บทที่ 6

การออกแบบวงจรควบคุมการทำงานของ UPS

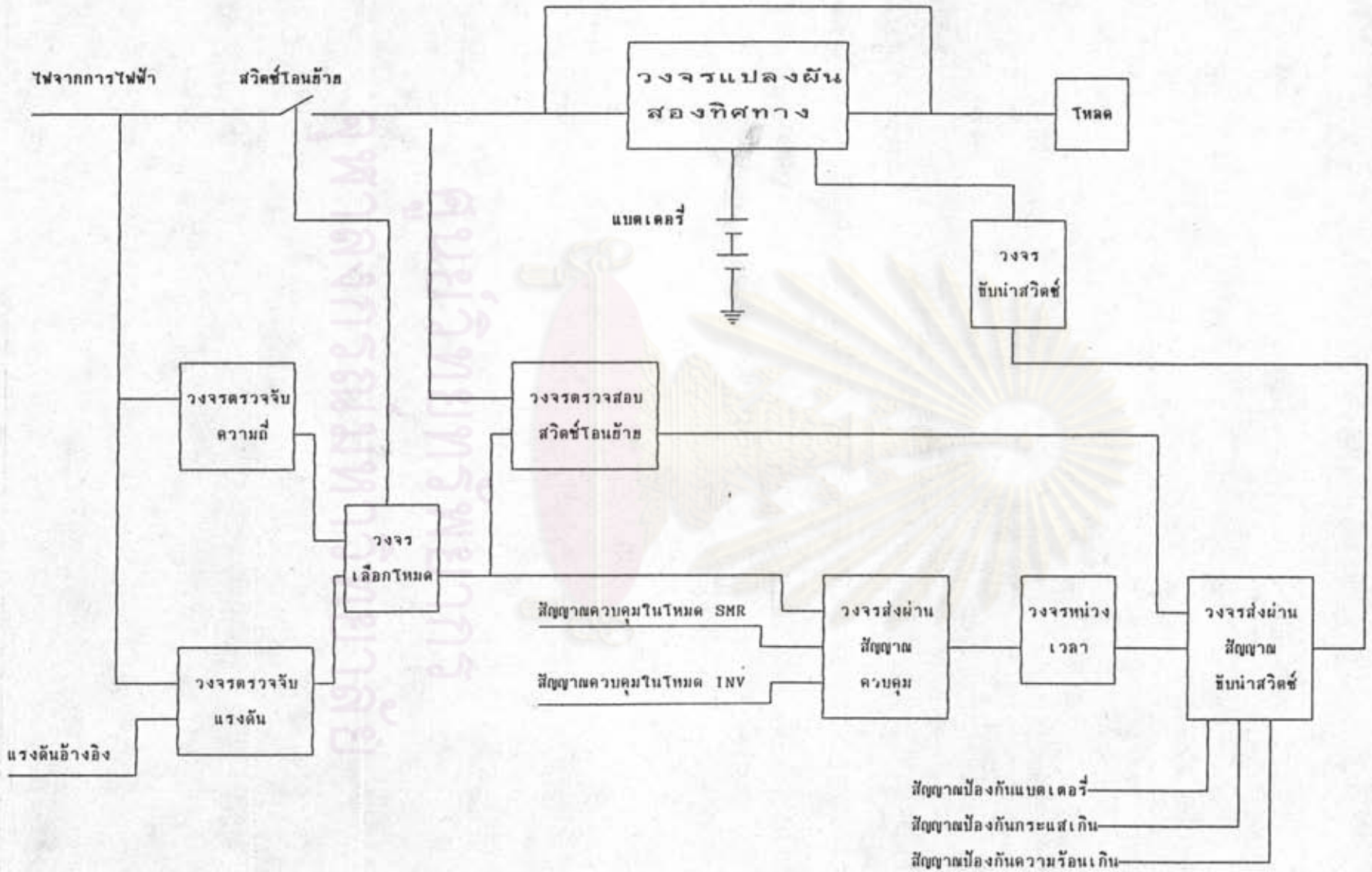
6.1 การควบคุมการทำงานของ UPS

การออกแบบโครงสร้างทางกำลังของวงจรแปลงผันสองทิศทาง ที่เหมาะสมสำหรับการทำงานในโหมดการทำงาน เป็นวงจรอินเวอร์เตอร์ หรือวงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้ากระแสสลับเป็นไฟฟ้ากระแสตรง รวมทั้งได้ออกแบบวงจรควบคุมการทำงานของทั้งสองโหมดการทำงานแล้ว ในบทที่ 3 และบทที่ 5 สำหรับการที่จะนำวงจรแปลงผันสองทิศทางนี้มาประยุกต์ใช้เป็นโครงสร้างทางกำลังของ UPS นั้นจะต้องออกแบบวงจรแปลงผันสองทิศทางให้เหมาะสมกับการทำงานทั้งสองโมด และจะต้องมีวงจรควบคุมที่จะทำการควบคุมให้วงแปลงผันสองทิศทางมีการทำงานในโหมดที่ต้องการ UPS ที่ได้จะมีโครงสร้างการทำงานของวงจรต่างๆดังรูปที่ 6.1

โครงสร้างการทำงานจะเริ่มจาก ทำการตรวจจับแรงดันและความถี่ของสัญญาณไฟจากการไฟฟ้าว่าอยู่ในภาวะที่ปกติหรือผิดปกติ สัญญาณการตรวจจับที่ได้จะถูกส่งมายังวงจรเลือกโหมด

- ถ้าในการตรวจจับ แรงดันหรือความถี่ พบว่าผิดปกติ วงจรตรวจจับจะส่งสัญญาณระดับต่ำ ไปยังวงจรเลือกโหมด วงจรเลือกโหมดก็จะส่งสัญญาณไปทำการตัดสวิตช์โอนย้าย และส่งสัญญาณเลือกโหมดมาควบคุมวงจรส่งผ่านสัญญาณควบคุม ให้ทำการส่งผ่านสัญญาณควบคุมการทำงานในโหมดอินเวอร์เตอร์ (เพื่อที่จะให้วงจรแปลงผันสองทิศทางนี้ ทำหน้าที่เป็นอินเวอร์เตอร์) ไปยังวงจรหน่วงเวลา

- ถ้าในการตรวจจับ แรงดันและความถี่ พบว่าปกติ วงจรตรวจจับจะส่งสัญญาณระดับสูง ไปยังวงจรเลือกโหมด วงจรเลือกโหมดก็จะส่งสัญญาณไปทำการต่อสวิตช์โอนย้าย และส่งสัญญาณเลือกโหมดมาควบคุมวงจรส่งผ่านสัญญาณควบคุม ให้ทำการส่งผ่านสัญญาณควบคุมการทำงานในโหมดแปลงผันกำลังไฟฟ้ากระแสสลับเป็นไฟฟ้ากระแสตรง (เพื่อที่จะให้วงจรแปลงผันสองทิศทางนี้ ทำหน้าที่ประจุแบตเตอรี่และปรับปรุงตัวประกอบกำลังให้แก่โหลด) ไปยังวงจรหน่วงเวลา

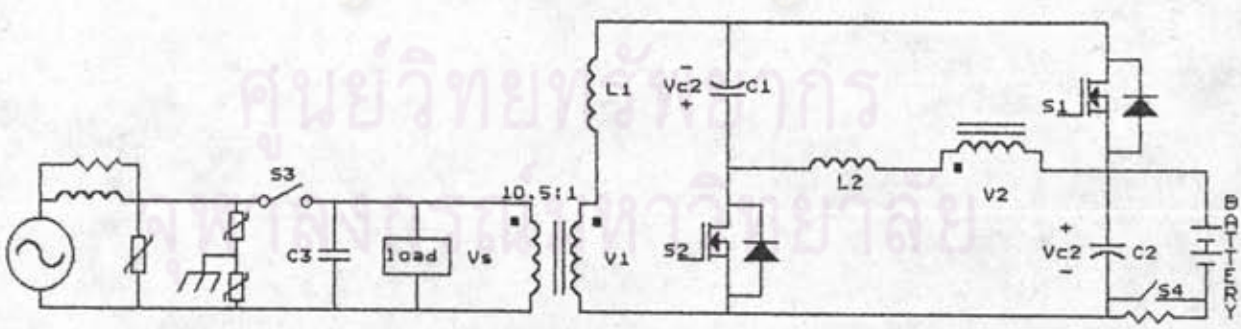


รูปที่ 6.1 แผนภาพบล็อกการทำงานของ UPS

สัญญาณควบคุมที่ได้จะถูกส่งผ่านวงจรหน่วงเวลา เพื่อทำการหน่วงเวลาของสัญญาณที่จะไปควบคุมการทำงานของสวิตช์ สัญญาณที่ถูกหน่วงเวลาแล้วจะถูกส่งผ่านไปยังวงจรส่งผ่านสัญญาณขับนำสวิตช์ โดยมีสัญญาณป้องกันแบตเตอรี่ สัญญาณป้องกันกระแสเกิน สัญญาณป้องกันความร้อนเกินเป็นตัวควบคุม ถ้ามีการตรวจพบว่าผิดปกติ สัญญาณป้องกันเหล่านี้จะทำการปิดเกต ไม่ให้มีการส่งสัญญาณไปขับนำสวิตช์ในวงจรแปลงผันสองทิศทาง แต่จะส่งสัญญาณหยุดการขับนำสวิตช์ไปแทน สำหรับกรณีที่มีการส่งผ่านควบคุมการทำงานในโหมดอินเวอร์เตอร์นั้น วงจรส่งผ่านสัญญาณขับนำสวิตช์ จะส่งผ่านสัญญาณขับนำสวิตช์ก็ต่อเมื่อสวิตช์โอนย้ายถูกตัดออกจากวงจรแล้ว สัญญาณขับนำสวิตช์ที่ถูกส่งผ่านมาจะมายังวงจรขับนำสวิตช์ เพื่อทำการขับนำสวิตช์ในวงจรแปลงผันสองทิศทาง ให้มีการทำงานในตามที่ต้องการ

6.2 การออกแบบวงจรแปลงผันสองทิศทาง

จากการคำนวณหาคุณลักษณะของอุปกรณ์ต่างๆ และการควบคุมการทำงานของวงจรแปลงผันสองทิศทางในแต่ละโหมดการทำงาน แล้วนำมาทำการชีมูเลตเพื่อยืนยัน เราสามารถที่จะออกแบบอุปกรณ์ต่างๆของวงจรแปลงผันสองทิศทาง ที่เหมาะสมในการทำงานของแต่ละโหมดการทำงาน เพื่อนำมาประยุกต์ใช้เป็น UPS โดย UPS นี้จะมีวงจรภาคกำลังดังรูปที่ 6.2



รูปที่ 6.2 วงจรภาคกำลังของ UPS

- วงจรทางด้านเข้าจะประกอบด้วย วงจรกรองกระแสดังที่ได้กล่าวไว้แล้วในบทที่ 5 โดยจะใช้ตัวเก็บประจุร่วมกับวงจรกรองแรงดันของอินเวอร์เตอร์ในบทที่ 3 โดยตัวเก็บประจุ C_3 นี้เป็นชนิด MKP มีค่าความจุ 3 ไมโครฟารัด 250 โวลต์ นอกจากนั้นยังประกอบ

ด้วยวงจรป้องกันแรงดันเกิน อันเนื่องมาจากการผิดปกติของไฟฟ้าจากการไฟฟ้า หรือเกิดจากการตัดต่อสวิตช์โอนย้าย โดยต่อ MOV ร่วมกับซีเนอร์ไดโอด ทำหน้าที่ป้องกันแรงดันเกินทั้งทาง differential โหมด และ common โหมด ไม่ให้เข้าสู่วงจรและโหลด [Keith H.Billings, 1989]

- หม้อแปลง ในการทำงานของโหมดวงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้ากระแสสลับเป็นไฟฟ้ากระแสตรง หม้อแปลงจะทำหน้าที่ ส่งผ่านแรงดันไฟสลับรูปไซน์ 50 เฮิรตซ์ เท่านั้น แต่สำหรับการทำงานในโหมดของอินเวอร์เตอร์ หม้อแปลงจะทำหน้าที่ ส่งผ่านแรงดันไฟสลับรูปสี่เหลี่ยมที่มีขนาดสูงมากเท่ากับแรงดันของแบตเตอรี่ แต่สวิตช์ทำงานที่ความถี่สูงกว่า 50 เฮิรตซ์มาก จนฟลักซ์ที่ปรากฏที่หม้อแปลง มีลักษณะใกล้เคียงแรงดันรูปไซน์ 50 เฮิรตซ์มาก ทำให้เราสามารถออกแบบหม้อแปลง เหมือนกับที่ออกแบบในการใช้งานที่ 50 เฮิรตซ์ [Sm. Sriraghavan and others,1978] หม้อแปลงที่ทำการออกแบบ ขดลวดทางปฐมภูมิจะต้องสามารถทนแรงดันได้ไม่ต่ำกว่า 242 โวลต์(แรงดันสูงสุดของวงจร) มีอัตราส่วนจำนวนรอบปฐมภูมิกับทุติยภูมิเท่ากับ 10.5 และวงจรมีประสิทธิภาพประมาณ 80% ดังนั้นหม้อแปลงที่ใช้มีอัตราส่วน 250:23.8:23.8 625 VA พันบนแกนเหล็กแบบสมมาตร เพื่อให้ขดลวดทุติยภูมิทั้งสอง มีคุณสมบัติที่ใกล้เคียงกัน

- ตัวเก็บประจุใช้ ชนิดอิเล็กโทรไลต์ มีค่าความจุ 30,000 ไมโครฟารัด 63 โวลต์

- ตัวเหนี่ยวนำมีค่า 0.22 มิลลิเฮนรี เป็นแบบแกนอากาศ ทั้งนี้เนื่องจากกระแสผ่านตัวเหนี่ยวนำ จะมีไฟตรงขนาดแปรเปลี่ยนได้เป็นองค์ประกอบ เราจึงไม่สามารถกำหนดกระแสที่ผ่านตัวเหนี่ยวนำสูงสุดได้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในภาวะชั่วครู่ ซึ่งตัวเหนี่ยวนำแกนอากาศนี้จะไม่ทำให้เกิดการอิ่มตัว ไม่ว่าจะมีการทำงานในภาวะใดๆก็ตาม และค่าความเหนี่ยวนำที่ใช้มีค่าไม่สูงนัก ทำให้การออกแบบตัวเหนี่ยวนำ เพื่อให้มีการสูญเสียในขดลวดไม่สูงมากนั้น มีขนาดไม่ใหญ่จนเกินไป แต่ตัวเหนี่ยวนำที่ออกแบบมีข้อเสีย คือ เป็นแหล่งกำเนิดสัญญาณรบกวน เนื่องจากฟลักซ์ที่กำเนิดมาจากตัวเหนี่ยวนำไม่มีทางเดินที่แน่นอน

- สวิตช์ สวิตช์ S_1 และ S_2 จะมีกระแสไหลผ่านสวิตช์ที่มีค่ายอด 47 แอมแปร์ โดยกระแสนี้จะไหลผ่านทั้งสองทิศทาง และต้องทนแรงดันได้ไม่ต่ำกว่า 120 โวลต์ อย่างไรก็ตาม ในการออกแบบเมื่อคำนึงถึงผลของกระแสอิ่มตัวย้อนกลับของไดโอด การเกิด

แรงดันสไปก์ การกระเพื่อมของกระแสและแรงดัน ตลอดจนอุปกรณ์ที่มีจำหน่ายในท้องตลาดจึงเลือกใช้ POWER MOSFET เบอร์ PM 45302F ของฮิตาชิ ที่มีสวิตช์สองตัวอยู่ใน 1 module โดยแต่ละตัวมีพิกัดกระแส 30 แอมแปร์ ซึ่งน้อยกว่ากระแสที่ต้องการ จึงจำเป็นต้องนำมาขนานกันสองตัว การเลือกใช้มอสเฟตเป็นสวิตช์ เนื่องจากเมื่อมีการทำงานที่ความถี่สูง จะมีการสูญเสียที่เกิดจากการสวิตช์ที่ต่ำกว่าทรานซิสเตอร์ แต่มีข้อเสีย คือ มีความต้านทานในขณะที่สวิตช์นำกระแสที่สูงกว่าสวิตช์ชนิดอื่น และความต้านทานนี้จะมีค่าสูงขึ้น เมื่อกระแสไหลผ่านมากขึ้น ซึ่งจะทำให้มีการสูญเสียในขณะที่สวิตช์นำกระแสสูงขึ้น แต่จากข้อเสียนี้จะทำให้การขนานมอสเฟตสามารถกระทำได้ง่ายกว่าการขนานทรานซิสเตอร์ เราสามารถพิจารณาการแบ่งกระแสของมอสเฟตที่ขนานกันตามลักษณะการทำงานได้ 2 ช่วงดังนี้ [Motorola Power MOSFET, 1984]

1. การแบ่งกระแสสถิต (static current sharing) เมื่อมอสเฟตมีการนำกระแสในภาวะสถิตนี้ จะมีค่าความต้านทาน($R_{DS(on)}$) แปรตามอุณหภูมิของรอยต่อ ($R_{DS(on)}$ มีสัมประสิทธิ์ทางอุณหภูมิที่เป็นบวก) ซึ่งเป็นคุณสมบัติที่ดีสำหรับการใช้งานแบบขนาน เพราะเมื่อมอสเฟตตัวใดมีกระแสไหลผ่านสูง จะทำให้รอยต่อมีอุณหภูมิที่สูงขึ้น ทำให้ค่าความต้านทานสูงขึ้น กระแสก็จะแยกไหลไปยังมอสเฟตตัวที่มีความต้านทานต่ำกว่า ดังนั้นกระแสจะมีการแบ่งกันอย่างเหมาะสมตลอดเวลา ทำให้ไม่มีปัญหาของ current crowding และ hotspotting เกิดขึ้น แต่มอสเฟตที่จะทำการขนานกันนั้น จะต้องมีสัมประสิทธิ์ทางอุณหภูมิของความต้านทาน มีความสามารถในการระบายความร้อน และมีค่าความต้านทานที่ใกล้เคียงกันมาก ถ้ามีคุณลักษณะเหล่านี้ที่แตกต่างกันมาก เช่น ในมอสเฟตที่มีกระแสไหลมากกว่านั้น มีอุณหภูมิของรอยต่อที่สูงกว่า แต่ค่าความต้านทานยังมีค่าต่ำกว่ามอสเฟตตัวที่รับกระแสน้อยกว่า กระแสที่ไหลผ่านมอสเฟตก็จะไม่ถูกแบ่งออกไป ทำให้มอสเฟตตัวนั้นมีกระแสไหลมากกว่าอยู่ตลอดเวลา ซึ่งทำให้เกิดอันตรายได้ถ้ากระแสนั้นมีค่าสูงมาก

2. การแบ่งกระแสพลวัต (dynamic current sharing) การทำงานในช่วงพลวัตนี้ไม่ได้หมายถึงเฉพาะตอนที่อยู่ในช่วงของการนำกระแส(turn on) หรือช่วงของการตัดกระแส(turn off) แต่ยังหมายถึงการทำงานของสวิตช์ ในลักษณะที่มีการนำกระแสเป็นช่วงเวลาแคบๆ ซึ่งกระแสที่ไหลผ่านสวิตช์ ยังไม่สามารถทำให้เกิดความร้อนที่แตกต่างกันที่รอยต่อได้ ดังนั้นการทำงานในลักษณะนี้ การแบ่งกระแสของมอสเฟต จะไม่เป็นไปตามที่กล่าวไว้ในข้อที่ 1 การแบ่งกระแสในช่วงนี้จะขึ้นอยู่กับ transconductance , ตัวเก็บประจุของเกต , ค่าความต้านทาน และแรงดันเกตเริ่มเปลี่ยน ($V_{gs\ (threshold)}$) ตัวมอสเฟตที่มีแรงดันเกตเริ่มเปลี่ยนที่ต่ำ จะนำกระแสก่อน ถ้ายังไม่มีตัวใดนำกระแส กระแสทั้งหมดก็จะไหลผ่านมอสเฟตตัว

ที่มีแรงดันเกตเริ่มเปลี่ยนที่ต่ำนี้ ซึ่งจะทำให้เกิดความเสียหายได้ หรือในกรณีที่มอสเฟตมี transconductance ที่ไม่เท่ากัน จะทำให้ที่แรงดันเกตค่าหนึ่ง จะมีการแบ่งกระแสที่ไม่เท่ากัน เพื่อให้มีการแบ่งกระแสตอนผลวัตที่ดีนั้น มอสเฟตสวิตช์ที่นำมาต่อขนานกันนี้ จะต้องมีลักษณะสมบัติที่ใกล้เคียงกันมาก และมีวงจรขับนำที่ทำการขับนำให้ช่วงเวลาที่สวิตช์อยู่ในช่วง turn on และ turn off ที่รวดเร็ว เพื่อลดผลของ transconductance และแรงดันเกตเริ่มเปลี่ยนที่แตกต่างกัน แต่การขับนำสวิตช์ด้วยความเร็วสูงนี้ จะต้องคำนึงถึงผลของตัวเหนี่ยวนำปรสิต และตัวเก็บประจุปรสิต (parasitic inductance และ capacitance) ที่จะทำให้เกิด self-induced oscillation) โดยเฉพาะการต่อขนาน ที่มีการต่อเกตและซอร์สไว้ที่จุดๆเดียวกัน ซึ่งสามารถแก้ไขได้โดยการลดการเชื่อมต่อ(decoupling)ของเกตด้วย องค์ประกอบที่มีการสูญเสียเช่น ferrite beads หรือตัวต้านทานประมาณ 10 -20 โอห์ม

จากลักษณะการทำงานของสวิตช์ จะเห็นได้ว่าการขนานมอสเฟต สามารถกระทำได้ง่าย เนื่องจากมีลักษณะที่เหมาะสมในการแบ่งกระแส และสามารถแก้ไขปัญหาต่างๆที่จะเกิดขึ้นกับการขนานได้ไม่ยากนัก ได้ทำการออกแบบขนานมอสเฟต เพื่อให้มีการแบ่งกระแสอย่างสมดุลทั้งในช่วงการทำงานแบบสถิตและผลวัต ดังนี้

1. เลือกขนานมอสเฟตชนิดเดียวกัน ที่มีคุณลักษณะต่างๆ เช่น ค่าความต้านทาน สัมประสิทธิ์อุณหภูมิของความต้านทาน และแรงดันเกตเริ่มเปลี่ยนที่ใกล้เคียงกันให้มากที่สุด
2. ให้มีการระบายความร้อนที่ดีและเท่าเทียมกันทุกตัว
3. วงจรขับนำจะต้องขับนำให้สวิตช์ใช้เวลาในช่วงไวงานให้น้อยที่สุด
4. การต่อสวิตช์จะต้องมีลักษณะที่สมมาตร
5. เกตมีการลดการเชื่อมต่อ(decoupling)ด้วย ตัวต้านทาน 10 โอห์ม

สวิตช์ที่ใช้ในวงจรเป็นสวิตช์เก่าที่ถูกใช้งานมาแล้ว ย่อมทำให้มีคุณลักษณะที่แตกต่างกันมาก ดังนั้นในการออกแบบจะต้องมีการคำนึงถึงการออกแบบในข้อที่ 2-5 ดังที่กล่าวไว้ในข้างต้นเป็นอย่างมาก

อย่างไรก็ตาม สวิตช์ที่ใช้ในวงจรนี้มีปัญหา คือ กระแสผ่านสวิตช์จะมียอดแหลมขนาดใหญ่ปรากฏอยู่ ทั้งนี้เนื่องจากการทำงานในหนึ่งคาบการทำงาน จะมีกระแสไหลผ่านสวิตช์และไดโอด โดยไดโอดจะหยุดนำกระแสเมื่อมีสวิตช์อีกตัวหนึ่งนำกระแส ในขณะที่ไดโอดจะหยุดนำกระแสนั้น จะยอมให้มีกระแสไหลย้อนกลับผ่านได้ (ทั้งนี้เนื่องจากยังคงมีประจุส่วนเกินสะสมอยู่

ในบริเวณรอยต่อ ประจุส่วนเกินนี้จะหมดไปจากรอยต่อได้ โดยการรวมกันเองของประจุ หรือถูกทำให้ออกจากรอยต่อโดยกระแสไหลย้อนกลับนี้) โดยกระแสที่ไหลย้อนกลับนี้ มาจากการลัดวงจรของแรงดันไฟตรงผ่านสวิตช์และไดโอด โดยมีอิมพีแดนซ์ของสายซึ่งมีค่าน้อยมากเป็นตัวจำกัดกระแส ทำให้มีกระแสพัลส์แคบๆขนาดใหญ่ไหลผ่านสวิตช์และไดโอด จนกระทั่งไดโอดหยุดนำกระแสเรียบร้อยแล้ว กระแสพัลส์นี้ถ้ามีขนาดใหญ่มากก็จะทำให้สวิตช์เสียหายได้

ในการออกแบบเพื่อลดยอดแหลมของกระแสนี้ ได้ทำการออกแบบแก้ไขไว้ 3 วิธี คือ

1. เพิ่มค่าความต้านทานที่ต่ออนุกรมกับเกตของมอสเฟต เพื่อให้แรงดันที่เกตค่อยๆเพิ่มขึ้น เพื่อให้มอสเฟตอยู่ในภาวะไวงาน ซึ่งจะทำให้กระแสที่ไหลผ่านสวิตช์(ที่ถูกควบคุมโดยแรงดันที่เกต) ค่อยๆมีขนาดเพิ่มขึ้น เป็นการกำหนดขนาดกระแสที่จะลัดผ่านไดโอดและสวิตช์จนกระทั่งไดโอดหยุดนำกระแสแล้ว สวิตช์จึงเข้าสู่ภาวะอิ่มตัวนำกระแสได้เต็มที่ การแก้ไขโดยวิธีนี้ทำให้สวิตช์มีการสูญเสียในขณะตัดต่อที่สูงขึ้น และทำให้สวิตช์ใช้เวลาในช่วงไวงานมากขึ้น ซึ่งไม่เหมาะสมสำหรับมอสเฟตที่มีการขนานกัน

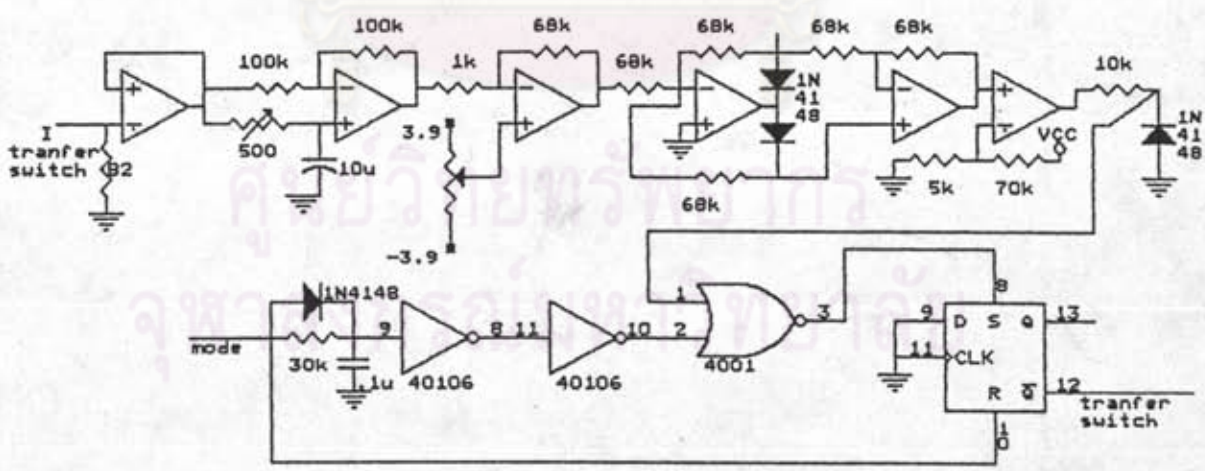
2. การใส่ตัวเหนี่ยวนำที่สวิตช์ เพื่อทำการหน่วงกระแสลัดผ่าน การแก้ไขปัญหาโดยวิธีนี้ได้ผลเป็นอย่างดี แต่ก่อให้เกิดปัญหาที่สำคัญมาก คือ ทำให้เกิดแรงดันสไปก์ขนาดใหญ่มาก เนื่องจากมีการตัดต่อกระแสผ่านตัวเหนี่ยวนำ จะต้องมีวงจรที่ทำการแคลมป์แรงดัน เพื่อป้องกันแรงดันเกิน

3. การเพิ่มขนาดการกระเพื่อมของกระแส เนื่องจากการทำงานของวงจรนี้ กระแสที่ผ่านตัวเหนี่ยวนำ L_1 และ L_2 จะมีขนาดลดลงเมื่อไดโอดนำกระแส การเพิ่มขนาดการกระเพื่อมของกระแส จะทำให้ขนาดกระแสที่ผ่านไดโอดก่อนที่ไดโอดจะหยุดนำมีค่าต่ำลง ทำให้มีประจุส่วนเกินสะสมอยู่ในปริมาณที่น้อยลง ประจุส่วนเกินนี้จะหมดไปจากรอยต่อได้อย่างรวดเร็ว เมื่อมีกระแสย้อนกลับไหลผ่านในปริมาณที่ไม่สูงมาก แต่การแก้ไขโดยวิธีนี้ จะทำให้มีกระแสผ่านสวิตช์ที่สูงขึ้น และความถี่การทำงานของวงจรต่ำลง

การออกแบบในการจำกัดยอดแหลมของกระแสนี้ ได้ทำการออกแบบโดยใช้วิธีทั้ง 3 ร่วมกัน เพื่อลดผลเสียที่จะเกิดขึ้นในการแก้ไขปัญหาเพียงวิธีใดวิธีหนึ่ง และมีวงจรแคลมป์แรงดันต่อขนานสวิตช์อยู่ เพื่อให้แรงดันสไปก์ที่เกิดขึ้น เนื่องจากการตัดต่อกระแสผ่านตัวเหนี่ยวนำถูกแคลมป์ไว้

6.3 สวิตช์โอนย้าย

UPS ที่มีวงจรภาคกำลังเป็นวงจรแปลงผันสองทิศทาง ตามที่ได้ทำการออกแบบนี้ สวิตช์โอนย้ายจะมีการทำงานในระบบโอนย้ายไปข้างหน้า คือ สวิตช์โอนย้ายจะต่ออยู่กับไฟจากการไฟฟ้า เพื่อจ่ายกำลังให้กับโหลด ในขณะที่ไฟจากการไฟฟ้าอยู่ในภาวะปกติ และให้อินเวอร์เตอร์จ่ายกำลังให้กับโหลดแทน เมื่อไฟจากการไฟฟ้าอยู่ในภาวะที่ผิดปกติ สำหรับสวิตช์โอนย้ายที่ใช้ จะเป็นสวิตช์โอนย้ายแบบกลไฟฟ้า เพราะควบคุมง่าย ราคาถูก และไม่มีการสูญเสีย โดยจะทำการตัดสวิตช์โอนย้ายออกทันที เมื่อทำการตรวจสอบพบว่า ความถี่หรือแรงดันไฟฟ้าจากการไฟฟ้าอยู่ในภาวะผิดปกติ และวงจรอินเวอร์เตอร์จะเริ่มทำงาน ภายหลังจากที่สวิตช์โอนย้ายทำการตัดออกแล้ว เนื่องจากถ้าให้อินเวอร์เตอร์ทำงานทันที ก่อนที่สวิตช์โอนย้ายจะตัดออกจากการไฟฟ้า วงจรอินเวอร์เตอร์จะต้องทำหน้าที่จ่ายกำลังให้กับโหลดของการไฟฟ้าอื่นๆ ด้วย ซึ่งจะทำให้วงจรอินเวอร์เตอร์เกิดภาวะกำจัดกระแสหรือหยุดทำงาน เนื่องจากโหลดเกิน ซึ่งจะทำให้เกิดความเสียหายกับโหลดที่ใช้วงจร UPS อยู่ และเนื่องจากการตัดออกของสวิตช์โอนย้ายต้องใช้เวลา ดังนั้นหลังจากที่ทำการตรวจสอบพบว่าความถี่ หรือแรงดันไฟฟ้าจากการไฟฟ้าอยู่ในภาวะผิดปกติ แล้วส่งสัญญาณให้สวิตช์โอนย้ายตัดออกแล้ว วงจรอินเวอร์เตอร์จะยังไม่สามารถทำงานได้จนกว่าจะมีการตรวจสอบพบว่า สวิตช์โอนย้ายตัดออกแล้ว



รูปที่ 6.3 วงจรตรวจสอบสวิตช์โอนย้าย

เพื่อให้การเริ่มทำงานของอินเวอร์เตอร์เป็นไปได้อย่างรวดเร็ว เราจะต้องให้สวิตช์โอนย้ายแบบกลไฟฟ้าที่ใช้มีการทำงานที่รวดเร็ว และต้องมีวงจรตรวจสอบการทำงานของ

สวิตช์โอนย้ายที่รวดเร็วด้วย ซึ่งในการออกแบบเรา จะต้องทราบลักษณะการทำงานของสวิตช์โอนย้าย

การทำงานของสวิตช์โอนย้ายแบบกลไฟฟ้าสามารถแบ่งออกเป็นสองช่วง คือ

1. ช่วงที่สวิตช์โอนย้ายได้รับคำสั่งจนถึงเริ่มทำงาน ในสวิตช์โอนย้ายแบบกลไฟฟ้าจะต้องใช้เวลาในช่วงการทำงานนี้ประมาณ 5 - 20 มิลลิวินาที แต่สามารถทำให้เวลาการทำงานในช่วงนี้ของสวิตช์มีระยะเวลาสั้นลงได้ โดยการใช้ไฟเลี้ยงขดลวดของสวิตช์ที่สูงกว่าพิกัดในการออกแบบใช้ไฟเลี้ยงขดลวดของสวิตช์สูงกว่าพิกัดถึง 150 % ซึ่งทำให้ระยะเวลาการทำงานในช่วงนี้น้อยลงอย่างมาก แต่มีข้อเสีย คือ จะทำให้ขดลวดของสวิตช์มีความร้อนเกิดขึ้น แต่จะไม่ทำให้เกิดความเสียหายต่อสวิตช์ ทั้งนี้เนื่องจากขดลวดจะได้รับไฟที่สูงกว่าพิกัดนี้ เป็นระยะเวลาสั้นๆ คือ ประมาณ 15 นาที (ตามระยะเวลาสูงสุดที่แบตเตอรี่สามารถจ่ายพลังงาน ให้แก่วงจรอินเวอร์เตอร์) และเกิดขึ้นไม่บ่อยนัก

2. ช่วงที่สวิตช์เริ่มทำงานจนถึงมีการตัดออกเรียบร้อยแล้ว ช่วงนี้เป็นช่วงที่สวิตช์โอนย้ายทำการเคลื่อนย้ายหน้าสัมผัส โดยในระหว่างเคลื่อนย้ายนี้ กระแสยังสามารถที่จะไหลข้ามผ่านไปได้(spark) ซึ่งยังไม่เป็นการตัดออกอย่างสมบูรณ์ จนกระทั่งหน้าสัมผัสเคลื่อนย้ายออกอย่างเรียบร้อยแล้ว กระแสจะไม่สามารถไหลผ่านได้

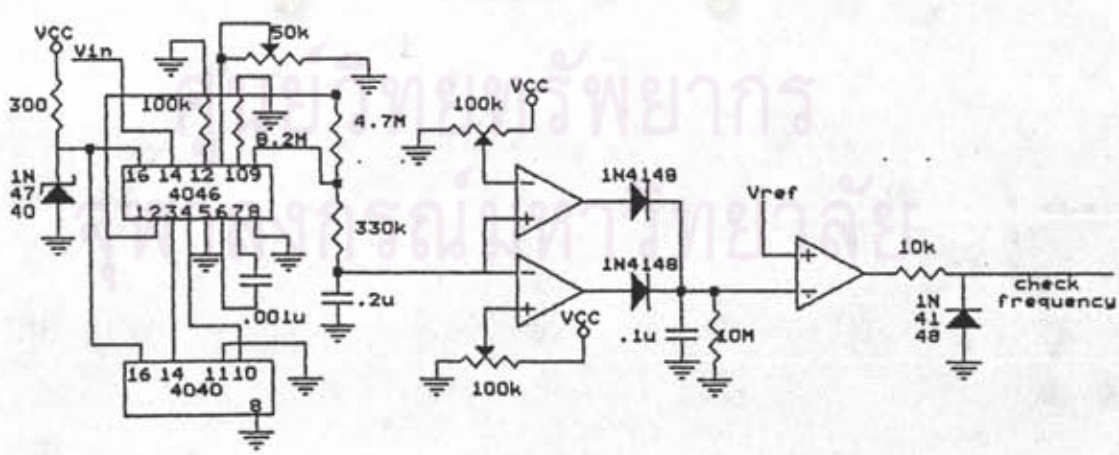
ในการตรวจสอบว่า สวิตช์โอนย้ายตัดออกจากวงจรแล้วหรือไม่นั้น ทำได้โดยตรวจสอบว่า มีกระแสไหลผ่านสวิตช์โอนย้ายหรือไม่ ถ้าไม่มีกระแสผ่านแสดงว่า สวิตช์โอนย้ายได้ตัดออกจากวงจรแล้ว ซึ่งการตรวจสอบ เริ่มจากเมื่อได้รับสัญญาณตัดสวิตช์โอนย้ายแล้ว จะทำการหน่วงเวลาของสัญญาณนี้ เป็นเวลาเท่ากับช่วงเวลาที่สวิตช์เริ่มทำงาน(ช่วงที่1) แล้วจึงส่งสัญญาณผ่านมายังเกตแบบนอร์ เพื่อรอสัญญาณตรวจสอบว่า ไม่มีกระแสไหลผ่านสวิตช์แล้ว (โดยสัญญาณนี้ ทำได้โดยการสุ่มกระแสผ่านสวิตช์โอนย้ายทางหม้อแปลงกระแส ผ่านวงจรให้ค่าสมบูรณ์แล้วนำมาเปรียบเทียบกับสัญญาณอ้างอิง ถ้าค่าสัมบูรณ์ของกระแสผ่านสวิตช์ มีค่าต่ำกว่าสัญญาณอ้างอิงจะส่งสัญญาณระดับต่ำมายังเกตแบบนอร์) โดยหลังจากที่มีการตรวจสอบพบว่า ไฟฟ้าจากการไฟฟ้าอยู่ในภาวะผิดปกติ และไม่มีกระแสผ่านสวิตช์โอนย้ายแล้ว ก็จะส่งสัญญาณไปทำการเซตฟลิบฟลอบ เพื่อส่งสัญญาณให้วงจรควบคุมทำการควบคุม ให้วงจรแปลงผันสองทิศทางทำหน้าที่ในโหมดอินเวอร์เตอร์ และเมื่อมีการตรวจสอบพบว่า ไฟฟ้าจากการไฟฟ้าอยู่ในภาวะปกติแล้ว ก็จะส่งสัญญาณมาทำการรีเซตฟลิบฟลอบ ให้วงจรแปลงผันสองทิศทางหยุดการทำงาน ในโมดอินเวอร์เตอร์ แล้วเริ่มทำงานในโหมด วงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้ากระแสสลับเป็นกำลังไฟฟ้า

กระแสตรงต่อไป

6.4 วงจรตรวจจับความถี่

การตรวจจับความถี่จะใช้การทำงานของ ไอซี เบอร์ 4046 วงจรจะนำสัญญาณสี่เหลี่ยมขาเข้าและสัญญาณสี่เหลี่ยมที่วงจรกำเนิดขึ้นเอง ผ่าน exclusive or ในไอซี เบอร์ 4046 จะได้เป็นสัญญาณสี่เหลี่ยม (ขา2) ที่มีช่วงการ ON-OFF (วัฏจักร) แปรตามเฟสที่สัญญาณเข้า exclusive OR ทั้งสองต่างกัน ถ้าความถี่สัญญาณขาเข้ามีค่าเท่ากับค่า free running จะได้วัฏจักรงานประมาณ 0.5 (สัญญาณทั้งสองมีความต่างเฟส 90 องศา) ถ้าความถี่ของสัญญาณเข้ามากกว่าค่า free running จะได้วัฏจักรงานสูงกว่า 0.5 (สัญญาณทั้งสองมีความต่างเฟสมากกว่า 90 องศา) ถ้าความถี่ของสัญญาณเข้าน้อยกว่าค่า free running จะได้วัฏจักรงานต่ำกว่า 0.5 (สัญญาณทั้งสองมีความต่างเฟสน้อยกว่า 90 องศา)

นำสัญญาณขาที่ 2 มาผ่านวงจรกรองผ่านต่ำ เมื่อกรองเป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงเข้าขา 9 แรงดันที่ได้นี้จะแปรตามวัฏจักรงานของสัญญาณขา 2 นั่นคือแรงดันขา 9 จะแปรตามความถี่ของสัญญาณขาเข้า ดังนั้นเราสามารถตรวจจับความถี่ได้ โดยการตรวจจับที่แรงดันขา 9 นั่นเอง



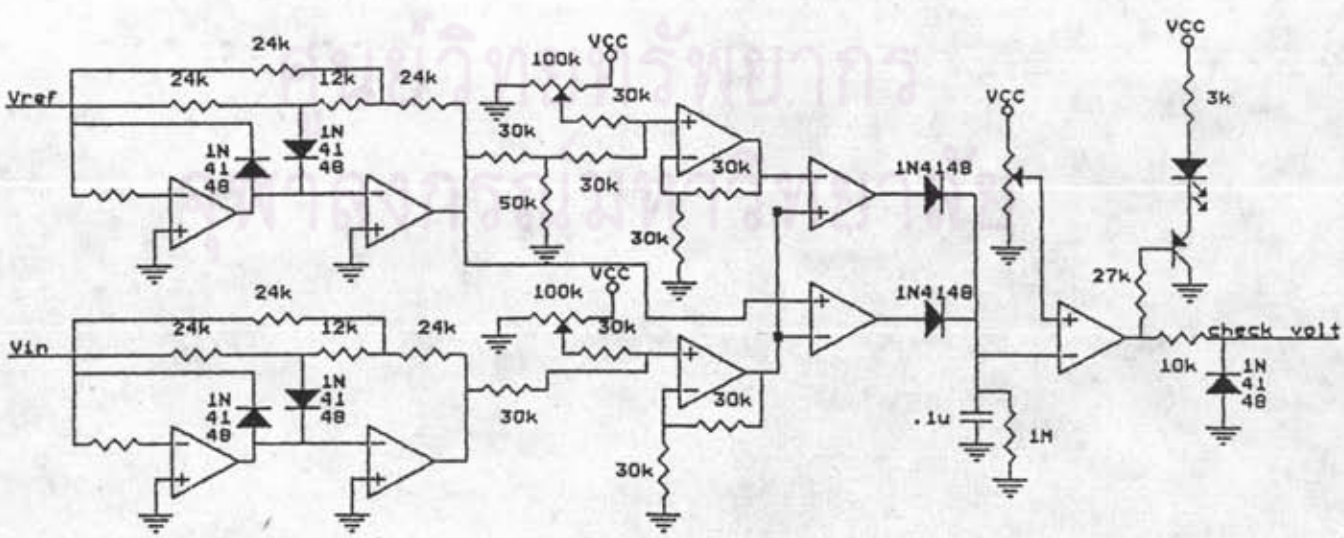
รูปที่ 6.4 วงจรตรวจจับความถี่

การตรวจจับแรงดันขา 9 กระทำได้โดยนำแรงดันที่ขา 9 มาทำการเปรียบเทียบกับแรงดัน V_1 และ V_2 (V_1 คือแรงดันขา 9 เมื่อความถี่ของสัญญาณขาเข้าเท่ากับความถี่สูงสุดที่ต้องการคือ 52 เฮิรตซ์ และ V_2 คือแรงดันขา 9 เมื่อความถี่ของสัญญาณขาเข้าเท่ากับความถี่ต่ำสุดที่ต้องการ 48 เฮิรตซ์) แล้วนำสัญญาณจากการเปรียบเทียบทั้งสอง มาผ่านวงจรเลือกค่าสูง แล้วผ่านวงจรเปรียบเทียบเพื่อหน่วงเวลาอีกครั้งหนึ่ง โดยที่วงจรตรวจจับความถี่นี้จะทำให้สัญญาณระดับสูงถ้าความถี่อยู่ในช่วงที่ต้องการ และให้สัญญาณระดับต่ำ ถ้าความถี่อยู่สูงหรือต่ำกว่าช่วงที่ต้องการ

เนื่องจากระดับแรงดันที่ขา 9 เป็นระดับแรงดันที่ใช้ในการตรวจจับความถี่นั้นขึ้นอยู่กับแรงดันไฟเลี้ยงของเกต exclusive OR ของไอซีเบอร์ 4046 ถ้าหากแรงดันไฟเลี้ยงไม่มีการคงค่าแรงดันที่ดีพอ ก็จะทำให้ระดับแรงดันที่ได้จากขา 9 ผิดพลาด การตรวจจับความถี่ก็จะผิดพลาดด้วย จึงใช้ไดโอดซีเนอร์ 10 โวลต์ทำการคงค่าแรงดันไฟเลี้ยงไว้

6.5 วงจรตรวจจับแรงดัน

หลังจากตรวจสอบพบว่า แรงดันไฟฟ้าจากการไฟฟ้า อยู่ในภาวะที่ผิดปกติแล้ว วงจรแปลงผันสองทิศทาง จะได้รับสัญญาณให้เปลี่ยนโหมดการทำงานเป็นอินเวอร์เตอร์ โดยอินเวอร์เตอร์จะต้องใช้เวลาในการเริ่มทำงาน ถ้าการตรวจสอบภาวะผิดปกติของแรงดันไฟฟ้า



รูปที่ 6.5 วงจรตรวจจับแรงดัน

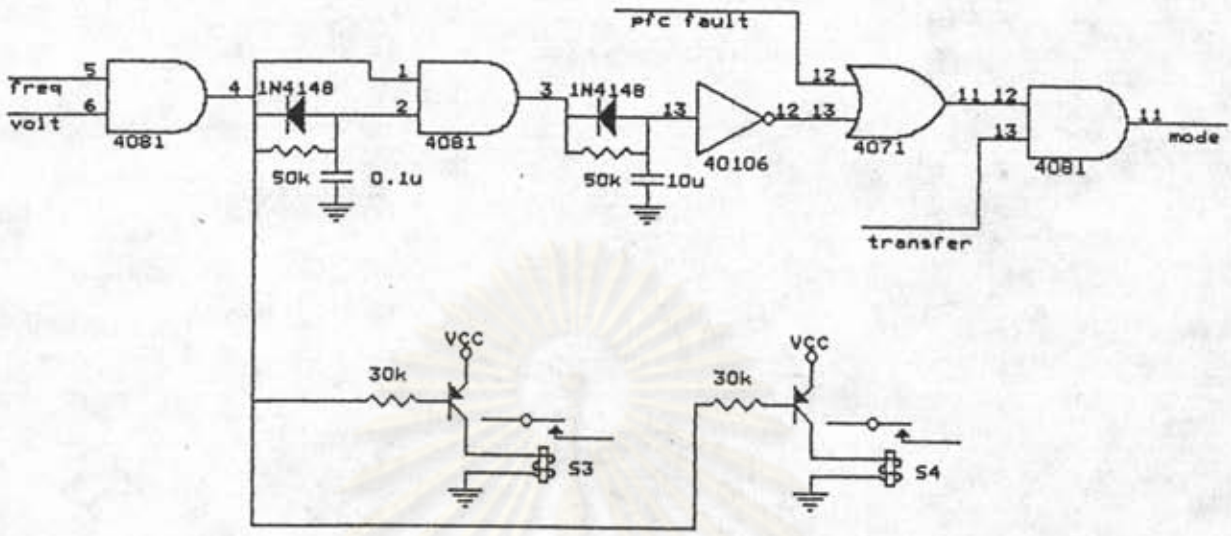
จากการไฟฟ้ามีความช้ามาก อินเวอร์เตอร์จะเริ่มทำงานช้า อาจทำให้แรงดันที่ได้เกิดการขาดหายไป โดยเฉพาะอย่างยิ่งกรณีไฟดับ ดังนั้นเราจำเป็นที่จะต้องมีการตรวจจับแรงดันที่มีความเร็วสูง โดยการนำสัญญาณไซน์ที่ได้ จากวงจรกำเนิดไซน์ มาผ่านวงจรให้ค่าสัมบูรณ์เป็นสัญญาณตรวจจับแรงดันอ้างอิง และนำแรงดันไฟฟ้าจากการไฟฟ้า ผ่านวงจรแยกโดด แล้วผ่านวงจรให้ค่าสัมบูรณ์ แล้วนำมาเปรียบเทียบกันในทุกๆจุดของแรงดัน ทำให้ได้ผลการตรวจจับแรงดันที่รวดเร็ว ถ้าแรงดันอยู่ในระหว่าง 198 - 242 โวลต์ วงจรตรวจจับแรงดันนี้จะให้สัญญาณระดับสูง ถ้าแรงดันอยู่นอกช่องนี้ วงจรตรวจจับแรงดันนี้จะให้สัญญาณระดับต่ำแทน

วงจรที่ออกแบบนี้มีข้อเสีย คือ สัญญาณไซน์อ้างอิงจากวงจรกำเนิดไซน์(กล่าวในบทที่ 3) มีมุมเฟสที่เปลี่ยนไปจากการไฟฟ้า เมื่อการไฟฟ้ามีความถี่ที่เปลี่ยนไป ทำให้การตรวจจับแรงดันที่ความถี่ต่างกัน มีระดับในการตรวจจับที่ไม่เท่ากัน

6.6 <u>วงจรเลือกโมด</u>

วงจรจะมีการเปลี่ยนโมดการทำงานหรือไม่ ขึ้นอยู่กับว่าไฟฟ้าจากการไฟฟ้ามีภาวะที่ผิดปกติหรือไม่ ในภาวะปกติจะต้องมีแรงดันอยู่ระหว่าง 198-242 โวลต์ และความถี่อยู่ระหว่าง 48-52 เฮิรตซ์ ถ้าแรงดันและความถี่อยู่นอกช่วงนี้ก็ถือว่าอยู่ในภาวะผิดปกติ

เมื่อวงจรตรวจจับความถี่หรือแรงดันพบว่าอยู่ในภาวะผิดปกติ จะส่งสัญญาณระดับต่ำมายัง เกตแบบแอนด์ตัวแรก เกตแบบแอนด์นี้ จะให้สัญญาณระดับต่ำไปทำการตัดสวิตช์โอนย้ายออกจากวงจร และต่อสวิตช์ขนานกับตัวต้านทานสุ่มกระแสประจุแบตเตอรี่ สัญญาณในช่วงเปลี่ยนโมดจะให้สัญญาณระดับสูง ไปปิดเกตในการส่งสัญญาณขับสวิตช์ จนมีการตรวจสอบพบว่าสวิตช์โอนย้ายตัดออกจากวงจรเรียบร้อยแล้ว จึงให้สัญญาณเลือกโมดระดับต่ำไปเปิดเกตส่งสัญญาณขับสวิตช์ในโมดของอินเวอร์เตอร์ผ่านไป และเมื่อวงจรตรวจจับความถี่ และแรงดันพบว่าอยู่ในภาวะปกติแล้ว ก็จะส่งสัญญาณทำการต่อสวิตช์โอนย้ายเข้ากับวงจร ในช่วงนี้จะมีไฟฟ้าจากการไฟฟ้าต่ออยู่กับอินเวอร์เตอร์ระยะหนึ่ง แล้วอินเวอร์เตอร์จึงเลิกทำงาน ทำให้แรงดันที่ปรากฏแก่โหลดในช่วงนี้ไม่มีการสูญหาย หลังจากอินเวอร์เตอร์เลิกทำงานแล้วระยะหนึ่ง วงจรแปลงผันสองทิศทางนี้ ก็จะเริ่มทำงานในโมด วงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้ากระแสสลับเป็นกระแสตรง เพื่อทำการประจุแบตเตอรี่ และปรับปรุงตัวประกอบกำลังให้แก่โหลดต่อไป

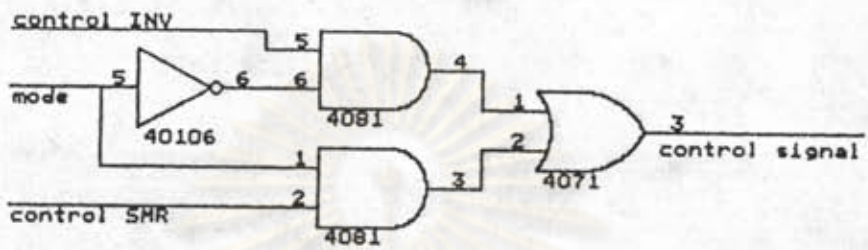


รูปที่ 6.6 วงจรเลือกโมด

6.7 วงจรส่งผ่านสัญญาณควบคุม

ในการควบคุมการทำงานของ วงจรแปลงผันสองทิศทางว่า จะให้มีการขับนำสวิตช์ในโมดอินเวอร์เตอร์ หรือโมดแปลงผันกำลังไฟฟ้ากระแสสลับเป็นไฟฟ้ากระแสตรง นั้นเราจะทำการเลือก โดยใช้สัญญาณการเลือกโมด เป็นตัวเปิดปิดเกต ในการส่งสัญญาณขับนำสวิตช์ ถ้าสัญญาณเลือกโมดเป็นระดับสูง ก็จะเปิดเกตให้ สัญญาณควบคุมการขับนำสวิตช์ ของวงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้ากระแสสลับเป็นไฟฟ้ากระแสตรง ผ่านไปยังวงจรหน่วงเวลา และถ้าสัญญาณเลือกโมดเป็นระดับต่ำ ก็จะเปิดเกตให้สัญญาณควบคุม การขับนำสวิตช์ของวงจรอินเวอร์เตอร์ ผ่านไปยังวงจรหน่วงเวลา

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

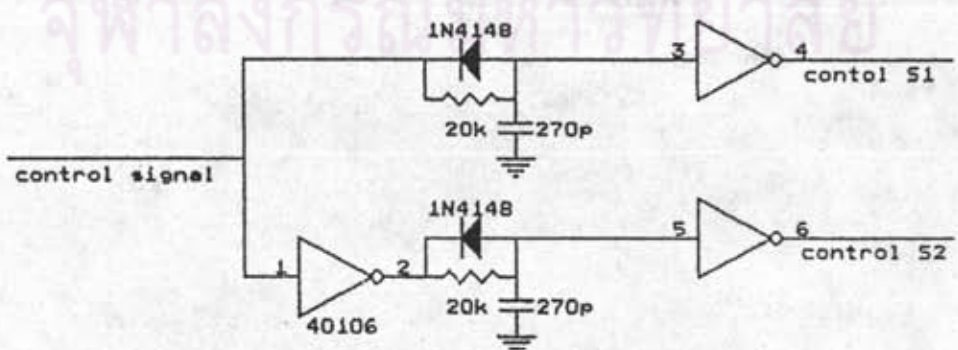


รูปที่ 6.7 วงจรส่งผ่านสัญญาณควบคุม

6.8 วงจรหน่วงเวลา

สัญญาณควบคุมการทำงานที่ถูกส่งผ่านมา จะถูกทำให้เป็นสัญญาณที่จะควบคุมการทำงานของสวิตช์ S_1 และ S_2 โดยผ่านเกตแบบน็อต หลังจากนั้นสัญญาณทั้งสองจะถูกส่งผ่านวงจรหน่วงเวลา ทำหน้าที่หน่วงเวลาในการต่อสวิตช์ (turn on time) ทั้งนี้เนื่องจากสวิตช์จะใช้เวลาในการตัดสวิตช์ (turn off time) มากกว่าเวลาในการต่อสวิตช์ ถ้าไม่มีการหน่วงเวลาในการต่อสวิตช์ จะทำให้มีการต่อสวิตช์ทั้งสองพร้อมกัน ซึ่งจะสร้างความเสียหายให้แก่สวิตช์อันเนื่องมาจากการลัดผ่าน แต่ถ้าเวลาที่ถูกหน่วงมีค่ามาก จะทำให้วงจรมีการ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 6.8 วงจรหน่วงเวลา

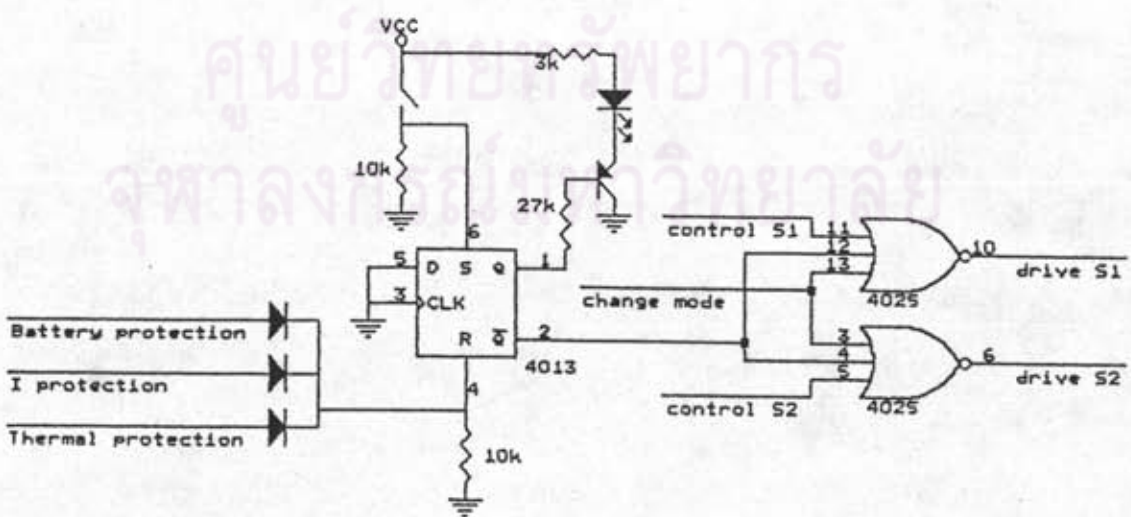
ล่าช้าในการทำงาน ไม่สามารถที่จะทำการสวิตช์ที่ความถี่สูงได้ ทำให้สัญญาณที่ต้องการมีความผิดเพี้ยนสูง

6.9 วงจรป้องกัน

วงจรแปลงผันสองทิศทางนี้ จะต้องมีการป้องกันตนเอง เมื่ออยู่ในภาวะที่ผิดปกติขึ้น โดยจะส่งสัญญาณให้ปิดเกตในการส่งสัญญาณขับนำสวิตช์ แล้วส่งสัญญาณระดับต่ำไปสู่วงจรขับนำสวิตช์ทั้งสองแขน สาเหตุที่จะทำให้วงจรป้องกันทำงานคือ

- เมื่อมีการตรวจจับได้ว่าตัวระบายความร้อนของสวิตช์มีอุณหภูมิสูงขึ้น อันเนื่องมาจากพัดลมไม่ทำงาน หรือสวิตช์ทำงานผิดปกติ
- มีการตรวจจับได้ว่า สวิตช์นำกระแสเกิน
- แรงดันของแบตเตอรี่มีค่าต่ำสุดแล้วในโมดของอินเวอร์เตอร์

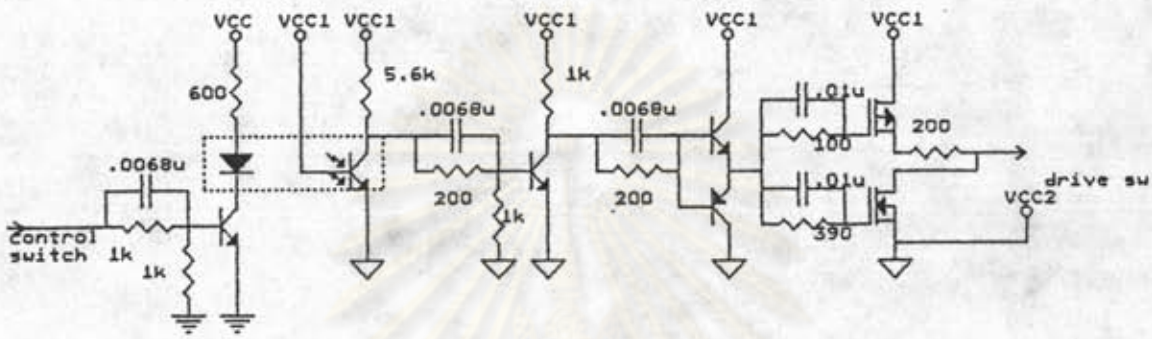
เมื่อตรวจจับพบสัญญาณเหล่านี้ จะไปทำการรีเซต ดีฟลิปฟลอบ ให้ส่งสัญญาณระดับสูงไปยัง เกตแบบนอร์ เพื่อปิดเกตการส่งสัญญาณขับนำสวิตช์ โดย ดีฟลิปฟลอบนี้ จะทำการเซตได้เมื่อไฟฟ้าจากการไฟฟ้าอยู่ในภาวะปกติเท่านั้น นอกจากนั้นยังมีสัญญาณปิดเกตอื่นอีก ได้แก่ สัญญาณในช่วงการเปลี่ยนโหลด สัญญาณนี้จะมาปิดเกตทุกครั้ง ที่จะมีการเปลี่ยนโมดการทำงาน



รูปที่ 6.9 วงจรป้องกัน

6.10 วงจรขับนำสวิตช์

สัญญาณควบคุมการขับนำสวิตช์ จะถูกส่งไปควบคุมการขับนำสวิตช์ โดยผ่านวงจรขับนำสวิตช์ เพื่อทำการแยกโดดสัญญาณควบคุมนี้กับวงจรภาคกำลัง วงจรขับนำที่ใช้จะทำการ



รูปที่ 6.10 วงจรขับนำ

แยกโดดโดยผ่านตัวเชื่อมโยงทางแสงเบอร์ TLP 550 ซึ่งมีความเร็วสูง ทำให้ไม่ต้องทำการแยกโดดโดยใช้หม้อแปลงซึ่งมีราคาแพง และมีการควบคุมที่ยุ่งยากกว่า

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย