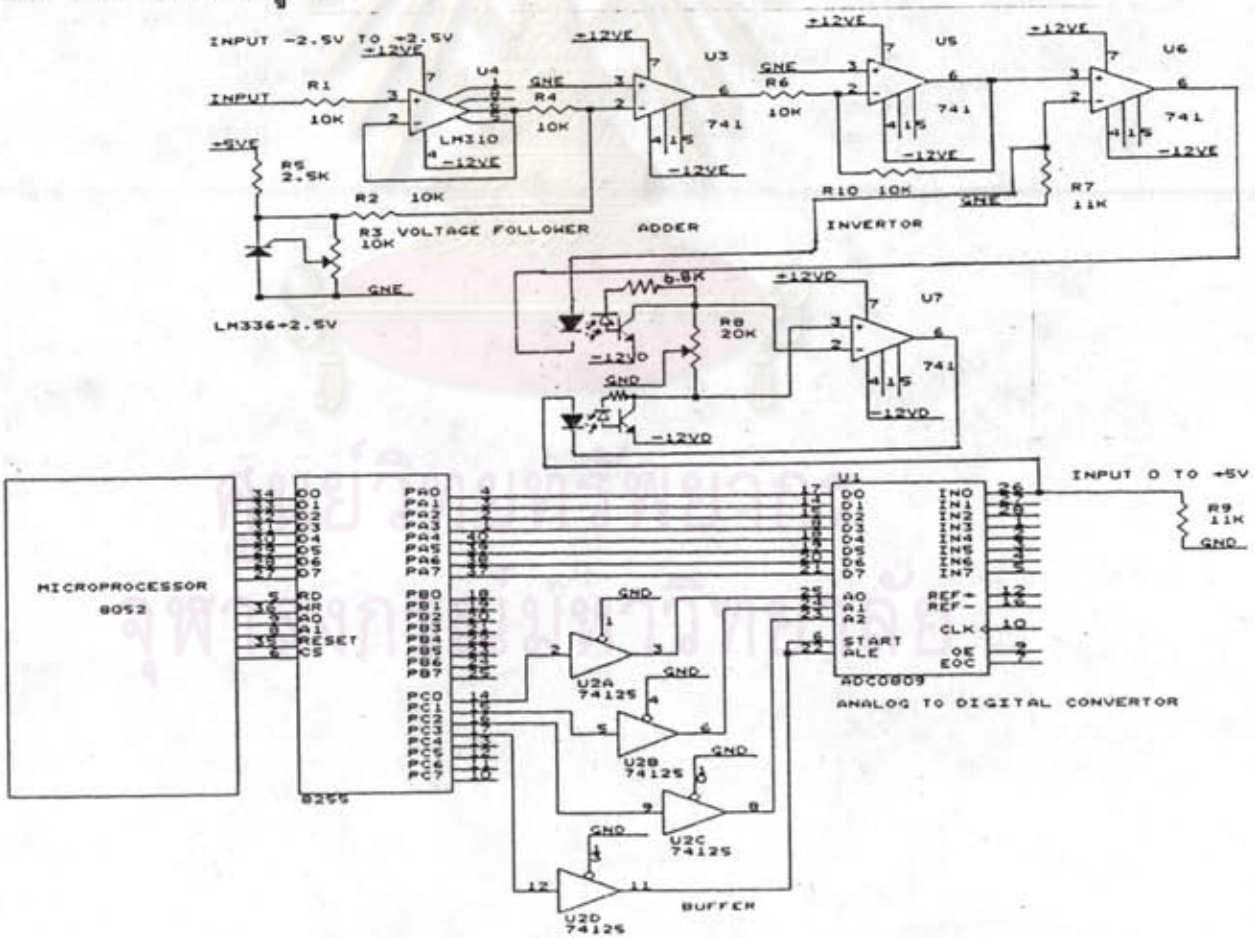
การเพิ่มแรงดันอัดประจุ 0 ถึง $\pm$ 100 กิโลโวลต์ สามารถทำได้โดยการปรับสัญญาณแรงดันไฟตรง 0-5.0 โวลต์ที่ขาเกตเอสซีอาร์ ดังนั้นการออกแบบส่วนนี้ จึงจำเป็นต้องแปลงสัญญาณดิจิตอลให้เป็นสัญญาณอนาลอกในรูปของแรงดัน 0-5.0 โวลต์ เนื่องจากไมโครโปรเซสเซอร์มีขนาด 8 บิต สามารถส่งค่าสั่งผ่านไอซี 8255 ได้ 0-255 ระดับ จึงเลือกใช้ไอซี DAC0808 ซึ่งเป็นไอซีสำหรับแปลงสัญญาณดิจิตอลเป็นอนาลอกขนาด 8 บิต แต่สัญญาณอนาลอกเอาต์พุตอยู่ในรูปสัญญาณกระแส จึงต้องใช้วงจรแปลงกระแสเป็นแรงดันโดยใช้ออปแอมป์ 741 ดังแสดงในรูปที่ 3.3 ดังนั้นเมื่อไมโครโปรเซสเซอร์สั่งเพิ่มแรงดันทีละระดับจะเป็นการเพิ่มสัญญาณแรงดันไฟตรงทีละ 0.02 โวลต์



รูปที่ 3.3 วงจรอินเตอร์เฟสระหว่างไมโครโปรเซสเซอร์
กับส่วนควบคุมแรงดันเกตเอสซีอาร์

การอ่านค่าแรงดันอัดประจุสามารถทำได้โดยอ่านแรงดัน 0 ถึง $\pm$ 100 โวลต์ จากภาคแรงต่ำของดีซีโวลเตจดิไวเดอร์ ไมโครโปรเซสเซอร์จะสามารถอ่านแรงดันนี้ได้โดยอ่านข้อมูลที่เป็นสัญญาณดิจิตอลจากไอซี 8255 ซึ่งรับสัญญาณจากวงจรแปลงอนาลอกเป็นดิจิตอล ซึ่งได้เลือกใช้ไอซี ADC0809 เป็นตัวทำหน้าที่นี้ เพราะมีขนาด 8 บิต แรงดันเอาต์พุตเป็นแบบ TTL ซึ่งสามารถต่อใช้งานกับไอซี 8255 และกินไฟเพียง 15 มิลลิวัตต์ มีวงจรประกอบอื่นๆภายในตัวไอซีเอง ทำให้ง่ายและสะดวกในการนำมาใช้งานมีความผิดพลาด $\pm$1 LSB มีความเร็วในการแปลงสัญญาณเท่ากับ 100 us ซึ่งเร็วพอสำหรับการอ่านแรงดันอัดประจุซึ่งเป็นแรงดันไฟตรงที่ค่อยๆอัดประจุให้กับตัวเก็บประจุที่อัตราการเพิ่มแรงดันควรจะไม่เกิน 3 ครั้งต่อนาที ซึ่งในเครื่องกำเนิดแรงดันอิมพัลส์นี้สามารถเพิ่มแรงดันอัดประจุสูงสุดคือ 100 กิโลโวต์ ดังนั้นอัตราการเพิ่มแรงดันสูงสุดคือ 100 กิโลโวลต์ต่อ 20 วินาที และเมื่อทอนเป็นแรงต่ำก็จะมีอัตราการเพิ่มแรงดันสูงสุดเท่ากับ 5 โวลต์ ต่อ 20 วินาที และสามารถรับอินพุตได้ 8 อินพุตเพื่อใช้อินพุตที่ 1เป็นอินพุตสำหรับแรงดันอัดประจุ ส่วนอินพุตที่ 2 และ 3 ใช้สำหรับตรวจสอบความถูกต้องของการทำงานของไอซีตัวนี้ โดย

การต่ออินพุตเข้ากับกราวด์และไฟเลี้ยงตามลำดับ ไอซี ADC0809 สามารถรับแรงดันอินพุตได้ไม่เกิน 5 โวลต์ แต่แรงดันอัดประจุมีทั้งขั้วบวกและขั้วลบ จึงต้องแบ่งทอนแรงดันออกเป็น 2 ระดับคือ 0-2.5 โวลต์สำหรับขั้วลบ และ 2.5-5 โวลต์สำหรับขั้วบวก ดังนั้นจึงแบ่งทอนแรงดันอัดประจุ 0 ถึง $\pm$ 100 กิโลโวลต์ ลงเหลือ 0 ถึง $\pm$ 2.5 โวลต์ แล้วนำไปเข้าวงจรบวกเพิ่ม +2.5 โวลต์ ดังนั้นจะได้แรงดันอินพุตของไอซี ADC0809ขนาด 0-5 โวลต์ ตามที่ต้องการ แต่สัญญาณเหล่านี้จะมีการเปลี่ยนแปลง dv/dt สูงมาก ขณะที่มีการกดพัลส์ไกสวิตช์แรงดันอัดประจุนี้จะคายประจุให้กับวัสดุทดสอบและอิมพัลส์โวลเตจดิไวเดอร์ ทำให้แรงดันอัดประจุลดลงอย่างฉับพลัน ก่อให้เกิดคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้ารบกวนไมโครโปรเซสเซอร์และวงจรอิเล็กทรอนิกส์ จึงจำเป็นต้องต่อวงจรออปโตคัปเปลอร์เพื่อส่งผ่านสัญญาณอนาลอกให้กับไอซี ADC0809 และเนื่องจากการต่อเชื่อมวงจรเพื่ออ่านค่าแรงดันอัดประจุนั้นจำเป็นจะต้องเป็นแบบอิมพีแดนซ์ทางเข้าสูงมากเพื่อไม่ให้มีผลกระทบต่ออัตราส่วนของอิมพีแดนซ์ของดิไวเดอร์จึงต้อใช้วงจร voltage follwer ก่อนที่จะต่อเข้ากับวงจรบวกเพิ่มดังแสดงในรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.4 วงจรอ่านค่าแรงดันอัดประจุ

ออปโตคัปเปลอร์ทั่วไปจะมีลักษณะดังแสดงในรูปที่ 3.5 ซึ่งแบ่งเป็น 2 ประเภทคือ ประเภทที่ใช้โฟโตทรานซิสเตอร์ และประเภทที่ใช้โฟโตไดโอด ทั้งสองประเภทมีหลักการทำงานดังนี้คือ เมื่อมีกระแสไหลผ่านไดโอดปล่อยแสง I_F จะเกิดแสงไปกระทบโฟโตทรานซิสเตอร์หรือโฟโตไดโอด ทำให้เกิดนำกระแส I_L ซึ่งแปรผันตามขนาดของความสว่างของแสงหรือกระแส I_F แต่ออปโตคัปเปลอร์ทั่วไปการแปรผันตามของกระแสที่กล่าวมานี้จะมีลักษณะไม่เป็นเชิงเส้น(non-linearity)

ก. ประเภทโฟโตทรานซิสเตอร์ ข. ประเภทโฟโตไดโอด

รูปที่ 3.5 ออปโตคัปเปลอร์

วงจรออปโตคัปเปลอร์ที่ใช้ส่งผ่านสัญญาณแรงดันอัดประจุนี้จะต้องส่งสัญญาณเชิงเส้น(linearity) จึงเลือกใช้วงจร two-matched emitter-detector pairs ดังแสดงในรูปที่ 3.6 ซึ่งมีหลักการทำงานดังนี้คือออปแอมป์ A2 จะเป็นตัวจ่ายกระแสให้กับไดโอดปล่อยแสง LED2 ทำให้ไดโอดปล่อยแสง LED2 นำกระแสและปล่อยแสงกระทบโฟโตไดโอด PD2 ทำให้มีกระแส I_{L2} ไหลผ่านโฟโตไดโอด PD2 ทำให้ทรานซิสเตอร์ Q2 ทำงานมีกระแสผ่านความต้านทาน R_2 และมีแรงดันตกคร่อมเท่ากับ $\beta_2 I_{L2} R_2$ ซึ่งต่อเข้ากับอินพุตบวกของออปแอมป์ A2 เนื่องจากความแตกต่างของแรงดันอินพุตบวกและอินพุตลบของออปแอมป์มีค่าเป็นศูนย์ ดังนั้นแรงดันตกคร่อมความต้านทาน R_1 และ R_2 จะเท่ากัน นั่นคือ

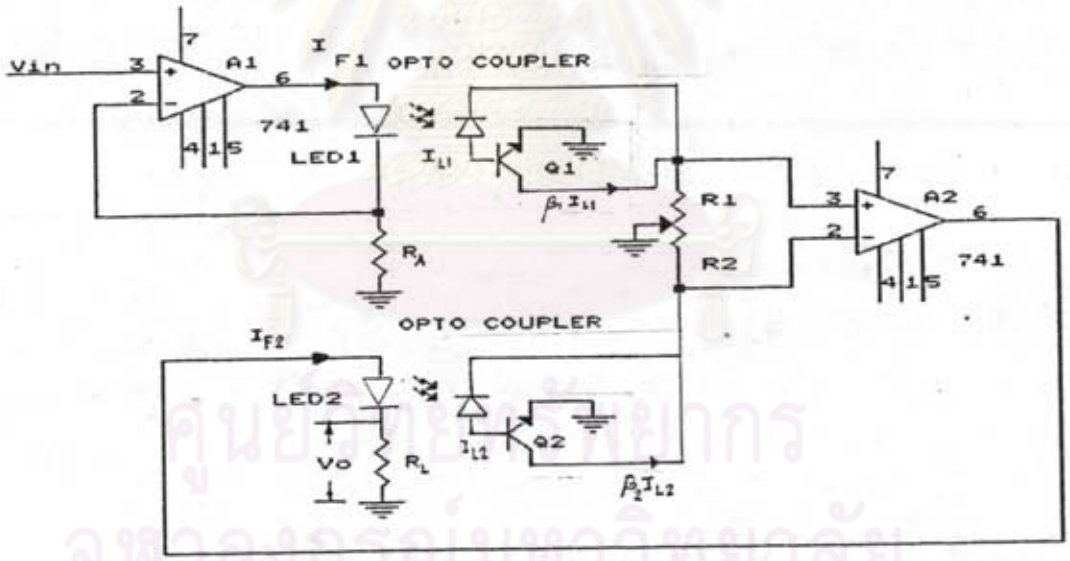
$$\beta_1 I_{L1} R_1 = \beta_2 I_{L2} R_2$$

β_1 และ β_2 คืออัตราการขยายของทรานซิสเตอร์

และถ้าเราใช้ออปโตคัปเปลอร์ชนิดเดียวกันและปรับให้ $R_1=R_2$ จะทำให้กระแส $I_{L1}=I_{L2}$ และกระแสที่ไหลผ่านไดโอดปล่อยแสง I_{F1}และI_{F2} ซึ่งเป็นตัวแปรของกระแส I_{L1},I_{L2} ตามลำดับก็จะมีค่าเท่ากัน กระแส I_{F1} สามารถคำนวณได้จากแรงดันอินพุต(V_{in})หารด้วยความต้านทาน R_A ดังนั้นแรงดันเอาต์พุตที่คร่อมความต้านทาน R_L ที่มีค่าเท่ากับ $I_{F2}R_L$ สามารถคำนวณโดยการแทนค่า I_{F2} ด้วย I_{F1} ดังสมการข้างล่าง

$$V_o = Vin(R_L/R_A)$$

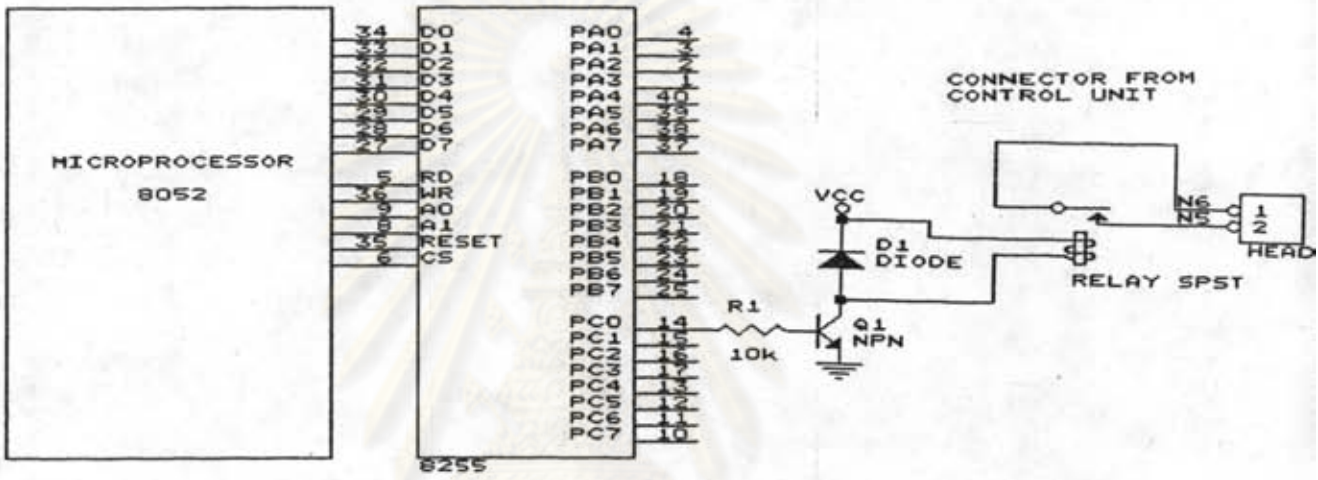
ถ้าเลือกใช้ความต้านทาน R_L.R_A ให้มีค่าเท่ากันก็จะได้วงจรส่งผ่านสัญญาณอนาลอกแบบเส้นตรง และออปโตคัปเปลอร์ที่ใช้เป็นรุ่น 6N136 ซึ่งเป็นแบบโฟโตไดโอดที่มีการส่งผ่านสัญญาณค่อนข้างเป็นแบบเส้นตรง



รูปที่ 3.6 วงจรออปโตคัปเปลอร์ส่งผ่านสัญญาณอนาลอกแบบ two-matched emitter-detector pairs

3.1.3 ส่วนควบคุมพัลส์ไกสวิตช์

ไมโครโปรเซสเซอร์สามารถควบคุมพัลส์ไกสวิตช์ได้โดยการควบคุมทรานซิสเตอร์ที่ทำหน้าที่จ่ายไฟเลี้ยงให้รีเลย์ที่ควบคุมไฟเลี้ยงรีเลย์ในเครื่องควบคุมตัวจ่ายแรงดันอัดประจุซึ่งหน้าสัมผัสจะควบคุมการจ่ายแรงดัน 220 โวลต์ให้ขดโซลีนอยด์ เมื่อไมโครโปรเซสเซอร์สั่งวงจรควบคุมพัลส์ไกสวิตช์จะทำให้รีเลย์ทั้งสองตัวทำงานปิดหน้าสัมผัสลงเป็นการจ่ายแรงดันให้กับโซลีนอยด์ ซึ่งจะก่อให้เกิดแรงอัดแก่เซรามิกส์ไฟฟ้าเปียโซต่อไป ดังแสดงในรูปที่ 3.7

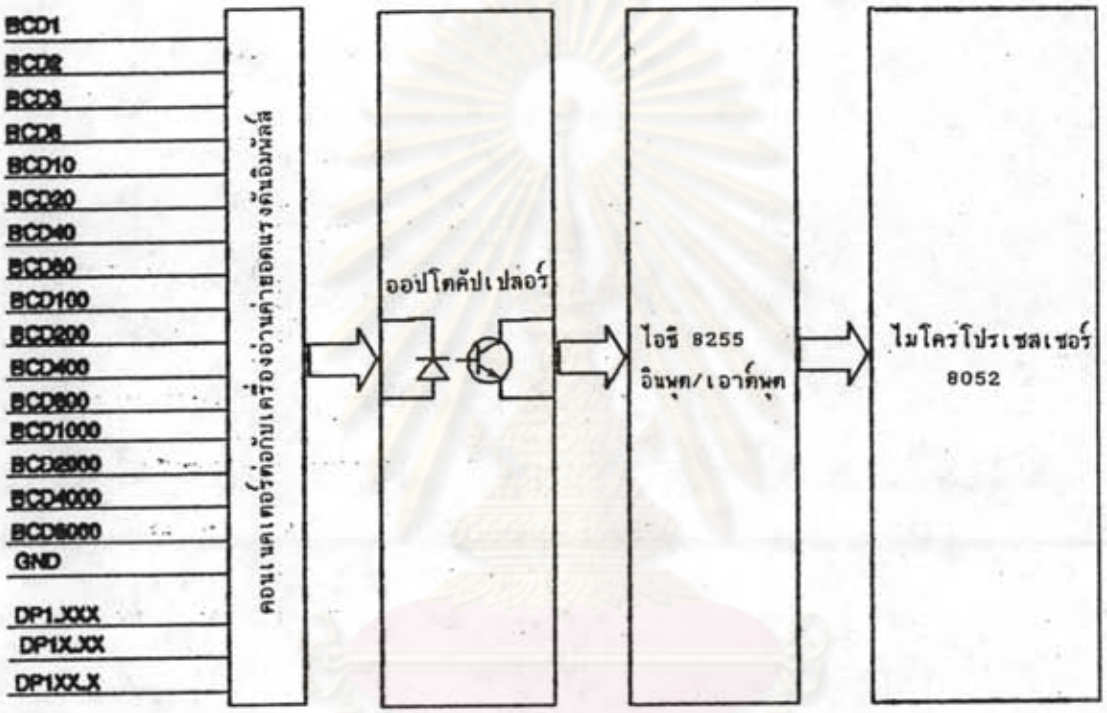


รูปที่ 3.7 วงจรควบคุมพัลส์ไกสวิตช์

3.1.4 วงจรอ่านค่ายอดแรงดันอิมพัลส์

เครื่องวัดค่ายอดแรงดันอิมพัลส์จะแสดงผลและส่งสัญญาณแบบดิจิตอลมาที่หัวต่อแบบ 36 ขั้ว แอมฟีนอล ซึ่งจะส่งค่ายอดแรงดันอิมพัลส์ในรูป BCD จำนวนตัวเลขทั้งหมด 3 ตัว และมีสัญญาณแสดงจุดทศนิยม 3 สาย ทางด้านเครื่องควบคุมอัตโนมัติ เมื่อรับสัญญาณจากเครื่องวัดค่ายอดแรงดันอิมพัลส์ แล้วจะต่อผ่านออปโตคัปเปลอร์และไอซี 8255 ซึ่งเป็นอินพุตพอร์ตเพื่อแยกไม่ให้สัญญาณต่อเข้าไมโครโปรเซสเซอร์โดยตรงเป็นการป้องกันไม่ให้เกิดแรงดันเกินหรือคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้ารบกวนวงจรอิเล็กทรอนิกส์ ออปโตคัปเปลอร์ที่เลือกใช้เป็นเบอร์ ILQ74 ซึ่งเป็นประเภทโฟโตทรานซิสเตอร์เพราะในวงจรนี้ใช้ส่งผ่านแบบดิจิตอลและไอซีเบอร์นี้ประกอบด้วยออปโตคัปเปลอร์ 4 ตัว และต้องการกระแส I_F เพียง 20 มิลลิแอมป์ ที่จะทำให้แรงดันเอาต์พุตที่ขาคอลเลคเตอร์ของทรานซิสเตอร์มีสถานะ

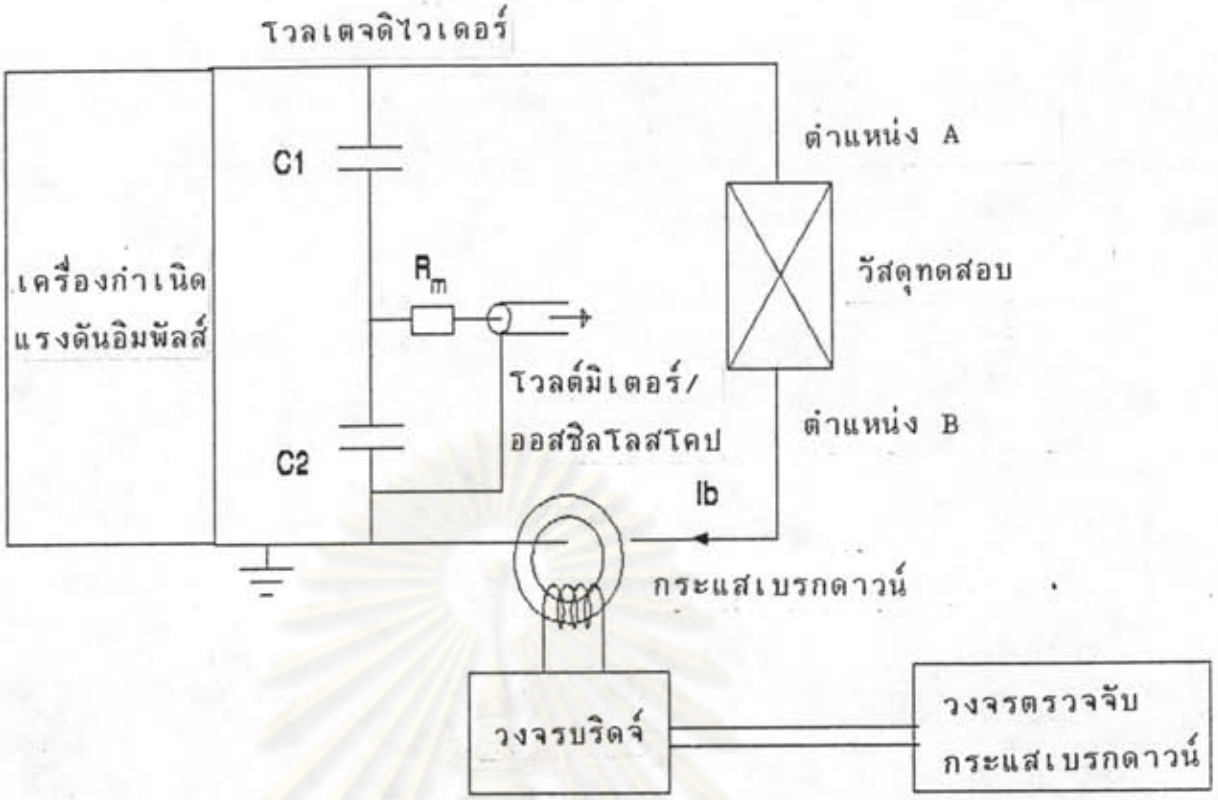
เป็น '1' ซึ่งสามารถต่ออินเตอร์เฟสกับสัญญาณประเภท TTL จากเครื่องวัดค่ายอดแรงดันอิมพัลส์ได้ ดังแสดงในรูปที่ 3.8



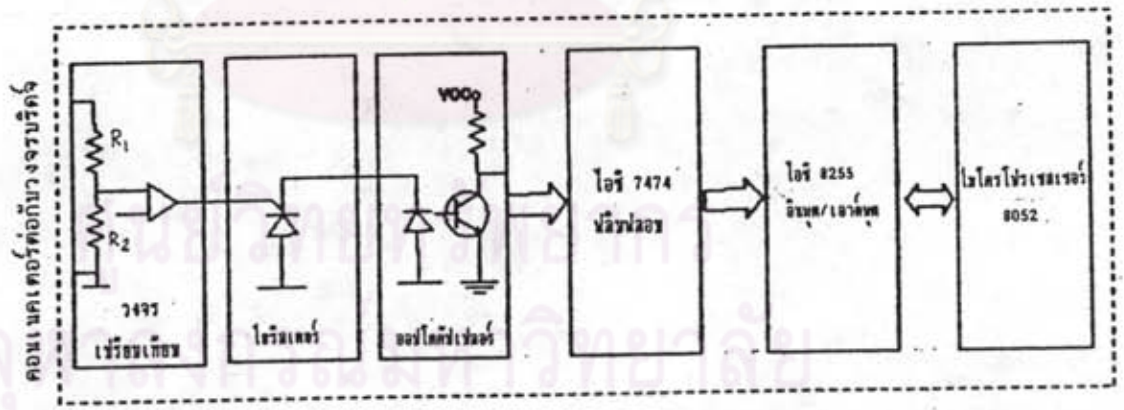
รูปที่ 3.8 วงจรอ่านค่ายอดแรงดันอิมพัลส์

3.1.5 วงจรตรวจจับกระแสเบรกดาวน์

กระแสเบรกดาวน์จะมีค่าสูงมากจึงจำเป็นต้องแบ่งทอนกระแสลงมาโดยใช้แกนทอรอยด์พันด้วยลวดทองแดงอาบน้ำยาประมาณ 40 รอบ จะทำหน้าที่แปลงกระแสให้มีค่าต่ำลงแล้วนำไปผ่านวงจรบริดจ์ ผ่านสายเคเบิลแบบคู่และมีชีลด์



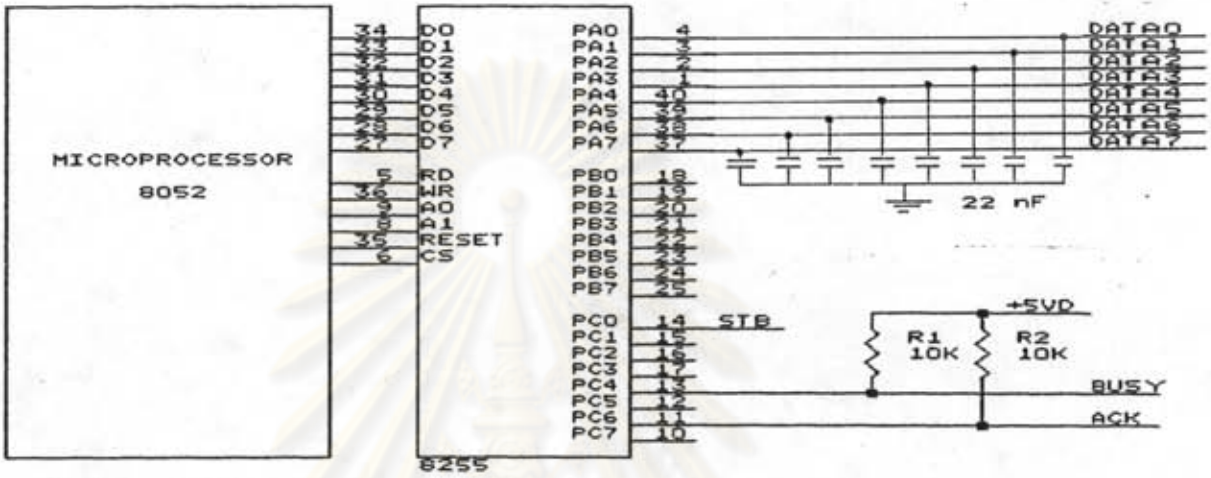
รูปที่ 3.9 แสดงการติดตั้งอุปกรณ์ตรวจจับกระแสเบรกดาวน์



รูปที่ 3.10 ผังวงจรตรวจจับกระแสเบรกดาวน์

3.1.6 วงจรแสดงผลทางเครื่องพิมพ์

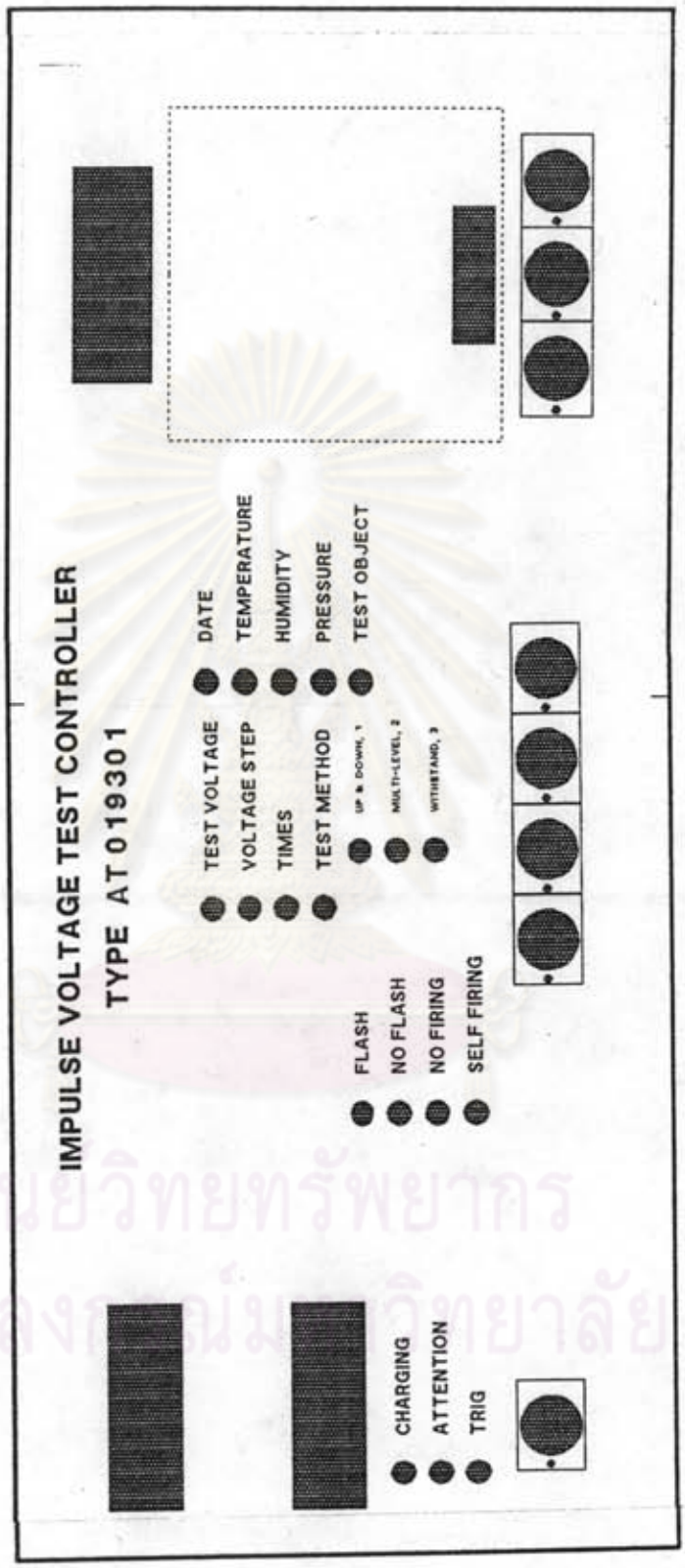
เมื่อเครื่องควบคุมอัตโนมัติทดสอบแรงดันอิมพัลส์เสร็จเรียบร้อยแล้ว ก็จะแสดงผลการทดสอบทางเครื่องพิมพ์ โดยไมโครโปรเซสเซอร์จะสั่งผ่านไอซี 8255 ดังแสดงในรูปที่ 3.11



รูปที่ 3.11 วงจรแสดงผลทางเครื่องพิมพ์

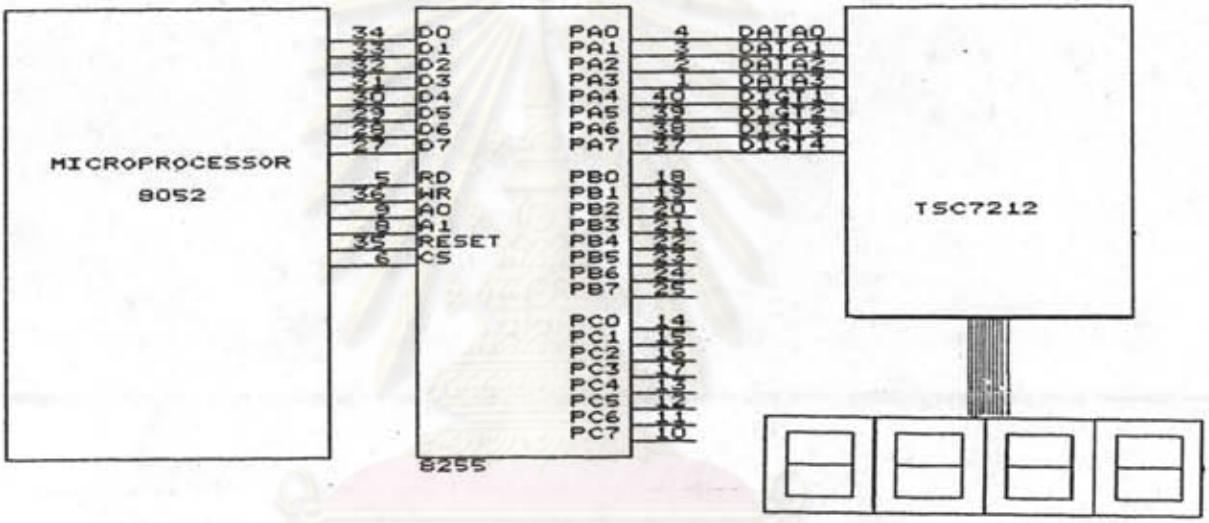
3.1.7 วงจรแสดงผลทางหน้าปัทม์

ในรูปที่ 3.12 แสดงองค์ประกอบต่างๆบนหน้าปัทม์ได้แก่ สวิตช์ควบคุมไดโอดปล่อยแสงแสดงผล และ 7 SEGMENT 3 ชุด ชุดแรกทางขวามือสุดใช้แสดงข้อมูลที่ผู้ใช้ป้อนทางแป้นกด ส่วนชุดซ้ายบนสุดใช้แสดงจำนวนครั้งที่ได้ทำการทดสอบแรงดันอิมพัลส์แล้ว และชุดทางซ้ายล่างใช้แสดงจำนวนครั้งที่เกิดการวาบไฟตามผิว ในรูปที่ 3.13 แสดงวงจรขับ 7 SEGMENT ไมโครโปรเซสเซอร์จะสั่งขับ 7 SEGMENT ได้โดยสั่งผ่านไอซี 8255 ที่ทำหน้าที่เป็นเอาต์พุตพอร์ตสั่งต่อไปที่ไอซี TSC7212 ซึ่งหน้าที่ขับ 7 SEGMENTได้พร้อมกัน 4 ตัว ไมโครโปรเซสเซอร์ต้องส่งค่าสั่งเลือก 7 SEGMENT ตัวที่ต้องการขับ (DIGT1-DIGT4) พร้อมข้อมูลที่ต้องการแสดง(DATA0-DATA3) ซึ่งสามารถส่งตัวเลข 0-9 และอักษร - E H LP ส่วนไดโอดปล่อยแสงชุดทางด้านซ้ายสุดใช้แสดงสภาวะการทำงานของเครื่องควบคุมอัตโนมัติได้แก่ สภาวะอัดประจุ CHARGING สภาวะอัดประจุก่อนสั่งพัลส์ไกสวิตช์ ATTENTION และสั่งพัลส์ไกสวิตช์ FIRE ส่วนไดโอดปล่อยแสงชุดถัดมาใช้แสดงผล

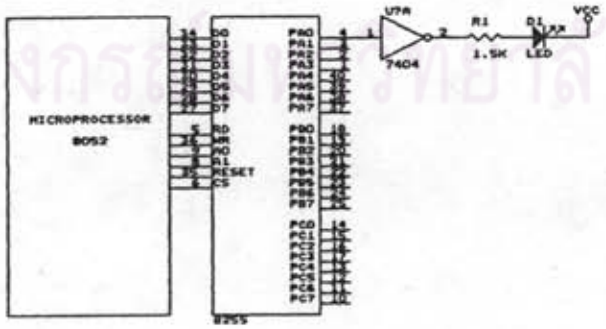


รูปที่ 3.12 องค์ประกอบต่างๆบนหน้าปัทม์

การทดสอบแรงดันอิมพัลส์แต่ละครั้ง ได้แก่เกิดวาบไฟตามผิววัสดุทดสอบ FLASH หรือวัสดุทดสอบสามารถทนต่อแรงดันอิมพัลส์ได้โดยไม่เกิดวาบไฟตามผิว NO FLASH เกิดการสปาร์กข้ามแกปโดยไม่ได้สั่งพัลส์ไกสวิตช์ SELF FIRING เกิดการสปาร์กข้ามแกปแบบไม่สมบูรณ์หรือไม่เกิดการสปาร์กข้ามแกปหลังจากสั่งไกพัลส์สวิตช์ NO FIRING ส่วนไดโอดปล่อยแสงชุดทางขวาใช้ชี้บอกขั้นตอนการป้อนข้อมูลแก่เครื่องควบคุมอัตโนมัติ ในรูปที่ 3.14 แสดงวงจรขับไดโอดปล่อยแสงไมโครโปรเซสเซอร์จะควบคุมให้ไดโอดปล่อยแสงติดหรือดับได้โดยสั่งผ่านไอซี 8255 ที่ทำหน้าที่เป็นเอาต์พุตพอร์ตแล้วต่อผ่านไอซี 7404 ที่ทำหน้าที่แปลงกลับสัญญาณตรงข้ามแล้วต่อผ่านความต้านทานจำกัดกระแสขนาด 1.5 กิโลโอห์มไปต่อกับไดโอดปล่อยแสงที่กินกระแส 2 มิลลิแอมป์ และต่อเข้ากับแหล่งจ่ายไฟเลี้ยง +5 โวลต์



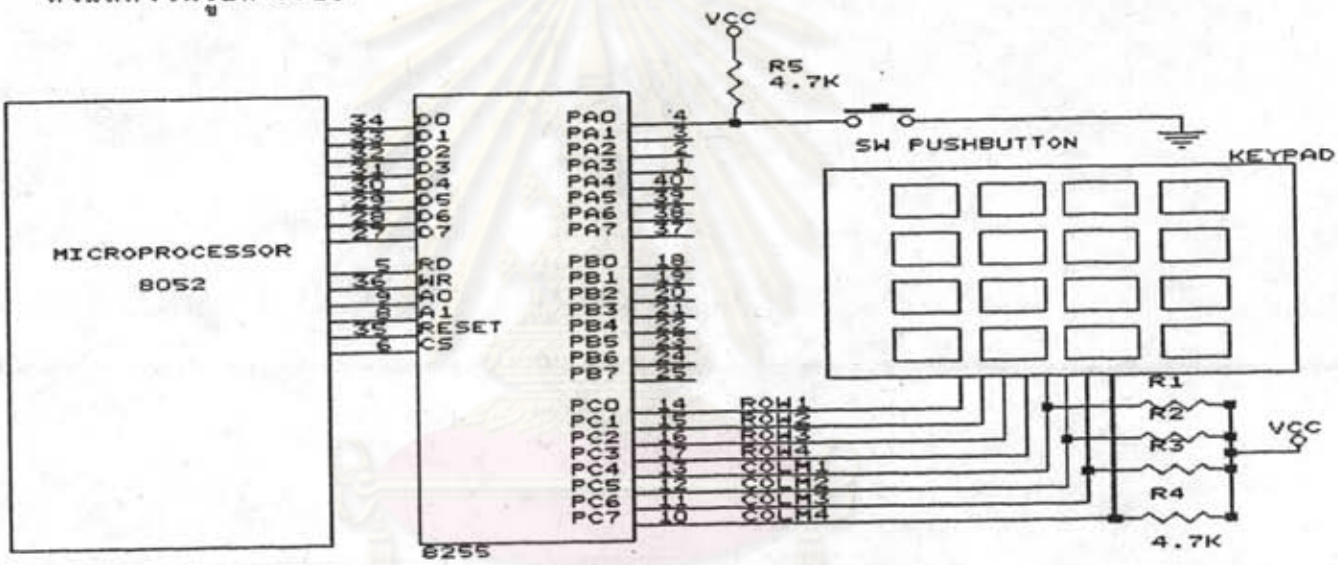
รูปที่ 3.13 วงจรขับ 7 SEGMENT



รูปที่ 3.14 วงจรขับไดโอดปล่อยแสง

3.1.8 วงจรรับข้อมูลจากแป้นกดและสวิตช์ควบคุม

แป้นกดมีขนาด 4 แถวตั้งx4 แถวนอน สายประเภทแถวนอนจะถูกกำหนดเป็นสภาวะ '0' จากไมโครโปรเซสเซอร์ผ่านไอซี 8255 ส่วนประเภทแถวตั้งจะต่อผ่านความต้านทานเข้ากับไฟเลี้ยง +5 โวลต์ เมื่อมีการกดแป้นกดจะทำให้แถวตั้งแถวใดแถวหนึ่งต่อกับแถวนอน เมื่อไมโครโปรเซสเซอร์สั่งให้แถวนอนเป็นสภาวะ 0 ทีละเส้นก็จะสามารถตรวจได้ว่าปุ่มไหนถูกกด ส่วนสวิตช์ควบคุมนั้นเป็นสวิตช์ธรรมดาด้านหนึ่งจะต่อผ่านความต้านทาน 4.7 กิโลโวลต์ ขึ้นแหล่งจ่ายไฟเลี้ยง +5 โวลต์ ส่วนอีกด้านหนึ่งจะต่อลงกราวด์ไมโครโปรเซสเซอร์จะตรวจจับที่ความต้านทานจุดที่ต่อกับแหล่งจ่ายไฟเลี้ยง ดังนั้นเมื่อมีการกดสวิตช์ควบคุมจะทำให้สวิตช์เปลี่ยนสภาวะจาก '1' เป็น '0' ไมโครโปรเซสเซอร์ก็จะสามารถตรวจจับได้ ดังแสดงในรูปที่ 3.15



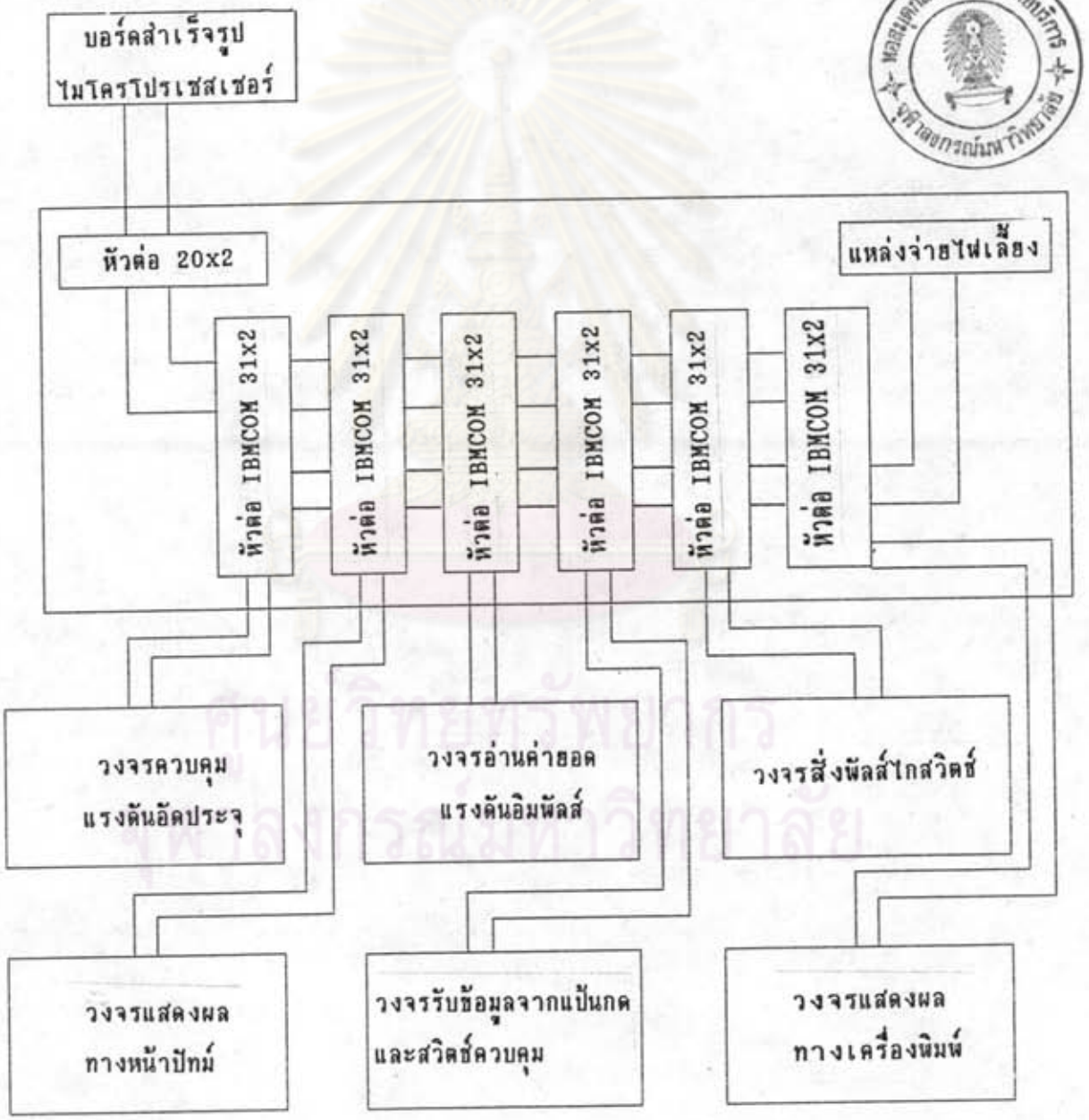
รูปที่ 3.15 วงจรรับข้อมูลจากแป้นกดและสวิตช์ควบคุม

3.1.9 วงจรแหล่งจ่ายไฟเลี้ยง

เครื่องควบคุมอัตโนมัตินี้นำไปใช้ควบคุมภาคแรงสูงเมื่อเกิดสปาร์กทางด้านแรงสูงจะทำให้เกิดแรงดันเกินทรานเซี้ยนต์เข้ามารบกวนไมโครโปรเซสเซอร์และอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์อื่นๆ จึงจำเป็นต้องแยกระบบกราวด์ของภาคอิเล็กทรอนิกส์และภาคแรงสูง และอินเตอร์เฟสกันโดยออปโตคัปเปลอร์ดังได้กล่าวไว้ในส่วนที่ทำการอ่านแรงดันอัดประจุและส่วนที่อ่านค่ายอดแรงดันอิมพัลส์ เนื่องจากกราวด์ของแรงดันอัดประจุและแรงดันอิมพัลส์เป็นกราวด์ทางด้านแรงสูง จึงจำเป็นต้องแยกออกจากกราวด์ของวงจรอิเล็กทรอนิกส์ ดังนั้นแหล่งจ่ายไฟเลี้ยงจึงมี 2 ระบบทั้งสองระบบเป็นแหล่ง

จ่ายไฟดีซีสำหรับเลี้ยงวงจรทั้งหมดโดยสามารถจ่ายกระแสได้ประมาณ 2 แอมป์ ที่แรงดัน +5 โวลต์, +12 โวลต์และ -12 โวลต์

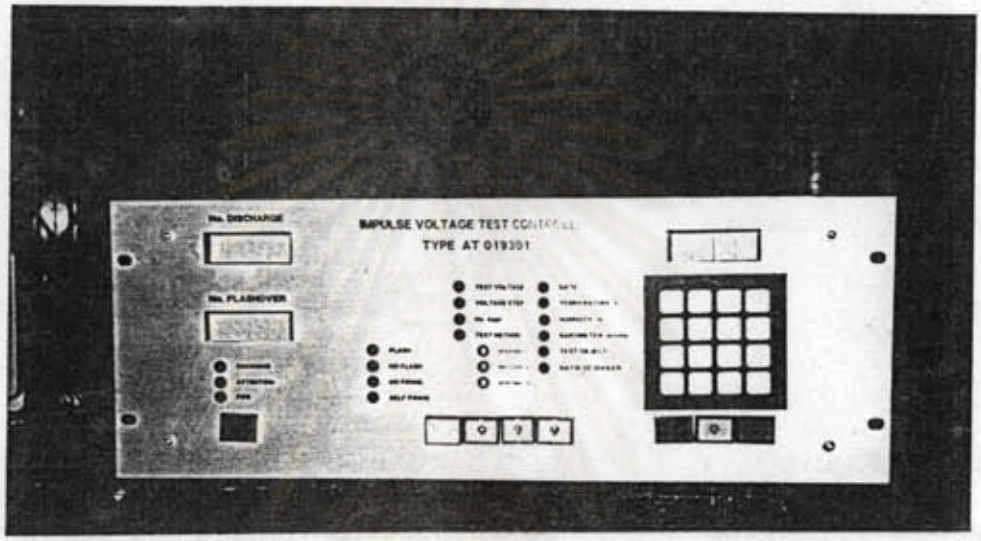
หลังจากที่ได้ออกแบบส่วนต่างๆที่ได้กล่าวมาแล้ว ก็นำมาประกอบโดยผ่านบอร์ดอินเตอร์เฟสที่มีหัวต่อ IBMCOM 31x2 จำนวน 6 ชุดพร้อมด้วยไฟเลี้ยง และหัวต่อ 20x2 เพื่อรับสัญญาณ ข้อมูล และแอดเดรสจากไมโครโปรเซสเซอร์บอร์ด วงจรควบคุมแต่ละส่วนสามารถเสียบลงหัวต่อใดๆก็ได้ ก็จะสามารถอินเตอร์เฟสกับไมโครโปรเซสเซอร์ได้ ดังแสดงในรูปที่ 3.16



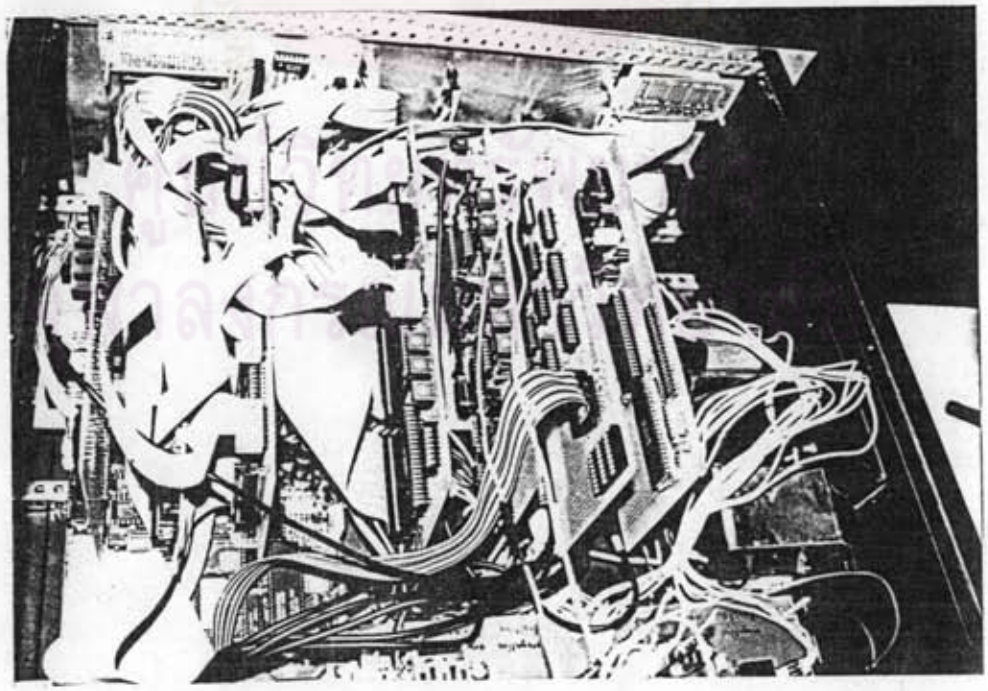
รูปที่ 3.16 แสดงการประกอบวงจรควบคุมส่วนต่างๆของเครื่องควบคุมอัตโนมัติ

I17889674X

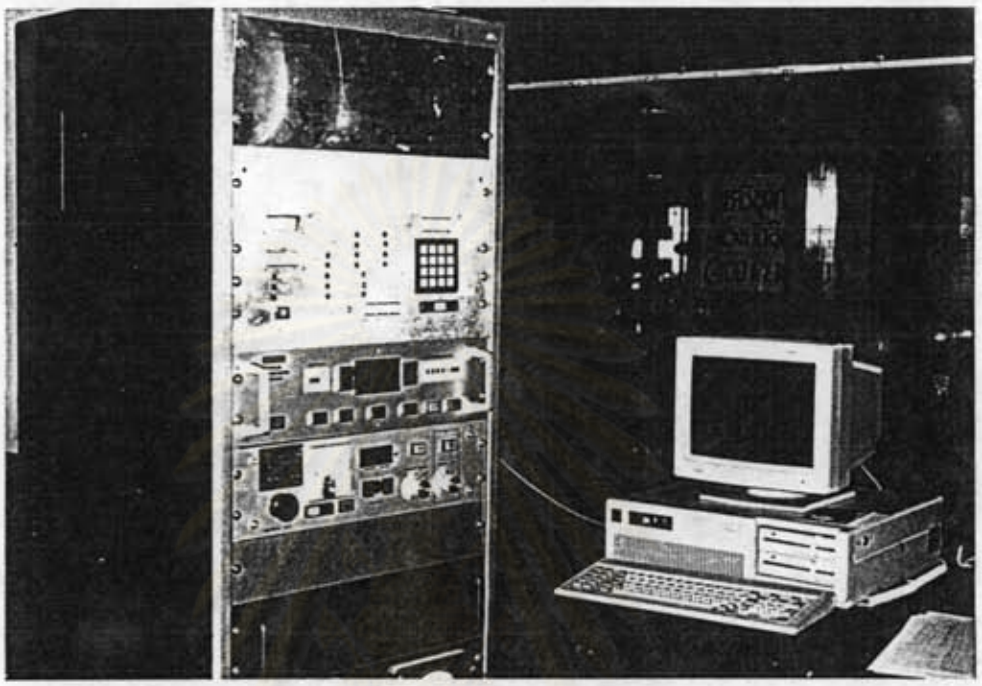
ส่วนประกอบทั้งหมดจะบรรจุในกล่องโลหะที่ห่อหุ้มปิดมิดชิด เครื่องควบคุมอัตโนมัติและส่วนประกอบภายในแสดงไว้ในรูปที่ 3.17 และ 3.18 การต่ออินเตอร์เฟสกับอุปกรณ์อื่นๆได้แก่ เครื่องควบคุมตัวจ่ายแรงดันอัดประจุ และเครื่องวัดค่ายอดแรงดันอิมพัลส์ ต้องใช้สายต่อที่มีชีลด์โลหะและหัวต่อสายเป็นโลหะและต่อลงกราวด์เป็นอย่างดี อุปกรณ์ทั้งหมดจะต้องบรรจุอยู่ภายในตู้โลหะ ดังแสดงในรูปที่ 3.19 และสายต่อสัญญาณจากภาคแรงสูง เมื่อผ่านเข้าตู้โลหะจะต้องต่อกราวด์เข้ากับตู้โลหะทันทีก่อนที่จะต่อเข้ากับอุปกรณ์อื่นๆ



รูปที่ 3.17 เครื่องควบคุมอัตโนมัติที่ประกอบสมบูรณ์แล้ว



รูปที่ 3.18 ส่วนประกอบภายในของเครื่องควบคุมอัตโนมัติ

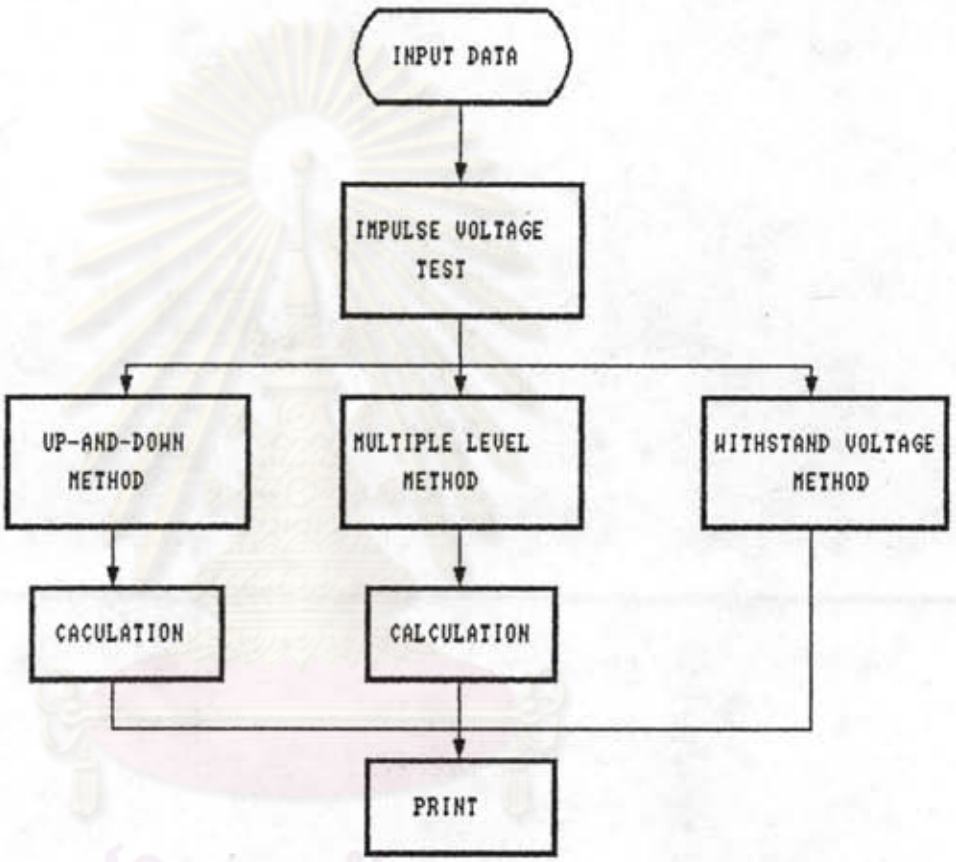


รูปที่ 3.19 ตู้โลหะที่บรรจุเครื่องควบคุมอัตโนมัติ เครื่องควบคุมตัวจ่ายแรงดันอัดประจุ เครื่องวัดค่ายอดแรงดันอิมพัลส์

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3.2 การออกแบบโปรแกรมควบคุมการทดสอบ

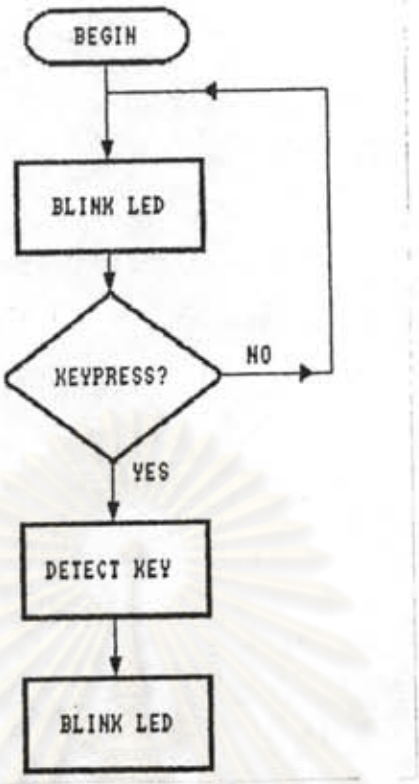
เครื่องควบคุมอัตโนมัตินี้สร้างขึ้นเพื่อใช้ในการทดสอบแรงดันอิมพัลส์ตามวิธีต่างๆที่ได้กล่าวไว้แล้วในบทที่ 2 ดังนั้นโปรแกรมการควบคุมการทดสอบจะมีแผนผังขั้นตอนดังแสดงในรูปที่ 3.20 โดยเริ่มจากรับข้อมูลหรือคำสั่งจากผู้ใช้แล้วทดสอบตามวิธีการที่ผู้ใช้กำหนด เมื่อทดสอบเสร็จเรียบร้อยก็จะทำการคำนวณผล และแสดงผลทางเครื่องพิมพ์



รูปที่ 3.20 แผนผังขั้นตอนของโปรแกรมควบคุมการทดสอบ

3.3.1 โปรแกรมรับข้อมูลและคำสั่ง

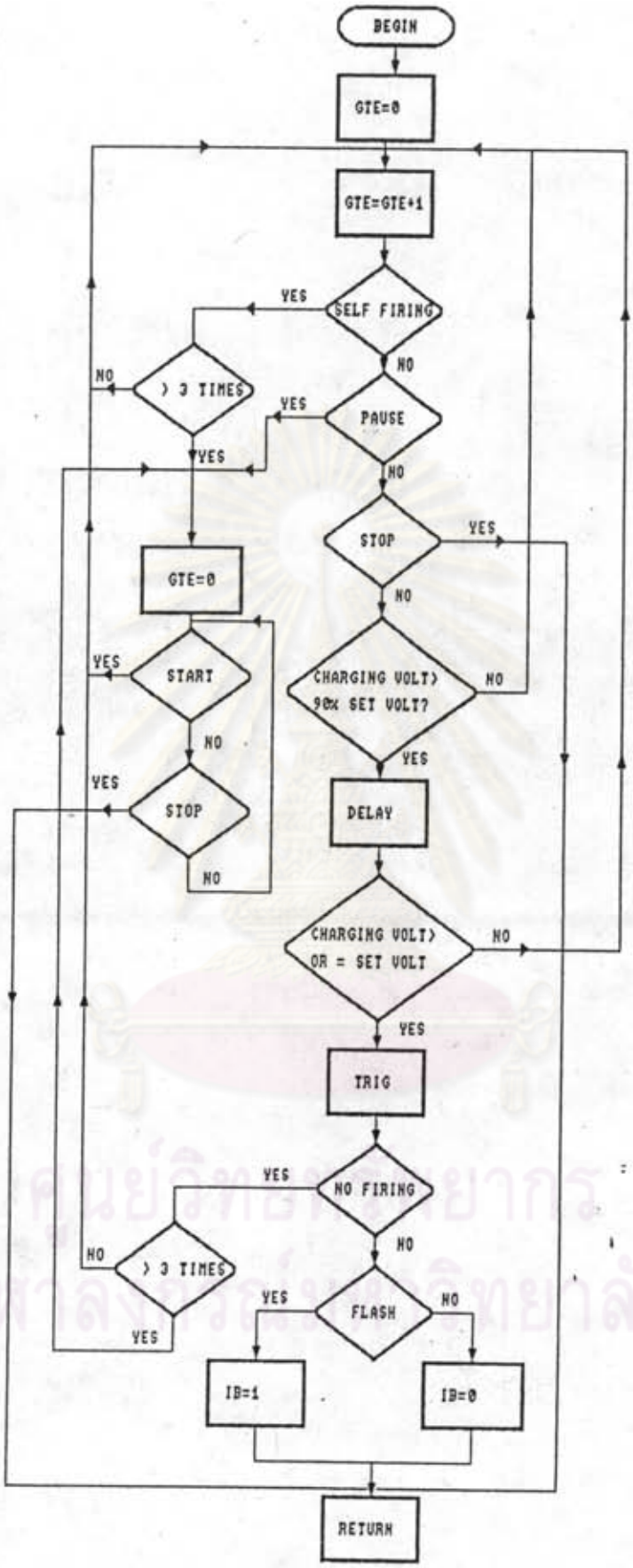
โปรแกรมส่วนนี้จะทำให้ไดโอดปล่อยแสงกระพริบเพื่อเป็นการตั้งคำถามแก่ผู้ใช้ และรอรับข้อมูลทางแป้นกด ตามขั้นตอนดังแสดงในรูปที่ 3.21 ซึ่งผู้ใช้ต้องป้อนข้อมูลต่างๆได้แก่ ขนาดแรงดันทดสอบ, ขนาดแรงดันที่ต้องการเพิ่มหรือลดในแต่ละขั้น, วิธีการทดสอบ วันที่ อุณหภูมิ ความชื้น ความดัน วัสดุทดสอบและอัตราส่วนของโวลเตจดิไวเดอร์



รูปที่ 3.21 ขั้นตอนโปรแกรมการรับข้อมูล

3.3.2 โปรแกรมควบคุมการเพิ่มแรงดันอัดประจุ

ขั้นตอนของโปรแกรมนี้แสดงในรูปที่ 3.22 เริ่มจากการเพิ่มแรงดันเกตเอสซีอาร์จาก 0 โวลต์ ทีละระดับ แล้วตรวจสอบว่าเกิดการสปาร์กข้ามแกปโดยไม่ได้สั่งพัลส์ไกสวิตช์หรือไม่ ถ้าเกิดขึ้นก็จะไปเริ่มต้นเพิ่มแรงดันเกตเอสซีอาร์จาก 0 โวลต์ใหม่ และถ้าเกิดการสปาร์กข้ามแกปแบบไม่ได้สั่งพัลส์ไกสวิตช์เกิน 3 ครั้ง เครื่องควบคุมอัตโนมัติจะหยุดการทำงานและควบคุมให้แรงดันเกตเอสซีอาร์เป็น 0 โวลต์ แล้วหยุดรอจนกระทั่งมีการกดปุ่ม START เพื่อเพิ่มแรงดันอัดประจุใหม่อีกครั้ง หรือ กดปุ่ม STOP เพื่อไปเริ่มต้นป้อนข้อมูลใหม่ การหยุดทำงานชั่วคราวก็เพื่อให้ผู้ใช้สามารถปรับความกว้างของแกปให้เหมาะสมได้และถ้าการเพิ่มแรงดันอัดประจุทำงานปกติโปรแกรมก็จะตรวจจับว่ามีการกดปุ่ม PAUSE หรือ STOP หรือไม่ ถ้ามีการกดปุ่ม PAUSE โปรแกรมจะหยุดทำงานเช่นเดียวกันกับตอนที่เกิดการสปาร์กโดยไม่ได้สั่งพัลส์ไกสวิตช์เกิน 3 ครั้ง หลังจากตรวจจับปุ่มควบคุมแล้วโปรแกรมจะอ่านค่าแรงดันอัดประจุ ถ้ามีขนาดมากกว่า 90 เปอร์เซนต์ของค่าแรงดันอัดประจุที่ตั้งไว้ โปรแกรมจะลดอัตราการเพิ่มค่าแรงดันอัดประจุลง และถ้าแรงดันอัดประจุมีขนาดน้อยกว่าค่าแรงดันที่ตั้งไว้ก็จะเพิ่มแรงดันเกตเอสซีอาร์



รูปที่ 3.22 ขั้นตอนการเพิ่มแรงดันอัดประจุ

ขึ้นอีก 1 ระดับ แล้วตรวจสอบตามขั้นตอนที่กล่าวมาข้างต้นอีกจนกระทั่งได้ค่าแรงดันอัดประจุมากกว่าหรือเท่ากับค่าแรงดันที่ตั้งไว้ ก็จะหยุดเพิ่มแรงดันอัดประจุและสั่งพัลส์ไกสวิตช์แล้วอ่านค่าแรงดันอัดประจุและค่ายอดแรงดันอิมพัลส์ เพื่อตรวจสอบดูว่าเกิดการสปาร์กแบบสมบูรณ์หรือไม่ ถ้าเป็นแบบไม่สมบูรณ์ก็จะรอให้ประจุที่เหลือค้างอยู่ในตัวเก็บประจุ ดีสชาร์จออกไป จนกระทั่งแรงดันอัดประจุลดลงเหลือน้อยกว่า 40 กิโลโวลต์ จึงไปเริ่มต้นอัดประจุใหม่และถ้าเกิดการสปาร์กแบบไม่สมบูรณ์เกิน 3 ครั้ง โปรแกรมก็จะหยุดชั่วคราวเพื่อรอให้มีการปรับขนาดความกว้างของแกป และเมื่อเกิดการสปาร์กแบบสมบูรณ์แล้ว โปรแกรมจะตรวจจับดูว่าเกิดการวาบไฟตามผิวหรือไม่ แล้วบันทึกค่าเก็บไว้

3.3.3 โปรแกรมทดสอบแรงดันอิมพัลส์แบบปรับขึ้น-ลง

โปรแกรมจะเริ่มทำการเพิ่มแรงดันอัดประจุ เพื่อสร้างแรงดันอิมพัลส์ให้เกิดการวาบไฟตามผิววัสดุทดสอบ 10 ครั้ง เพื่อทำให้ผิวฉนวนอยู่ในสภาพอยู่ตัว(conditioning) จึงลดขนาดแรงดันอิมพัลส์ลงโดยการลดขนาดแรงดันอัดประจุจนกระทั่งไม่เกิดวาบไฟตามผิวก็จะเริ่มขบวนการทดสอบแบบปรับขึ้น-ลง เมื่อเกิดวาบไฟตามผิวเครื่องควบคุมอัตโนมัติจะลดขนาดแรงดันอิมพัลส์ลงตามที่ผู้ใช้กำหนดไว้ทีละขั้นจนกระทั่งไม่เกิดการวาบไฟตามผิวฉนวนก็จะเพิ่มขนาดแรงดันอิมพัลส์ขึ้นทีละขั้นจนเกิดการวาบไฟตามผิว ทำต่อเนื่องกันเช่นนี้จนครบจำนวนครั้งตามที่ผู้ใช้กำหนดแล้วคำนวณ หาค่าแรงดันอิมพัลส์วิกฤต ได้จากสมการ

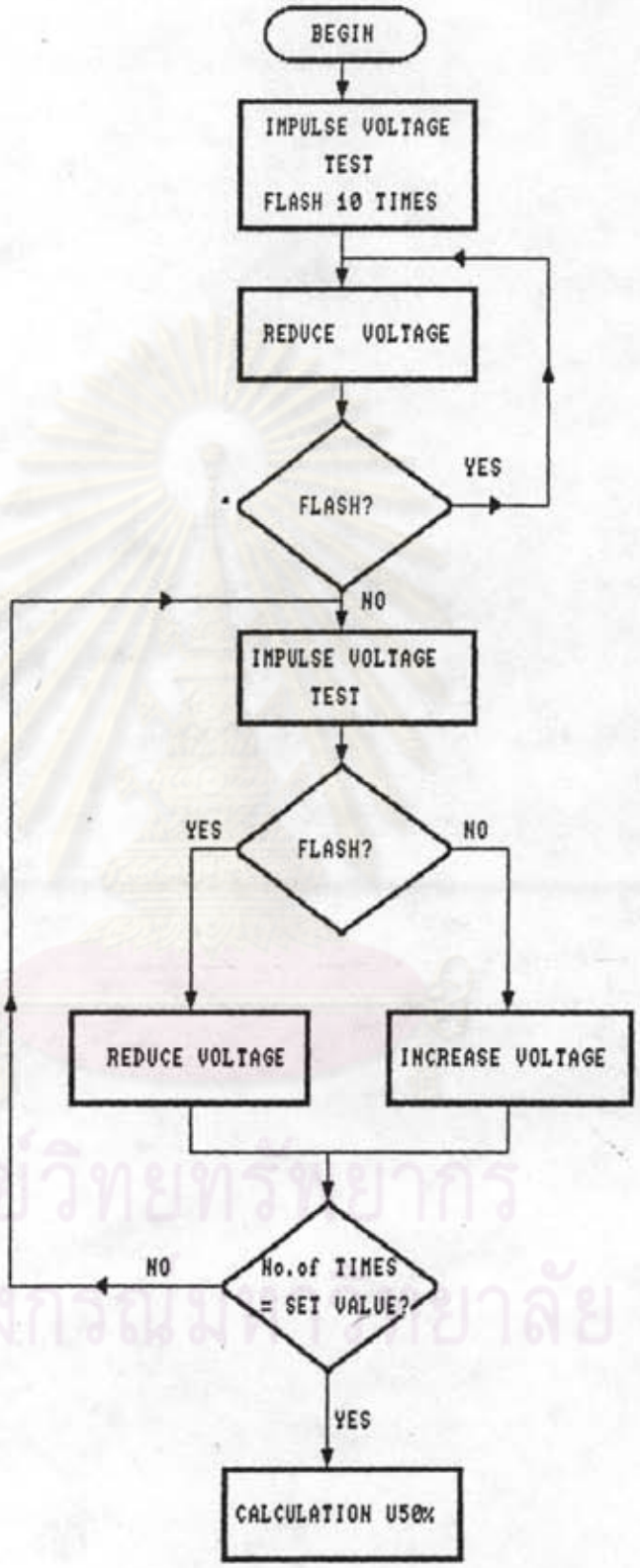
$$U_{50} = \frac{\sum_{i=1}^{n} U_i}{n}$$

U_{50} = แรงดันอิมพัลส์วิกฤต

U_i = ขนาดแรงดันอิมพัลส์แต่ละครั้ง

n = จำนวนครั้งที่ทำการทดสอบ

ขั้นตอนของโปรแกรมนี้แสดงไว้ในรูปที่ 3.23



รูปที่ 3.23 ขั้นตอนโปรแกรมการทดสอบตามวิธีปรับขึ้น-ลง

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3.3.4 โปรแกรมการทดสอบแรงดันอิมพัลส์วิธีแรงดันหลายระดับ

ขั้นตอนเริ่มต้นของโปรแกรมจะเหมือนส่วนที่อยู่ในวิธีทดสอบแบบปรับขึ้น-ลง กล่าวคือ ทำการเพิ่มแรงดันอัดประจุเพื่อสร้างแรงดันอิมพัลส์ให้เกิดการวาบไฟตามผิวฉนวน 10 ครั้ง เพื่อให้ผิวฉนวนอยู่ในสภาวะอยู่ตัว แล้วลดขนาดแรงดันอิมพัลส์ลงจนไม่เกิดการวาบไฟตามผิวฉนวนก็จะเริ่มทำวิธีทดสอบแบบปรับขึ้น-ลง 3 ครั้ง เพื่อเป็นการหาค่าแรงดันอิมพัลส์วิกฤตที่คาดหมาย ต่อจากนั้นก็จะทดสอบด้วยขนาดแรงดันอิมพัลส์ค่านี้เท่ากับจำนวนครั้งที่ผู้ใช้กำหนด แล้วคำนวณหาความน่าจะเกิดวาบไฟตามผิวจากจำนวนครั้งที่เกิดการวาบไฟตามผิวหารด้วยจำนวนครั้งที่ดีสชาร์จแล้วทดลองที่แรงดันที่สูงกว่าและที่ต่ำกว่าค่าแรงดันอิมพัลส์วิกฤตที่คาดหมาย และคำนวนความน่าจะเกิดวาบไฟตามผิวเช่นเดียวกัน ต่อจากนั้นก็นำความสัมพันธ์ของเปอร์เซนต์ของความน่าจะเกิดวาบไฟกับค่าแรงดันที่ป้อนไปคำนวนหาสมการเส้นตรงด้วยวิธี Least Square Error [11] และคำนวณหาค่าแรงดันอิมพัลส์วิกฤตได้ดังสมการข้างล่าง และขั้นตอนของโปรแกรมได้แสดงไว้ในรูปที่ 3.24

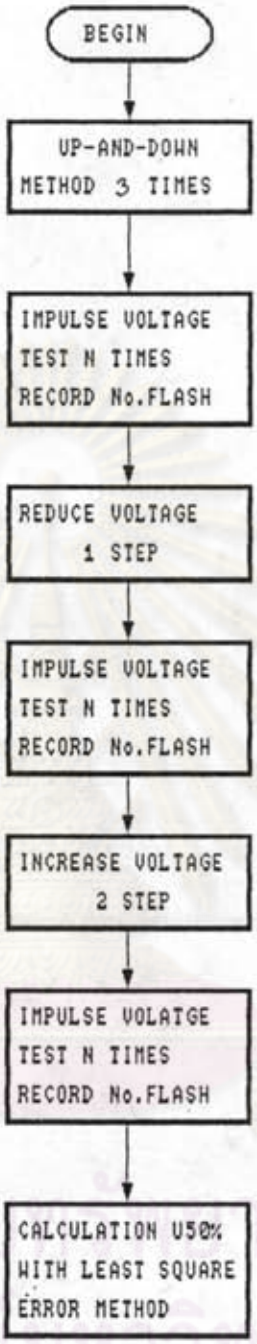
$$Y = a + bX$$

$$b = \frac{\Sigma XY - \frac{\Sigma X \Sigma Y}{(n-1)}}{\Sigma X^2 - \frac{(\Sigma X)^2}{(n-1)}}$$

$$a = \frac{\Sigma XY - b\Sigma X}{\Sigma X}$$

$$b = \frac{50 - a}{b}$$

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

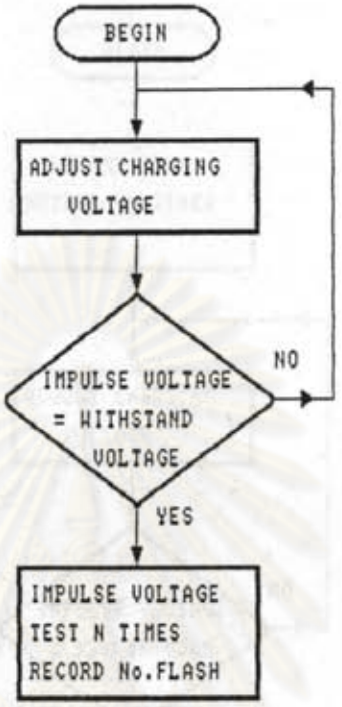


รูปที่ 3.24 โปรแกรมการทดสอบตามวิธีวัดแรงดันหลายระดับ

3.3.5 โปรแกรมการทดสอบความคงทนต่อแรงดันอิมพัลส์

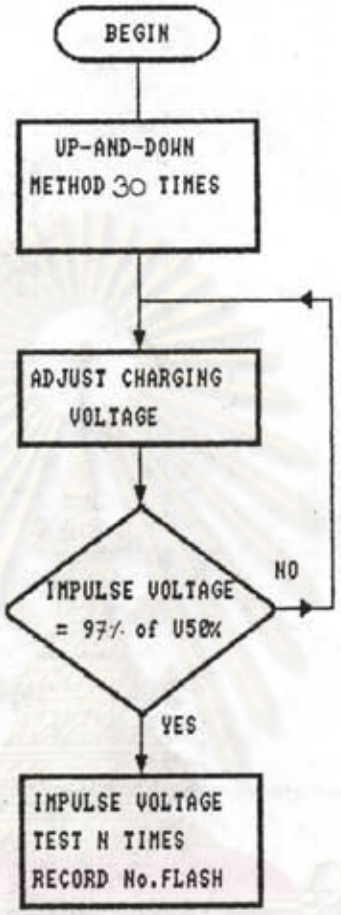
3.3.5.1 การทดสอบความคงทนต่อแรงดันอิมพัลส์แบบที่ทราบค่าแรงดันทนอิมพัลส์ โปรแกรมจะปรับค่าแรงดันอัดประจุจนกระทั่งได้ค่าแรงดันอิมพัลส์ที่กำหนดก็จะเริ่มทำการทดสอบแรงดันอิมพัลส์เท่าจำนวนครั้งที่ผู้ใช้กำหนด และบันทึก

จำนวนครั้งที่เกิดวาบไฟและแสดงผล ดังแสดงในรูปที่ 3.25



รูปที่ 3.25 ขั้นตอนการทดสอบความคงทนต่อแรงดันอิมพัลส์ที่ทราบขนาดแรงดันทนอิมพัลส์

3.3.5.2 การทดสอบความคงทนต่อแรงดันอิมพัลส์แบบไม่ทราบค่าแรงดันทนอิมพัลส์ โปรแกรมจะเริ่มต้นทำตามขั้นตอนในวิธีปรับขึ้น-ลง 30 ครั้ง เพื่อหาค่าแรงดันอิมพัลส์วิกฤต จากมาตรฐาน IEC [10] จะสามารถประมาณความคงทนต่อแรงดันอิมพัลส์ได้จากค่า 1-1.3σ (97%) ของค่าแรงดันอิมพัลส์วิกฤต ดังนั้น โปรแกรมจะปรับค่าแรงดันอัดประจุจนกระทั่งได้ค่าแรงดันอิมพัลส์ประมาณ 97% ของค่าแรงดันอิมพัลส์วิกฤตก็จะเริ่มทดสอบความคงทนต่อแรงดันอิมพัลส์ตามจำนวนครั้งที่กำหนด ดังแสดงในรูปที่ 3.26



รูปที่ 3.26 ขั้นตอนการทดสอบความคงทนต่อแรงดันอิมพัลส์แบบไม่ทราบค่าแรงดันทนอิมพัลส์

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย