หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเบื้องต้น

ในปัจจุบันเครื่องมือ และอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์มักต้องการความกะทัดรัดน้ำหนักเบา ในขณะเดียวกันต้องมีความทนทานและประสิทธิภาพสูง และราคาถูก การพัฒนาเทคโนโลยีของเครื่องมือและอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์เกิดขึ้นอย่างรวดเร็วมาก ส่วนประกอบหนึ่งของเครื่องมือและอุปกรณ์เหล่านี้ คือ แหล่งจ่ายไฟตรงที่มีคุณภาพดี คุณสมบัติที่ดี และความทนทานของอุปกรณ์เหล่านั้นจึงขึ้นกับแหล่งจ่ายไฟตรง แหล่งจ่ายไฟตรงที่มีขนาดกะทัดรัดและน้ำหนักเบามักใช้แหล่งจ่ายไฟตรงแบบสวิตชิง ซึ่งมีข้อดีอื่น ๆ อีกคือประสิทธิภาพสูงและมีช่วงการควบคุมกว้างกว่าแหล่งจ่ายไฟตรงแบบเชิงเส้น ถึงแม้ว่าแหล่งจ่ายแบบเชิงเส้นจะยังเหมาะสมสำหรับแหล่งจ่ายพิกัดกำลังต่ำ [1] แต่ปัจจุบันได้มีการพัฒนาให้แหล่งจ่ายแบบสวิตชิงมีขนาดพิกัดกำลังต่อ ขนาด และน้ำหนักสูงขึ้น และราคาถูกลง โดยใช้เทคนิคการสวิตช์ที่ความถี่สูงมาก(ตั้งแต่ 100 kHz ขึ้นไป) การออกแบบสร้างแหล่งจ่ายไฟตรงนี้ จึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งเพื่อใช้เป็นต้นแบบทางอุตสาหกรรมเพื่อผลิต และจำหน่ายภายในประเทศอันจะเป็นการลดการนำเข้าลง

1.2 แหล่งจ่ายกำลังแบบสวิตชิง

แหล่งจ่ายกำลังแบบสวิตชิงส่วนใหญ่มีแผนภาพบล็อกที่คล้ายคลึงกันดังแสดงในรูปที่ 1.1 โดยมีบล็อกต่าง ๆ ดังนี้

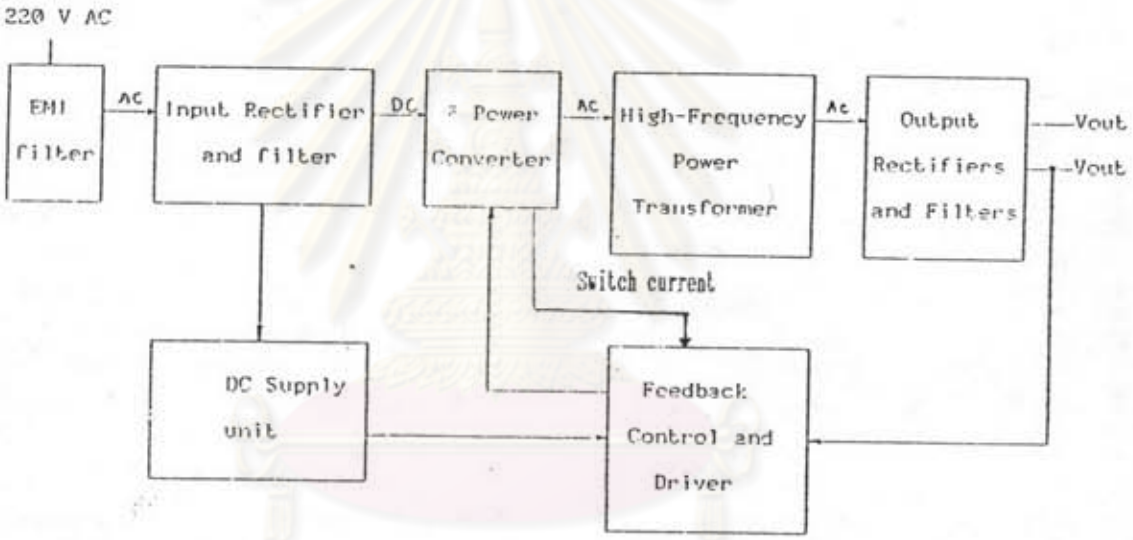
1. วงจรเรียงกระแสทำหน้าที่แปลงผันไฟสลับความถี่ 50-60 Hzเป็นไฟตรงรวมทั้งใช้ตัวเก็บประจุทำหน้าที่กรองแรงดันไฟตรงให้ค่อนข้างเรียบ

2. วงจรแปลงผันกำลังทำหน้าที่แปลงผันไฟตรงเป็นไฟสลับความถี่สูง

3. หม้อแปลงชนิดความถี่สูงเพื่อเพิ่มหรือลดระดับแรงดัน

4. วงจรเรียงกระแสและวงจรกรองทำหน้าที่แปลงผันไฟสลับความถี่สูงเป็นไฟตรง

5. วงจรป้อนกลับทำหน้าที่คุมค่าระดับแรงดันด้านออกโดยควบคุมเวลาการสวิตช์ของวงจรแปลงผันกำลัง นอกจากที่กล่าวข้างต้น ไฟสลับขาเข้าต้องมีวงจรกรองการแทรกแซงทางแม่เหล็กไฟฟ้า (electromagnetic inteference EMI) เพื่อให้ระบบไฟของการไฟฟ้าไม่ถูกรบกวน ขณะเดียวกันก็เป็นการป้องกันการรบกวนจากภายนอกเข้ามา รวมทั้งวงจรป้องกันกระแสเกินและแหล่งจ่ายไฟเลี้ยงภายใน



รูปที่ 1.1 แผนภาพวงจรแหล่งจ่ายไฟตรง

การทำงานของบล็อกต่าง ๆ ที่เป็นส่วนประกอบของแหล่งจ่ายกำลังแบบสวิตชิงสามารถอธิบายได้โดยสังเขปดังนี้

1.3 วงจรกรองสัญญาณรบกวน

วงจรกรองสัญญาณรบกวนประกอบด้วยวงจรกรองแบบคอมมอนโมด (common - mode

noise filter) และวงจรกรองแบบดีฟเฟอเรนเชียลโมด (differential - mode noise filter) ในวงจรส่วนนี้ อาจมีตัวควบคุมแรงดันเกิน (Voltage Suppressor) เพื่อจำกัดแรงดันยอดแหลม (spike) ที่อาจแทรกเข้ามากับแรงดันไฟสลับจากการไฟฟ้า

1.4 วงจรเรียงกระแสและวงจรกรองด้านเข้า

วงจรนี้ทำหน้าที่แปลงผันไฟสลับเป็นไฟตรงด้วยไดโอด (diode) และกรองแรงดันด้วยตัวเก็บประจุ (capacitor)

1.5 วงจรแปลงผันกำลังแบบสวิตชิง

วงจรนี้ทำหน้าที่แปลงผันไฟตรงเป็นไฟสลับ ถ้าต้องการวงจรแปลงผันขนาดเล็กและน้ำหนักเบาจะต้องสวิตช์ชิ่งทำงานที่ความถี่สูง สำหรับสวิตช์สารกึ่งตัวนำ (semiconductor switch) อาจใช้ทรานซิสเตอร์ชนิดไบโพลาร์ (bipolar transistor) หรือ มอสเฟต (MOSFET) แต่เมื่อพิจารณาความเหมาะสมแล้วพบว่า มอสเฟตเหมาะสมกว่าเมื่อทำงานที่ความถี่สูง ($\geq$ 50 kHz) เพราะมีเวลาขึ้นและลง (rise and fall times) อยู่ในช่วง 15 - 45 ns ตามลำดับ เมื่อพิจารณาวงจรแปลงผันกำลัง ที่มีการแยกโดดภาคออก (isolated output) พบว่าวงจรกำลังแต่ละแบบมีคุณสมบัติเปรียบเทียบดังแสดงในตารางที่ 1.1

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ขนาดพิกัดอุปกรณ์ อุปกรณ์ / ชนิดวงจรแปลงผัน	แรงดันของสวิตช์ต่อแรงดันไฟตรง	กำลังด้านออก	ต้องการการแก้ไขให้สมมาตรหรือไม่	การใช้แกนของหม้อแปลงอย่างมีประสิทธิภาพ	กำลังจ่ายออกสูง	โอกาสเกิด SHOOT THROUGH	ระลอกความถี่สูง
กึ่งบริดจ์	1	$\frac{I_c(op)Vin}{3}$	ไม่	มาก	สูง	มี	น้อย
บริดจ์	3	$\frac{I_c(op)Vin}{1.5}$	ไม่	มาก	สูง	มี	น้อย
บริดจ์อสมมาตร	1	$\frac{I_c(op)Vin}{3}$	ไม่	ปานกลาง	ปานกลาง	ไม่มี	ปานกลาง
ไปหน้า	2	$\frac{I_c(op)Vin}{3}$	ต้องการ	ปานกลาง	ปานกลาง	ไม่มี	ปานกลาง
พุช - พูล	2	$\frac{I_c(op)Vin}{1.5}$	ไม่	ปานกลาง	สูง	มี	น้อย
ฟลายแบ็ก	2 หรือมากกว่า	$\frac{I_c(op)Vin}{6}$	ต้องการ	น้อย	ต่ำ	ไม่มี	มาก

ตารางที่ 1.1 เปรียบเทียบคุณสมบัติของวงจรแปลงผันกำลังชนิดต่าง ๆ

จากตารางที่ 1.1 พบว่าการเลือกวงจรแปลงผันกำลังแบบต่างๆ ขึ้นกับ พิกัดกำลัง แรงดัน กระแสที่ใช้ รวมทั้งความถี่ในการสวิตช์ด้วย เป้าหมายในการออกแบบต้องการกำลังด้านออกขนาด 200 W ที่มีขนาดเล็ก วงจรแปลงผันกำลังควรมีคุณสมบัติดังนี้

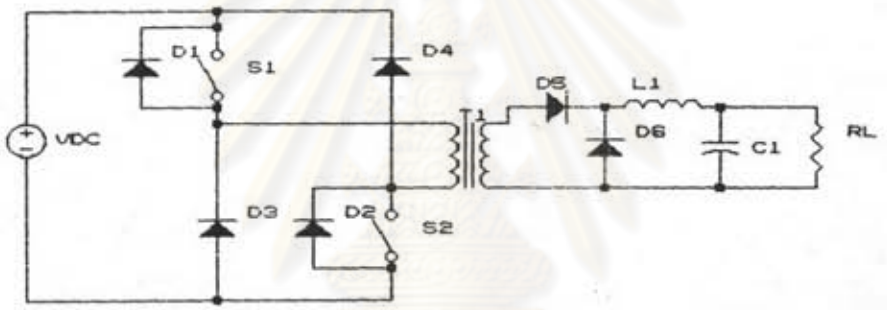
1. แรงดันตกคร่อมสวิตช์ไม่สูงมาก
2. ไม่เกิดการลัดวงจรผ่านสวิตช์ในกึ่งเดียวกัน (shoot through)
3. จำนวนสวิตช์ที่ใช้มีน้อย

4. ใช้หม้อแปลงอย่างมีประสิทธิภาพ

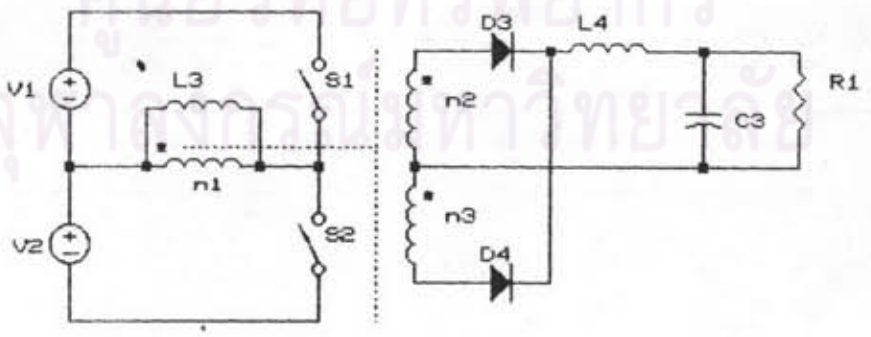
5. ขนาดระลอกแรงดัน (ripple) ความถี่สูงมีน้อย

6. ไม่มีปัญหาที่ต้องแก้ไขด้านความไม่สมมาตร (symmetry correction)

จากคุณสมบัติข้างต้นพบว่าวงจรที่เหมาะสมก็คือ วงจรบริดจ์อสมมาตร (asymmetrical bridge) ซึ่งมีข้อดีใน 2 ข้อแรก และปานกลางใน 4 ข้อหลัง จึงเลือกออกแบบวงจรแปลงผันกำลังเป็นแบบบริดจ์อสมมาตรดังแสดงในรูปที่ 1.2 (ก)



(ก) บริดจ์อสมมาตร



(ข) กึ่งบริดจ์

รูปที่ 1.2 วงจรแปลงผันกำลัง

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

อย่างไรก็ดี วงจรที่น่าสนใจอีกวงจรหนึ่งคือวงจรกึ่งบริดจ์ในรูปที่ 1.2(ข) ซึ่งมีคุณสมบัติดีทุกข้อยกเว้นโอกาสที่จะเกิดการลัดวงจรผ่านสวิตช์ในกึ่งเดียวกัน

1.6 หม้อแปลงความถี่สูง

หม้อแปลงความถี่สูงทำหน้าที่แปลงระดับแรงดันลงมา และแยกโดดด้านออกจากไฟสลับของการไฟฟ้า การออกแบบในส่วนนี้ต้องคำนึงถึงการสูญเสียในแกน และการระบายความร้อน และต้องเลือกความหนาแน่นฟลักซ์ (Flux density) ให้เหมาะสมเพื่อให้ได้หม้อแปลงขนาดเล็กและมีประสิทธิภาพสูง

1.7 วงจรเรียงกระแสและกรองคลื่นด้านออก

วงจรส่วนนี้จะแปลงผันไฟสลับความถี่สูงเป็นไฟตรง (ดูรูปที่ 1.2) ด้วย D_5, D_6 และกรองไฟให้เรียบด้วย L_1, C_1 การออกแบบในส่วนนี้ D_5, D_6 จะใช้ชอตต์กีไดโอด (Schottky diodes) เพื่อลดการสูญเสียในช่วงนำกระแส (conduction losses) และการสูญเสียในช่วงสวิตช์ (switching losses) ลง L_1, C_1 จะออกแบบให้มีระลอกแรงดันด้านออกได้ตามพิกัดที่ต้องการ

1.8 วงจรควบคุม ขับนำและป้องกัน

วงจรในส่วนนี้จะวัดแรงดันขาออกมาเข้าออปโตไอโซเลเตอร์ (opto isolator) เพื่อแยกโดดกับภาคควบคุม ในกรณีที่แหล่งจ่ายไฟเลี้ยงภายใน แยกโดดกับไฟสลับขาเข้าก็ไม่มีความจำเป็นที่จะต้องแยกโดดแรงดันขาออกกับภาคควบคุม การขับนำมอสเฟต จะใช้หม้อแปลงแยกโดดสวิตช์ทั้งสองและวงจรควบคุมออกจากกัน วงจรป้องกันจะสุ่มกระแสสวิตช์มาเปรียบเทียบกับค่าที่ตั้งไว้ เมื่อเกิดกระแสเกิน วงจรป้องกันจะสั่งให้หยุดการสวิตช์

1.9 วงจรแหล่งจ่ายไฟเลี้ยงภายใน

วงจรภาคนี้จะจ่ายแรงดัน 12 V เป็นไฟเลี้ยงวงจรควบคุมขับนำ และป้องกันโดยมีพิกัดกระแสประมาณไม่เกิน 300 mA การออกแบบอาจทำได้ 4 วิธีคือ

1.9.1 ใช้หม้อแปลงความถี่ต่ำลดแรงดันไฟสลับจากการไฟฟ้าลง และใช้วงจรเรียงกระแสและวงจรกรองแรงดัน

1.9.2 ใช้ตัวเก็บประจุแบ่งแรงดันไฟสลับลงโดยไม่มีการแยกโดด วิธีนี้ใช้รีอักแทนซ์ (reactance) ตัวเก็บประจุเพื่อจำกัดกระแสไว้

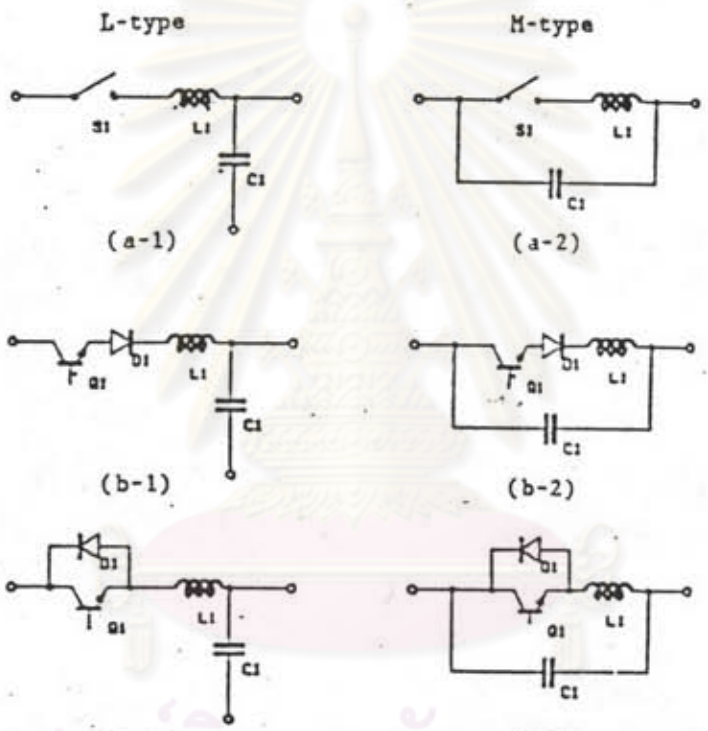
1.9.3 ใช้วิธี self biasing โดยใช้ series pass transistor [2] แบ่งแรงดันลงมาเมื่อแปลงผันกำลังทำงาน จะใช้ขดลวดอีกขดหนึ่งของหม้อแปลงด้านออกย้อนกลับกำลังมาจ่ายให้วงจรไฟเลี้ยงแทน series pass transistor ก็จะหยุดทำงาน

1.9.4 ใช้วิธี self biasing โดยใช้ความต้านทานแบ่งแรงดันลงมาขับนำสวิตช์ให้ทำงานในช่วงสวิตช์ครั้งแรก ๆ

1.10 สวิตช์เรโซแนนซ์ (Resonant switches) [3]

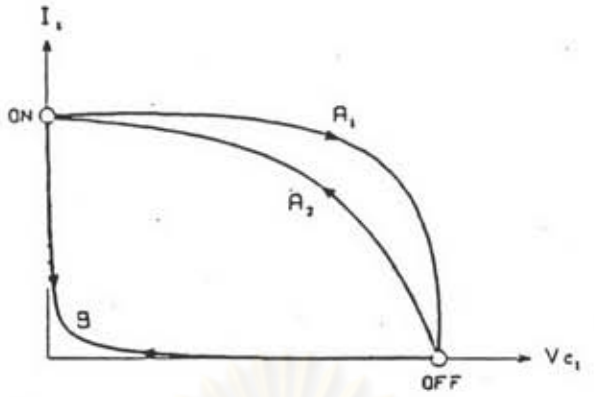
เมื่อสวิตช์ของวงจรแปลงผันไฟตรง -ไฟตรงทำงานที่ความถี่สูงขึ้น สิ่งหนึ่งที่หลีกเลี่ยงไม่ได้ คือ การสูญเสียในช่วงเปลี่ยนสถานะจากนำกระแสมาหยุดนำกระแส และจากสถานะหยุดนำกระแสมาสู่สถานะนำกระแส ปัญหาดังกล่าวสามารถลดทอนลงได้โดยใช้สวิตช์เรโซแนนซ์เข้าแทนสวิตช์ปกติ สวิตช์แบบเรโซแนนซ์นี้มีสองรูปแบบคือ สวิตช์แบบที่ทำให้รูปคลื่นแรงดันตกคร่อมสวิตช์เปลี่ยนแปลงเป็นรูปคลื่นไซน์และเริ่มจากค่าศูนย์ที่เรียกว่า "สวิตช์เรโซแนนซ์แรงดันศูนย์" [4] กับแบบที่ กระแสไหลผ่านสวิตช์เปลี่ยนแปลงเป็นรูปคลื่นไซน์และเริ่มจากค่าศูนย์เรียกว่า "สวิตช์เรโซแนนซ์กระแสศูนย์" ในที่นี้เราจะนำสวิตช์เรโซแนนซ์กระแสศูนย์มาใช้เพราะในกรณีสวิตช์เรโซแนนซ์แรงดันศูนย์ แรงดันจะแกว่งโดยมีค่ายอดสูงกว่าค่าแรงดันไฟตรง 2 - 3 เท่า ทำให้มีข้อจำกัดเรื่องการหาสวิตช์ที่จะทนแรงดันได้สูง แรงดันไฟตรงที่ได้จากการเรียง

กระแสด้านเข้ามีค่าประมาณ 300 V มอสเฟตปัจจุบันทนแรงดันได้สูงสุดไม่เกิน 500 V_{dc} ซึ่งไม่เพียงพอสำหรับจะใช้เป็นสวิตช์เรโซแนนซ์แรงดันศูนย์ สวิตช์เรโซแนนซ์กระแสศูนย์ประกอบด้วยสวิตช์ S_1, ตัวเหนี่ยวนำ L_1 และตัวเก็บประจุ C_1 มีรูปแบบ 2 แบบ คือ ชนิด L-type และ M-type ดังแสดงในรูปที่ 1.3



รูปที่ 1.3 การต่อสวิตช์เรโซแนนซ์กระแสศูนย์

รูป (a-1),(a-2) เป็นรูปแบบโดยทั่วไปส่วนรูป (b-1),(b-2) จะเป็นรูปแบบครึ่งคลื่นคือกระแสผ่านสวิตช์ทางเดียว และในรูป (c-1),(c-2) จะเป็นรูปแบบเต็มคลื่นคือกระแสผ่านสวิตช์สองทาง การเปรียบเทียบความเค้นของสวิตช์ในสภาวะระหว่างช่วงทำงาน และหยุดทำงานสามารถแสดงได้ด้วยรูปที่ 1.4



รูปที่ 1.4 เส้นทางเดินของจุดทำงานในระนาบ V - I ของสวิตช์เมื่อใช้สวิตช์ปกติ (A) และใช้สวิตช์เรโซแนนซ์ (B)

ในรูปที่ 1.4 นี้ เส้น A แสดงเส้นทางเดินของจุดทำงานในระนาบ V - I ของสวิตช์เมื่อสวิตช์ต่อกับโหลดที่เป็นตัวเหนี่ยวนำและเป็นสวิตช์ปกติ สังเกตได้ว่าจะเกิดความเค้นมากที่สวิตช์ในการทำงานเช่นนี้ ขณะที่สับเปลี่ยนสถานะแรงดันและกระแสจะมีค่าสูงทั้งคู่ อย่างไรก็ตาม เส้นทางเดินของจุดทำงานเปลี่ยนเป็นเส้น B โดยที่โหลดเป็นตัวเหนี่ยวนำเช่นเดิมแต่สวิตช์เป็นแบบเรโซแนนซ์ ทางเดินของจุดทำงาน จะเลียบแกนของกระแส และแกนของแรงดัน ซึ่งจะลดทั้งความเค้นที่สวิตช์และลดการสูญเสียในการสวิตช์

รูปแบบสวิตช์ที่ใช้ในการออกแบบจะเป็นแบบ C-2 หรือแบบเต็มคลื่น ซึ่งกระแสในสวิตช์ไหลได้สองทิศทาง อัตราการแปลงแรงดันไฟตรงของวงจรแปลงผันไฟตรงที่ใช้สวิตช์เช่นนี้จะไม่เปลี่ยนแปลงมากนักเมื่อเทียบกับแบบ b - 2 หรือแบบครึ่งคลื่น [3] ประลอบกับสวิตช์ที่เป็นมอสเฟตก็ให้กระแสไหลได้สองทิศทางอยู่แล้ว

1.11 วัตถุประสงค์ของการทำวิจัย

เพื่อคิดค้นสร้างและทดสอบแหล่งจ่ายไฟตรง สำหรับไมโครคอมพิวเตอร์พิกัดกำลัง 200 วัตต์ ที่มีอัตราส่วนกำลังต่อปริมาตรสูง และราคาถูก โดยสวิตช์ที่ความถี่สูง เพื่อใช้เป็นต้นแบบทางอุตสาหกรรม

1.12 ขอบเขตของการวิจัย

1.12.1 สร้างแหล่งจ่ายไฟตรง ที่มีพิกัดกำลัง 200 วัตต์ มีความทนทานและมีวงจรป้องกัน ภาระเกิน (overload) และแรงดันด้านเข้าเกิน (input voltage)

1.12.2 แหล่งจ่ายไฟตรงที่สร้างขึ้นใช้สวิตช์ซึ่งทำงานที่ความถี่สูงเพื่อให้มีความหนาแน่นกำลังสูง

1.12.3 สร้างและทดสอบแหล่งจ่ายไฟตรงที่ใช้สวิตช์ปกติ ทดสอบหาความถี่การสวิตช์สูงสุดที่ยังให้ประสิทธิภาพสูงกว่า 75%

1.12.4 ออกแบบวงจรแปลงผันไฟตรงที่ใช้สวิตช์เรโซแนนซ์และมีการแยกโดด

1.12.5 สร้างและทดสอบแหล่งจ่ายไฟตรงที่ใช้สวิตช์เรโซแนนซ์ ซึ่งสามารถทำงานได้ที่ความถี่สูงขึ้นกว่ากรณีที่ใช้สวิตช์ปกติ แต่ยังมีประสิทธิภาพใกล้เคียงกัน

1.13 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงาน

1.13.1 รวบรวมข้อมูลและศึกษาข้อมูลในการทำวิทยานิพนธ์

1.13.2 ออกแบบวงจรในแต่ละส่วน ทั้งแบบสวิตช์ปกติและแบบสวิตช์เรโซแนนซ์

1.13.3 ปรับปรุงแก้ไขข้อบกพร่องต่าง ๆ

1.13.4 ประกอบอุปกรณ์ในแต่ละส่วนและทดสอบ

1.13.5 ออกแบบและสร้างวงจรต้นแบบที่สามารถนำไปใช้งาน และทดสอบความเชื่อถือได้ของวงจรต้นแบบ

1.13.6 ประเมินผล และสรุปผลรายงานเพื่อเขียนวิทยานิพนธ์

1.14 ประโยชน์ที่จะได้จากการทำวิทยานิพนธ์

1.14.1 นำทฤษฎีแปลงผันกำลังและรูปแบบการสวิตช์ที่ความถี่สูง โดยยังคงมี

ประสิทธิภาพสูงมาใช้ ออกแบบ และทดสอบ

1.14.2 แหล่งจ่ายไฟตรงแบบสวิตชิงขนาด 200 วัตต์ สำหรับไมโครคอมพิวเตอร์

1.14.3 เป็นพื้นฐานในการศึกษาออกแบบแปลงผันที่มีความหนาแน่นกำลังสูงขึ้น และประสิทธิภาพสูงขึ้น

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย