บทที่ 3
การออกแบบแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้าต้นแบบ

ในบทนี้ได้กล่าวถึงการออกแบบและสร้างแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงแรงสูงแบบพัลส์ สำหรับเครื่องตกตะกอนเชิงไฟฟ้าสถิตขนาดเล็กแบบท่อทรงกระบอกซ้อนแกนร่วมต้นแบบขนาด 10 กิโลโวลต์ ชนิดประจุบวก ความถี่สวิตช์ใช้งาน 10 กิโลเฮิรต์ ถึง 30 กิโลเฮิร์ต ใช้กับแรงดันอินพุตกระแสตรงขนาด 12 โวลต์ โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

3.1 การออกแบบแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงแรงสูงแบบพัลส์

3.1.1 ความต้องการในการออกแบบ

เป้าหมายในงานวิจัยนี้ เพื่อออกแบบและสร้างแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงแรงสูงแบบพัลส์ สำหรับเครื่องตกตะกอนเชิงไฟฟ้าสถิตขนาดเล็กแบบท่อทรงกระบอกซ้อนแกนร่วม โดยใช้อุปกรณ์ที่เหมาะสมภายในประเทศ ดังนั้นเพื่อให้บรรลุเป้าหมายที่ตั้งไว้ จึงได้มีการกำหนดรายละเอียดของการออกแบบ ดังตารางที่ 3.1

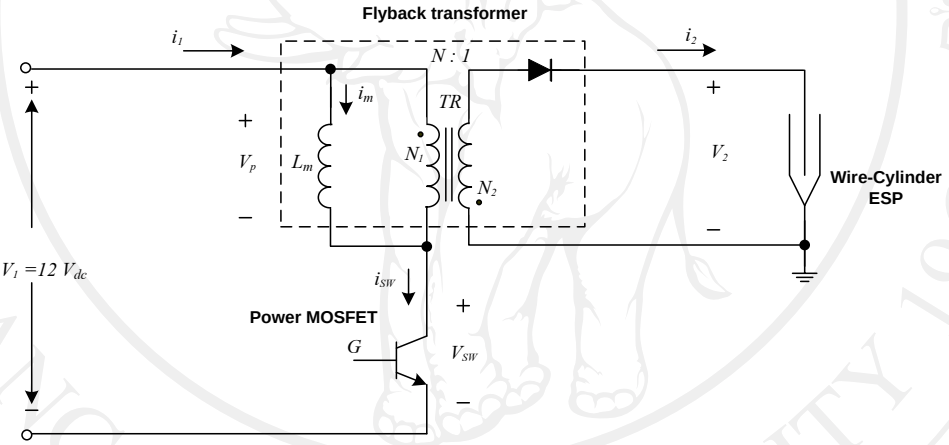
ตารางที่ 3.1 เกณฑ์ในการออกแบบโดยรวมของแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้าต้นแบบ

เกณฑ์ในการออกแบบ	คุณสมบัติ
แรงดันไฟฟ้าอินพุต	กระแสตรง 12 โวลต์
แรงดันไฟฟ้าเอาต์พุต	10 กิโลโวลต์ (แบบพัลส์)
ความถี่ใช้งาน	10 ถึง 30 กิโลเฮิร์ต
ชนิดประจุไฟฟ้า	ประจุบวก
อิเล็กโทรดใช้งาน	แบบขดลวด
ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางอิเล็กโทรด	0.3, 1.0 และ 1.3 มิลลิเมตร
โครงสร้าง	น้ำหนักเบา ขนาดเล็ก และ ถอดประกอบง่าย
แบตเตอรี่	ใช้พลังงานจากแบตเตอรี่ได้ในพื้นที่ห่างไกล
การใช้งาน	ใช้กับ ESP แบบท่อทรงกระบอกซ้อนแกนร่วมมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 30 มิลลิเมตร ยาว 200 มิลลิเมตร
งบประมาณ	10,000 บาท

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

3.1.2 รายละเอียดวงจรในการออกแบบ

โครงสร้างของแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงแรงสูงแบบพัลส์สำหรับเครื่องตกตะกอนเชิงไฟฟ้าสถิตขนาดเล็กแบบท่อทรงกระบอกซ้อนแกนร่วม ที่ได้ออกแบบแสดงดังรูปที่ 3.1 โดยในการศึกษานี้ได้นำหลักการของวงจรฟลายแบคคอนเวอร์เตอร์แบบเพิ่มระดับแรงดันไฟฟ้ามาทำการประยุกต์ใช้งาน นำเทคนิคการสวิตชิ่งแบบพีดับเบิลยูเอ็ม (Pulse Width Modulation; PWM) มาใช้สำหรับควบคุมการทำงานของอุปกรณ์สวิตชิ่ง ผ่านหม้อแปลงไฟฟ้าความถี่สูง (High frequency transformer) เพื่อให้ได้แรงดันไฟฟ้าเอาต์พุตกระแสตรงแรงสูงแบบพัลส์ขนาด 10 กิโลโวลต์ จากนั้นจึงนำมาประยุกต์ใช้กับอิเล็กโทรดแบบเส้นลวดในเครื่องตกตะกอนเชิงไฟฟ้าสถิตขนาดเล็กแบบท่อทรงกระบอกซ้อนแกนร่วม มีส่วนวงจรแสดงผลโดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์แบบ PIC ในการประมวลผลข้อมูลเพื่อแสดงเป็นแบบดิจิตอล และมีจอแสดงผลแบบ LCD ขนาด 16×4 ตัวอักษร

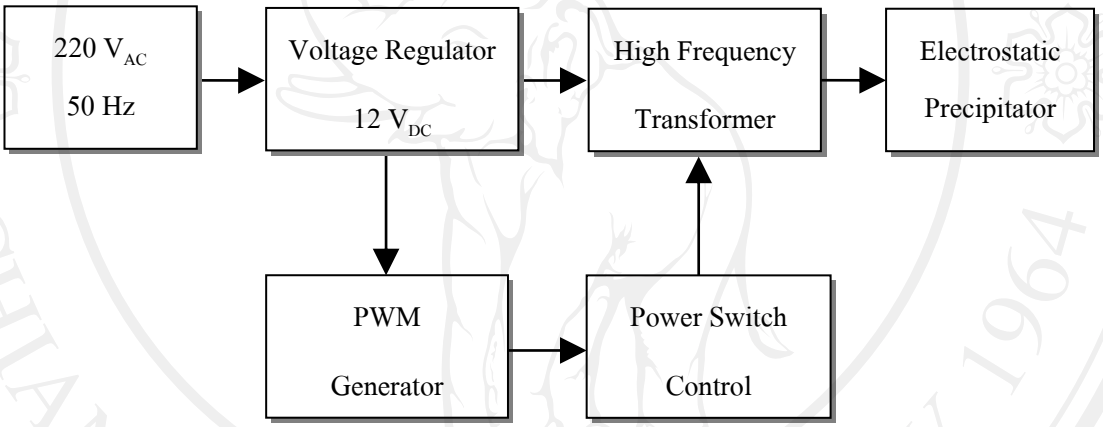


รูปที่ 3.1 วงจรแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงแรงสูงแบบพัลส์ที่นำเสนอ

ลำดับขั้นตอนการทำงานของแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงแรงสูงแบบพัลส์ต้นแบบดังแสดงในรูปที่ 3.2 การทำงานเริ่มต้นแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้าต้นแบบจะทำการรับแรงดันไฟฟ้าอินพุตขนาด 220 โวลต์ 50 เฮิร์ต เข้าสู่วงจรควบคุมแรงดันไฟฟ้า (Voltage regulator) ให้เป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงขนาด 12 โวลต์ ซึ่งการออกแบบเพื่อต้องการให้สามารถรองรับกับแรงดันไฟฟ้าของแบตเตอรี่สำหรับนำไปใช้งานในอนาคต จากนั้นจึงนำแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่ได้เข้าไปสู่วงจรสร้างสัญญาณพีดับเบิลยูเอ็ม (PWM Generator) โดยออกแบบให้สามารถปรับรอบทำงาน (Duty cycle) ได้เพื่อสำหรับนำไปควบคุมการทำงานของอุปกรณ์สวิตชิ่งมอสเฟตกำลัง (Power MOSFET) ที่ได้ออกแบบให้ใช้งานในช่วงความถี่ 10 กิโลเฮิรต์ ถึง 30 กิโลเฮิร์ต ส่งผ่านต่อไปยังหม้อแปลงไฟฟ้าความถี่สูง ในงานวิจัยนี้ได้เลือกนำหม้อแปลงไฟฟ้าความถี่สูงชนิดฟลายแบค (Flyback tranformer) มาใช้ในการศึกษา ซึ่งหม้อแปลงไฟฟ้าชนิดนี้จะทำหน้าที่ถ่ายเทพลังงาน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

และสะสมพลังงานให้ได้แรงดันไฟฟ้าเอาต์พุตกระแสตรงแบบพัลส์ขนาด 10 กิโลโวลต์ จ่ายให้กับเครื่องตกตะกอนเชิงไฟฟ้าสถิต (Electrostatic precipitators) เมื่อจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงแรงดันสูงให้กับขั้วดิสชาร์จในขณะที่ท่อตกตะกอนมีศักย์เป็นกราวด์ ทำให้เกิดโคโรนาดิสชาร์จขึ้นบริเวณรอบๆ ขั้วดิสชาร์จ และเกิดการไหลของอิเล็กตรอนพลังงานสูงผ่านช่องว่างระหว่างขั้วดิสชาร์จกับท่อตกตะกอน เมื่ออนุภาคแขวนลอยของควันที่เกิดจากการเผาไหม้ได้ไหลผ่านเข้าไปยังท่อตกตะกอน ซึ่งอนุภาคจะไหลผ่านที่ช่องว่างระหว่างท่อตกตะกอนกับขั้วดิสชาร์จที่มีสนามไฟฟ้าความเข้มข้นสูง จึงส่งผลทำให้อนุภาคได้รับการประจุและถูกทำให้เคลื่อนที่ไปตกสะสมอยู่บนผิวท่อตกตะกอน โดยอนุภาคที่ตกสะสมบนขั้วตกตะกอนเหล่านี้จะถูกกำจัดออกจากขั้วตกตะกอนโดยการเคาะหรือการสั่นสะเทือนเพื่อทำให้ฝุ่นหลุดตกลงไปในที่เก็บฝุ่น



รูปที่ 3.2 ลำดับขั้นการทำงานของแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงแรงสูงแบบพัลส์ต้นแบบ

สำหรับในการออกแบบหม้อแปลงไฟฟ้าของวงจรฟลายแบคคอนเวอร์เตอร์ **[12]** ในโหมดกระแสต่อเนื่อง (Continuous Conduction Mode; CCM) จะมีขนาดหม้อแปลงไฟฟ้าใช้งานที่ใหญ่กว่ากรณีโหมดกระแสไม่ต่อเนื่อง (Discontinuous Conduction Mode; DCM) ที่พิกัดกำลังไฟฟ้าด้านออกเท่ากัน โดยที่กรณีโหมดกระแสไม่ต่อเนื่องจะให้ค่ากระแสยอด (Peak current) สูงมาก เป็นผลทำให้พิกัดกระแสของสวิตช์อิเล็กทรอนิกส์กำลังที่เลือกใช้งานจะต้องมีค่าที่สูง ซึ่งในการศึกษาวิจัยนี้ได้เลือกใช้หม้อแปลงไฟฟ้าความถี่สูงแบบ Flyback transformer เพื่อลดขนาดของหม้อแปลงไฟฟ้าที่ใช้งานลงได้ ซึ่งหม้อแปลงไฟฟ้าชนิดนี้ได้ออกแบบให้มีฉนวนสำหรับการป้องกันในระดับพิกัดแรงดันไฟฟ้าแรงสูง จึงทำให้สามารถนำมาใช้งานได้สะดวกขึ้น ลดความซับซ้อนในการออกแบบพันหม้อแปลงไฟฟ้า สามารถปรับเปลี่ยนซ่อมบำรุงรักษาได้ง่าย ราคาถูก และสามารถหาซื้อได้ตามท้องตลาดทั่วไป จึงเหมาะสำหรับนำมาใช้ออกแบบและสร้างแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้าต้นแบบ โดยมีลำดับขั้นตอนดังนี้

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

3.1.3 สมการและการคำนวณที่ใช้ในการออกแบบ

การออกแบบวงจรฟลายแบคคอนเวอร์เตอร์จากตารางที่ 3.1 ซึ่งได้กำหนดให้หม้อแปลงไฟฟ้าความถี่สูงแบบฟลายแบคคอนเวอร์เตอร์ทำงานที่แรงดันไฟฟ้าอินพุตกระแสตรงกับ 12 โวลต์ ให้แรงดันไฟฟ้าเอาต์พุตใช้งาน 10 กิโลโวลต์ ทำงานที่ความถี่ในช่วง 10 กิโลเฮิรต์ ถึง 30 กิโลเฮิรต์ (การออกแบบนี้จึงได้เลือกความถี่สำหรับการสวิตชิ่งอุปกรณ์มอสเฟสกำลังเท่ากับ 20 กิโลเฮิรต์ สำหรับใช้ในการคำนวณ) โดยมีขั้นตอนของการคำนวณดังนี้

1) คำนวณคาบเวลาการทำงาน

จากสมการ
$$T = \frac{1}{f} \tag{3.1}$$

$$T = \frac{1}{20 \times 10^{3}} \tag{3.2}$$

ดังนั้นคาบเวลาการทำงาน $T = 50$ ไมโครวินาที

2) คำนวณหาค่าอัตราส่วนจำนวนรอบขดลวดปฐมภูมิและทุติยภูมิ

เมื่อแรงดันไฟฟ้าอินพุต V_{in} เท่ากับ 12 โวลต์ และแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุต V_{out} ที่ต้องการเท่ากับ 10 กิโลโวลต์ ในการออกแบบได้กำหนดให้จำนวนรอบขดลวดปฐมภูมิเท่ากับ 10 รอบ เพื่อหาจำนวนรอบขดลวดทุติยภูมิ ดังนี้

จากสมการ
$$\frac{V_s}{V_p} = \frac{N_s}{N_p} \tag{3.3}$$

$$N_s = \frac{(10 \times 10^{3} V) \times 10}{12V} \tag{3.4}$$

ดังนั้นจำนวนรอบขดลวดทุติยภูมิ $N_s = 8333.33$ รอบ

3) คำนวณหาค่าช่วงเวลาสวิตช์ทำงาน (t_{ON}) **[13]** หาได้ดังสมการดังนี้

จากสมการ
$$t_{ON} = \frac{(V_O + V_D)\left(\frac{N_p}{N_s}\right)(0.8T)}{(V_{in} - V_{SAT}) + (V_O + V_D)\left(\frac{N_p}{N_s}\right)} \tag{3.5}$$

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

โดยในการออกแบบนี้ได้กำหนดให้แรงดันไฟฟ้าตกคร่อมไดโอด $V_D = 1$ โวลต์

$$t_{ON} = \frac{(10{,}000+1)\left(\frac{10}{8{,}333}\right)(0.8(50\times10^{-6}))}{(12-1)+(10{,}000+1)\left(\frac{10}{8{,}333}\right)} \tag{3.6}$$

ดังนั้นค่าช่วงเวลาสวิตช์ทำงาน $t_{ON} = 20.868$ ไมโครวินาที

เนื่องจากวงจรไอซีเบอร์ TL494 สำหรับควบคุมสัญญาณพีดับเบิลยูเอ็ม **[13]** ที่ใช้ในการออกแบบสำหรับวงจรนี้ให้ ค่า t_{ON} ได้สูงสุดเพียง 17 ไมโครวินาที ดังนั้นในการออกแบบจึงได้เลือกใช้งาน t_{ON}=15 ไมโครวินาที

4) คำนวณหาค่าแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุต

อัตราส่วนจำนวนรอบของหม้อแปลงและค่าของแรงดันที่อินพุต เมื่อวงจรทำงานอยู่ในสภาวะคงที่ ค่าแรงดันเอาต์พุตที่ได้จากคอนเวอร์เตอร์ สามารถคำนวณได้จากสมการ **[13]**

จากสมการ

$$V_{out} = \frac{\left(\frac{N_S}{N_P}\right)\times\left(V_{in}-V_{SAT}\right)\times t_{ON}}{\left(T-t_{ON}\right)} - V_D \tag{3.7}$$

เมื่อ T คือ คาบเวลาการทำงานของสวิตช์ t_{ON} คือ ช่วงเวลาที่สวิตช์นำกระแส N_p คือ จำนวนรอบของขดปฐมภูมิ N_s คือ จำนวนรอบของขดทุติยภูมิ V_{out} คือ แรงดันที่เอาต์พุตของฟลายแบคคอนเวอร์เตอร์ V_{in} คือ แรงดันที่อินพุตของฟลายแบคคอนเวอร์เตอร์ V_{SAT} คือ แรงดันตกคร่อมสวิตช์ขณะนำกระแสที่จุดอิ่มตัว V_D คือ แรงดันตกคร่อมไดโอดขณะนำกระแส

สำหรับการออกแบบนี้แรงดันไฟฟ้าตกคร่อมสวิตช์ขณะนำกระแสที่จุดอิ่มตัว V_{SAT} จะทำการหาค่าประมาณโดยใช้สมการที่ (3.4) ได้ค่า V_{SAT} ที่ได้มีค่าเท่ากับ -16 โวลต์

แทนค่าลงในสมการ

$$V_{out} = \frac{\left(\frac{8{,}333}{10}\right)\times\left(12-(-16)\right)\times(15\times10^{-6})}{(50\times10^{-6})-(15\times10^{-6})} - 1 \tag{3.8}$$

ดังนั้นค่าช่วงเวลาสวิตช์ทำงาน $V_{out} = 9998.6V \approx 10$ กิโลโวลต์

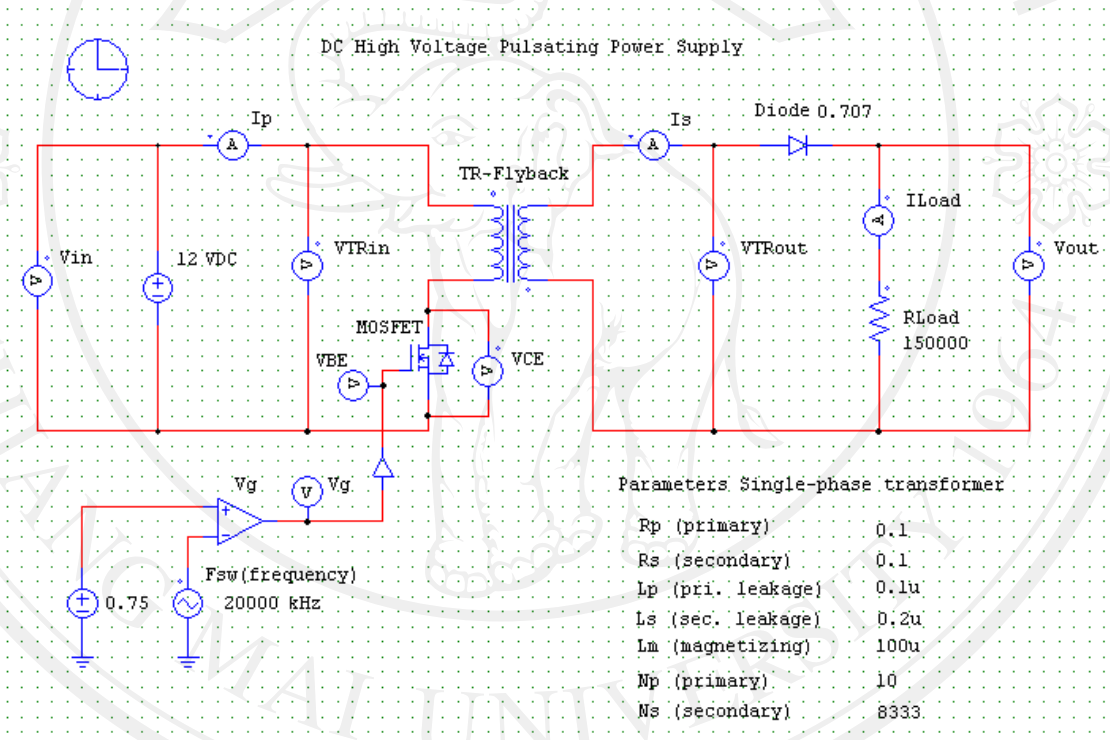
ผลที่จากการคำนวณนี้สามารถนำไปใช้สำหรับจำลองการทำงานโดยโปรแกรมเพื่อออกแบบวงจรของแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงแรงสูงแบบพัลส์ ดังแสดงในหัวข้อต่อไป

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

3.2 ต้นแบบแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงแรงสูงแบบพัลส์

3.2.1 การจำลองการทำงานของแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงแรงสูงต้นแบบ

การจำลองการทำงานโดยใช้โปรแกรม PSIM ดังแสดงในรูปที่ 3.3 สำหรับหาค่าสัญญาณแรงดันไฟฟ้า และกระแสไฟฟ้าทางด้านปฐมภูมิและทุติยภูมิที่ผ่านหม้อแปลงไฟฟ้าความถี่สูง โดยนำค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ที่ได้จากการคำนวณมาใช้สำหรับจำลองการทำงาน เพื่อให้ได้สมรรถนะการทำงานของแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้าต้นแบบตามเกณฑ์เงื่อนไขในตารางที่ 3.1 โดยได้แสดงรายละเอียดดังต่อไปนี้



รูปที่ 3.3 จำลองการทำงานของแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้าต้นแบบโดยใช้โปรแกรม PSIM

ผลการจำลองสภาวะการทำงานของวงจรที่ได้จากการคำนวณจะแสดงในบทที่ 5 ซึ่งในการจำลองได้คำนึงถึงอุปกรณ์ที่มีขายตามท้องตลาดทั่วไปภายในประเทศ เพื่อนำมาใช้ในการสร้างแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงแรงสูงแบบพัลส์ต้นแบบ โดยแบ่งการออกแบบและสร้างเป็นสามส่วนดังนี้

1) ส่วนวงจรภาคควบคุมสัญญาณพัลส์

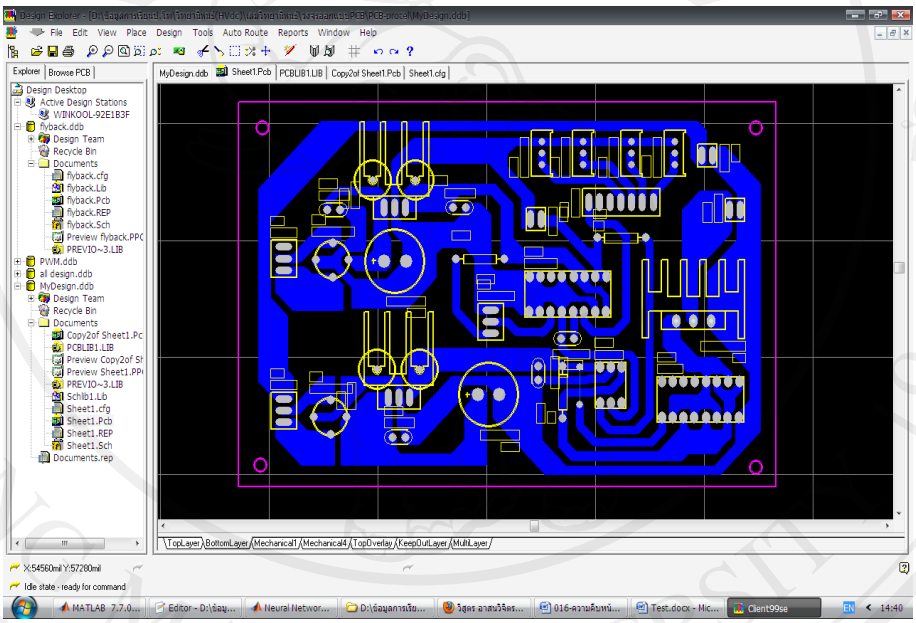
2) ส่วนวงจรภาคควบคุมหม้อแปลงไฟฟ้าความถี่สูง

3) ส่วนวงจรภาคแสดงผลและจอแสดงผล

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

3.2.2 การออกแบบแผ่นลายวงจร PCB ของแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้าต้นแบบ

ในการออกแบบลายวงจรได้เลือกใช้โปรแกรม Protel 99 SE โดยทำการออกแบบวงจรให้มีขนาดเล็กเพื่อประหยัดเนื้อที่ สำหรับในการออกแบบโครงสร้างของแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้าต้นแบบ โดยแบ่งวงจรออกเป็นสามส่วนสำคัญ คือ (1) ส่วนของวงจรภาคควบคุมสัญญาณพัลส์ (2) ส่วนของวงจรภาคควบคุมหม้อแปลงไฟฟ้าความถี่สูง โดยจะออกแบบให้สามารถใช้งานกับหม้อแปลงไฟฟ้าแบบฟลายแบค Flyback transformers และ (3) ส่วนของวงจรภาคแสดงผลและจอแสดง ผลมีการออกแบบรายละเอียดของอุปกรณ์ให้สามารถถอดเปลี่ยนประกอบได้ง่ายเพื่อใช้ในการทดสอบและปรับเปลี่ยนอุปกรณ์ได้สะดวก เลือกใช้อุปกรณ์ที่หาง่ายและมีผลิตภายในประเทศ



รูปที่ 3.4 การออกแบบแผ่นลายวงจร PCB ด้วยโปรแกรม Protel 99 SE

สำหรับการทำงานของโปรแกรม Protel 99 SE แสดงดังรูปที่ 3.4 ซึ่งได้รวมการทำงานทั้งหมดเอาไว้ในโปรแกรมชุดเดียว สามารถแบ่งการทำงานออกเป็นโปรแกรมย่อยต่างๆได้ดังนี้

- Protel Schematic สามารถออกแบบวงจรอนาล็อกและดิจิตอลได้อย่างดี มีตัวอุปกรณ์มาตรฐานใช้งานจำนวนมาก และสามารถสร้างตัวอุปกรณ์ขึ้นใช้เองได้

- PCB Layout เป็นโปรแกรมออกแบบแผ่นวงจร PCB ที่มีการเดินเส้นอัตโนมัติ โดยเดินเส้นลายวงจรแบบ Shape Base Routing คือ จะพิจารณาอุปกรณ์ที่อยู่รอบข้างด้วยเพื่อให้ชิ้นงานที่ออกแบบมีความถูกต้องสูง

- Simulations เป็นโปรแกรมจำลองการทำงานของวงจรโดยใช้โปรแกรม Spice 3f5 จำลองการทำงานแบบอนาล็อก และใช้โปรแกรม SimCode จำลองการทำงานแบบดิจิตอล

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

3.2.3 ส่วนประกอบของแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงแรงสูงต้นแบบ

3.2.3.1 วงจรภาคควบคุมสัญญาณพัลส์

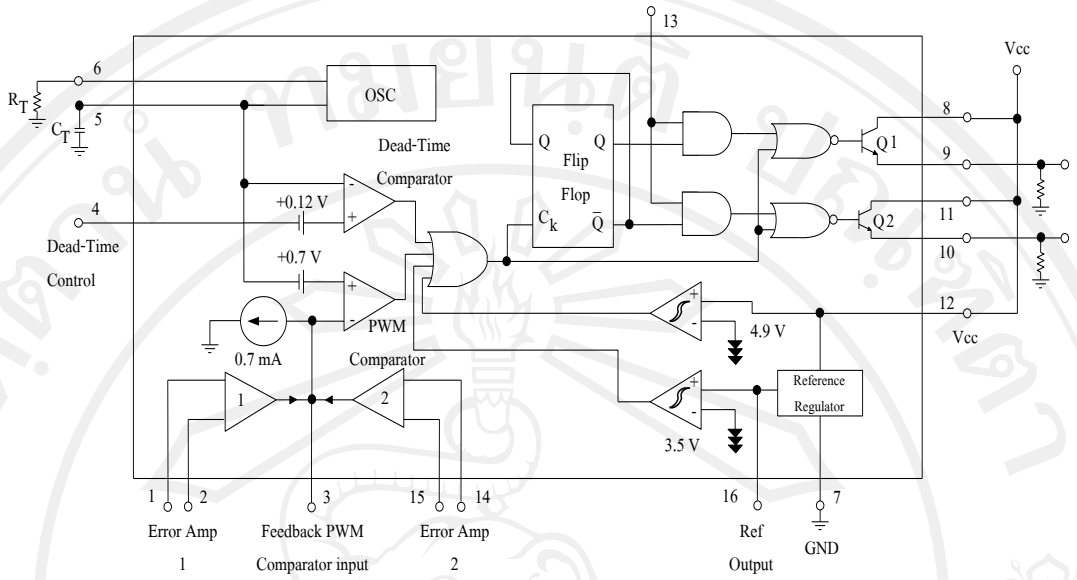
ภาคควบคุมสัญญาณพัลส์ ในการออกแบบสำหรับงานวิจัยนี้ได้เลือกใช้ไอซีเบอร์ TL494 เพื่อทำหน้าที่สร้างสัญญาณพีดับเบิลยูเอ็มควบคุมการทำงานของวงจรฟลายแบคคอนเวอร์เตอร์ ซึ่งทำงานด้วยโหมดควบคุมจากแรงดันไฟฟ้าตามไดอะแกรมแสดงดังรูปที่ 3.5 โดยการทำงานจะอาศัยการป้อนกลับค่าแรงดันเอาต์พุตเปรียบเทียบกับแรงดันอ้างอิง ผลของค่าความแตกต่างที่ได้จะถูกขยายด้วยวงจรขยายความต่าง Error Amplifier ก่อนที่จะส่งไปยังวงจรพีดับเบิลยูเอ็มเพื่อกำเนิดสัญญาณที่เป็นลักษณะสี่เหลี่ยมสำหรับใช้งาน ซึ่งคุณสมบัติของไอซี TL494 แสดงดังตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 คุณสมบัติของไอซีเบอร์ TL494

องค์ประกอบ	ขนาดพิกัดใช้งาน
แรงดันไฟฟ้าใช้งาน (V_{CC})	กระแสตรง 7 ถึง 40 โวลต์
แรงดันไฟฟ้าเอาต์พุต (I_O)	40 โวลต์
กระแสไฟฟ้าเอาต์พุต (V_O)	200 มิลลิแอมป์
ความต้านทาน (R_T)	1.8 ถึง 500 กิโลโอห์ม
ค่าคาปาซิเตอร์ (C_T)	0.47 ถึง 10,000 นาโนฟารัด
ความถี่สวิตช์ (f_{OSC})	1 ถึง 300 กิโลเฮิร์ต

อุปกรณ์สำคัญสำหรับควบคุมการป้อนกลับสำหรับแหล่งจ่ายกำลังสวิตชิ่งจะอยู่ในรูปแบบวงจรรวมของไอซี สำหรับการศึกษาในวิทยานิพนธ์นี้ได้เลือกใช้โหมดควบคุมจากแรงดันไฟฟ้ามาใช้ในการออกแบบสร้างวงจรกำเนิดสัญญาณพัลส์ ซึ่งมีโครงสร้างภายในและขาใช้งานของไอซี TL494 ดังแสดงในรูปที่ 3.5 การทำงานของวงจรภายในของไอซีได้นำหลักการโหมดควบคุมจากแรงดันมาใช้งาน จะอาศัยการป้อนกลับค่าแรงดันเอาต์พุตและเปรียบเทียบกับแรงดันอ้างอิงของวงจร ค่าความแตกต่างที่ได้จะถูกขยายโดยวงจรขยายความต่าง Error Amp ก่อนที่จะส่งไปยังวงจรพีดับเบิลยูเอ็ม โดยค่าแรงดันที่ได้จากวงจรขยายความต่างจะถูกเปรียบเทียบกับแรงดันรูปฟันเลื่อยอีกครั้ง ดังนั้นแรงดันเอาต์พุตที่ได้จากวงจรพีดับเบิลยูเอ็มจะมีลักษณะเป็นพัลส์สี่เหลี่ยม มีคาบเวลาคงที่เท่ากับคาบเวลาแรงดันฟันเลื่อยและมีความกว้างตามการเปลี่ยนแปลงผลมอดูเลเชั่นของค่าแรงดันที่ขาเข้าสู่พีดับเบิลยูเอ็ม

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



รูปที่ 3.5 โครงสร้างภายในและขาใช้งานของไอซี TL494 **[13]**

1) การกำหนดคาบเวลาการทำงานวงจรของไอซีเบอร์ TL494 เป็นวงจรพีดับเบิลยูเอ็มที่มีความถี่คงที่ คาบเวลาการทำงานของเอาต์พุตพัลส์จะถูกกำหนดโดยค่าของความต้านทาน R_T และค่าของคาปาซิเตอร์ C_T จากภายนอกที่ขา 9 และขา 5 ของไอซี คาบเวลาการทำงานกำหนดได้จากการคำนวณตามสมการดังนี้

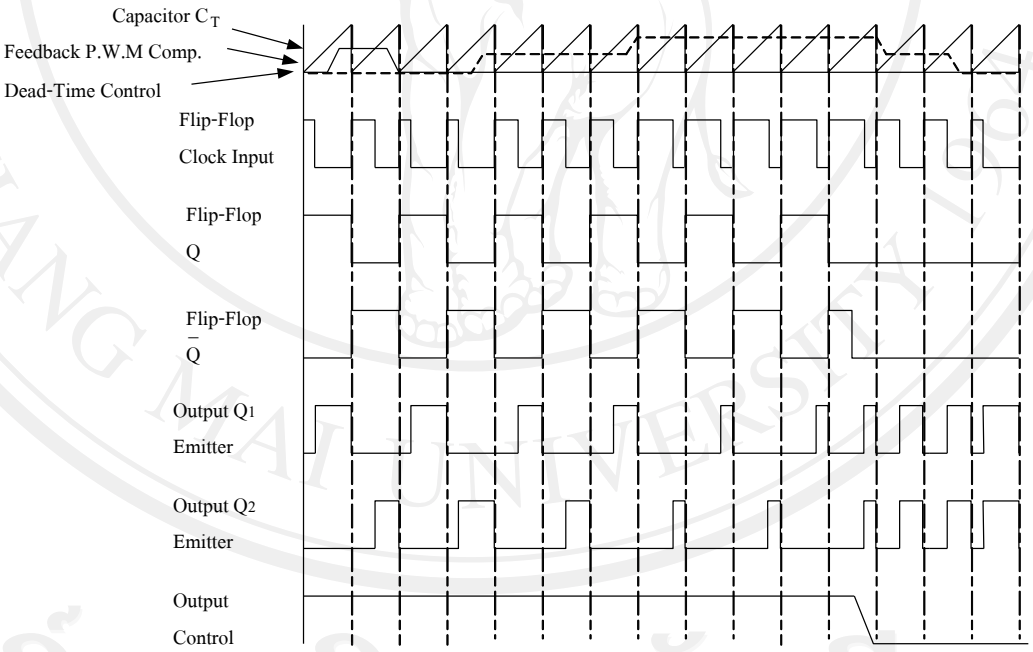
$$T = \frac{R_T C_T}{1.1} \tag{3.9}$$

เมื่อ T คือ คาบเวลาทำงาน $(f = 1/T)$ R_T คือ ความต้านทานใช้งาน C_T คือ ค่าคาปาซิเตอร์ใช้งาน (กำหนดเป็นค่าคงที่)

2) การทำงานของไอซีสำหรับคงค่าแรงดันไฟฟ้าของไอซีเบอร์ TL494 ดังแสดงในรูปที่ 3.6 เพื่อใช้ควบคุมคอนเวอร์เตอร์ โดยความกว้างเอาต์พุตพัลส์ของไอซีจะได้มาจากการเปรียบเทียบของสัญญาณฟันเลื่อยที่ขา S กับแรงดันไฟฟ้าที่ได้จากวงจรขยายความต่าง Error Amp ทั้งสองตัวผ่านทาง PWM Comparator ส่วน NOR Gate ที่ควบคุมเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์เอาต์พุต Q_1 และ Q_2 จะทำงานก็ต่อเมื่อขา C_k ของ Flip–Flop อยู่ในสถานะ Low ซึ่ง C_k จะมีสถานะ Low ได้ เมื่อแรงดันของสัญญาณฟันเลื่อยมีค่ามากกว่าแรงดันที่มาจาก Error Amp ทั้งสองตัวนั่นคือ แรงดันป้อนกลับจากเอาต์พุตหากมีค่าสูงขึ้น ความกว้างเอาต์พุตพัลส์ของไอซีจะมีค่าลดลง ในทางกลับกันแรงดันป้อนกลับหากมีค่าลด ลงความกว้างเอาต์พุตพัลส์ของไอซีจะมีค่าเพิ่มขึ้น

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ความกว้างเอาต์พุตพัลส์ของไอซีนี้สามารถกำหนดให้มีค่ามากที่สุดหรือมีค่าเท่ากับศูนย์ได้ด้วยการเปลี่ยนแปลงแรงดันไฟฟ้าที่ขา 3 จาก 0.5 ถึง 3.5 โวลต์ ส่วนวงจรขยายความต่าง Error Amp ทั้งสองตัวจะมีช่วงของอินพุตคอมมอนโหมดตั้งแต่ -0.3 ถึง -2 โวลต์ และสามารถใช้ในการตรวจจับแรงดันไฟฟ้าหรือกระแสไฟฟ้าที่เอาต์พุตของคอนเวอร์เตอร์ได้ วงจรขยายความต่าง Error Amp ทั้ง 2 ตัวจะให้เอาต์พุตในลักษณะให้สถานะ High (Active high) โดยต่อกันอยู่ในลักษณะOR ที่ขา Non Inverting ของ PWM Comparator การต่อกันในลักษณะนี้วงจรขยายความต่าง Error Amp ตัวที่ทำให้เกิดความกว้างเอาต์พุตพัลส์ต่ำสุด จะเป็นตัวควบคุมความกว้างของเอาต์พุตพัลส์ของไอซี เนื่องจากค่าแรงดันป้อนกลับจะถูกป้อนกลับจะถูกส่งมายังวงจรขยายความต่าง Error Amp ผลต่างของแรงดันเอาต์พุตและแรงดันอ้างอิงจึงมีลักษณะกลับเฟสอยู่ 180 องศา เมื่อแรงดันเอาต์พุตมีค่ามากขึ้นความกว้างพัลส์ที่เอาต์พุตของวงจรพีดับเบิลยูเอ็มจะมีค่าลดลง และช่วงนำกระแสของเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ก็จะลดลง ถ้าแรงดันเอาต์พุตมีค่าลดลงความกว้างพัลส์ที่เอาต์พุตของวงจรพีดับเบิลยูเอ็มจะมีค่าเพิ่มขึ้น ทำให้สามารถคงค่าแรงดันเอาต์พุตไว้ได้



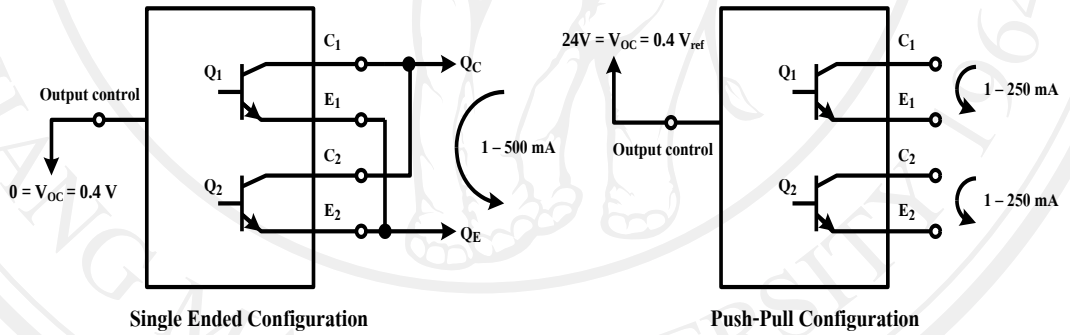
รูปที่ 3.6 สัญญาณลักษณะการทำงานของไอซีเบอร์ TL494 **[13]**

3) การกำหนดค่าเวลาเผื่อ t_D ของไอซีเบอร์TL494 สามารถออกแบบกำหนดค่าเวลาเผื่อ t_D ของวงจรได้เอง ด้วยการต่อแรงดันไฟฟ้าระหว่าง 0 ถึง 3.3 โวลต์ที่ขา 4 ของไอซี หากแรงดันไฟฟ้าที่ขา 4 มีค่าเท่ากับ 0 โวลต์ ค่าเวลาเผื่อต่ำสุดของไอซีจะไม่ต่ำกว่า 4 เปอร์เซ็นต์ ของค่าคาบเวลาการทำงานเนื่องจากมีแรงดันไฟฟ้าออฟเซต 120 มิลลิโวลต์ต่ออยู่ภายในวงจรของไอซี ดังนั้นช่วงเวลา

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ทำงาน t_{ON} สูงสุดของคอนเวอร์เตอร์ที่ได้จากไอซีเมื่อต่อขา 13 (Output Control) เข้ากับขาที่ 14 ที่เป็นแรงดันไฟฟ้าอ้างอิง ($+5V_{ref}$) จะให้ค่าเท่ากับ 48 เปอร์เซ็นต์ ของค่าคาบเวลา และเมื่อต่อขาที่ 13 ลงกราวด์ จะให้มีค่าเท่ากับ 96 เปอร์เซ็นต์ของค่าคาบเวลา

4) การเลือกใช้เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ Q_1 และ Q_2 ที่เอาต์พุตของไอซีเบอร์TL494 ดังรูปที่ 3.7 เนื่องจากเอาต์พุต Q_1 และ Q_2 สามารถทำงานได้ 2 โหมดคือ ทำงานพร้อมกันหรือสลับกันได้ ซึ่งสามารถเลือกการทำงานได้ที่ขา 13 โดยขณะที่คาปาซิเตอร์ C_T ดิสชาร์จเอาต์พุตของ Dead-Time Comparator จะให้สัญญาณพัลส์ออกมา C_k จะมีสถานะเป็น High และหยุดการทำงานของเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ Q_1 และ Q_2 ถ้ากำหนดให้ขา 13 มีสถานะเป็น High ต่อเข้ากับขา 4 ที่เป็นแรงดันไฟฟ้าอ้างอิง ($+5V_{ref}$) เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ Q_1 และ Q_2 จะสลับกันทำงานตามการควบคุมของ Flip-Flop ในกรณีนี้คาบ เวลาการทำงานจะเป็นสองเท่าของค่าคาบเวลาสัญญาณฟันเลื่อยของไอซี แต่ถ้าทำงานพร้อมกันจะสามารถทำการขนานเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ Q_1 และ Q_2 เข้าด้วยกันได้ ซึ่งทำให้นำกระแสได้มากขึ้น ในกรณีนี้คาบเวลาการทำงานจะเท่ากับค่าคาบเวลาของสัญญาณฟันเลื่อยของไอซีที่ได้ทำการสร้างขึ้น

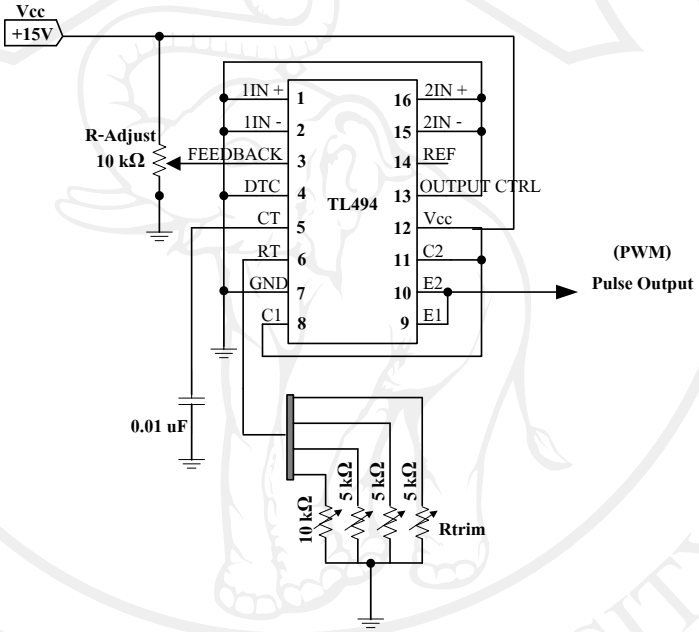


รูปที่ 3.7 ลักษณะการเลือกใช้เอาต์พุตของไอซีเบอร์TL494 **[13]**

สำหรับไอซีเบอร์ TL494 ต้องการไฟเลี้ยงในช่วง $7 \leq V_{CC} \leq 40$ โวลต์ มีแรงดันไฟฟ้าอ้างอิงภายใน V_{ref} เท่ากับ 5 โวลต์ และสามารถจ่ายกระแสไฟฟ้าได้ถึง 10 มิลลิแอมป์ เพื่อใช้งานร่วมกับวงจรภายนอกได้ โดยมีค่าความถูกต้อง ±1.5 เปอร์เซ็นต์ ความคลาดเคลื่อนทางอุณหภูมิมีค่าน้อยกว่า 50 มิลลิโวลต์ เมื่อทำงานในช่วง 0 ถึง 70 องศาเซลเซียส

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

การออกแบบโดยให้แรงดันไฟฟ้ากระแสตรงใช้งานในวงจร 15 โวลต์ จ่ายให้กับไอซีเบอร์ TL494 ที่เป็นตัวกำหนดและสร้างสัญญาณพีดับเบิลยูเอ็ม โดยมีตัวต้านทานปรับค่าได้ (R-adjust) ขนาด 10 กิโลโอห์ม ทำหน้าที่สำหรับปรับความกว้างของสัญญาณพัลส์ และมีตัวเก็บประจุ (C_T) ขนาด 0.01 ไมโครฟารัด เป็นตัวกำหนดความถี่ประมาณ 0 ถึง 30 กิโลเฮิร์ต โดยความถี่ที่ต้องการจะอาศัยการปรับตัวต้านทานแบบปรับค่าได้ (R-trim) ดังแสดงในรูปที่ 3.8 ซึ่งแสดงวงจรภาคควบคุมสัญญาณพัลส์ เมื่อได้สัญญาณพีดับเบิลยูเอ็ม ตามค่าความถี่ที่ต้องการแล้วจะส่งสัญญาณดังกล่าวไปยังขา 9 และขา 10 ของไอซีเบอร์ TL494 ไปยังวงจรภาคขับมอสเฟตกำลัง (Power MOSFET) ต่อไป



(ก) ไดอะแกรมวงจรภาคควบคุมสัญญาณพัลส์

(ข) รายละเอียดอุปกรณ์ของวงจรภาคควบคุมสัญญาณพัลส์

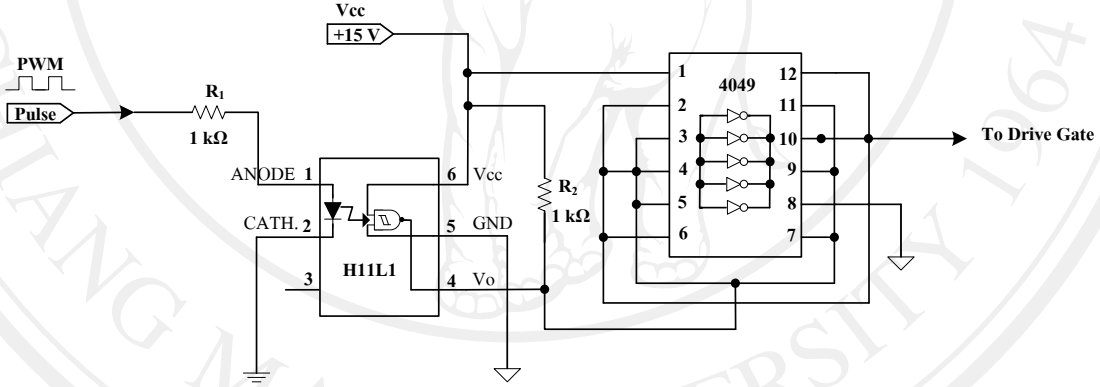
รูปที่ 3.8 วงจรภาคควบคุมสัญญาณพัลส์

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ภาควงจรขับมอสเฟตกำลัง (Power MOSFET) มีการออกแบบให้ใช้ไอซี Optocoupler เบอร์ H11L1 เพื่อทำหน้าที่สำหรับช่วยแยกส่วนที่เป็นแรงดันไฟฟ้าแรงสูงออกจากส่วนที่เป็นแรงดันไฟฟ้าแรงต่ำออกจากกันโดยสิ้นเชิง หากส่วนใดเกิดการลัดวงจรจะไม่สร้างความเสียหายให้กับอุปกรณ์อีกด้านหนึ่ง คุณสมบัติในการใช้งานของไอซีแสดงดังตารางที่ 3.3

ตารางที่ 3.3 คุณสมบัติใช้งานไอซี Optocoupler เบอร์ H11L1

องค์ประกอบ	ขนาดพิกัดใช้งาน
แรงดันไฟฟ้าใช้งาน	กระแสตรง 3 ถึง 15 โวลต์
กระแสไฟฟ้าอินพุตเพื่อขับวงจร	10 มิลลิแอมป์
กินกระแส	5 มิลลิแอมป์
กระแสด้านขาออกเพื่อขับเกต	1.6 มิลลิแอมป์
ความถี่สวิตช์สูงสุด	100 กิโลเฮิร์ต



รูปที่ 3.9 ไดอะแกรมวงจรภาคขับ Power MOSFET

การออกแบบวงจรภาคขับมอสเฟตกำลัง (Power MOSFET) ที่สามารถแยกส่วนแรงดันไฟฟ้าแรงสูงออกจากแรงดันไฟแรงต่ำดังแสดงในรูปที่ 3.9 เนื่องจากคุณสมบัติใช้งานของไอซี Optocoupler นั้นมีข้อจำกัดของกระแสไฟฟ้าด้านเอาต์พุตที่ได้จะไม่สามารถขับเกตมอสเฟตกำลังที่ต้องการกระแสไฟฟ้าที่สูงกว่าได้ ดังนั้นในการศึกษานี้จึงออกแบบให้ใช้ไอซี Optocoupler เบอร์ H11L1 ทำงานร่วมกับไอซี CMOS เบอร์ 4049 ที่มีคุณลักษณะการทำงานเป็นบัฟเฟอร์นอทเกทให้กับวงจรในภาคขับเกตผ่านทางขาที่ 4 และ 6 โดยการทำงานของไอซีเบอร์ 4049 จะต่อขาของ CMOS ในลักษณะการต่อแบบขนานกัน จึงสามารถเพิ่มกระแสไฟฟ้าเอาต์พุตให้มีค่าสูงขึ้นเพื่อนำไปสู่ที่ขาเกตของมอสเฟตกำลังที่ต้องการกระแสไฟฟ้าสูงๆ ได้ และการใช้งานร่วมกับไอซี CMOS ยังส่งผลทำให้ความเร็วในการเปลี่ยนสถานะของมอสเฟตกำลังได้รวดเร็วเพิ่มขึ้น

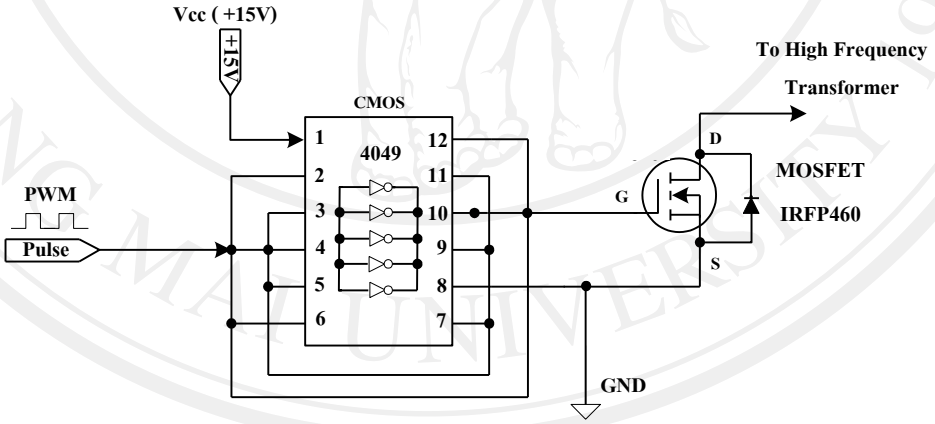
ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

3.2.3.2 วงจรภาคควบคุมหม้อแปลงไฟฟ้าความถี่สูง

การออกแบบและสร้างวงจรภาคควบคุมหม้อแปลงไฟฟ้าความถี่สูงจะรับสัญญาณพีดับเบิลยูเอ็ม มาจากวงจรในภาคขับเกตผ่านทางขาที่ 10 ของไอซีเบอร์ 4049 เพื่อจะทำการขับเกตของมอสเฟตกำลังแสดงดังรูปที่ 3.10 ซึ่งในการออกแบบได้เลือกใช้สวิตช์ควบคุมมอสเฟตกำลัง (Power MOSFET) เบอร์ IRFP460 สำหรับควบคุมหม้อแปลงไฟฟ้าความถี่สูง โดยมีคุณสมบัติการใช้งานที่สำคัญดังแสดงตารางที่ 3.4

ตารางที่ 3.4 คุณสมบัติสารกึ่งตัวนำมอสเฟตกำลังเบอร์ IRFP460

องค์ประกอบ	ขนาดพิกัดใช้งาน
สวิตช์ควบคุม	Power MOSFETเบอร์ IRFP460
พิกัดแรงดัน	500 โวลต์
พิกัดกระแส	20 แอมป์
ความถี่ในการสวิตช์	100 กิโลเฮิร์ต
ความต้านทาง $R_{DS(on)}$	0.27 โอห์ม



รูปที่ 3.10 ไดอะแกรมการทำงานของมอสเฟตกำลัง เบอร์ IRFP460

ในการศึกษานี้ได้เลือกใช้หม้อแปลงไฟฟ้าแรงสูงแบบฟลายแบค ซึ่งเป็นหม้อแปลงไฟฟ้าความถี่สูงที่รับกำลังไฟฟ้าแบบพัลส์ให้แก่ขดลวดทางปฐมภูมิทำให้เกิดการพองตัวและยุบตัวของสนามแม่เหล็กที่ขดลวดปฐมภูมิของหม้อแปลงแรงดันสูง จากการพองตัวและยุบตัวของสนามแม่เหล็กที่ขดลวดปฐมภูมิ มีผลทำให้เกิดการพองตัวและยุบตัว (Induce) ที่ขดลวดทุติยภูมิด้วย ทำให้เกิดการเหนี่ยวนำไฟฟ้าแรงเคลื่อนสูงทางด้านขาออก ซึ่งระดับแรงดันสูงขาออก (V_s) จะขึ้นอยู่กับจำนวนรอบของการพันขดลวดทางทุติยภูมิ (N_s) และการปรับความถี่ใช้งาน โดยสามารถคำนวณ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

หาอัตราส่วนจำนวนรอบของหม้อแปลงไฟฟ้าได้จากสมการ ดังนี้

$$\frac{V_s}{V_p} = \frac{N_s}{N_p} \tag{3.10}$$

เมื่อ V_p และ N_p คือ แรงดันไฟฟ้าและจำนวนรอบของขดลวดด้านปฐมภูมิ ทำให้สามารถประมาณอัตราส่วนของแรงดัน V_S / V_P ได้ โดยในการเลือกใช้งานหม้อแปลงไฟฟ้าต้องพิจารณาองค์ประกอบที่สำคัญสำหรับใช้ในการสร้างแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้าต้นแบบ ดังแสดงในตารางที่ 3.5

ตารางที่ 3.5 องค์ประกอบเพื่อการพิจารณาในเลือกใช้งานหม้อแปลงไฟฟ้าความถี่สูง

องค์ประกอบ	ค่าที่ต้องการ	พิกัดใช้งาน
ชนิดหม้อแปลงไฟฟ้า	Flyback transformer	ใช้ความถี่สูง > 10 กิโลเฮิร์ต
แรงดันไฟฟ้าใช้งาน	แรงดันไฟฟ้าในระบบ	กระแสสลับ 220โวลต์ 50 เฮิร์ต
แรงดันไฟฟ้าขาเข้า	แรงดันไฟฟ้า (V_{in})	กระแสตรง 12 ถึง 15 โวลต์
แรงดันไฟฟ้าขาออก	แรงดันไฟฟ้า (V_{out})	10 กิโลโวลต์
กระแสไฟฟ้าใช้งาน	กระแสไฟฟ้าในระบบ	$\leq$ 1 มิลลิแอมป์
ความถี่ใช้งาน	ความถี่ในการสวิตช์ (F_{sw})	10 ถึง 30 กิโลเฮิร์ต

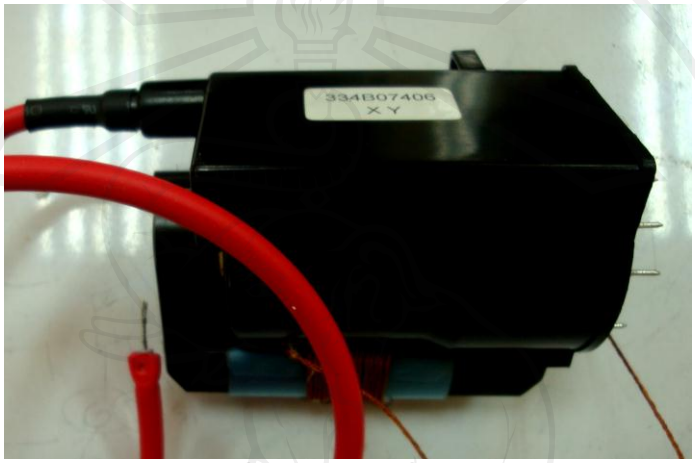
สำหรับหม้อแปลงไฟฟ้าแรงสูงฟลายแบคที่นำมาใช้งานต้องมีการทดสอบสมรรถนะการทำงานของหม้อแปลงไฟฟ้าก่อนนำมาใช้สร้างแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้าต้นแบบ เนื่องจากคุณลักษณะของขาใช้งานและข้อจำกัดในการจ่ายแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุตของหม้อแปลงไฟฟ้าแต่ละรุ่นที่ต่างกัน จึงต้องมีการทดสอบก่อนใช้งาน ซึ่งในการทดสอบสามารถทำได้สองวิธี ดังนี้

วิธีที่ 1 ทดสอบโดยจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงปรับค่าได้ 0 ถึง 12โวลต์ ให้กับหม้อแปลงไฟฟ้าฟลายแบคและนำเครื่องกำเนิดสัญญาณพัลส์ (Function Generator) ของ YOGOGAWA โมเดล FC35 ที่สามารถปรับความถี่ 10 กิโลเฮิร์ต ถึง 30 กิโลเฮิร์ต มาสร้างสัญญาณพัลส์เพื่อขับเกตของมอสเฟตกำลัง (Power MOSFET) เบอร์ IRFP460 ส่งผ่านไปยังหม้อแปลงไฟฟ้าแรงสูงฟลายแบคโดยตรง ซึ่งผลของการทดสอบที่ระดับแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุตสูงกว่า 3 กิโลโวลต์ จะเกิดกระแสไฟฟ้ารั่วไหลเข้าหากันระหว่างขาใช้งานทำให้หม้อแปลงไฟฟ้าเสียหาย จึงไม่สามารถสร้างแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุตได้ตามเงื่อนไขในการออกแบบ

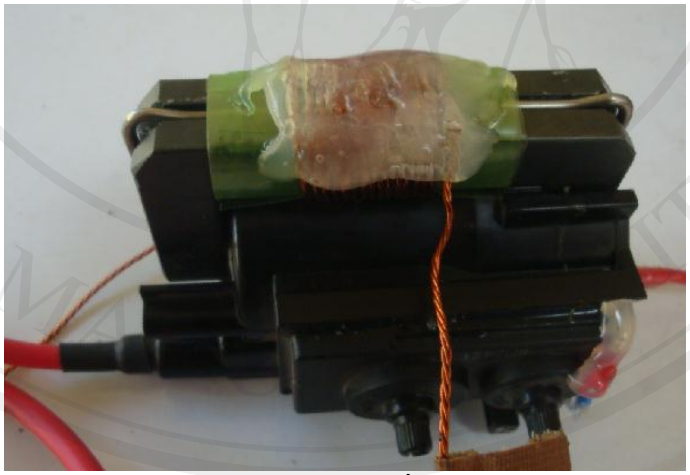
วิธีที่ 2 ทดสอบพันขดลวดปฐมภูมิให้กับหม้อแปลงไฟฟ้าแรงสูงแบบฟลายแบคโดยพิจารณาการพันขดลวดจากอัตราส่วน 10 ต่อ 8,333 รอบ ตามสมการที่ (3.2) และทดสอบวัดค่าแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุตที่ได้ โดยมีลำดับขั้นตอนในการทดสอบดังนี้

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ขั้นตอนที่ 1 พันขดลวดปฐมภูมิให้กับหม้อแปลงไฟฟ้าแรงสูงแบบฟลายแบค (Flyback Transformer) โดยใช้เทคนิคนำเส้นลวดขนาด 0.2 มิลลิเมตร มาพันเกลียวโดยทดสอบใช้จำนวนขดลวด 9, 12, 14 และ 18 เส้น ซึ่งได้ทำการพันจำนวน 16 รอบ มีการทำฉนวนโดยใช้แผ่นพลาสติกเป็นฉนวนในการพันขดลวด จากนั้นเคลือบผิวของขดลวดด้วยซิลิโคลน ลักษณะการพันขดลวดปฐมภูมิของหม้อแปลงไฟฟ้าแรงสูงฟลายแบค ดังแสดงในรูป 3.11



(ก) หม้อแปลงไฟฟ้าแรงสูงความถี่สูงฟลายแบคยี่ห้อ MITSUBISHI รุ่น 334B07406 XY

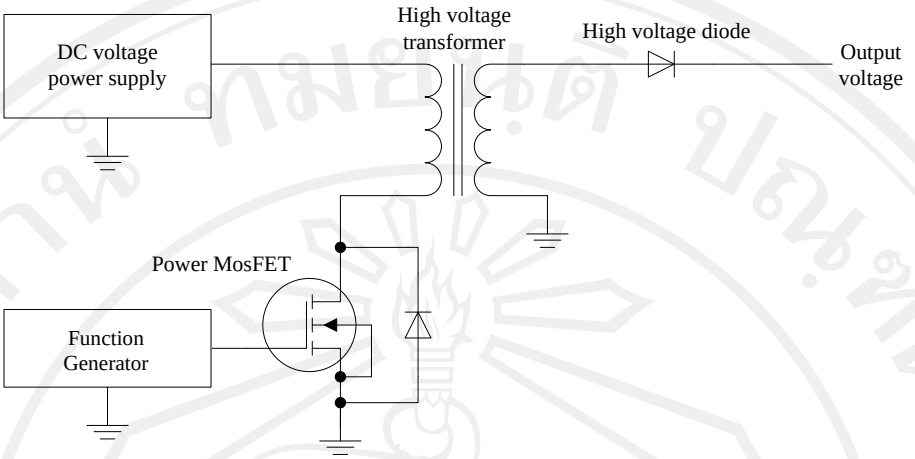


(ข) การพันขดลวดปฐมภูมิของหม้อแปลงไฟฟ้ายี่ห้อ MITSUBISHI รุ่น 334B07406 XY

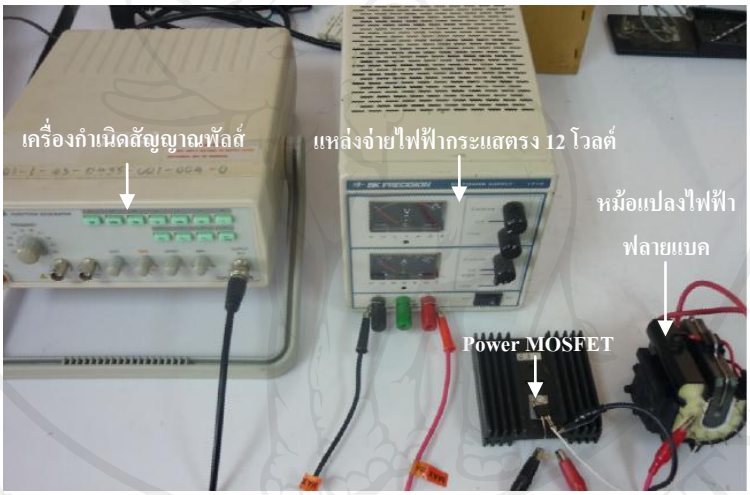
รูปที่ 3.11 ลักษณะการพันขดลวดปฐมภูมิของหม้อแปลงไฟฟ้าแรงสูงฟลายแบค

ขั้นตอนที่ 2 ทดสอบสมรรถนะของหม้อแปลงไฟฟ้าแรงสูงความถี่สูง มีไดอะแกรมวงจรสำหรับการทดสอบแสดงดังรูปที่ 3.12 (ก) และรูปที่ 3.12 (ข) แสดงอุปกรณ์การทดสอบสมรรถนะของหม้อแปลงไฟฟ้าที่ประกอบด้วย เครื่องกำเนิดสัญญาณพัลส์ แหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง และออสซิโลสโคปของ Tektronix โมเดล TD 1101B สำหรับวัดสัญญาณแรงดันและกระแสไฟฟ้า

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



(ก) ไดอะแกรมวงจรการทดสอบสมรรถนะหม้อแปลงไฟฟ้าแรงสูงฟลายแบค



(ข) การทดสอบสมรรถนะของหม้อแปลงไฟฟ้าแรงสูงฟลายแบค

รูปที่ 3.12 วงจรการทดสอบหม้อแปลงไฟฟ้าแรงสูงฟลายแบค

ลำดับขั้นตอนในการทดสอบ เริ่มต้นจากการจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง (V_{in}) ขนาด 12 โวลต์ ให้กับหม้อแปลงไฟฟ้าแรงสูงฟลายแบคที่พันขดลวดปฐมภูมิ และนำสัญญาณพัลส์ที่ได้จาก Function Generator ของ YOGOGAWA โมเดล FC35 จ่ายเข้าสู่มอสเฟตกำลังโดยทดสอบปรับค่าความถี่ 10 กิโลเฮิร์ต ถึง 30 กิโลเฮิร์ต ให้กับหม้อแปลงไฟฟ้าที่ทดสอบ จากนั้นจึงวัดสัญญาณแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุตด้วยออสซิโลสโคป ผลจากการทดสอบได้จำนวนรอบขดลวดที่เหมาะสม 16 รอบ และเส้นลวดพันเกลียวจำนวน 9 เส้น และข้อสังเกตที่ได้จากการทดสอบ พบว่าเมื่อใช้เส้นลวดขนาดเล็กจะมีความเหมาะสมกับวงจรใช้งานความถี่สูง โดยพิจารณาแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุตที่ได้อยู่ในระดับ 10 กิโลโวลต์ มีพิกัดกินกระแสไฟฟ้าระดับต่ำกว่า 1 มิลลิแอมป์ สำหรับการทดสอบหม้อแปลงไฟฟ้าแรงสูงแบบฟลายแบคจำนวน 4 รุ่น ได้ผลสรุปของการทดสอบดังแสดงตารางที่ 3.6

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 3.6 ผลการทดสอบหม้อแปลงไฟฟ้าแรงสูงฟลายแบค

ชนิดหม้อแปลงทดสอบ	ขดลวดปฐมภูมิ (รอบ)	แรงดันไฟฟ้าเอาต์พุต (กิโลโวลต์)	คุณสมบัติการใช้งาน
1. ยี่ห้อ MITSUBISHI รุ่น 334B07403	16	8 kV_{pk}	เกิดกระแสรั่วไหลที่ขาใช้งานเมื่อ > 8 kV_{pk}
2. ยี่ห้อ MITSUBISHI รุ่น 334B07406 XY	16	10 kV_{pk}	สามารถใช้งาน (พันขดลวดยาก)
3. ยี่ห้อ TBE รุ่น TLF 14511	16	10 kV_{pk}	สามารถใช้งาน (พันขดลวดยาก)
4. ยี่ห้อ TBE รุ่น TLF 14689	-	10 kV_{pk}	สามารถใช้งานโดยไม่ต้องพันขดลวดปฐมภูมิ

จากผลการทดสอบหม้อแปลงไฟฟ้าแรงสูงแบบฟลายแบคทั้ง 4 รุ่น เมื่อพันเกลียวเส้นลวดขนาด 0.2 มิลลิเมตร 9 เส้นเข้าด้วยกันสำหรับพันแกนเหล็กปฐมภูมิด้านนอกจำนวน 16 รอบ พบว่าที่หม้อแปลงไฟฟ้ายี่ห้อ MITSUBISHI รุ่น 334B07403 จะให้ค่าแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุต 8 กิโลโวลต์ แต่จะเกิดกระแสไฟฟ้ารั่วไหลที่ขาใช้งานของหม้อแปลงไฟฟ้าเมื่อมีค่าใช้งานมากกว่า 8 กิโลโวลต์ ส่วนยี่ห้อ MITSUBISHI รุ่น 334B07406 XY และยี่ห้อ TBE รุ่น TLF 14511 จะให้ค่าแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุต10 กิโลโวลต์ เท่ากัน แต่จะมีการพันขดลวดปฐมภูมิเพิ่มที่ด้านนอกจะค่อนข้างยุ่งยาก

ดังนั้นในการศึกษานี้จึงเลือกได้ใช้หม้อแปลงไฟฟ้าแรงสูงฟลายแบคของ TBE รุ่น TLF 14689 มาใช้ในการสร้างแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงแรงสูงแบบพัลส์ต้นแบบ ซึ่งไม่ต้องมีการต้องพันขดลวดปฐมภูมิเพิ่มเติม โดยทำการหาอัตราส่วนจำนวนรอบของหม้อแปลงได้จาก (N1/N2) = (V1/V2) ทำให้สามารถประมาณอัตราส่วนของแรงดัน (V1/V2) ได้โดยจะใช้ค่าในผลการทดลองขณะไม่มีโหลด (No–load) ที่รอบทำงานเท่ากับ Duty cycle 10 เปอร์เซ็นต์ สามารถคำนวณอัตราส่วนแรงดัน (V1/V2) ได้เท่ากับ 1:625 โวลต์ สอดคล้องกับผลทดสอบของ **[30]** และนำผลที่ได้หาค่ามาหาค่าอัตราส่วนจำนวนรอบของหม้อแปลงไฟฟ้า **[33]** ดังสมการดังนี้

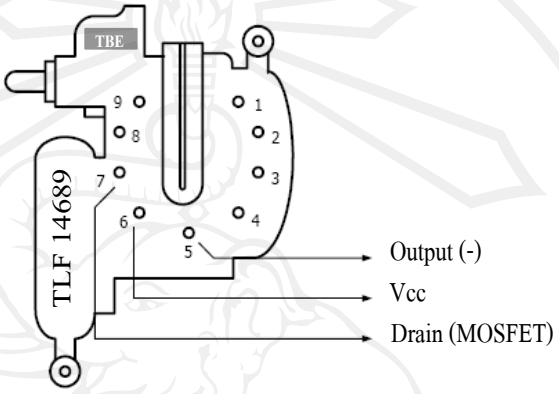
จากสมการ
$$V_2 = D\left(\frac{V_1}{N}\right) \tag{3.11}$$

$$N = \frac{0.1}{625} \tag{3.12}$$

ดังนั้นจำนวนรอบ N= 0.00016 ดังนั้นหม้อแปลงไฟฟ้าที่ใช้งานจึงมีค่า N<<1

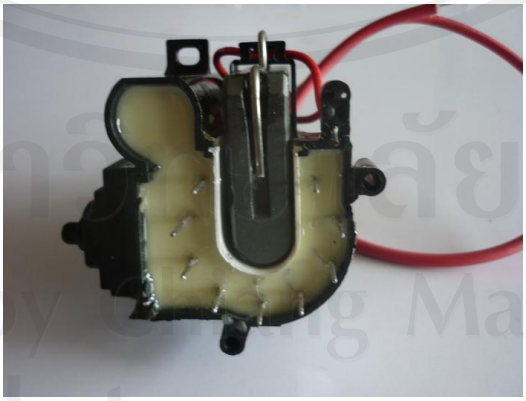
ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

โครงสร้างของขาใช้งานแสดงดังรูปที่ 3.13 (ก) โดยกำหนดขาแรงดันไฟฟ้าขาเข้า (V_{CC}) ที่ขา 6 แรงดันไฟฟ้าเอาต์พุต (V_{out}) ที่ขา 5 และขาที่ 7 จะทำหน้าที่รับสัญญาณพัลส์มาจามอสเฟตกำลัง (Power MOSFET) รูปที่ 3.13 (ข) และรูปที่ 3.13 (ค) แสดงหม้อแปลงไฟฟ้าของ TBE โมเดล TLF 14689 ที่มีขนาดเล็กโครงสร้างทำจากฉนวนสำหรับป้องกันไฟฟ้าแรงสูง และไม่ต้องมีการพันขดลวดปฐมภูมิเพิ่มเติม จึงเหมาะสำหรับนำมาใช้สร้างแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้าต้นแบบ



(ก) โครงสร้างขาใช้งานของหม้อแปลงไฟฟ้าของ TBE โมเดล TLF 14689

(ข) หม้อแปลงไฟฟ้าของ TBE โมเดล TLF 14689

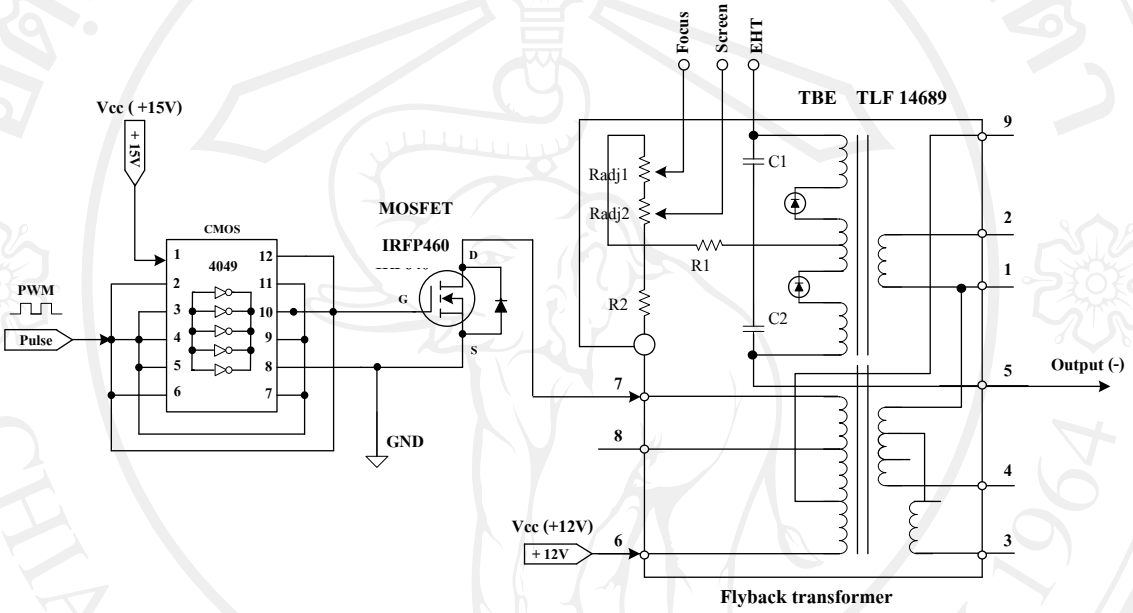


(ค) ตำแหน่งขาใช้งาน

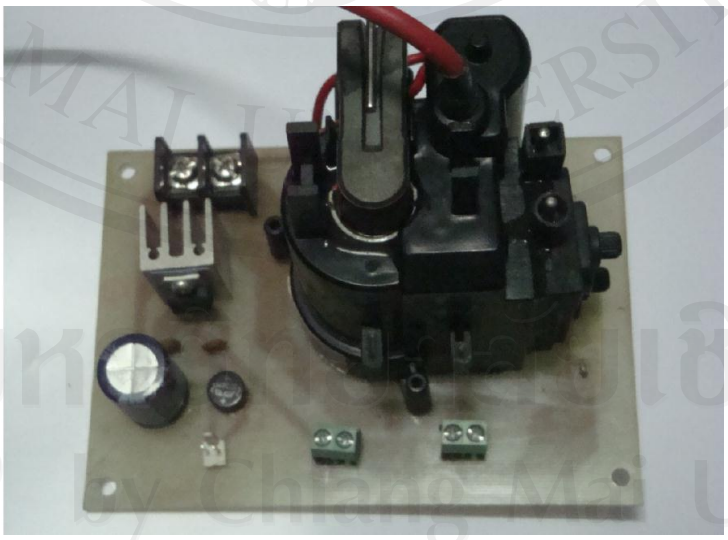
รูปที่ 3.13 หม้อแปลงไฟฟ้าฟลายแบคของ TBE โมเดล TLF 14689

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

สำหรับไดอะแกรมวงจรควบคุมหม้อแปลงไฟฟ้าแรงดันสูงฟลายแบค แสดงดังรูปที่ 3.14 (ก) และรายละเอียดอุปกรณ์ของวงจรภาคควบคุมหม้อแปลงไฟฟ้าแรงดันสูงฟลายแบค แสดงในรูปที่ 3.14 (ข) ซึ่งได้ป้อนแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงขนาด 12 โวลต์ ที่ขา 6 ของหม้อแปลงไฟฟ้า นำสัญญาณพัลส์จากมอสเฟตกำลัง (Power MOSFET) จ่ายเข้าที่ขา 7 ของหม้อแปลงไฟฟ้า และที่ขา 5 กับขา EHT จะจ่ายแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุตแรงสูงมาจ่ายให้กับเครื่องตกตะกอนเชิงไฟฟ้าสถิตต่อไป



(ก) ไดอะแกรมวงจรควบคุมหม้อแปลงไฟฟ้าแรงดันสูงฟลายแบค



(ข) รายละเอียดอุปกรณ์ของวงจรภาคควบคุมหม้อแปลงไฟฟ้าแรงดันสูงฟลายแบค

รูปที่ 3.14 วงจรภาคควบคุมหม้อแปลงไฟฟ้าความถี่สูง

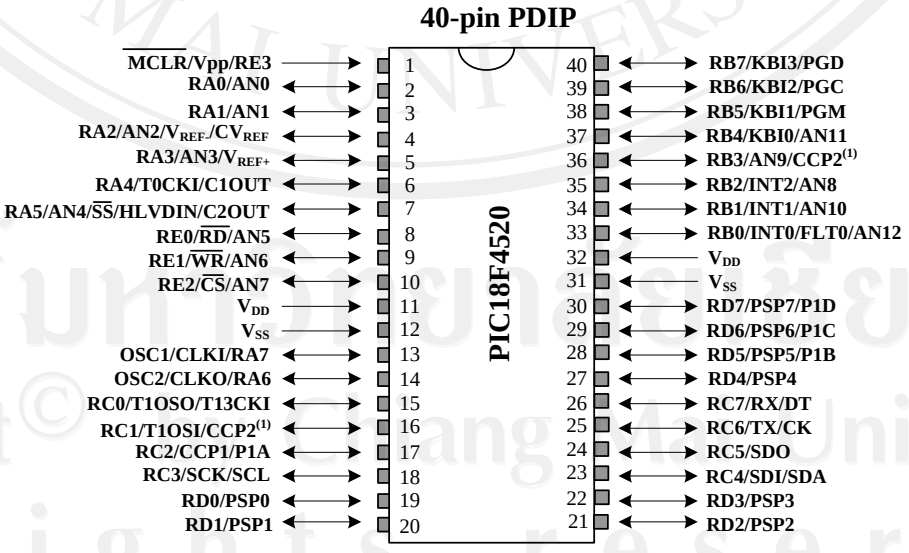
ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

3.2.3.3 วงจรภาคแสดงผลและจอแสดงผล

การออกแบบภาคแสดงผลได้เลือกไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC เบอร์ PIC18F4520 สำหรับนำมาใช้ในส่วนของวงจรการแสดงผลผ่านหน้าจอ LCD ขนาด 16 ×4 ตัวอักษร โดยแสดงผลในรูปแบบของดิจิตอล ซึ่งคุณสมบัติของไมโครคอนโทรลเลอร์แสดงในตารางที่ 3.7 และมีลักษณะขาใช้งานจำนวน 40 ขา ดังแสดงในรูปที่ 3.15

ตารางที่ 3.7 คุณสมบัติของไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC เบอร์ PIC18F4520

องค์ประกอบ	พิกัดใช้งาน
ไมโครคอนโทรลเลอร์	CPU แบบ RISC
ขนาดมิติ (กว้าง×ยาว×สูง)	13.84 × 52.26 × 3.81 มิลลิเมตร
จำนวนขาใช้งาน	40 ขา
ความเร็วในการทำงาน	40 เมกะเฮิร์ต
หน่วยความจำในการทำงาน	1.5 กิโลไบต์
หน่วยความจำสำหรับเขียนโปรแกรม	32 กิโลไบต์
ชนิดหน่วยความจำสำหรับเขียนโปรแกรม	แบบ Flash
ออกแบบให้ใช้งาน Supplier Package	PDIP
อินพุต/เอาต์พุต	36 ช่อง
แรงดันไฟฟ้าสูงสุดสำหรับใช้งาน	5.5 โวลต์



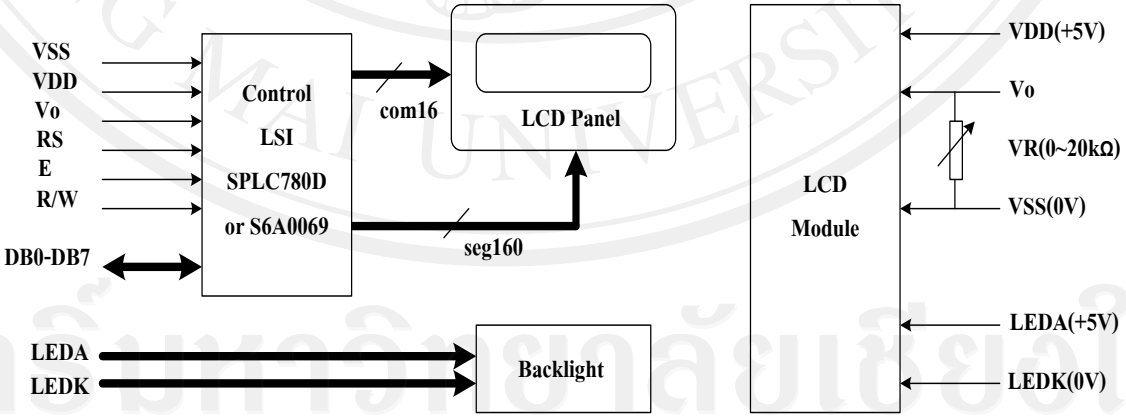
รูปที่ 3.15 ลักษณะขาใช้งานของไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC เบอร์ PIC18F4520

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

การออกแบบส่วนแสดงผลได้เลือกนำจอแสดงผล LCD MODULE NO: ABC016004A06-GHY-R ขนาด 16 ×4 ตัวอักษร มาใช้งานโดยมีการแสดงผลในรูปแบบของดิจิตอล ซึ่งมีคุณสมบัติที่เหมาะสมสำหรับใช้ในศึกษานี้ดังแสดงในตารางที่ 3.8

ตารางที่ 3.8 คุณสมบัติของจอแสดงผล LCD MODULE NO : ABC016004A06-GHY-R

องค์ประกอบ	พิกัดใช้งาน
ขนาดจอแสดงผล	16 × 4 ตัวอักษร
ขนาดมิติ (กว้าง×ยาว×สูง)	60 × 87 × 14.5 มิลลิเมตร
พื้นที่หน้าจอแสดงผลขนาด (กว้าง×ยาว)	25.2 × 61.8 มิลลิเมตร
ขนาดตัวอักษรสำหรับแสดงผล (กว้าง×ยาว)	4.76 × 2.96 มิลลิเมตร
ขนาดของDot size	0.56 × 0.56 มิลลิเมตร
แรงดันไฟฟ้าใช้งาน (V_{DD})	5 โวลต์
แรงดันไฟฟ้าใช้งานของจอ LCD (V_{OP})	4.2 โวลต์
โหมดใช้งาน (LCD mode)	STN / Transflective /Positive Mode / Gray
Viewing direction	6 o'clock
Driving scheme	1/16 Duty, 1/4 Bias
แสงของหน้าจอ (Backlight color)	Yellow-Green (Bottom)



รูปที่ 3.16 จอแสดงผล LCD MODULE NO : ABC016004A06-GHY-R

การรับข้อมูลของจอแสดงผล LCD สำหรับนำมาประมวลผลและแสดงผล ดังแสดงในรูปที่ 3.16 โดยรับข้อมูลเข้าทางขาใช้งาน DB0-DB7 ที่ส่งผ่านข้อมูลมาจากไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ขา

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ใช้งาน RD0-RD7 และจอจะสว่างได้โดยต้องจ่ายแรงดันไฟฟ้าขนาด 5 โวลต์ ที่ขา LEDA และ LEDK

รายละเอียดในการออกแบบแสดงดังรูปที่ 3.17 (ก) ไดอะแกรมวงจรภาคแสดงผลและจอแสดงผลของแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้าต้นแบบที่สร้างขึ้น ประกอบด้วยไมโครคอนโทรเลอร์ PIC เบอร์ PIC18F4520 ทำหน้าที่เป็นหน่วยประมวลผลและสำหรับการบันทึกข้อมูล จอแสดงผล LCD ขนาด 16×4 ตัวอักษร สำหรับแสดงผลประกอบด้วย (1) แสดงค่าความถี่ใช้งาน (2) แสดงค่ารอบทำงาน (Duty Cycle) (3) แสดงค่าแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุตใช้งาน และ(4) แสดงรายละเอียดคุณสมบัติการใช้งานของแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้าต้นแบบที่สร้างขึ้น ในการศึกษานี้ได้พัฒนาโปรแกรมชุดภาคแสดงผลของไมโครคอนโทรเลอร์ด้วยภาษา C ผ่านทางพอร์ตใช้งาน ICSP (In Circuit Serial Programming) ซึ่งทำหน้าที่ส่งผ่านข้อมูลของโปรแกรมจากคอมพิวเตอร์สู่ไมโครคอนโทรเลอร์ และภาคแสดงผลนี้จะมีการรับสัญญาณแบบอนาล็อกจากแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้าต้นแบบที่มีขนาด 0 ถึง 5 โวลต์ เข้ามาสู่ไมโครคอนโทรเลอร์เพื่อทำการแปลงผันสัญญาณอนาล็อกให้เป็นดิจิตอล (Analog/Digital) แล้วจึงนำสัญญาณที่ได้มาทำการประมวลผลและนำค่าที่ได้ไปแสดงผ่านทางจอแสดงผล LCD ในรูปแบบดิจิตอลต่อไป

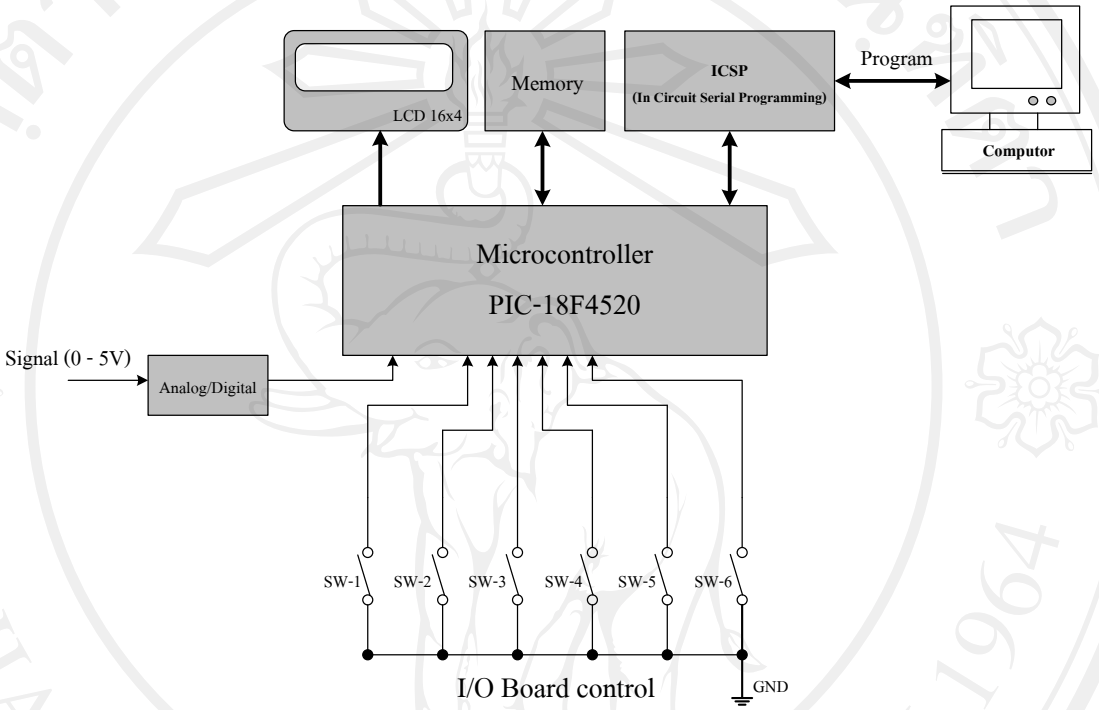
ในการเลือกใช้งานเพื่อเข้าสู่โหมดการทำงานต่างๆ ของโปรแกรมจะทำการควบคุมด้วยสวิตช์ปุ่มกด (I/O Board control) ดังแสดงในรูปที่ 3.17 (ข) ประกอบด้วยสวิตช์ปุ่มกดจำนวน 6 ตัว โดยแต่ละสวิตช์จะมีหน้าที่ ดังนี้

สวิตช์ที่ 1 Start ทำหน้าที่เริ่มการทำงานของโปรแกรม
สวิตช์ที่ 2 Stop ทำหน้าที่หยุดการทำงานของโปรแกรม
สวิตช์ที่ 3 Time ทำหน้าที่แสดงเวลาการทำงาน
สวิตช์ที่ 4 Reset ทำหน้าที่เปลี่ยนค่าเวลาการทำงานให้เริ่มต้นเป็นศูนย์
สวิตช์ที่ 5 Up ทำหน้าที่เลื่อนเพื่อดูข้อมูลด้านบน
สวิตช์ที่ 6 Down ทำหน้าที่เลื่อนเพื่อดูข้อมูลด้านล่าง

การต่อใช้งานของไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC เบอร์ PIC18F4520 ที่ได้แสดงรายละเอียดของอุปกรณ์กับขาใช้งานของไมโครคอนโทรเลอร์ดังแสดงในรูปที่ 3.18 โดยขาใช้งานที่ 2 ถึง 8 (AN0 -AN3) จะรับสัญญาณอนาล็อกที่มาจากแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้าต้นแบบมาประมวลผล ขาใช้งานที่ 33 ถึง 38 (RB0 - RB5) จะทำการเชื่อมต่อกับสวิตช์ปุ่มกด (I/O Board control) ขาใช้งานที่ 18 ถึง 21 (D0 -D3) 26 ถึง 29 (D4 –D7) จะทำการเชื่อมต่อข้อมูลเพื่อแสดงผลไปยังจอ LCD โดยจะมีการเขียนโปรแกรมควบคุมที่ส่งผ่านจากคอมพิวเตอร์เข้าสู่ไมโครคอนโทรเลอร์ที่ขาใช้งาน 1, 39

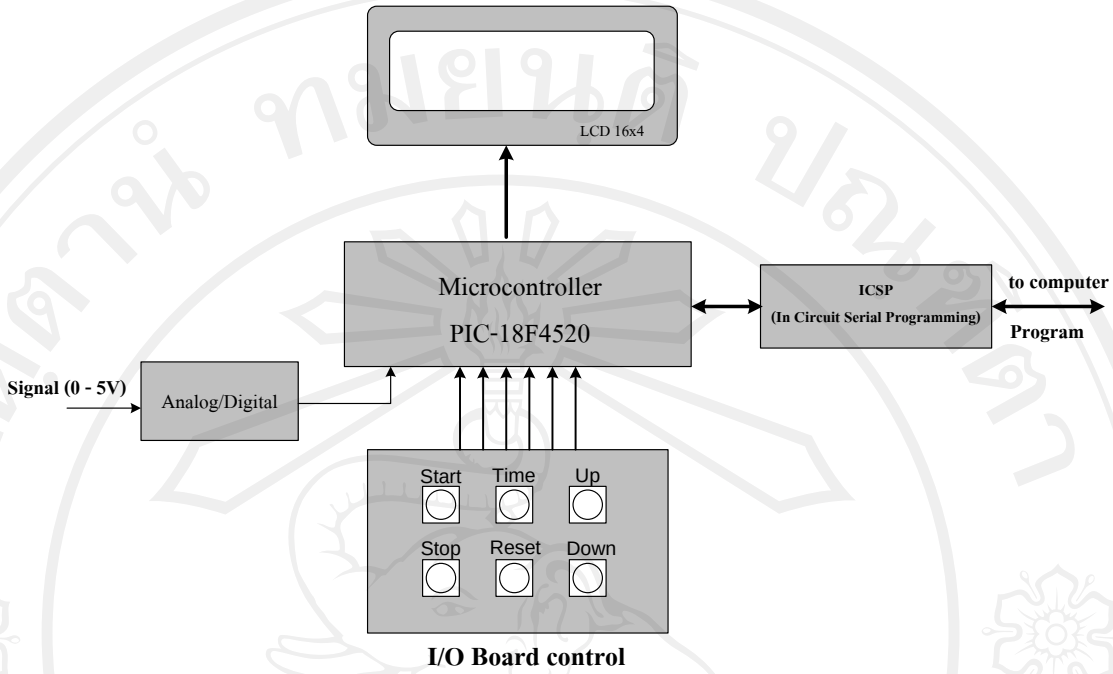
ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

และ 40 (ICSP) ได้ออกแบบให้มีการแสดงเสียงเมื่อใช้งานสวิตช์ปุ่มกดในโหมดการทำงานต่างๆ โดยได้ต่อลำโพงเสียง (Buzzer) ที่ขาใช้งานที่ 7 และมีการจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงขนาด 5 โวลต์ ให้กับขาใช้งานที่ 11 (+5V) และขาที่ 12 (GND) สำหรับเป็นไฟเลี้ยงให้กับไมโครคอนโทรเลอร์



(ก) ลักษณะการต่ออุปกรณ์กับไมโครคอนโทรเลอร์

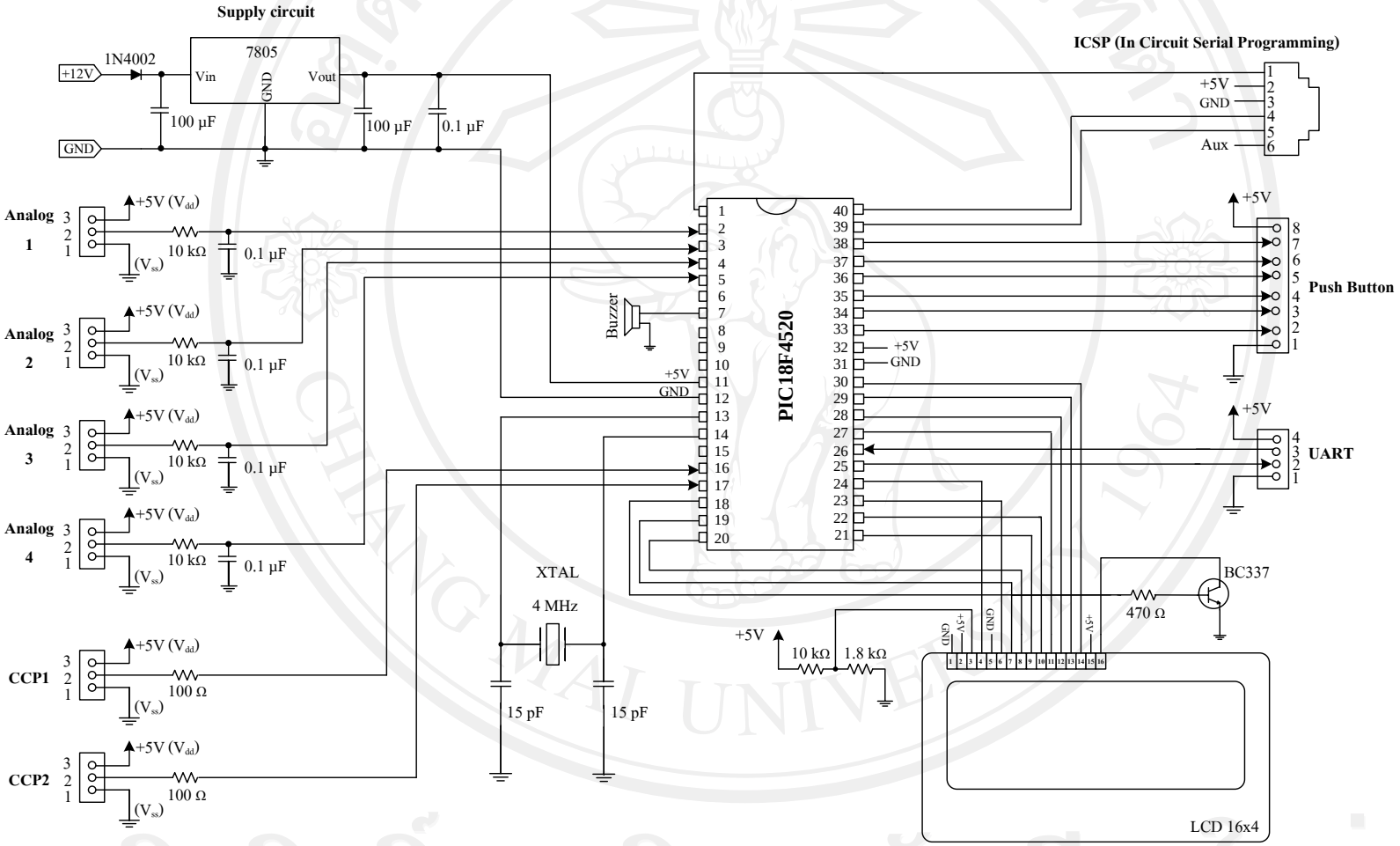
ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



(ข) ตำแหน่งใช้งานของI/O Board control

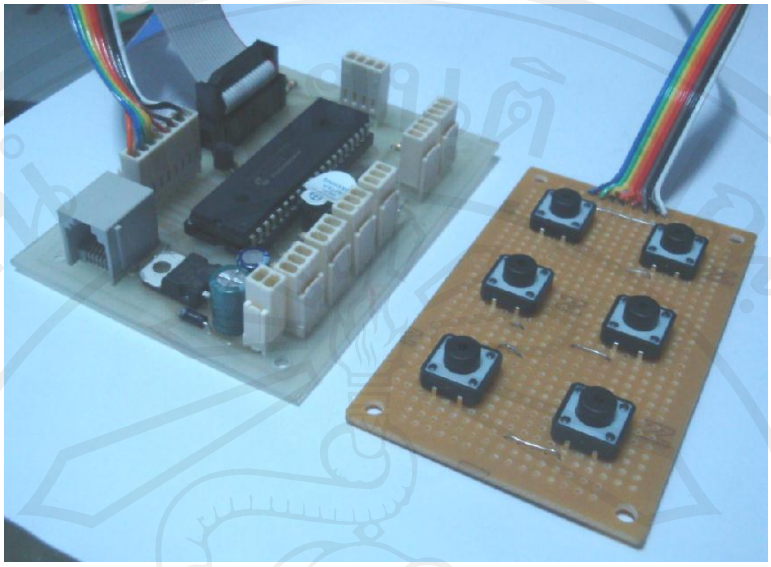
รูปที่ 3.17 ไดอะแกรมวงจรภาคแสดงผลและจอแสดงผลของแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้าต้นแบบ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



รูปที่ 3.18 การต่อใช้งานของไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC เบอร์ PIC18F4520

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



(ก) ชุดภาคแสดงผลและปุ่มกดใช้งาน

(ข) จอแสดงผลแบบ LCD

รูปที่ 3.19 ชุดภาคแสดงผลและจอแสดงผลต้นแบบที่สร้างขึ้น

ส่วนภาคแสดงผลและจอแสดงผลต้นแบบที่ได้สร้างขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 3.19 สำหรับนำมาใช้ในการประมวลผลการใช้งานของแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้าต้นแบบ ซึ่งการศึกษานี้ได้ทำการเขียนคำสั่งของโปรแกรมด้วยภาษาซีให้กับไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC เบอร์ PIC18F4520 โดยได้มีการกำหนดเงื่อนไขรายละเอียดการทำงานของโปรแกรมในโหมดการทำงานต่างๆคือ โหมด Start Stop, Time, Reset, Up และ Down ตามการควบคุมของสวิตช์ปุ่มกด (I/O Board control) ดังแสดงรายละเอียดเงื่อนไขการทำงานดังตารางที่ 3.9

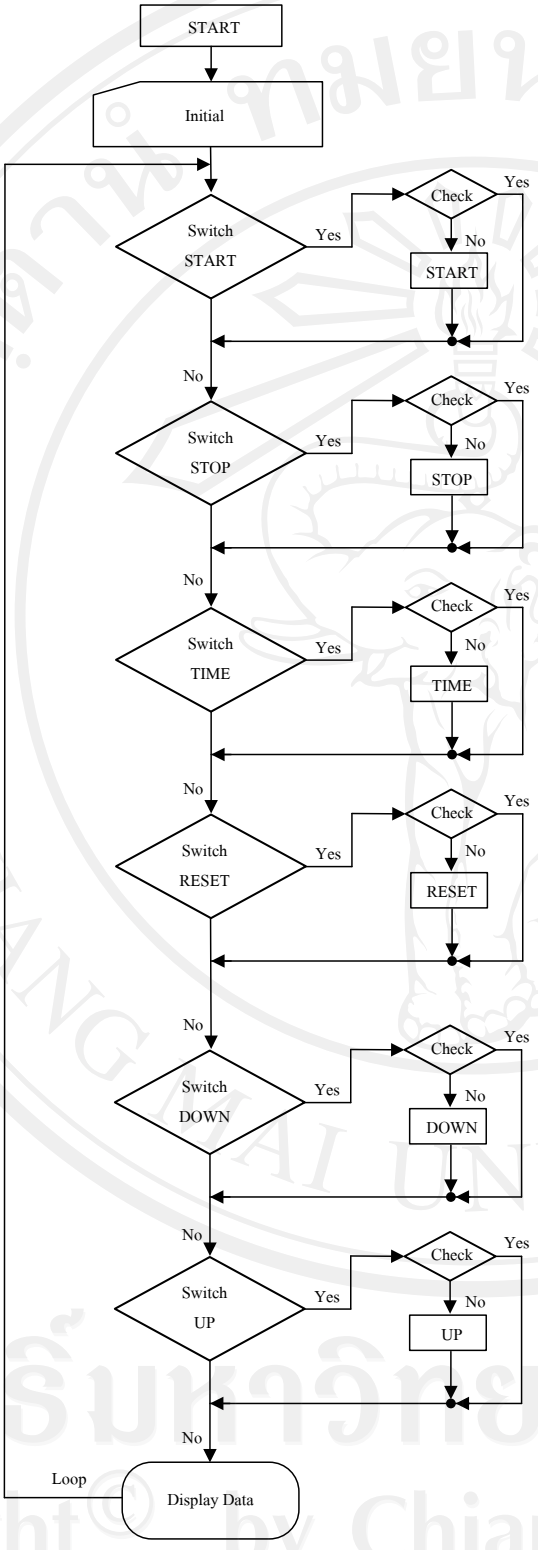
ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 3.9 เงื่อนไขรายละเอียดการทำงานของโปรแกรมแสดงผล

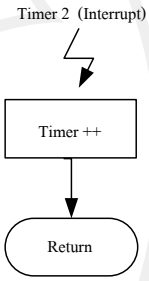
ลำดับ	เงื่อนไข	รายละเอียด
1	Start	- เริ่มทำงานของโปรแกรม
		- มีเสียงเริ่มทำงาน (ปี๊บ)
		- จอ LCD มีไฟสว่างขึ้น
		- แสดงหน้าจอ Welcome to HV-Pulse (3 วินาที)
		- เข้าสู่หน้าจอเมนูหลัก
2	Stop	- หยุดทำงานของโปรแกรม
		- มีเสียงหยุดทำงาน (ปี๊บ)
		- แสดงหน้าจอ THANK YOU CMU-EE (3 วินาที)
		- จอ LCD ปิดไฟ
3	Time	- หน้าจอแสดงผลเวลาการทำงาน
		- แสดงตำแหน่งตรงกลางของจอ LCD
		- มีตัวเลขแสดงเวลา ชั่วโมง : นาที : วินาที จับเวลาทำงาน
4	Reset	- กดเปลี่ยนค่าเวลาการทำงานให้เริ่มต้นเป็นศูนย์
		- มีเสียงเริ่มทำงาน (ปี๊บ)
		- มีตัวเลขแสดงเวลา ชั่วโมง : นาที : วินาที จับเวลาทำงาน
5	Up	- กด UP เพื่อดูข้อมูลด้านบนตามลูกศร
		- โดยมีลูกศรชี้ตำแหน่งข้อมูล
6	Down	- กด DOWN เพื่อดูข้อมูลด้านล่างตามลูกศร
		- โดยมีลูกศรชี้ตำแหน่งข้อมูล

ลำดับขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมแสดงดังรูปที่ 3.20 เริ่มต้นจากการรับคำสั่งมาจากสวิตช์ปุ่มกด ผ่านชุดคำสั่งโปรแกรมหลักที่จะทำการตรวจเช็คสถานะของปุ่มกดว่าได้มีการเลือกใช้เงื่อนไขใด เมื่อมีการเลือกใช้ในเงื่อนไขคำสั่งเกี่ยวกับการแสดงผลของเวลา โปรแกรมจะทำงานในโหมดอินเตอร์รัพ (Time 2 Interrupt) แสดงดังรูปที่ 3.20 (ข) โดยจะนับเวลาใช้งานของแหล่งจ่ายแหล่งดันไฟฟ้าต้นแบบซึ่งจะแสดงตัวเลข ชั่วโมง : นาที : วินาที จนกว่าจะหยุดทำงาน และเมื่อมีการเลือกใช้ในเงื่อนไขคำสั่งเกี่ยวกับการแสดงผลความถี่และรอบทำงาน โปรแกรมจะทำงานในโหมดอินเตอร์รัพ (CCP1 Interrupt) แสดงดังรูปที่ 3.20 (ข) โดยนำสัญญาณจากขาที่ 9 และ10 ของไอซี TL494 มาทำการอ่านค่าและแสดงผลเป็นตัวเลข ซึ่งโปรแกรมทั้งหมดได้แสดงที่ภาคผนวก ข.2

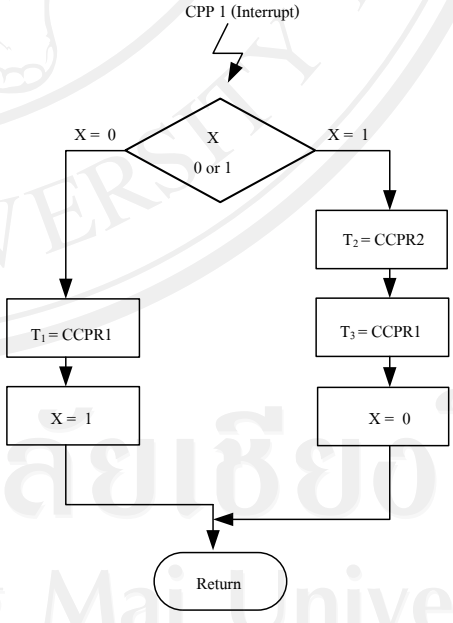
ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



(ก) โปรแกรมหลัก



(ข) โปรแกรมย่อยแสดงเวลาทำงาน



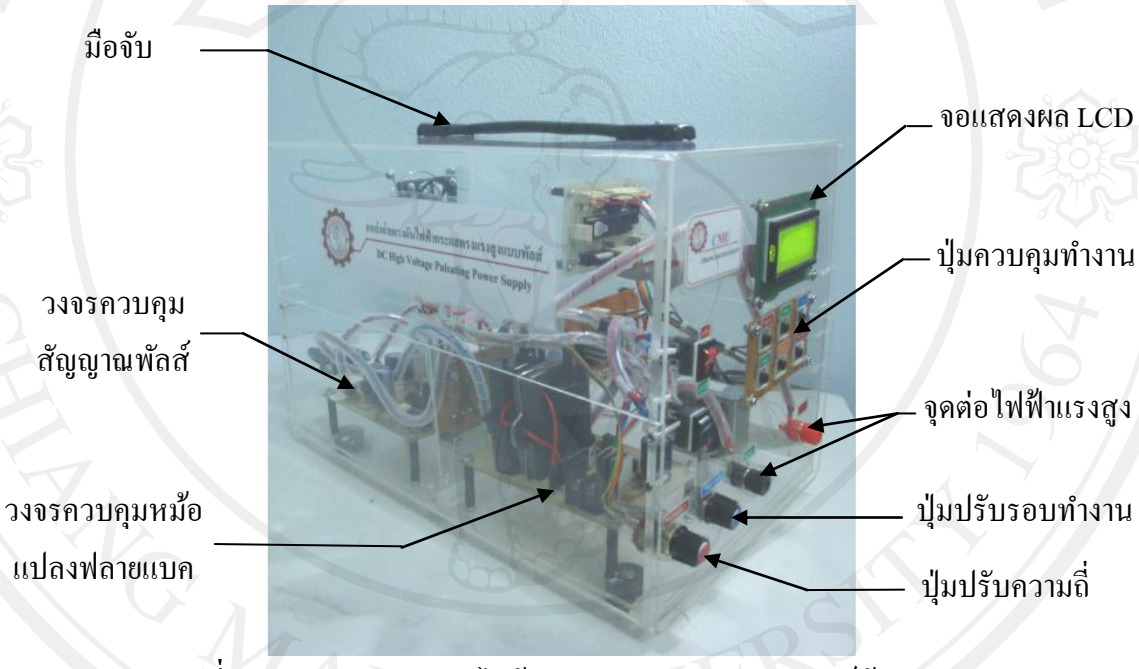
(ค) โปรแกรมย่อยแสดงผลความถี่และรอบทำงาน

รูปที่ 3.20 ไดอะแกรมลำดับขั้นการทำงานของโปรแกรมแสดงผล

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

3.2.4 ต้นแบบแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงแรงสูงแบบพัลส์

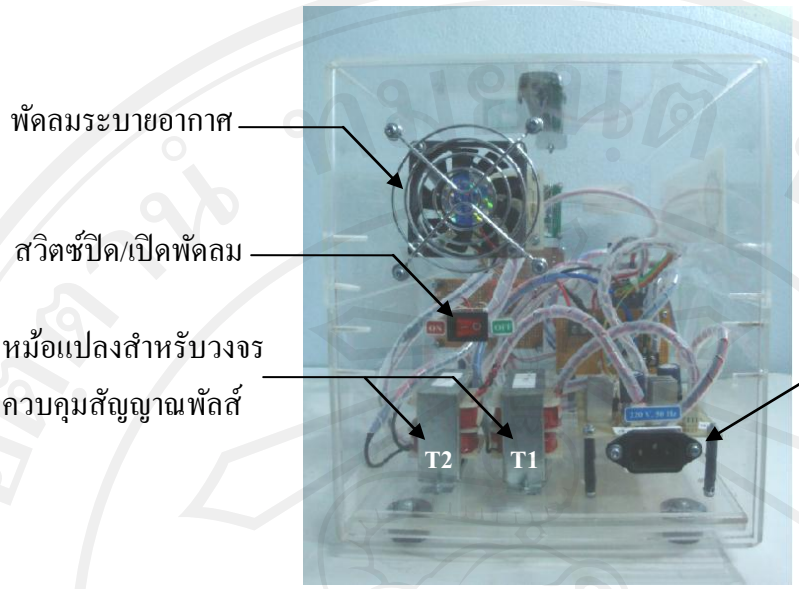
แหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงแรงสูงแบบพัลส์สำหรับเครื่องตกตะกอนเชิงไฟฟ้าสถิต ต้นแบบที่ประกอบอุปกรณ์ต่างๆ รวมกันแล้วเสร็จสมบูรณ์แสดงดังรูปที่ 3.21 โดยโครงสร้างของแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้าต้นแบบนี้ทำจากแผ่นพลาสติกขนาด 0.3 และ 0.5 มิลลิเมตร มีขนาดมิติ (กว้าง×ยาว×สูง) เท่ากับ 22 × 30 × 25 เซนติเมตร ด้านหน้ามีอุปกรณ์ติดตั้งใช้งานประกอบด้วย จอแสดงผล LCD ขนาด 16×4 ตัวอักษร ปุ่มควบคุมการทำงานส่วนแสดงผล ปุ่มปรับความถี่ใช้งาน ปุ่มปรับรอบทำงาน จุดต่อสายด้านขาออกของแรงดันไฟฟ้าแรงสูง และสวิตซ์เปิด/ปิดการใช้งาน ของแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้าต้นแบบ ด้านบนมีที่จับสำหรับใช้เคลื่อนย้ายได้สะดวก



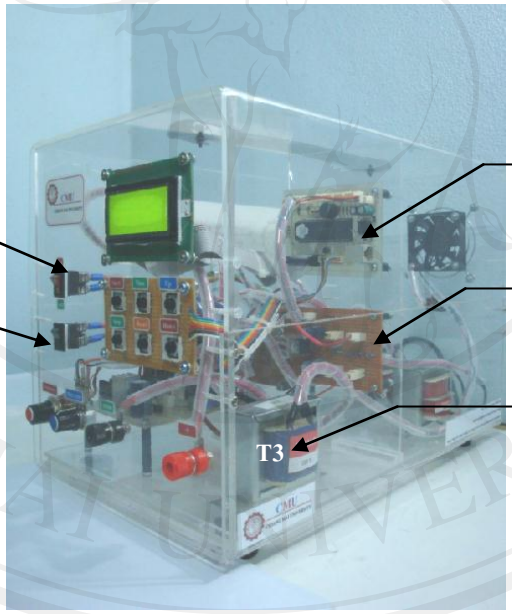
รูปที่ 3.21 แหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงแรงสูงแบบพัลส์ต้นแบบ

ลักษณะการติดตั้งอุปกรณ์ด้านหลังของแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแส ตรงแรงสูงแบบพัลส์ ต้นแบบแสดงดังรูปที่ 3.22 (ก) ประกอบด้วยพัดลระบายความร้อนขนาด 6 × 6 เซนติเมตร ที่ใช้กับแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง 12 โวลต์ มีสวิตซ์เปิด/ปิดควบคุมการทำงานของแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้าต้นแบบ และจุดเชื่อมต่อกับไฟฟ้า 220 โวลต์ 50 เฮิร์ต สำหรับลักษณะการติดตั้งอุปกรณ์ด้านข้างแสดงดังรูปที่ 3.22 (ข) ประกอบด้วยวงจรควบคุมสัญญาณพัลส์ วงจรควบคุมหม้อแปลงไฟฟ้าฟลายแบค วงจรหน่วยประมวลผลไมโครคอนโทรลเลอร์ วงจรรับสัญญาณอนาล็อกที่มีขนาด 0 ถึง 5 โวลต์ เข้ามาสู่ไมโครคอนโทรเลอร์สำหรับทำการแปลงผันสัญญาณอนาล็อกให้เป็นดิจิตอล (Analog/Digital) และหม้อแปลงไฟฟ้า (TR1-TR3) ที่ทำหน้าที่เป็นแหล่งจ่ายไฟเลี้ยงให้กับวงจรใช้งานภายในทั้งหมด

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



(ก) ด้านหลัง



(ข) ด้านข้าง

รูปที่ 3.22 ลักษณะการติดตั้งอุปกรณ์ภายในแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงแรงสูงแบบพัลส์ต้นแบบ

ในบทนี้ได้ทำการออกแบบและสร้างแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงแบบพัลส์ต้นแบบ โดยใช้หลักการวงจรฟลายแบคคอนเวอร์เตอร์ ซึ่งบทต่อไปจะได้นำเสนอรายละเอียดของอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบและวิธีการทดสอบสมรรถนะการทำงานของแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้าต้นแบบกับเครื่องตกตะกอนเชิงไฟฟ้าสถิตแบบท่อทรงกระบอกซ้อนแกนร่วมต่อไป

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved