# บทที่ 3

## การออกแบบ

ในการออกแบบวงจรเรียงกระแสแบบวิธีสวิตช์ฮาร์มอนิกต่ำที่ไม่ต้องใช้วงจรไดโอดเรียงกระแสด้านเข้าจะประกอบด้วยการออก แบบวงจรภาคกำลังและภาคควบคุม ในการออกแบบวงจรภาคกำลังจะประกอบด้วยการออกแบบค่าอุปกรณ์ต่างๆซึ่งประกอบด้วย ตัวเก็บประจุด้านเข้าของวงจร (C1,C2), ตัวเหนี่ยวนำด้านเข้าของ วงจร (L), หม้อแปลง และค่าตัวเหนี่ยวนำทำแม่เหล็ก (Lm), สวิตช์กำลัง(S1,S2), ตัวเก็บประจุวงจรกรองด้านออก(Cf), ตัวเหนี่ยวนำวงจรกรองด้านออก (Lf) ส่วนการออกแบบวงจรภาคควบคุมจะประกอบด้วยการออกแบบวงจรควบคุมกระแสแบบฮีสเตอเรซีสที่มีแถบฮีสเตอริซีสคงตัว, วงจรกำเนิดค่าเวลาตาย, วงจรขับนำสวิตช์, วงจรตรวจจับกระแสและแรงดัน ,วงจรป้องกัน

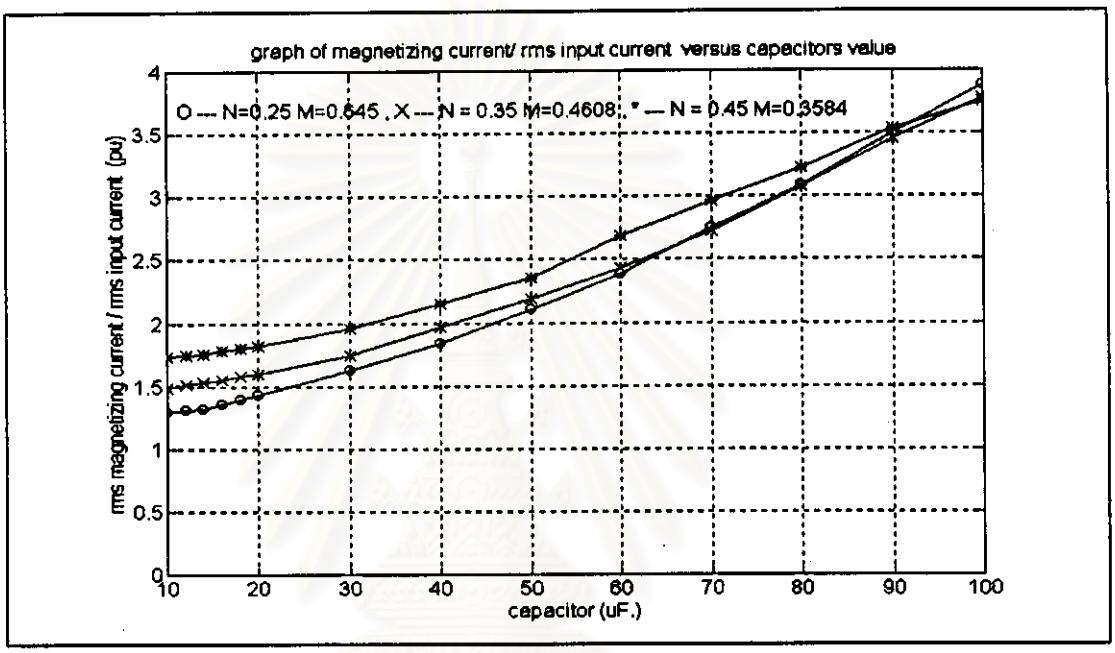
### 3.1 การออกแบบวงจรภาคกำลัง

#### ตัวเก็บประจุด้านเข้าของวงจร(C1,C2) และค่า อัตราส่วนการแปลงแรงดันของหม้อแปลง (N)

จากการศึกษาพบว่าการแปรค่าของตัวเก็บประจุและค่าอัตราส่วนการแปลงแรงดันของหม้อแปลง โดยที่คงค่าแรงดันด้านออกและกำลังด้านออกไว้มีผลทำให้กระแสทำแม่เหล็กของหม้อแปลงเปลี่ยนไป จึงได้มีการจำลองการทำงานที่เงื่อนไขค่าตัวเก็บประจุและที่ค่าอัตราส่วนการแปลงแรงดันของหม้อแปลงต่างๆกันได้ผลออกมาดังรูปที่ 3.1 โดยที่ค่าของตัวเก็บประจุมีค่าตั้งแต่ 10 μF. จนถึง 100 μF. หากตัวเก็บประจุมีค่าน้อยเกินไป ถึงแม้ว่าจะทำให้กระแสทำแม่เหล็กของหม้อแปลงลดลง แต่จะทำให้แรงดันกระเพื่อมที่ตกคร่อมตัวเก็บประจุมีค่ามากเกินไป ยังผลให้การควบคุมกระแสด้านเข้าไม่เป็นไปตามเป้าหมาย เพราะแรงดันที่ตกคร่อมตัวเก็บประจุ C2 บวกกับแรงดันจากแหล่งจ่ายจะต้องมีค่ามากกว่าศูนย์ที่ทุกช่วงเวลา เพื่อทำให้กระแสด้านเข้าที่ความลาดชันเป็นบวกตลอดเวลา และในทำนองเดียวกันแรงดันที่ตกคร่อมตัวเก็บประจุ C1 ลบด้วยแรงดันจากแหล่งจ่ายจะต้องมีค่าน้อยกว่าศูนย์ที่ทุกช่วงเวลา เพื่อทำให้กระแสด้านเข้าที่ความลาดชันเป็นลบตลอดเวลา (ดูรูปที่ 2.17) และหากตัวเก็บประจุมีค่ามากไป แม้ว่าจะทำให้การควบคุมกระแสด้านเข้าเป็น

ไปตามเป้าหมายโดยไม่ผิดพลาดก็ตาม แต่กระแสทำแม่เหล็กของหม้อแปลงจะมีค่าสูงขึ้นตามค่าตัวเก็บประจุ ดังแสดงในรูปที่ 3.1

เมื่อคงค่าตัวเก็บประจุไว้ และแปรค่าอัตราส่วนการแปลงแรงดันของหม้อแปลง จะพบว่าการใช้อัตราส่วนการแปลงแรงดันของหม้อแปลงที่ค่าสูงขึ้นจะทำให้กระแสทำแม่เหล็กของหม้อแปลงมีค่าสูงขึ้นด้วยตามรูปที่ 3.1



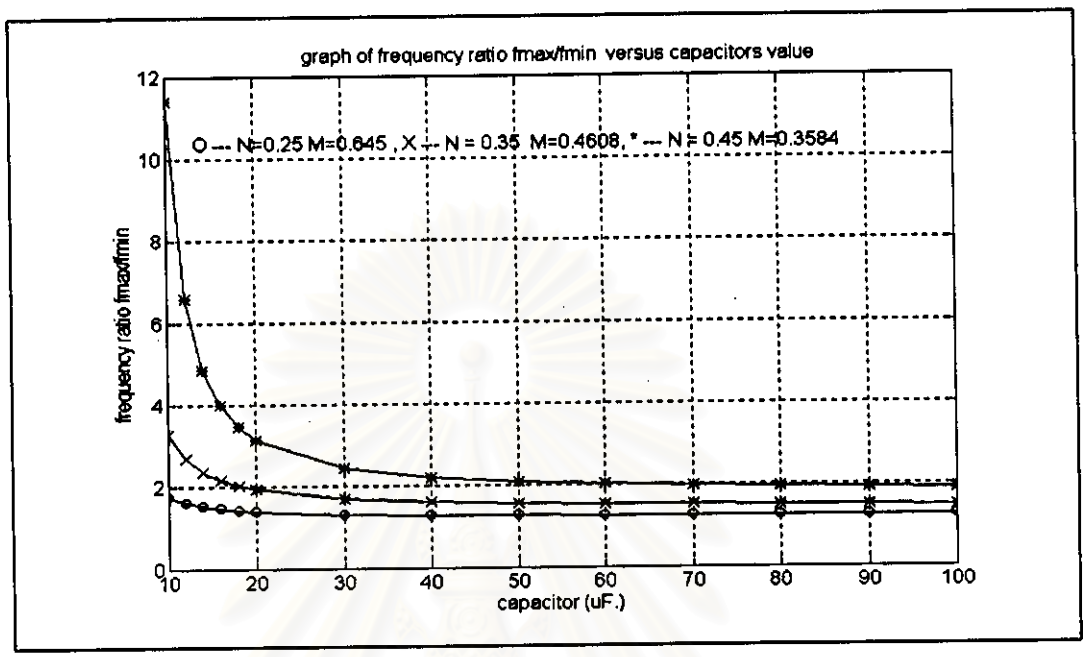

รูปที่ 3.1 การแปรค่ากระแสทำแม่เหล็กของหม้อแปลงกับค่าตัวเก็บประจุด้านเข้าและค่าอัตราส่วนการแปลงแรงดัน

เมื่อศึกษาต่อไปพบว่าการแปรค่าของตัวเก็บประจุและค่าอัตราส่วนการแปลงแรงดันของหม้อแปลง โดยที่คงค่าแรงดันด้านออกและกำลังด้านออกไว้มีผลทำให้ช่วงความถี่การสวิตช์ (ความถี่การสวิตช์สูงสุด/ความถี่การสวิตช์ต่ำสุด) เปลี่ยนไป จึงได้มีการจำลองการทำงานที่เงื่อนไขค่าตัวเก็บประจุและที่ค่าอัตราส่วนการแปลงแรงดันของหม้อแปลงต่างๆกันได้ผลออกมาดังรูปที่ 3.2

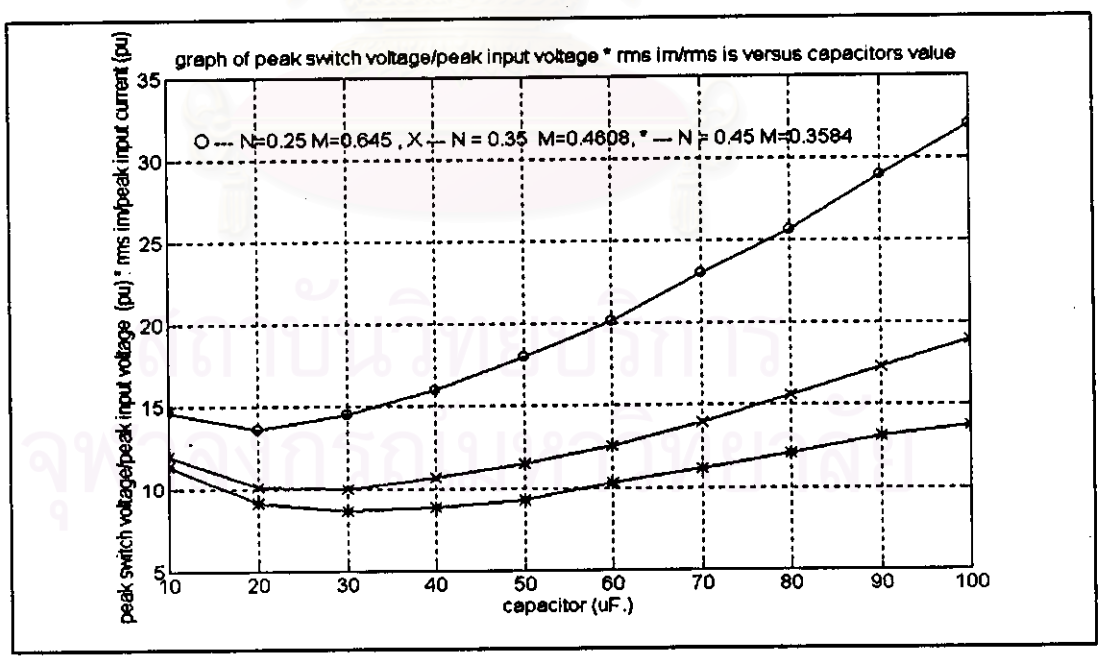
จากรูปที่ 3.2 พบว่าช่วงความถี่การสวิตช์จะมีค่ากว้างเมื่อตัวเก็บประจุมีค่าต่ำๆ และค่อนข้างที่จะคงที่เมื่อตัวเก็บประจุมีค่าตั้งแต่ 30 μF.ขึ้นไป และที่ค่าตัวเก็บประจุค่าเดียวกัน การเพิ่มค่าอัตราส่วนการแปลงแรงดันของหม้อแปลง จะทำให้ช่วงความถี่การสวิตช์จะมีค่ากว้างมากขึ้น

ได้มีการพิจารณาถึงแรงดันตกคร่อมสวิตช์ พบว่าการแปรค่าของตัวเก็บประจุและค่าอัตราส่วนการแปลงแรงดันของหม้อแปลง โดยที่คงค่าแรงดันด้านออกและกำลังด้านออกไว้มีผลทำให้

แรงดันสูงสุดที่ตกคร่อมสวิตช์ในขณะตัดวงจรเปลี่ยนไป ผลการจำลองการทำงานที่เงื่อนไขค่าตัวเก็บประจุและที่ค่าอัตราส่วนการแปลงแรงดันของหม้อแปลงต่างๆกันได้ผลออกมาดังรูปที่ 3.3




รูปที่ 3.2 การแปรค่าช่วงความถี่การสวิตช์กับค่าตัวเก็บประจุด้านเข้าและค่าอัตราส่วนการแปลงแรงดัน

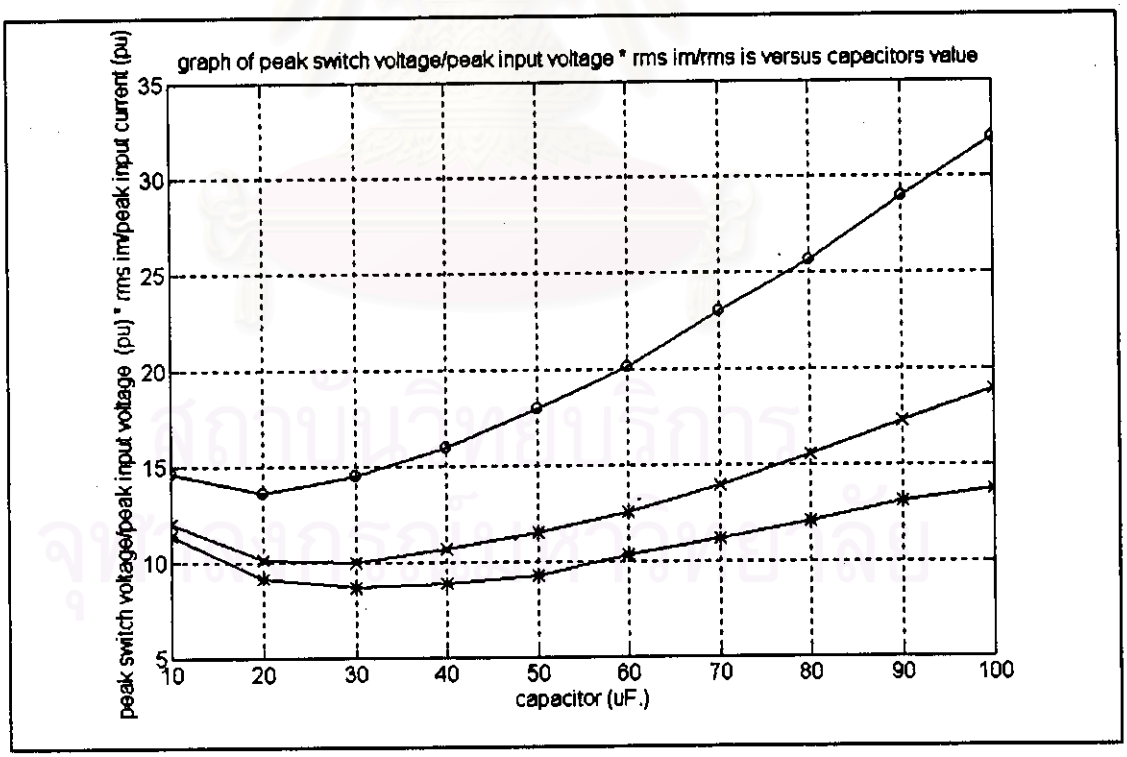



รูปที่ 3.3 การแปรค่าแรงดันตกคร่อมสวิตช์ในขณะหยุดนำกระแสกับค่าตัวเก็บประจุด้านเข้าและค่าอัตราส่วนการแปลงแรงดัน

จากรูปที่ 3.3 พบว่าการใช้ค่าตัวเก็บประจุที่สูงขึ้นมีแนวโน้มที่แรงดันตกคร่อมสวิตช์ในขณะหยุดนำกระแสมีค่าต่ำลง (เพราะว่าแรงดันกระเพื่อมที่ตกคร่อมตัวเก็บประจุมีค่าต่ำลง) และการที่ใช้ค่าอัตราส่วนการแปลงแรงดันที่สูงขึ้นก็มีแนวโน้มที่จะทำให้ที่แรงดันตกคร่อมสวิตช์ในขณะหยุดนำกระแสมีค่าต่ำลงเช่นเดียวกัน

ค่า C1 และ C2 และค่า N นั้น มีผลต่อการทำงานของวงจร ไม่ว่าจะเป็นกระแสทำแม่เหล็กของหม้อแปลง ช่วงความถี่การสวิตช์ และแรงดันตกคร่อมสวิตช์ในขณะตัดวงจร จึงได้ใช้วิธีนำค่าของกราฟในรูปที่ 3.1 และ 3.3 มาคูณกัน ผลออกมาดังรูปที่ 3.4

จากรูปที่ 3.4 จะพบว่ากราฟมีค่าต่ำสุดที่ค่าตัวเก็บประจุประมาณ 20 – 40 μF. ในที่นี้เลือกค่าตัวเก็บประจุที่ 20 μF. ส่วนค่าอัตราส่วนการแปลงแรงดันของหม้อแปลงนั้น เลือกค่า 0.35 เพราะเป็นค่าที่ไม่ทำให้กระแสทำแม่เหล็กของหม้อแปลงมีค่าสูงเกินไป โดยค่าอาร์เอ็มเอสของกระแสทำแม่เหล็กประมาณ 1.6 เท่าของค่าอาร์เอ็มเอสของกระแสด้านเข้า ช่วงความถี่การสวิตช์ก็ไม่สูงนักประมาณ 2 เท่า และ แรงดันตกคร่อมสวิตช์ในขณะหยุดวงจร ก็มีค่าไม่สูงนัก ประมาณ 2.5 เท่าของแรงดันค่ายอดของแรงดันด้านเข้า




รูปที่ 3.4 กราฟที่ได้จากการนำค่าจากรูปที่ 3.1 คูณกับค่าในรูปที่ 3.3 เพื่อใช้ประกอบการเลือกค่าตัวเก็บประจุด้านเข้า และค่าอัตราส่วนการแปลงแรงดันของหม้อแปลง

ตัวเหนี่ยวนำด้านเข้าของวงจร (L)

ค่าของตัวเหนี่ยวนำ L จะมีผลต่อค่าเฉลี่ยของความถี่การสวิตช์ ค่า L กำหนดความกว้างของแถบฮีสเตอเรซีสของกระแสด้านเข้า และความถี่สูงสุดของอุปกรณ์ที่ใช้เป็นสวิตช์กำลัง ในที่นี้เลือกใช้ IGBT ที่ความถี่ใช้งานอยู่ในช่วงไม่เกิน 20 kHz. ซึ่งหากเลือกความถี่การสวิตช์สูงสุดเท่ากับ 20 kHz. ความถี่ต่ำสุดจะเท่ากับ 10 kHz. และความถี่เฉลี่ยเท่ากับ 15 kHz.

จากการจำลองการทำงานโดยให้ค่าตัวเก็บประจุ C1 และ C2 มีค่าเท่ากับ 20 μF. , กำหนดอัตราการแปลงแรงดันของหม้อแปลงมีค่าเท่ากับ 0.35 และเลือกแถบฮีสเตอเรซีสของกระแสด้านเข้า เท่ากับ 2 A. พบว่าค่าของตัวเหนี่ยวนำ L 4.8 mH. จะทำให้วงจรทำงานดังที่กำหนดไว้ ในที่นี้เลือกค่าของตัวเหนี่ยวนำ L เท่ากับ 5 mH. เพื่อให้ความถี่สวิตช์จริงๆต่ำกว่าที่กำหนดไว้เล็กน้อย

หม้อแปลง และค่าตัวเหนี่ยวนำทำแม่เหล็ก (Lm)

การเลือกค่า N ของหม้อแปลงนั้น เราจะได้ค่า N ในขั้นตอนการเลือกค่าตัวเก็บประจุด้านเข้าแล้ว ซึ่งเราเลือกค่า N เท่ากับ 0.35

การเลือกค่า Lm นั้น หากต่ำเกินไปจะทำให้กระแสกระเพื่อมมีค่าสูงเกินไปจนทำให้ยุ่งยากในขั้นตอนการออกแบบพันหม้อแปลงเพราะต้องใช้แกนของหม้อแปลงที่มีขนาดใหญ่ ขึ้น ดังนั้นจะเลือกค่า Lm ให้มีค่าเท่ากับค่า L เลือกค่า Lm เท่ากับ 5 mH.

ตัวเหนี่ยวนำวงจรกรองด้านออก ($L_f$)

การออกแบบ $L_f$ นั้นเราจะออกแบบโดยใช้ผลการจำลองการทำงานเพื่อคำนวณค่า $\Delta vLf$ ออกมา และคำนวณค่า $L_f$ โดยใช้สมการ

$$\Delta i_{Lf} = \frac{\Delta v_{Lf}}{x.L_f} \qquad 3.1$$

ในการประจุแบตเตอรี่นั้น เราไม่จำเป็นต้องออกแบบให้ค่ากระเพื่อมของกระแสด้านออก $\Delta i_{Lf}$ มีค่าต่ำนัก ในที่นี้จะเลือกใช้ 30% ของค่ากระแสพิกัด ซึ่งก็คือ 3 แอมป์ และค่าแรงดัน $\Delta v_{Lf}$ ที่ได้จากการจำลองการทำงานมีค่าเท่ากับ 30 โวลต์

ดังนั้น
$$x_{Lf} = \frac{\Delta v_{Lf}}{\Delta i_{Lf}} = \frac{30}{3} = 10\Omega$$

$$L_f = \frac{x_{L_f}}{2\pi f} = \frac{10}{2*\pi*100} = 15.9.\ \text{mH.}$$

ในที่นี้เลือกใช้ค่า 18 mH. และเป็นตัวเหนี่ยวนำที่ใช้แกนเหล็ก

สวิตช์กำลัง (S1,S2)

ในการเลือกสวิตช์นั้นเราเลือกใช้ IGBT. ( Insulated Gate Bipolar Transistor ) เพราะด้วยเหตุผลที่ว่า สามารถหา IGBT. ที่ทนแรงดันสูงได้ง่ายกว่ามอสเฟต ทำงานได้ที่ความถี่สูงกว่า BJT. (Bipolar Transistor) และยังออกแบบวงจรขับนำง่ายกว่าได้ง่ายกว่า BJT. การเลือกค่าพิกัดทนแรงดันและกระแสนั้น เราจะเลือกค่าจากการจำลองการทำงานของวงจร จากการจำลองการทำงานของวงจรพบว่าแรงดันที่ตกคร่อมสวิตช์จะมีค่าประมาณ 800 โวลต์ และกระแสผ่านสวิตช์ประมาณ 11 แอมแปร์ จึงเลือกใช้สวิตช์ที่ทนแรงดัน 1200 โวลต์ และทนกระแส 25 แอมแปร์

ตัวเก็บประจุวงจรกรองด้านออก (Cf)

การเลือกค่าตัวเก็บประจุวงจรกรองด้านออกนั้นเราจะไม่เลือกค่าใหญ่นัก เนื่องจากในการประจุแบตเตอรี่ไม่มีความจำเป็นที่จะต้องให้แรงดันด้านออกเรียบมาก และเราพิจารณาให้วงจรทำหน้าที่เป็นเหมือนแหล่งกระแส แต่ก็ต้องสามารถกรอง แรงดันกระเพื่อมที่เกิดจากการสวิตช์ได้ ในที่นี้เราเลือกค่าตัวเก็บประจุวงจรกรองด้านออกเท่ากับ 180 μF.

การแก้ไขปัญหาเรื่องหม้อแปลง

จากการวิเคราะห์การทำงานและจำลองการทำงาน พบว่ากระแสในตัวเหนี่ยวนำทำแม่เหล็กของหม้อแปลงจะไม่ลดลงเป็นศูนย์ที่ทุกๆคาบความถี่การสวิตช์ ดังวงจรแปลงผันทั่วๆไป นั่นคือกระแสของตัวเหนี่ยวนำทำแม่เหล็กของหม้อแปลงมีองค์ประกอบความถี่ต่ำอยู่ด้วย ทำให้การพันหม้อแปลงต้องใช้แกนที่มีขนาดใหญ่ จึงได้คิดหาทางแก้ไขปัญหานี้ดังต่อไปนี้

1. ใช้ตัวเหนี่ยวนำที่แยกออกมาต่างหากเป็นตัวเก็บพลังงาน ( Lmlf :L ความถี่ต่ำ)

จากการพิจารณาการทำงานโดยละเอียดจะพบว่าวงจรนี้หลีกเลี่ยงไม่ได้ที่จะให้ไม่ให้มีกระแสองค์ประกอบความถี่ต่ำไหลผ่าน ซึ่งปัญหานี้ทำให้การออกแบบมีความยุ่งยากมากขึ้น เพราะต้องออกแบบให้หม้อแปลงสามารถรับกระแสองค์ประกอบความถี่ต่ำได้ด้วย จากการวิเคราะห์การทำงาน จะพบว่าในหนึ่งคาบสายกำลัง วงจรนี้มีทำงานหลายลักษณะ กล่าวคือในช่วงที่แรงดันด้านเข้ามีค่าเป็นบวก วงจรจะทำงานในลักษณะวงจรไปหน้า ,วงจรทบระดับ และวงจรทอนระดับ ส่วนในช่วงที่แรงดันด้านเข้ามีค่าเป็นลบ วงจรจะทำงานในลักษณะวงจรทอน-ทบระดับ ,วงจรทบระดับ และวงจรไปหน้า ซึ่งจากการพิจารณาเช่นนี้ จะพบว่าเราสามารถใช้ตัวเหนี่ยวนำเพิ่มอีกตัว เพื่อทำหน้าที่เก็บพลังงานโดยเฉพาะได้ เราเรียกว่าตัวเหนี่ยวนำความถี่ต่ำ (Lmlf) โดยที่เราจะออกแบบให้ให้ตัวเหนี่ยวความถี่ต่ำนี้รับกระแสองค์ประกอบความถี่ต่ำไว้เกือบทั้งหมด ซึ่งก็ทำได้โดยออกแบบให้มีค่าความเหนี่ยวนำต่ำมาก เมื่อเทียบกับค่าความเหนี่ยวนำทำแม่เหล็กของหม้อแปลง และต่อขนานกับขดปฐมภูมิของหม้อแปลง

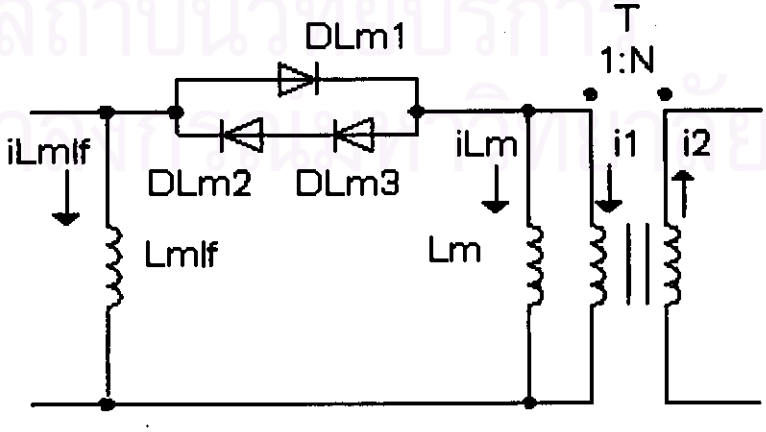
แต่อย่างไรก็ตาม หลังจากที่ได้จำลองการทำงานของวงจรโดยใช้ค่า Lmlf เท่ากับ 5 mH. และค่า Lm เท่ากับ 100 mH. พบว่ากระแสที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำทำแม่เหล็กของหม้อแปลงที่เป็นองค์ประกอบไฟสลับความถี่ต่ำจะน้อยมากเมื่อเทียบกับกระแสองค์ประกอบไฟสลับความถี่ต่ำที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำความถี่ต่ำ Lmlf ซึ่งเป็นไปตามที่คิดไว้ แต่กระแสองค์ประกอบไฟตรงที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำทำแม่เหล็กของหม้อแปลงที่ยังคงสูง จึงได้คิดหาวิธีการแก้ไขปัญหาต่อไปเพื่อที่จะลดกระแสองค์ประกอบไฟตรงนี้

1.1 การใช้วงจรกรองด้านออกเป็นแบบบริดจ์

การใช้ตัวเหนี่ยวนำความถี่ต่ำแยกออกมาต่างหากทำให้กระแสองค์ไฟสลับประกอบความถี่ต่ำที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำทำแม่เหล็กของหม้อแปลงมีค่าลดลง แต่ก็ยังคงมีค่าองค์ประกอบไฟตรงไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำทำแม่เหล็กของหม้อแปลง ดังนั้นจึงได้คิดที่จะเปลี่ยนวงจรกรองด้านออกเป็นลักษณะของวงจรบริดจ์ เพื่อทำให้ตัวเก็บประจุจ่ายพลังงานไปสู่โหลดได้ทั้งตัว การที่จ่ายพลังได้ทั้งสองทิศทาง จะทำให้เกิดความสมดุล ซึ่งจะทำให้ไม่มีกระแสองค์ประกอบไฟตรง

จากการจำลองการทำงานพบว่ากระแสที่ไหลผ่านเหนี่ยวนำทำแม่เหล็กของหม้อแปลงไม่มีกระแสองค์ประกอบไฟตรง แต่ก็พบความจริงที่ว่าการที่ตัวเก็บประจุสามารถจ่ายพลังงานไปสู่โหลดได้ทั้งสองตัว แรงดันกระเพื่อมของตัวเก็บประจุจะมีค่าสูงขึ้น ซึ่งก็มีผลทำให้ในบางช่วงไม่สามารถคุมกระแสด้านเข้าได้ วิธีแก้ไขก็คือการเพิ่มขนาดของตัวเก็บประจุด้านเข้าให้มีขนาดสูงขึ้นจึงจะทำให้สามารถควบคุมกระแสด้านเข้า แต่ก็ต้องเพิ่มค่าของตัวเก็บประจุเป็นหลายๆเท่าของค่าเดิม ( 20 $\mu$F) ผลที่ตามมาก็คือกระแสตัวเหนี่ยวนำแม่เหล็กของหม้อแปลงและกระแสของตัวเหนี่ยวนำองค์ประกอบความถี่ต่ำมีค่าสูงขึ้น ดังนั้นจะพบว่าวิธีการใช้วงจร กรองด้านออกเป็นวงจรบริดจ์เป็นวิธีที่ไม่เหมาะสม

1.2 ใช้ไดโอดต่อที่ต่อแบบ anti -parallel อนุกรมกับขดปฐมภูมิของหม้อแปลง




รูปที่ 3.5 การใช้ไดโอดต่อ anti-parallel กับขดปฐมภูมิของหม้อแปลง

จากการพิจารณาการทำงานของวงจร จะพบว่าเนื่องการที่วงจรจ่ายพลังงานไปยังโหลดแบบวงจรไปหน้า กระแสที่ไหลเข้าขดปฐมภูมิของหม้อแปลง ในช่วงที่สวิตช์ S1 ต่อวงจร S2 ตัดวงจร (กระแสไหลจากซ้ายมือไปขวามือ ในรูปที่ 3.5) จะประกอบด้วยกระแสของตัวเหนี่ยวนำทำแม่เหล็กของหม้อแปลง (iLm) รวมกับกระแสโหลดที่ถ่ายโอนมายังด้านขดปฐมภูมิของหม้อแปลง (i1) และกระแสที่ไหลออกจากขดปฐมภูมิของหม้อแปลง ในช่วงที่ S1 ตัดวงจร S2 ต่อวงจร (กระแสไหลจากขวามือไปซ้ายมือ ในรูปที่ 3.5) จะมีเพียงกระแสของตัวเหนี่ยวนำทำแม่เหล็กของหม้อแปลงเท่านั้น จึงทำให้กระแสของตัวเหนี่ยวนำทำแม่เหล็กของหม้อแปลงมีค่าองค์ไฟตรงทางด้านลบ ดังนั้นจึงเกิดความคิดที่จะสร้าง โวลต์-วินาทีในช่วงที่กระแสไหลกลับให้เพิ่มขึ้น โดยการต่อไดโอดเข้าไปดังรูปที่ 3.5 ในช่วงที่กระแสไหลจากซ้ายมือไปขวามือ กระแสจะไหลผ่านไดโอดเพียงรอยต่อเดียว (DLm1) แต่ในช่วงที่กระแสไหลกลับ กระแสจะไหลผ่านไดโอดถึงสองรอยต่อ (หรือมากกว่า)ทำให้เกิดโวลต์-วินาทีในช่วงลบมากขึ้น และกระแสองค์ประกอบไฟตรงของตัวเหนี่ยวนำทำแม่เหล็กจะลดลง การเพิ่มจำนวนไดโอดมากขึ้น จะทำให้กระแสองค์ประกอบไฟตรงของตัวเหนี่ยวนำทำแม่เหล็กลดลง แต่ทั้งนี้ต้องคำนึงถึงช่วงที่กระแสโหลดมีค่าต่ำๆเพราะกระแสที่ไหลเข้าขดปฐมภูมิของหม้อแปลง กับกระแสที่ไหลออกจากขดปฐมภูมิของหม้อแปลง จะมีค่าใกล้เคียงกันมากขึ้น อาจจะทำให้กระแสองค์ประกอบไฟตรงของตัวเหนี่ยวนำทำแม่เหล็กเพิ่มขึ้นจนมีค่าเป็นบวก

เมื่อทดลองการจำลองการทำงานของวงจรโดยใช้วงจรดังรูปที่ 3.5 และทดลองเปลี่ยนจำนวนไดโอดที่ใช้สร้างโวลต์-วินาทีช่วงลบ พบว่าต้องใช้ไดโอดประมาณ 6 เท่าตัวของ ไดโอด DLm1 จึงจะทำให้การทำงานเหมาะสมทั้งในช่วงกระแสโหลดเต็มที่ และกระแสโหลดต่ำๆ แต่วิธีไม่เหมาะที่จะนำมาใช้งานจริง เพราะต้องใช้ไดโอดที่มากขึ้น

<u>1.3 ใช้ไดโอดต่ออนุกรมกับปฐมภูมิของหม้อแปลง</u>

จากวงจรในรูปที่ 3.5 หากตัดไดโอด DLm2 และ DLm3 ออกไปจะเหลือเพียง DLm1 ทำให้กระแสที่ไหลเข้าขดปฐมภูมิของหม้อแปลงมีได้เพียงค่าบวกเท่านั้น ในช่วงที่แรงดันเข้าเป็นบวกก็จะเหมือนกับการทำงานปกติ แต่ในช่วงที่แรงดันเข้าเป็นลบนั้น ช่วงที่สวิตช์ S1 ต่อวงจร ,สวิตช์ S2 ตัดวงจร ทั้งตัวเก็บประจุ C1 และ ตัวเหนี่ยวนำความถี่ต่ำ Lmlf จะจ่ายพลังงานให้กับโหลด และกระแสตัวเหนี่ยวนำทำแม่เหล็กของหม้อแปลงจะค่อยๆเพิ่มขึ้น เมื่อสวิตช์ S1 ตัดวงจร , สวิตช์ S2 ต่อวงจร ตัวเก็บประจุ C2 จ่ายพลังงานให้กับตัวเหนี่ยวนำความถี่ต่ำ Lmlf และพลังงานในตัวเหนี่ยวนำทำแม่เหล็กของหม้อแปลงจะจ่ายให้กับตัวเก็บประจุ C2 จึงเป็นเหมือนการตั้งต้น (reset) ของกระแสทำแม่เหล็กใหม่ โดยที่กระแสจะลดลงเป็นศูนย์ที่ทุกๆคาบความถี่การสวิตช์

ในวิทยานิพนธ์นี้เลือกที่จะใช้วิธีแก้ปัญหาโดยวิธีนี้ ด้วยเหตุที่ว่าสามารถแก้ปัญหาเรื่องหม้อแปลงเหมาะสมกว่าแบบอื่น และไม่ยากในการประกอบเป็นวงจรจริงๆ

การออกแบบตัวเหนี่ยวนำความถี่ต่ำ (Lmlf)

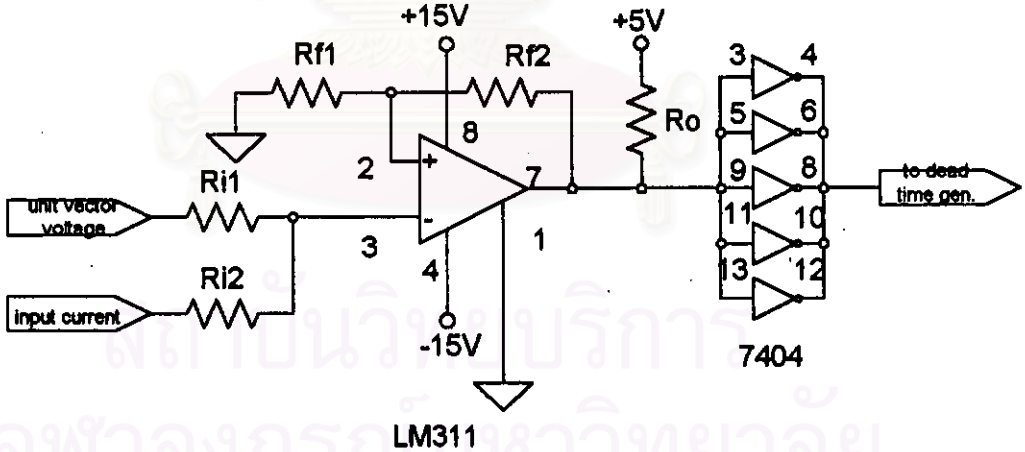
ในการออกแบบตัวเหนี่ยวนำที่ให้รับกระแสองค์ประกอบความถี่ต่ำได้นั้น เราจะออกแบบให้มีขนาดใกล้เคียงกับค่าความเหนี่ยวนำทำแม่เหล็กค่าเดิมที่เคยออกแบบไว้ ก็คือ 5 mH. เพื่อให้การทำงานของวงจรใกล้เคียงกับการทำงานของวงจรเดิม

การออกแบบตัวเหนี่ยวนำด้านเข้าของวงจร (Lm)

ในการออกแบบเลือกค่าความเหนี่ยวนำทำแม่เหล็กของหม้อแปลง (Lm) นั้น เราจะต้องเลือกให้มีค่าความเหนี่ยวนำที่มากกว่าค่าความเหนี่ยวนำความถี่ต่ำ (Lmlf) มากๆ เพราะเราต้องการให้กระแสส่วนใหญ่ไหลผ่าน Lmlf แต่ในทางปฏิบัตินั้นไม่สามารถเลือกให้มากกว่ามากๆได้ ดังนั้นเราจะเลือกให้ค่าความเหนี่ยวนำทำแม่เหล็กของหม้อแปลง(Lm) มีค่ามากกว่าค่าความเหนี่ยวนำความถี่ต่ำ (Lmlf ) 20 เท่า หรือเท่ากับ 100 mH.

3.2 การออกแบบวงจรภาคควบคุม

วงจรควบคุมกระแสแบบฮีสเตอเรซีสที่มีแถบฮีสเตอริซีสคงตัว




รูปที่ 3.6 วงจรควบคุมกระแสแบบฮีสเตอเรซีสที่มีแถบฮีสเตอริซีสคงตัว

วงจรเปรียบเทียบแบบฮีสเตอริซีสที่มีแถบฮีสเตอริซีสคงตัว แสดงดังในรูปที่ 3.6 เป็นวงจรเปรียบเทียบแบบมีฮีสเตอริซีส โดยใช้ไอซีคอมพาราเตอร์เบอร์ LM311 ในการเปรียบเทียบสัญญาณสองค่า คือสัญญาณกระแสด้านเข้า และสัญญาณคำสั่งรูปไซน์ที่มาจากวงจรควบคุม(Unit Vector

Voltage) และทำการสั่งตัดต่อสวิตช์ให้กระแสเพิ่มขึ้นและลดลงอยู่ภายในแถบฮีสเตอริซีส เพื่อให้ได้กระแสเฉลี่ยเป็นรูปไซน์ตามสัญญาณคำสั่ง

เนื่องจากเอาต์พุตของไอซีคอมพาราเตอร์เบอร์ LM311 เป็น Open Collector จึงต่อความต้านทานค่า 2.2 kΩ. ระหว่างเอาต์พุตไว้กับแรงดัน 5 V. แรงดันเอาต์พุตจะเป็นได้สองค่าคือ 0 V. กับ 4 V (จากการทดลอง ) แรงดันที่ขั้วเข้าแบบไม่กลับเฟส จะเป็นได้สองค่าคือ 0 V. กับ $v_0$(Rf1/(Rf1+Rf2)) V. เราเลือกให้แรงดันที่ขั้วเข้าแบบกลับเฟส มีค่าสูงสุดเท่ากับ 1 V. ดังนั้น จะใช้ ค่า Rf1 เท่ากับ 1 kΩ. และ Rf2 เท่ากับ 4 kΩ. ซึ่งจะทำให้วงจรนี้มีค่าแถบฮีสเตอเรซีสเท่ากับ 1 V. โดยมีค่าศูนย์กลางที่ 0.5 V.

เนื่องจากวงจรนี้มีค่าศูนย์กลางของแถบฮีสเตอเรซีสเท่ากับ 0.5 V. ดังนั้นจึงต้องมีการต่อแรงดันออฟเซ็ตไฟตรงเข้าไปที่แรงดันคำสั่ง เพื่อทำให้กระแสด้านเข้าไม่มีค่าออฟเซ็ตไฟตรง

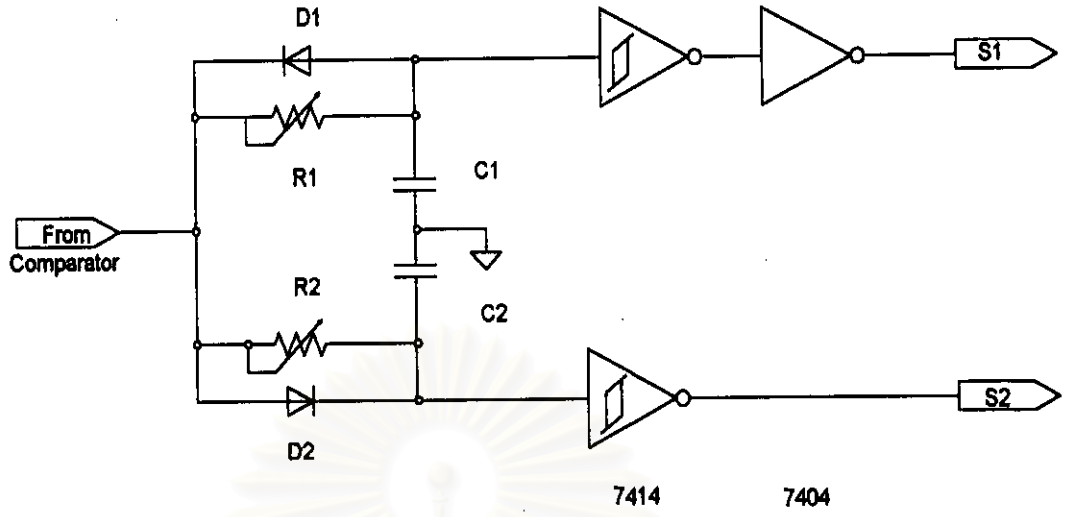
ด้านออกของวงจรเปรียบเทียบแบบฮีสเตอริซีสที่มีแถบฮีสเตอริซีสคงตัว จะต่อกับวงจรกันชน(buffer) ก่อนที่จะนำไปเข้าวงจรกำเนิดค่าเวลาช่วงตาย(Dead Time Generator)

<u>วงจรกำเนิดค่าเวลาช่วงตาย(Dead Time Generator)</u> (Mohan ,Undeland and Robbins,1989)

สัญญาณที่ได้จากวงจรเปรียบเทียบแบบฮีสเตอเรซีสที่มีแถบฮีสเตอเรซีสคงตัว จะต้องนำมาสร้างสัญญาณอีกหนึ่งสัญญาณที่สมมาตรกัน แล้วจึงนำสัญญาณทั้งสองนั้นไปควบคุมสวิตช์ แต่เนื่องจากสวิตช์ที่ใช้นั้นมีความไม่อุดมคติ ในช่วงที่สั่งให้สวิตช์ตัวหนึ่งหยุดนำกระแสและสั่งให้สวิตช์อีกตัวนำกระแส จะเกิดเหตุการณ์สวิตช์ทั้งสองตัวนำกระแสพร้อมกัน ซึ่งเป็นเหตุการณ์ที่ไม่ต้องการให้เกิดขึ้น ดังนั้นจะต้องมีการหน่วงเวลาในการนำกระแสของสวิตช์ กล่าวคือเราจะสั่งให้สวิตช์ตัวหนึ่งหยุดนำกระแสและรอไปชั่วครู่ จนกระทั่งสวิตช์ตัวนั้นหยุดนำกระแสจริงๆ จึงจะสั่งให้สวิตช์อีกตัวเริ่มนำกระแส

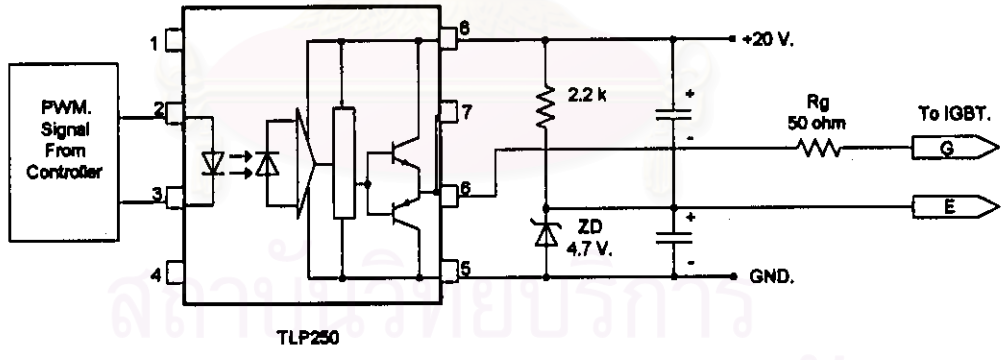
จากรูปที่ 3.7 ในช่วงที่สัญญาณจากวงจรเปรียบเทียบเปลี่ยนสถานะลอจิกจาก "0" เป็น "1" $D_2$ จะถูกไบแอสตรง ทำให้ระดับแรงดันด้านเข้าของ $V_3$ เป็น "1" ทันทีซึ่ง $PWM_2$ จะเปลี่ยนเป็น "0" ทันที ( $S_2$ หยุดนำกระแส ) ส่วน $D_1$ จะไบแอสกลับ ทำให้กระแสต้องไหลผ่าน $R_1$ ดังนั้นแรงดันตกคร่อม $C_1$ จะค่อยเพิ่มขึ้นเป็นฟังก์ชั่นเอ็กโปแนนเชียล จนกระทั่งเพิ่มถึงแรงดัน Threshold ของชมิตทริกเกอร์ จะทำให้ $PWM_1$ เปลี่ยนเป็น "1"

และเมื่อสัญญาณจากวงจรเปรียบเทียบเปลี่ยนเป็น "0" การทำงานจะตรงข้ามกัน ซึ่งจะเห็นได้ว่าจะมีการหน่วงเวลาของสัญญาณในช่วงขึ้น ซึ่งเวลาที่หน่วงออกไปนี้ กำหนดไว้ที่ 2.5μS โดยพิจารณาจากสเปคของ IGBT ที่มี $t_{off}$ = 1.5 μS และ $t_{on}$ = 0.8 μS




รูปที่ 3.7 วงจรกำเนิดค่าเวลาช่วงตาย (Dead Time Generator)

<u>วงจรขับนำสวิตช์</u>




รูปที่ 3.8 วงจรขับนำสวิตช์

วงจรขับนำสวิตช์แสดงดังรูปที่ 3.8 เป็นวงจรขับนำที่ใช้ไอซี เบอร์ TLP250 เป็นไอซีขับนำแบบที่ใช้แสงเชื่อมโยง(opto-coupler) โดยวงจรด้านออกของไอซีจะมีวงจรขยายสัญญาณและทรานซิสเตอร์ สามารถนำไปขับสวิตช์แบบไอจีบีทีได้โดยตรง โดยที่ต้องมีแหล่งจ่ายไฟตรงทั้งบวกและลบจ่ายให้กับไอซี ไฟบวกใช้สำหรับขับนำสวิตช์ให้นำกระแส และไฟลบใช้สำหรับขับนำให้

สวิตช์หยุดนำกระแสได้เร็วขึ้น แต่ในการออกแบบจริงๆนั้น เพื่อความสะดวก เราจะใช้ไฟบวกเพียงแหล่งจ่ายเดียว และมีการต่อวงจรเพิ่มเติมเพื่อสร้างไฟลบเทียมขึ้นมาเพื่อการสั่งให้สวิตช์หยุดนำกระแส โดยอุปกรณ์สร้างไฟลบเทียมขึ้นมานี้คือซีเนอร์ไดโอด ในสภาวะปกติจะมีกระแสไหลผ่านซีเนอร์ไดโอด ทำให้เกิดแรงดันประมาณ 4.7 โวลต์ เมื่อวงจรควบคุมสั่งให้สวิตช์นำกระแส ทรานซิสเตอร์NPN ตัวบน จะนำกระแส ดังนั้นจะทำให้แรงดันที่ตกคร่อมขาเบส-อิมิตเตอร์ของ IGBT มีค่าเท่ากับ Vcc-4.7 V IGBT จะนำกระแส จนกระทั่งเมื่อวงจรควบคุมสั่งให้สวิตช์หยุดนำกระแส ดังนั้นทรานซิสเตอร์ PNP ตัวล่าง จะนำกระแส ซึ่งก็ทำให้แรงดันที่ขาเบส-อิมิตเตอร์ของ IGBT มีค่าเท่ากับค่าลบของแรงดันซีเนอร์ หรือประมาณ -4.7 V ซึ่งก็จะทำให้ IGBT หยุดนำกระแส

ตัวต้านทานที่ขาเกต เราจะเลือกใช้ 50 Ω ซึ่งเป็นค่าที่เหมาะสม ตามคู่มือการใช้งาน IGBT (FUJI ELECTRIC , n.d.)

<u>วงจรตรวจจับกระแสด้านเข้า ,กระแสด้านออก,แรงดันด้านออก และวงจรป้องกันกระแสด้านเข้าเกิน, กระแสด้านออกเกิน,แรงดันด้านออกเกิน</u>

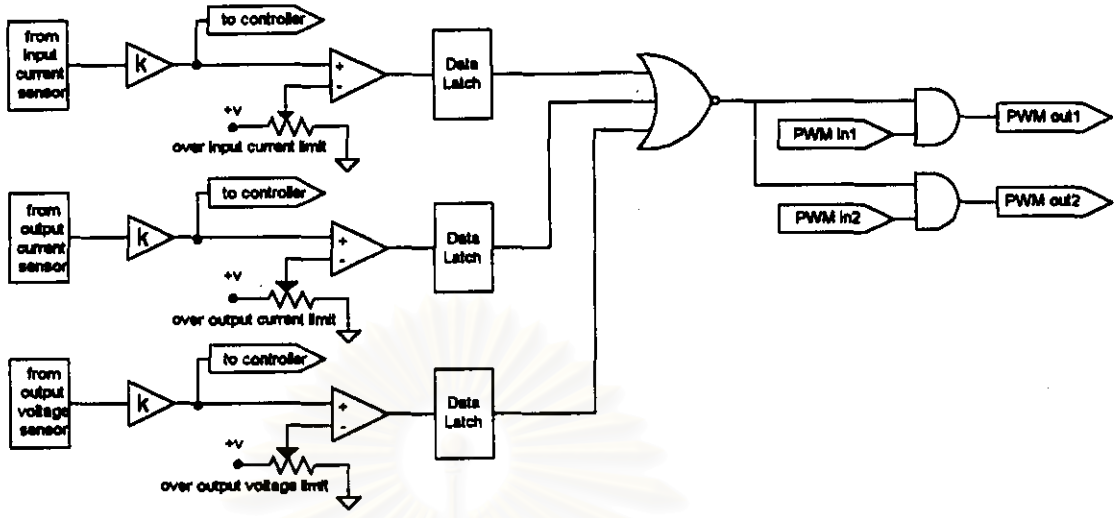
วงจรนี้มีการควบคุมกระแสด้านเข้าให้เป็นรูปไซน์ โดยทำงานในภาคกระแสต่อเนื่อง จึงต้องมีการตรวจจับกระแสด้านเข้า ส่วนด้านขาออกเราควบคุมแรงดันให้คงที่ โดยมีการจำกัดกระแสด้านออก จึงต้องมีการตรวจจับแรงดันด้านออก และกระแสด้านออก เราใช้อุปกรณ์ตรวจจับกระแสแบบที่เรียกว่า Hall Effect ในการตรวจจับกระแสด้านเข้าและด้านออกของวงจร และใช้วงจรแบ่งแรงดันในการตรวจจับแรงดันด้านออก ดังรูปที่ 3.9

แรงดันที่ได้จากการตรวจจับกระแสด้านเข้าจะนำไปเข้าวงจรเปรียบเทียบแบบฮีสเตอเรซีส เพื่อทำการควบคุมกระแสด้านเข้า และยังนำแรงดันนี้ไปเข้าวงจรป้องกันกระแสด้านเข้าเกิน

แรงดันที่ได้จากการตรวจจับกระแสด้านออก จะนำไปเข้าวงจรควบคุม เพื่อทำการควบคุมกระแสด้านออกและยังนำ แรงดันนี้ไปเข้าวงจรป้องกันกระแสด้านออกเกิน

แรงดันที่ได้จากการตรวจจับแรงดันด้านออก จะนำไปเข้าวงจรควบคุมเพื่อทำการควบคุมแรงด้านออกให้คงที่ และยังนำแรงดันนี้ไปเข้าวงจรป้องกันแรงดันด้านออกเกิน

หากเกิดเหตุผิดปกติใดๆ ในสามสาเหตุจะทำให้สัญญาณ PWM ไม่สามารถผ่านเกตแอนได้ เป็นการสั่งให้สวิตช์ทั้งสองหยุดทำงาน




รูปที่ 3.9 วงจรตรวจจับแรงดัน,กระแสและวงจรป้องกันแรงดัน,กระแสเกิน

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย