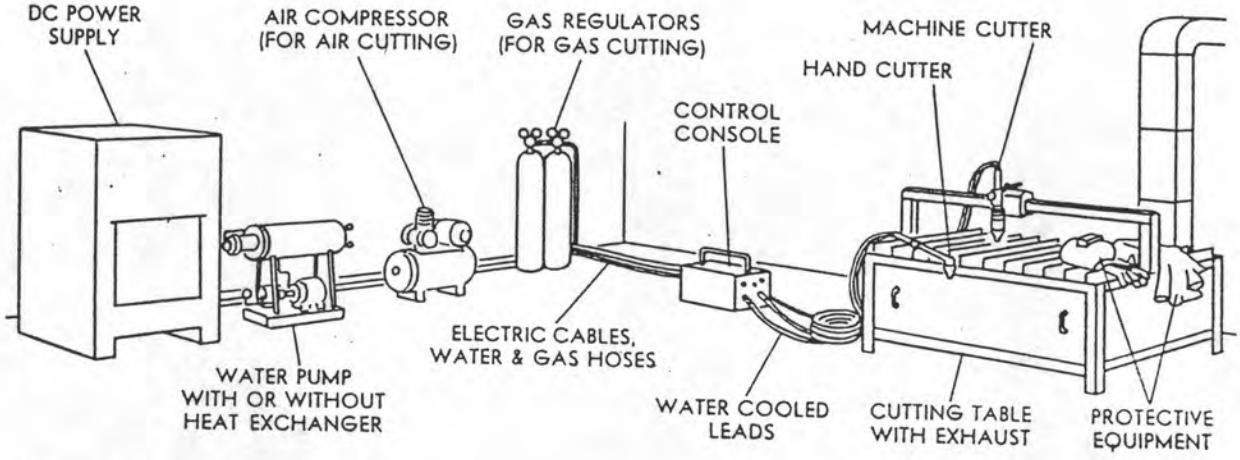
บทที่ 3

โครงสร้างและการออกแบบแหล่งจ่ายกำลังแบบสวิตชิงของเครื่องตัดโลหะแบบพลาสมา

ในการศึกษาข้อมูลขั้นพื้นฐานจากเอกสารต่าง ๆ ที่เป็นประโยชน์ในการพัฒนาการใช้แหล่งกำเนิดความร้อนจากการทำให้ก๊าซเปลี่ยนสถานะเป็นพลาสมา มาใช้ประโยชน์ในการตัดโลหะ จะต้องอาศัยเครื่องมือและอุปกรณ์ต่าง ๆ ดังแสดงในรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 แสดงเครื่องมือและอุปกรณ์ที่จำเป็นต้องใช้ในกรรมวิธีการตัดโลหะ
ด้วยเครื่องตัดโลหะแบบพลาสมา

ในรูปที่ 3.1 แสดงให้เห็นถึงเครื่องมือ และอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องในกรรมวิธีการตัดโลหะโดยการอาศัยการเปลี่ยนสถานะของก๊าซเป็นพลาสมา แล้วนำผลของความร้อนที่เกิดจากการเปลี่ยนสถานะของก๊าซเป็นพลาสมาโดยสมบูรณ์แล้วมาใช้งาน ซึ่งมีส่วนประกอบหลักที่สำคัญดังต่อไปนี้

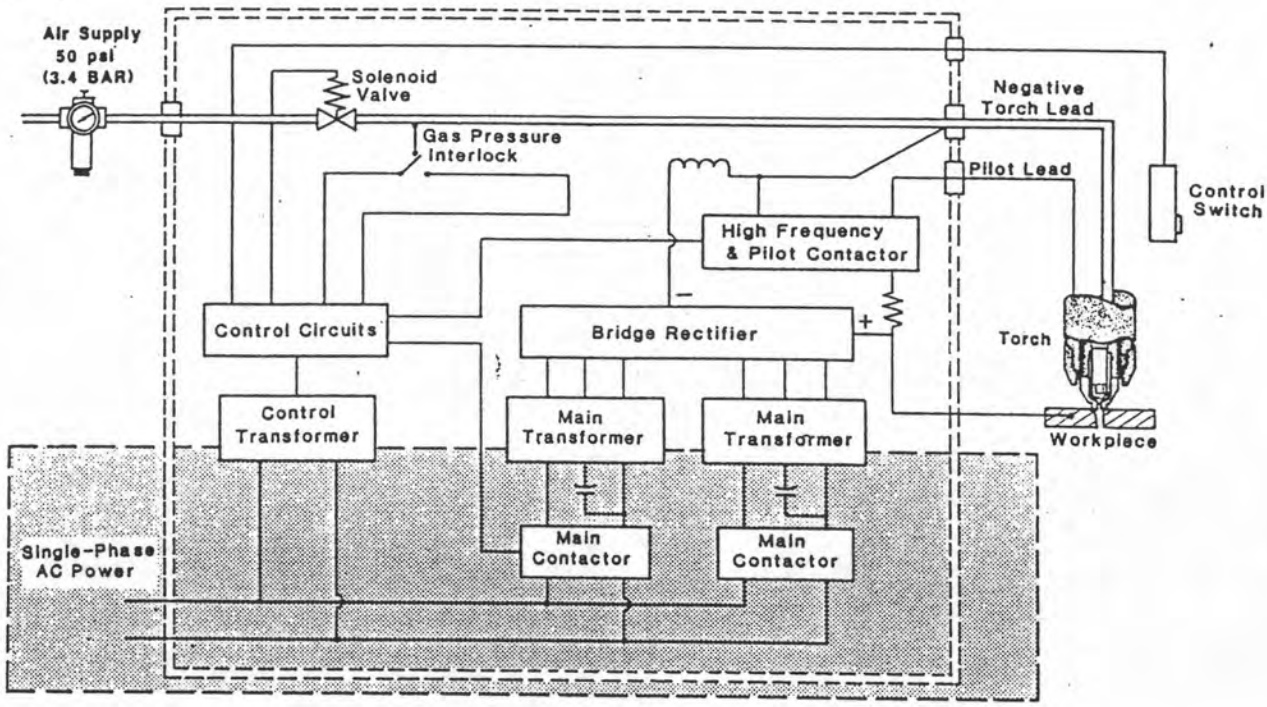
- แหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสตรงและชุดควบคุม
- เครื่องอัดอากาศ (Air Compressor) ในกรณีที่ใช้อากาศเป็นพลาสมาก๊าซ
- ถังและชุดปรับความดันก๊าซ (Gas Regulators) ในกรณีใช้ก๊าซอื่น ๆ นอกเหนือจากอากาศเป็นพลาสมาก๊าซ
- ปั๊มน้ำ (Water Pump) ใช้ในกรณีอาศัยน้ำเป็นตัวกลางในการระบายความร้อนออก

จากหัวคบพลาสมา (Torch)

- หัวคบพลาสมา (Torch)
- อุปกรณ์ป้องกันขณะปฏิบัติงาน (Protective Equipment)

ในรายละเอียดของเครื่องมือ และอุปกรณ์ที่จำเป็นดังกล่าว จะเห็นได้ว่าส่วนประกอบหลักของเครื่องมือ และอุปกรณ์ในการตัดโลหะ ด้วยเครื่องตัดโลหะแบบพลาสมาก็คือ แหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสตรงและชุดควบคุม ซึ่งมีหน้าที่หลักในการทำให้ก๊าซที่ได้จากเครื่องอัดอากาศหรือก๊าซชนิดอื่น เช่น อาร์กอน ที่ถูกอัดเก็บเข้าไว้ในถังที่ค่าความดันประมาณ 3-8 บาร์ เปลี่ยนสถานะเป็นพลาสมาที่บริเวณหัวคบพลาสมา เมื่อก๊าซเปลี่ยนสถานะเป็นพลาสมาโดยสมบูรณ์แล้วจะทำให้ได้พลาสมาที่มีอุณหภูมิที่สูงมาก ความร้อนของก๊าซขณะอยู่ในสถานะพลาสมาจะถูกส่งผ่านไปยังชิ้นงานโดยผ่านออกที่รู (orifice) ของหัวคบพลาสมา ความแรงของพลาสมาที่ผ่านรูของหัวคบพลาสมาจะมากหรือน้อย ขึ้นอยู่กับความดัน (Pressure) ของก๊าซที่ถูกอัดเก็บเข้าไว้ภายในถัง ความร้อนที่หัวคบพลาสมาอันเนื่องมาจากอุณหภูมิของก๊าซขณะที่อยู่ในสถานะของพลาสมาจำเป็นต้องถูกระบายออก ซึ่งโดยปรกติแล้วมักจะใช้ตัวกลางในการระบายความร้อนอยู่ 2 อย่าง คือ น้ำ และพลาสมาก๊าซ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับพิกัดของแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสตรงเป็นเกณฑ์ในการพิจารณาเลือก กล่าวคือ ถ้าพิกัดกำลังไฟฟ้าของแหล่งจ่ายค่อนข้างสูง โดยมากมักจะใช้น้ำเป็นตัวกลางระบายความร้อน แต่ถ้าพิกัดกำลังของแหล่งจ่ายไม่ค่อยสูงมากนัก โดยมากแล้วจะใช้ก๊าซที่เลือกมาเป็นพลาสมาก๊าซเป็นตัวกลางในการระบายความร้อนออกจากหัวคบพลาสมาด้วยเลย ซึ่งสำหรับในการวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยได้เลือกอากาศจากเครื่องอัดอากาศเป็นพลาสมาก๊าซและใช้อากาศเป็นตัวระบายความร้อนออกจากหัวคบพลาสมาด้วย ในขณะทำการส่งผ่านพลาสมาที่เกิดขึ้นไปสู่ชิ้นงาน จะทำให้เกิดประกายไฟค่อนข้างมาก ดังนั้นอุปกรณ์สำหรับการป้องกันอันตรายขณะปฏิบัติงาน สำหรับผู้ปฏิบัติงานเป็นสิ่งจำเป็นอย่างยิ่ง

ในการพัฒนาอาร์คพลาสมาอาจใช้เครื่องจ่ายกำลังไฟฟ้าแบบกระแสสลับหรือกระแสตรงก็ได้ จากการศึกษาเอกสารต่าง ๆ พบว่าเครื่องจ่ายกำลังไฟฟ้าแบบกระแสตรงจะทำให้พลาสมาที่เกิดขึ้นมีเสถียรภาพดีกว่าพลาสมาที่เกิดจากเครื่องจ่ายกำลังแบบกระแสสลับ และสามารถคงอยู่ได้ด้วยตัวเอง โดยไม่ต้องพึ่งการกระตุ้นจากศักดาไฟฟ้าแรงสูงที่ความถี่สูงอยู่ตลอดเวลา (วิรุฬ มังคละวิรัช, 2524) ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้ทำการศึกษา และค้นคว้าการทำให้เกิดอาร์คพลาสมา โดยใช้แหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้าแบบกระแสตรงสำหรับการประยุกต์ในการตัดโลหะ ซึ่งสามารถแสดงให้เห็น Block diagram ของเครื่องตัดโลหะแบบพลาสมา ของผู้ผลิตจากต่างประเทศรายหนึ่งดังแสดงในรูปที่ 3.2



Single-Phase Power Input

รูปที่ 3.2 แสดง Block diagram ของเครื่องตัดโลหะแบบพลาสมาของผู้ผลิตจากต่างประเทศ

ใน Block diagram ของเครื่องตัดโลหะแบบพลาสมา ดังแสดงในรูปที่ 3.2 สามารถที่จะแบ่งส่วนสำคัญ ๆ ออกมาได้ดังนี้

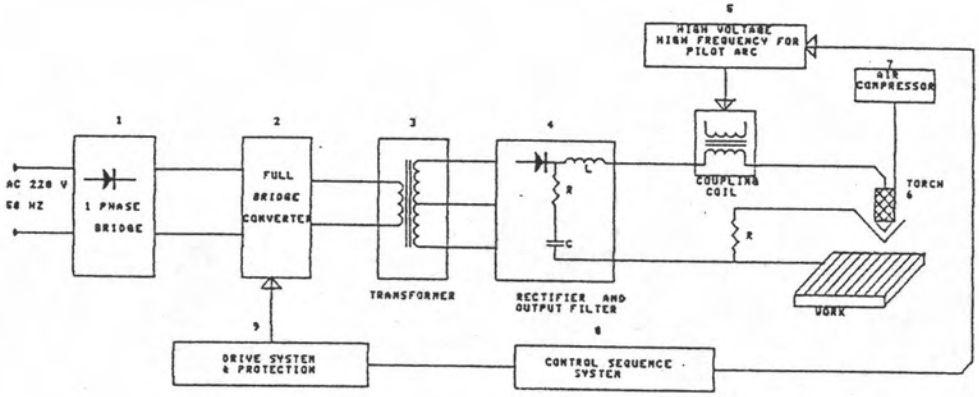
- หม้อแปลงไฟฟ้าหลัก (Main Transformer)
- วงจรเรียงกระแสแบบบริดจ์ (Bridge Rectifier)
- วงจรควบคุม (control circuit)
- วงจรกำเนิดศักดาไฟฟ้าแรงสูง ที่ความถี่สูง
- หัวคบพลาสมา (Torch)

จากส่วนประกอบหลัก ๆ ของ Block diagram ในรูปที่ 3.2 สามารถที่จะอธิบายให้เข้าใจพอสังเขปดังนี้ คือ ไฟฟ้ากระแสสลับ 1 เฟส 220 โวลต์ ความถี่ 50 เฮิรตซ์ จะถูกต่อเข้ากับหม้อ

แปลงไฟฟ้าหลัก (Main transformer) โดยผ่านชุด Main Contactor ทางด้านปฐมภูมิของหม้อแปลง ซึ่งการทำงานของชุด Main Contactor จะถูกควบคุมโดยส่วนของวงจรควบคุม และเพื่อเป็นการเพิ่มพิกัดกำลังของแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงทางด้านขาออกให้สูงขึ้น ผู้ผลิตจึงได้ทำการขนานหม้อแปลงเข้าด้วยกัน 2 ตัว ทางด้านทุติยภูมิของหม้อแปลงทั้ง 2 จะต่อเข้ากับวงจรเรียงกระแสแบบบริดจ์ (Bridge Rectifier) โดยมีตัวเหนี่ยวนำเป็นวงจรกรองทางด้านขาออก เพื่อทำให้แรงดันไฟตรงทางด้านขาออกมีการกระเพื่อมน้อยลง ที่ขั้วลบของวงจรทางด้านขาออก จะต่อเข้ากับชุดกำเนิดศักดาไฟฟ้าแรงสูง ที่ความถี่สูงและหัวคบพลาสมาตามลำดับ โดยที่ชุดกำเนิดศักดาไฟฟ้าแรงสูง ที่ความถี่สูงจะเป็นส่วนที่จะทำให้เกิดการอาร์คในช่วงแรก (Pilot Arc) ที่บริเวณตอนปลายของหัวคบพลาสมา ที่ขั้วบวกของวงจรจะต่อเข้ากับชิ้นงาน ที่หัวคบพลาสมาจะมีท่อลมต่ออยู่ การควบคุมความดันของลม และการปิด - เปิดลมผ่านหัวคบพลาสมาจะอาศัยชุดปรับระดับความดัน และ Solinoid value ซึ่งจะถูกควบคุมโดยส่วนของวงจรควบคุม (control circuits) การทำงานขณะทำการตัดโลหะ เริ่มจากการกดสวิตช์ ซึ่งโดยปรกติจะอยู่ที่ด้ามจับของหัวคบพลาสมา ทันทีที่กดสวิตช์เพื่อที่จะทำการตัดโลหะ ชุดของวงจรควบคุมจะทำการส่งสัญญาณบังคับให้ Solinoid Value ทำงาน โดยทำการปล่อยลม หรือ พลาสมาก๊าซเข้าสู่หัวคบพลาสมา ลมจะผ่านหัวคบพลาสมาประมาณ 3 วินาที เพื่อเป็นการขับไล่ความชื้นออกจากหัวคบพลาสมาเสียก่อน หลังจากนั้นชุดกำเนิดศักดาไฟฟ้าแรงสูงที่ความถี่สูงจะทำงานเพื่อทำการกระตุ้นให้เกิดอาร์คในช่วงแรก (Pilot Arc) เมื่ออาร์คหลักเกิดแล้วความร้อนจะถูกส่งผ่านไปยังชิ้นงานตามการควบคุมของผู้ปฏิบัติงานตามตำแหน่งที่ต้องการ

ข้อดีของวงจรดังได้กล่าวมาแล้วตามรูปที่ 3.2 นี้ ก็คือลักษณะโครงสร้างของวงจรไม่ยุ่งยากซับซ้อน มีส่วนประกอบของวงจรน้อย ง่ายต่อการตรวจสอบเพื่อทำการซ่อมบำรุงรักษา แต่อย่างไรก็ดีความไม่เหมาะสมบางประการคือ ขนาดของตัวเครื่องใหญ่ และมีน้ำหนักค่อนข้างมาก ยากในการเคลื่อนย้ายขณะปฏิบัติงานซึ่งเป็นความไม่สะดวกต่อผู้ปฏิบัติงาน ดังนั้นผู้วิจัย จึงได้นำเอาปัญหาของน้ำหนัก และขนาดของตัวเครื่องมาเป็นข้อพิจารณาเพื่อทำการออกแบบแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้าแบบกระแสตรงสำหรับเครื่องตัดโลหะแบบพลาสมา ให้เป็นลักษณะของแหล่งจ่ายกำลังแบบสวิตชิง (Switching Power Supply) ทั้งนี้เพื่อให้ขนาดและน้ำหนักโดยรวมของตัวเครื่องลดลง และยังได้เสริมส่วนควบคุม และแสดงสถานะการทำงานของเครื่องให้ผู้ปฏิบัติงานทำงานในลักษณะกึ่งอัตโนมัติ เพื่อให้ผู้ปฏิบัติงานทำงานได้สะดวก ถึงแม้ว่าผู้ปฏิบัติงานจะไม่เคยมีความรู้หรือไม่เคยใช้เครื่องตัดโลหะแบบพลาสมา มาก่อน

โครงสร้างทางไฟฟ้าของแหล่งจ่ายกำลังแบบสวิตชิง สำหรับเครื่องตัดโลหะแบบพลาสมาสามารถเขียนเป็น Block diagram ได้ดังรูปที่ 3.3



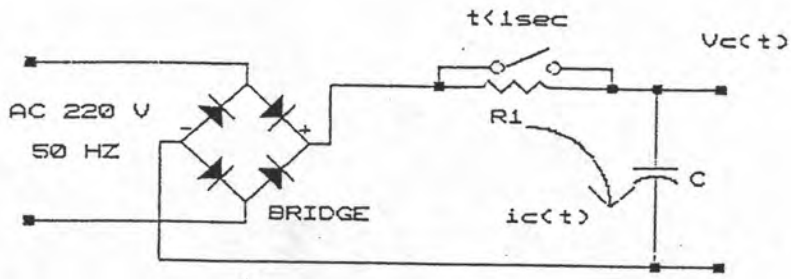
รูปที่ 3.3 แสดงโครงสร้างทางไฟฟ้าของแหล่งจ่ายกำลังแบบสวิตชิง
ของเครื่องตัดโลหะแบบพลาสมา

จาก Block diagram ในรูปที่ 3.3 สามารถแยกวงจรออกเป็นส่วน ๆ ดังนี้ คือ

1. ภาควงจรเรียงกระแสจากสายกำลัง
2. วงจรแปลงผันไฟตรง-ไฟตรง
3. หม้อแปลงแยกโดดและส่งผ่านกำลังความถี่สูง
4. วงจรเรียงกระแสและวงจรกรองทางด้านออก
5. ต้นกำเนิดศักดาไฟฟ้าแรงสูง ความถี่สูง และหม้อแปลงเชื่อมโยง
6. หัวคบพลาสมา
7. เครื่องอัดอากาศ
8. วงจรควบคุมลำดับการทำงานของระบบ
9. วงจรขับนำมอสเฟตกำลัง และวงจรป้องกันกระแสและแรงดันเกินพิกัด

3.1 <u>ภาควงจรเรียงกระแสจากสายกำลัง</u>

ในส่วนที่ 1 ของวงจรจะทำหน้าที่เป็นแหล่งจ่ายกำลังให้แก่เครื่องตัดโลหะแบบพลาสมา โดยจะได้รับแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ 1 เฟส ขนาด 220 โวลต์ ±10 % ความถี่ 50 เฮิรตซ์ จากแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสสลับมาเปลี่ยนให้เป็นแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง โดยใช้วงจรเรียงกระแสที่ใช้ไดโอดต่อแบบบริดจ์ (ดูบล็อกที่ 1 ในรูปที่ 3.3) แรงดันไฟฟ้าด้านขาออกของวงจรเรียงกระแสนี้จะถูกกรองให้เป็นไฟฟ้ากระแสตรงที่มีการกระเพื่อมน้อยลง และมีขนาดประมาณ 300 โวลต์ โดยมีตัวเก็บประจุเป็นวงจรกรอง ดังรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.4 แสดงวงจรของแหล่งจ่ายไฟตรงภาคกำลัง ในตอนเริ่มเปิดเครื่อง

การต่อวงจรเรียงกระแสโดยตรงเข้ากับสายกำลังเช่นนี้ เป็นการเลี่ยงการใช้หม้อแปลงแรงดันความถี่ต่ำ ทำให้สามารถลดน้ำหนักลงได้ ในกรณีวงจรกรอง 50 เฮิรตซ์ก็เช่นกัน การไม่ใช้ตัวเหนี่ยวนำ จะลดปัญหาเนื่องจากน้ำหนัก แต่มีข้อเสียคือ ตัวเก็บประจุของวงจรจะมีขนาดใหญ่กว่าวงจรกรองที่มีตัวเหนี่ยวนำ ในขณะที่การกระเพื่อมมีขนาดเท่ากันและกระแสที่ไหลในตัวไดโอดมีค่ายอดสูง แต่ก็มีข้อดี คือแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงมีขนาดเกือบเท่ากับค่ายอดของแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับของระบบจ่ายกระแส

ในการออกแบบค่าอุปกรณ์ต่าง ๆ ของวงจรจ่ายไฟตรงภาคกำลัง กำหนดให้ ค่ายอดของแรงดันกระเพื่อมเท่ากับ 10%

3.1.1 ตัวเก็บประจุของวงจรกรอง ค่าความจุไฟฟ้า C คำนวณได้ดังนี้

แรงดันไฟฟ้ากระแสสลับด้านเข้า	=	220	โวลต์
ค่ายอดของแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ (V_m)	=	220*1.414	โวลต์
	=	310	โวลต์
แรงดันกระเพื่อม (Vr)	=	0.10*310	โวลต์
	=	31	โวลต์

แรงดันไฟฟ้ากระแสตรงเฉลี่ย = แรงดันไฟฟ้ากระแสตรงสูงสุด-(Vr/2) โวลต์

= 310-(31/2)

= 294.5 โวลต์

สำหรับข้อกำหนดของแหล่งจ่ายกำลังแบบสวิตชิง สำหรับเครื่องตัดโลหะแบบพลาสมามีกำลังไฟฟ้าด้านเข้าประมาณ 5,000 วัตต์ ดังนั้น ค่าตัวเก็บประจุ C หาได้จากสมการ

$$C = (I*t)/Vr \qquad (3.1)$$

โดยที่

I = กำลังไฟฟ้าด้านเข้าสูงสุด/แรงดันไฟฟ้ากระแสตรงเฉลี่ย

= 5000/294.5

= 17 แอมป์

เวลา t ≈ 1/2 ของคาบเวลาไฟฟ้ากระแสสลับด้านเข้า

≈ 10 มิลลิวินาที

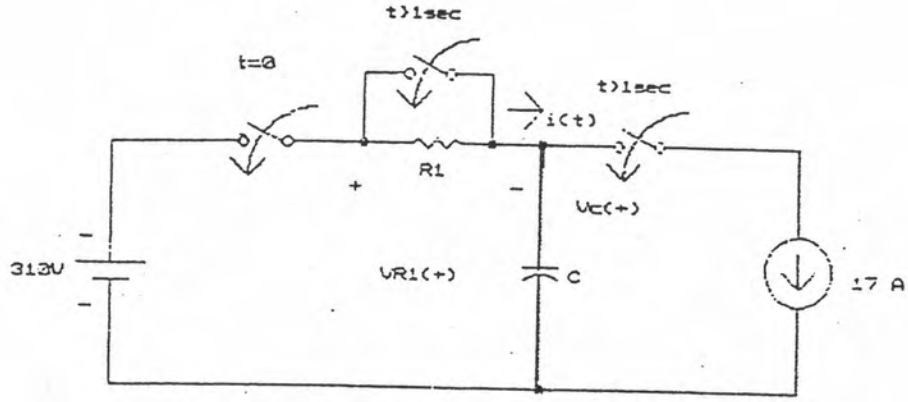
ดังนั้นค่า C ที่ต้องการคือ = 17*0.01/31

= 5483 ไมโครฟารัด

ในทางปฏิบัติเลือกใช้ C ขนาด 6020 ไมโครฟารัด ทนแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงได้ 450 โวลต์ เนื่องจากไม่สามารถหาค่าความจุได้ตามค่าที่ได้คำนวณไว้

3.1.2 การกำจัดกระแสกระชากตอนเริ่มต้นทำงาน

ในตอนเริ่มต่อสวิตช์ให้วงจรทำงาน เพื่อจ่ายกำลังไฟฟ้าให้แก่ระบบ แต่ยังไม่ได้กดสวิตช์ที่หัวคบพลาสมา (Torch) เพื่อกระตุ้นให้ส่วนของวงจรกำเนิดศักดาไฟฟ้าแรงสูงที่ความถี่สูงสร้าง Pilot Arc สำหรับช่วยในการกำเนิดอาร์คพลาสมา เราจะใช้ตัวต้านทาน R1 ทำหน้าที่จำกัดกระแส เมื่อวงจรกำลังเริ่มทำงานในสภาวะเริ่มแรกดังแสดงในรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.5 แสดงวงจรที่ใช้ในการคำนวณหาค่าความต้านทาน R1

ความต้านทาน R1 ต่ออนุกรมอยู่กับตัวเก็บประจุและในตอนเริ่มต้น ยังไม่มีกำลังออก ดังนั้นกระแสที่ไหลผ่านตัวต้าน R1 จะเป็นกระแสที่ใช้ในการเก็บประจุสำหรับตัวเก็บประจุเพียงอย่างเดียว กำหนดให้ตัวเก็บประจุต้องมีแรงดันเพิ่มเป็น 95% ของค่ายอดแรงดัน ในเวลาไม่น้อยกว่า 1 วินาที โดยการสมมุติให้แรงดันด้านเข้าเป็นไฟตรง 310 โวลต์ จากรูป 3.5 จะได้ว่า

$$Vr1\ (t) = V - Vc(t) \quad (3.2)$$

$$Vc\ (t) = V - V\exp(-t/RC) \quad (3.3)$$

$$i\ (t) = (V/R)\exp(-t/RC) \quad (3.4)$$

โดยที่

t	=	1	วินาที
V	=	310	โวลต์
C	=	6020	ไมโครฟารัด
Vc(1)	=	295	โวลต์

จากสมการที่ (3.3) จะได้

$$295 = 310 - 310\exp(-1/6020 \times 10^{-6} R1)$$

$$R1 = 1/[6020 \times 10^{-6} \ln \left\{\left(\frac{310-295}{310}\right)\right\}$$

$$= 54.8 \text{ โอห์ม}$$

ในทางปฏิบัติเลือกใช้ความต้านทาน R1 ขนาด 62 โอห์ม

เราสามารถคำนวณหากระแสผ่านสวิตช์ควบคุมการจ่ายกำลังไฟฟ้าเข้าสู่ระบบในสภาวะเริ่มต้น i(o) ได้ดังนี้

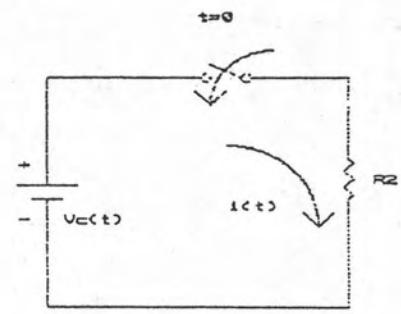
จากสมการ (3.4)

$$i(o) = 310/62$$

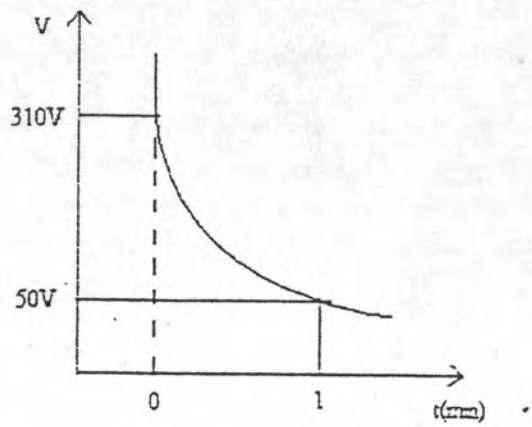
$$= 5 \quad \text{แอมป์}$$

3.1.3 ความต้านทานสำหรับใช้ในการคายประจุให้ตัวเก็บประจุ (R2)

ในกรณีเมื่อเลิกการใช้งาน เรามีความจำเป็นที่จะต้องทำให้ตัวเก็บประจุคายประจุออก เพื่อไม่ให้เป็นอันตรายสำหรับผู้ใช้งานหรือผู้ซ่อมบำรุง ซึ่งในทางปฏิบัติจะเลือกใช้ตัวต้านทานที่มีค่าเหมาะสม และจะถูกต่อเข้ากับวงจร ดังแสดงให้เห็นในรูปที่ 3.6 ก.



รูปที่ 3.6 ก. แสดงวงจรขณะเลิกใช้งานตัวเก็บประจุ



รูปที่ 3.6 ข. แสดงแรงดันตกคร่อมตัวเก็บประจุขณะเลิกใช้งาน

การเลือกตัวต้านทาน เพื่อใช้ในการคายประจุให้กับตัวเก็บประจุ ขณะเลิกใช้งาน มาตรฐาน วสท. 408 กำหนดเอาไว้ว่า ตัวเก็บประจุที่ใช้แรงดันไม่เกิน 600 โวลต์ จะต้องมีตัวต้านทานต่อไว้เพื่อให้ตัวเก็บประจุคายประจุไฟฟ้าออกให้เหลือแรงดัน 50 โวลต์ ในเวลา 1 นาที และตามมาตรฐาน IEC No. 70 กำหนดให้ตัวเก็บประจุเก็บประจุแรงดันได้ 1.1 เท่าของแรงดันปรกติ

ในการหาค่าความต้านทาน R2 หาได้จากสมการที่ 3.5 ดังต่อไปนี้

$$Vc(t) = V\exp(-t/RC) \qquad (3.5)$$

$$R2 = -t/\{C(\ln Vc(t)/V)\}$$

$$= -60/\{6020 \times 10^{-6} (\ln 50/310)\}$$

$$= 5462.5 \text{ โอห์ม}$$

กระแสที่ไหลผ่าน R2 ในภาวะการทำงานปรกติ

$$= 295/5462.5$$

$$= 0.057 \text{ แอมป์}$$

กำลังสูญเสีย $= (295)^2/5462.5$

$$= 15.93 \text{ วัตต์}$$

ในทางปฏิบัติได้เลือกความต้านทานที่มีค่า 20 กิโลโอห์ม 10 วัตต์ 3 ตัว ขนานกัน ซึ่งจะทำให้ค่าความต้านทานรวมเท่ากับ 6.67 กิโลโอห์ม แต่ทนกำลังสูญเสียเพิ่มเป็น 30 วัตต์

3.1.4 ไดโอด

การหาขนาดของไดโอด เราต้องรู้ขนาดของอิมพีแดนซ์ของแหล่งจ่ายกำลัง แต่อิมพีแดนซ์ของแหล่งจ่ายกำลังนั้นไม่แน่นอน ขึ้นอยู่กับระยะทางระหว่างแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้ากับสถานที่ตั้งแหล่งจ่ายกำลังแบบสวิตชิง สำหรับเครื่องตัดโลหะแบบพลาสมาที่ได้ออกแบบสร้างขึ้นได้กำหนดให้ แหล่งจ่ายกำลังแบบสวิตชิงสำหรับเครื่องตัดโลหะแบบพลาสมาใช้สายขนาด 6 ตารางมิลลิเมตร ยาว 10 เมตร ต่อจากหม้อแปลงจ่ายกำลังไฟฟ้าขนาด 250 กิโลโวลต์แอมป์ ซึ่งถือว่าติดตั้งใกล้กับแหล่งจ่ายมากที่สุด การหาอิมพีแดนซ์จะใช้ตารางที่ 3.1

ขนาดหม้อแปลง (kVA)	กระแสพิกัด (A)	กำลังสูญเสีย (kW)	Zk (%)	ความต้านทาน (mΩ)	รีแอกแตนซ์ (mΩ)
250	360	3.250	4	6.32	24.19
315	455	3.900	4	6.30	19.30
400	580	4.600	4	4.60	15.32
500	720	5.500	4	3.52	12.32
630	910	6.500	6	2.62	15.01
800	1150	11.000	6	2.75	11.68
1000	1440	13.500	6	2.16	9.36
1250	1800	16.400	6	1.68	7.49
1600	2300	19.800	6	1.24	5.87
2000	2880	20.900	6	0.81	4.70

ตารางที่ 3.1 แสดงพิกัดและค่าพารามิเตอร์ของหม้อแปลงจ่ายกำลังไฟฟ้า 3 เฟส 4 สาย (ธนบูรณ์ ศศิภานุเดช, 2531)

จากตารางที่ 3.1 จะได้ค่าความต้านทาน และรีแอกแตนซ์ ของหม้อแปลงจ่ายกำลังไฟฟ้า เท่ากับ 8.32 มิลลิโอห์ม และ 24.19 มิลลิโอห์ม ตามลำดับ

220 V 1 ø 2 สาย 50 Hz PF. 90%							
กระแส (A)	ขนาดสาย (mm^2) เดินเกาะไปกับผนังตึกหรือไม้						
	2 x 35	2 x 25	2 x 16	2 x 10	2 x 6	2 x 4	2 x 2.5
15	370	250	189	121	62	41	30
20	277	187	142	90	47	31	
25	222	150	113	72	37		
30	185	125	94	60	31		
35	158	107	81	51	26		
40	138	93	71	45			
45	123	83	63	40			
50	111	75	56	36			
55	101	68	51				
60	92	62	47				
65	85	57	43				
70	79	53	40				
75	74	50					
80	69	46					
85	65	44					
90	61	41					
95	58	39					
100	55						

ตารางที่ 3.2 แสดงความยาวสายสูงสุด (M) ที่แรงดันตกในสายสูงสุดไม่เกิน 3%
(ธนบูรณ์ ศศิภานุเดช, 2531)

จากตารางที่ 3.2 แรงดันในสายจะลดลงไม่เกิน 3% ถ้าความยาวสายเมนที่ใช้สูงสุดไม่เกิน 26 เมตร ที่กระแส 35 แอมป์ ตัวประกอบกำลังเป็น 0.9 ดังนั้น ถ้าใช้สายยาว 10 เมตร จะหาอิมพีแดนซ์ของสายได้จาก

อิมพีแดนซ์ = (แรงดันลดที่ระยะทาง 26 เมตร X อัตราส่วนของระยะทาง) / กระแส (3.6)

และโดยที่

อิมพีแดนซ์ของสายมีค่ารีแอกแตนซ์ ต่อความต้านทานประมาณ 1 : 6

ดังนั้น

แรงดันลดที่ระยะทาง 26 เมตร	=	220*(3/100)	โวลต์
	=	6.6	โวลต์
กระแส	=	17	แอมป์
อัตราส่วนระยะทาง	=	10/26	

จากสมการที่ (3.6)

อิมพีแดนซ์ของสาย = (6.6*10/26) /17

= 149.32 มิลลิโอห์ม

มุมของอิมพีแดนซ์ = $\tan^{-1}$ (รีแอกแตนซ์/ความต้านทาน) (3.7)

= 9.46 องศา

อิมพีแดนซ์ของสาย = 147.29 + j24.52

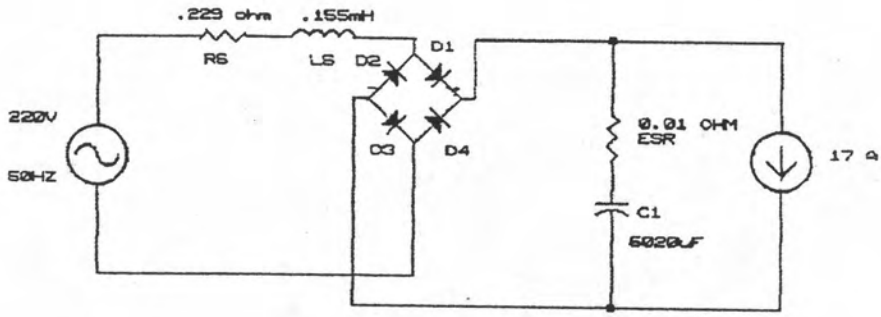
ดังนั้น

อิมพีแดนซ์ของแหล่งจ่าย = อิมพีแดนซ์สาย + อิมพีแดนซ์ของหม้อแปลง

= 147.29 + j24.52 + 8.32 + j24.19

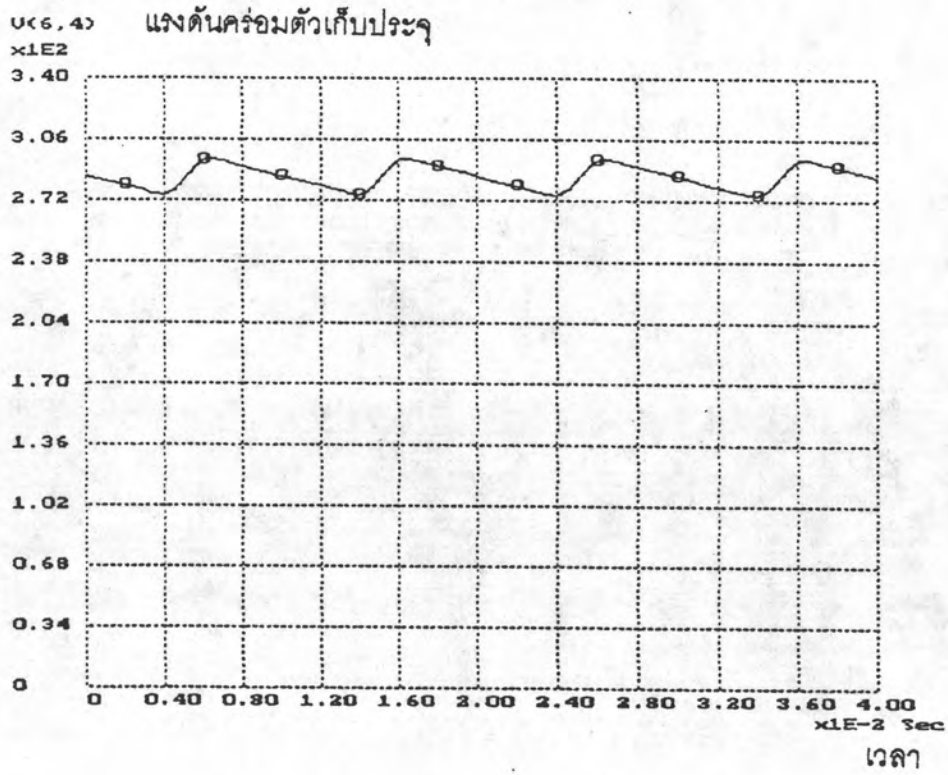
= 229.61 + j48.71 มิลลิโอห์ม

เราจะใช้ค่าอิมพีแดนซ์ของแหล่งจ่ายค่านี้เพื่อนำไปซิมูเลตวงจรเรียงกระแส โดยใช้วงจรสมมูลย์ ดังรูปที่ 3.7 และใช้โปรแกรม LEK ของ รศ.ดร. เอกชัย ลีลารัศมี ดังต่อไปนี้

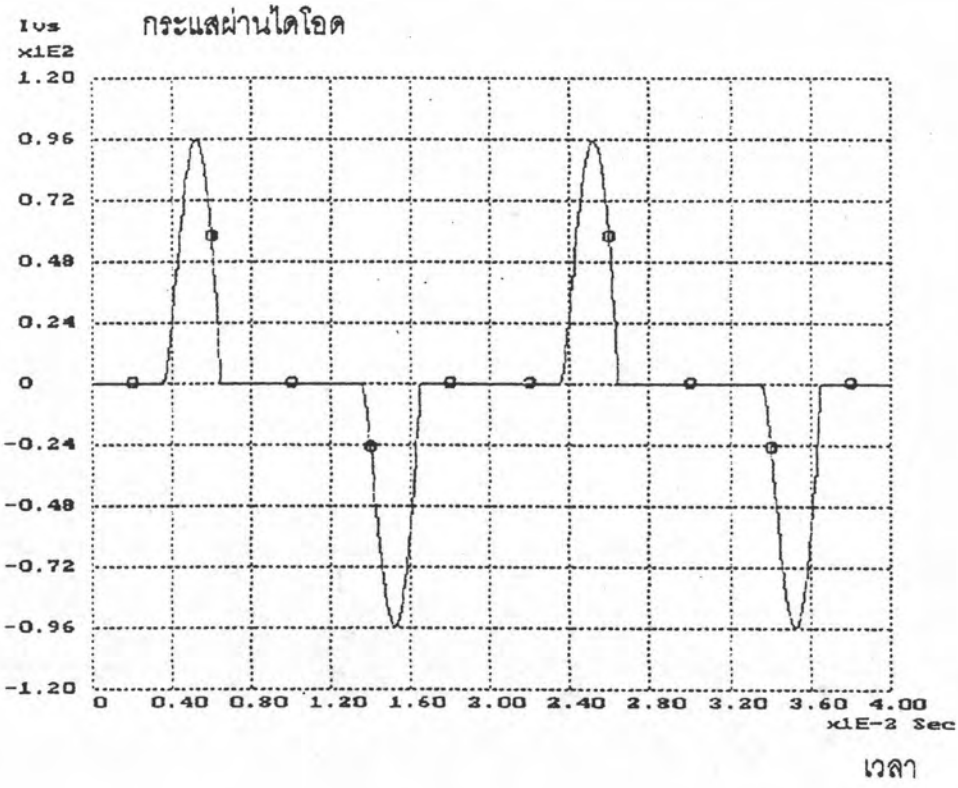


รูปที่ 3.7 วงจรที่ใช้ในการซิมูเลตวงจรเรียงกระแส

การซิมูเลตวงจรสมมูลย์ในรูป 3.7 ให้รูปคลื่นแรงดันคร่อมตัวเก็บประจุและกระแสผ่านไดโอด ดังรูป 3.8 และ 3.9 ตามลำดับ

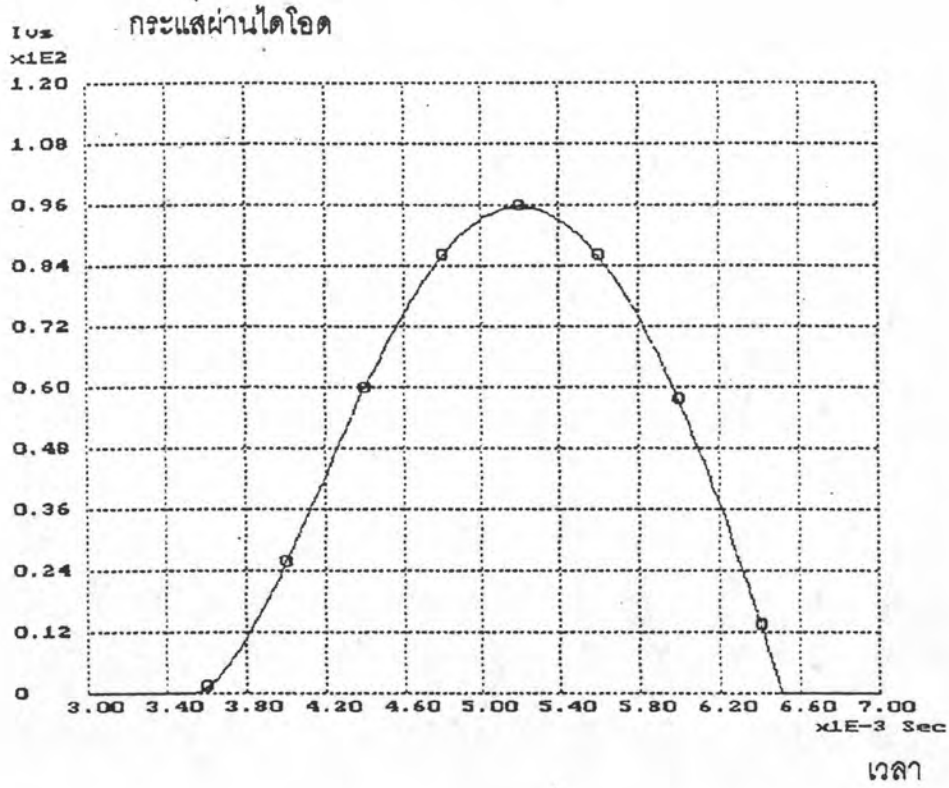


รูปที่ 3.8 แสดงรูปคลื่นของแรงดันคร่อมตัวเก็บประจุที่ได้จากการซิมูเลต



รูปที่ 3.9 แสดงรูปคลื่นของกระแสผ่านไดโอด

จากรูปที่ 3.8 จะเห็นได้ว่ารูปคลื่นของแรงดันคร่อมตัวเก็บประจุมีแรงดันลักษณะซึ่งใกล้เคียงกับค่าที่ได้ออกแบบเอาไว้ สำหรับกระแสผ่านไดโอด มีลักษณะยากต่อการคำนวณหาค่าอาร์เอ็มเอส จึงหาโดยประมาณค่า สมมุติว่ารูปคลื่นของกระแสผ่านไดโอด เป็นรูปไซน์ครึ่งคาบดังรูป 3.10 ดังนั้นเราจะคำนวณค่าอาร์เอ็มเอสได้ดังนี้



รูปที่ 3.10 แสดงรูปคลื่นของกระแสผ่านไดโอดที่ใช้หาค่าอาร์เอ็มเอส

ดังนั้น

$$I_{rms} = \sqrt{\int_0^{3ms}\left[95.6Sin\left(2\ \ 166t\right)dt\right]^2} / 20$$

$$= 26.18 \quad \text{แอมป์}$$

จากการคำนวณกระแสอาร์เอ็มเอสผ่านไดโอดเท่ากับ 26.18 แอมแปร์ เราจึงเลือกไดโอดที่มีพิกัดกระแสเท่ากับ 30 แอมแปร์ ซึ่งสามารถทนค่ายอดของกระแส (I_{FSM}) ในช่วงเวลา 16.67 ms ได้ 350 แอมแปร์ (MOTOROLA POWER DEVICE DATA, 1980)

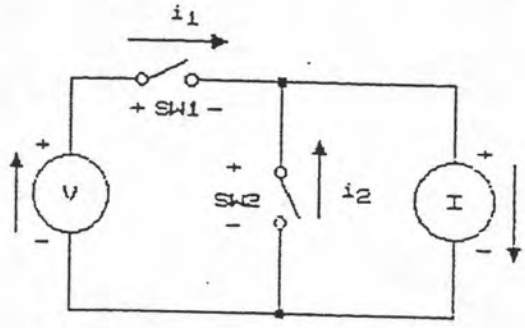
3.2 <u>วงจรแปลงผันไฟตรง-ไฟตรง</u>

ส่วนที่ 2 (ดูรูปที่ 3.3) ของแหล่งจ่ายกำลังแบบสวิตชิงของเครื่องตัดโลหะแบบพลาสมาจะเป็นวงจรแปลงผันไฟตรง-ไฟตรงแบบสวิตชิง ซึ่งทำหน้าที่แปลงผันระดับของกระแส หรือแรงดันไฟฟ้าด้านออกให้มีค่าเป็นไปตามสัญญาณควบคุม วงจรแปลงผันไฟตรง-ไฟตรงมีหลายแบบ แต่ละแบบจะมีลักษณะสมบัติที่แตกต่างกันทั้งในแง่ของอัตราการแปลงผันแรงดัน (Vo/Vs) ความ

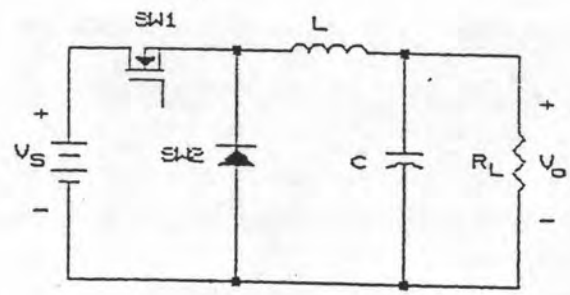
ต่อเนื่องของกระแสด้านเข้าและด้านออก ความสามารถในการกลับทิศทางของแรงดันออก ตลอดความยากง่ายในการใช้วงจรดังกล่าว สำหรับทิศทางการไหลของกระแสและพลังงานนั้น จะขึ้นอยู่กับชนิดและลักษณะการทำงานของสวิตช์ที่ใช้ในวงจร ในปัจจุบันได้มีการค้นคิดรูปแบบของวงจรแปลงผันไฟตรง-ไฟตรงเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ [Mitchell, 1988] แต่วงจรแปลงผันไฟตรง-ไฟตรงพื้นฐานที่เป็นที่รู้จักกันแพร่หลายจะมีเพียงไม่กี่วงจร ซึ่งมีรูปแบบของวงจรและลักษณะสมบัติดังนี้คือ

3.2.1 วงจรทอนระดับ (Buck converter)

วงจรทอนระดับเป็นวงจรแปลงผันไฟตรง-ไฟตรง ที่ให้แรงดันออกต่ำกว่าแรงดันเข้าเสมอ (โคทม อารียา และคณะ, 2532) มีโครงสร้างพื้นฐานดังแสดงในรูปที่ 3.11 ก. สถานะการทำงานปรกติ พลังงานจะไหลจากกิ่งแรงดันสู่กิ่งกระแส สวิตช์ SW1 และ SW2 จะต้องมีทิศทางไหลของกระแสและทิศทางการทนแรงดันดังแสดงในรูปที่ 3.11 ก.



รูปที่ 3.11 ก. โครงสร้างพื้นฐานของวงจรทอนระดับ



รูปที่ 3.11 ข. ตัวอย่างวงจรทอนระดับที่พลังงานไหลได้ในทิศทางเดียว

รูปที่ 3.11 ข. เป็นตัวอย่างของวงจรทอนระดับซึ่งใช้ FET เป็นสวิตช์ SW1 ใช้ DIODE เป็นสวิตช์ SW2 สำหรับกิ่งแรงดันจะใช้แหล่งแรงดัน ส่วนกิ่งกระแสใช้ตัวเหนี่ยวนำ (L)

ต่ออนุกรมกับกิ่งแรงดัน ซึ่งประกอบด้วยตัวเก็บประจุ (C) และตัวต้านทาน (RL) ที่ทำหน้าที่เป็นโหลด อย่างไรก็ดีกิ่งกระแสอาจจะเป็นมอเตอร์กระแสตรงก็ได้ และในกรณีดังกล่าวอาจมีความจำเป็นต้องคืนพลังงานจากมอเตอร์ไปสู่กิ่งแรงดัน (แหล่งแรงดัน) ในช่วงที่ต้องการเบรคมอเตอร์ ดังนั้นจึงต้องใช้สวิตช์ที่สามารถนำกระแสได้สองทาง และทนแรงดันได้เพียงทางเดียว เป็นสวิตช์ SW1 และ SW2 ดังในรูป 3.11 ก. ก็เพียงพอที่จะทำให้พลังงานไหลได้ในทั้งสองทิศทาง อัตราการแปลงผันแรงดันซึ่งเป็นอัตราส่วนระหว่างแรงดันด้านออก ต่อแรงดันของแหล่งจ่ายพลังงานด้านเข้าของวงจรแปลงผันไฟตรง-ไฟตรงนั้นจะขึ้นอยู่กับวัฏจักรงาน (Duty cycle) ของสวิตช์ วัฏจักรงานของสวิตช์ (D) คืออัตราส่วนของช่วงเวลาที่สวิตช์ไวงาน SW1 นำกระแส (D.Ts) ต่อคาบเวลาการทำงานของสวิตช์ (Ts) การคำนวณหาอัตราการแปลงผันแรงดันในสถานะอยู่ตัวจะทำได้ โดยอาศัยหลักการสมดุลของพลังงานเข้ากับพลังงานออก หรืออาจจะคำนวณหาจากความสมดุลระหว่างผลคูณของแรงดันคร่อมตัวเหนี่ยวนำกับเวลา (Volt-sec balance) สำหรับวงจรทอนระดับนั้น อัตราการแปลงผันแรงดันจะมีค่าเท่ากับวัฏจักรงานของสวิตช์ไวงาน SW1 ตามสมการที่ (3.8)

$$\frac{V_0}{V_s} = D \qquad (3.8)$$

เนื่องจาก D <= 1 ดังนั้นแรงดันออกจะมีค่าน้อยกว่า หรือเท่ากับแรงดันเข้าเท่านั้น คุณสมบัติที่สำคัญอีกอย่างหนึ่งของวงจรแปลงผันไฟตรง-ไฟตรง ก็คือความต่อเนื่องของกระแสด้านเข้าและด้านออกทั้งนี้เพราะกระแสที่ไม่ต่อเนื่อง จะมี harmonics สูง อันจะเป็นผลทำให้เกิดคลื่นรบกวนและกำลังสูญเสียในวงจรมากขึ้น นอกจากนี้ความไม่ต่อเนื่องของกระแสด้านออกยังจะทำให้ระลอกของแรงดันสูงขึ้นเมื่อวงจรด้านออกมีเงื่อนไขอย่างอื่นเหมือนกัน สำหรับวงจรทอนระดับนั้น กระแสด้านเข้ามีความไม่ต่อเนื่อง ส่วนกระแสด้านออกนั้นมีความต่อเนื่อง ทั้งนี้เพราะวงจรด้านออกมีตัวเหนี่ยวนำต่ออยู่

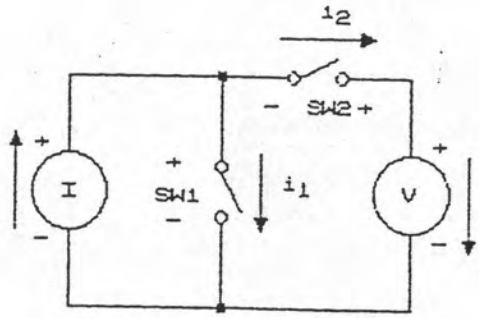
3.2.2 วงจรทบระดับ (Boost converter)

วงจรทบระดับ เป็นวงจรแปลงผันไฟตรง-ไฟตรงที่ให้แรงดันออกสูงกว่าแรงดันเข้าเสมอ มีโครงสร้างพื้นฐานดังแสดงในรูป 3.12 ก. ในภาวะการทำงานปรกติพลังงานจะไหลจากกิ่งกระแสสู่กิ่งแรงดัน สวิตช์ SW1 และ SW2 จะต้องมีทิศทางการไหลของกระแส และทิศทางการทนแรงดัน ดังแสดงในรูปที่ 3.12 ก. ส่วนในรูปที่ 3.12 ข. เป็นตัวอย่างวงจรทบระดับ ซึ่งใช้ FET เป็นสวิตช์ SW1 ใช้ DIODE เป็นสวิตช์ SW2 สำหรับกิ่งกระแสจะใช้แหล่งแรงดัน (Vs) ต่ออนุกรมกับ

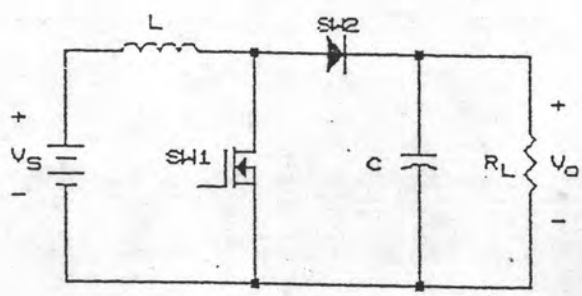
I16186229

ตัวเหนี่ยวนำ (L) แทนแหล่งกระแส ส่วนกิ่งแรงดันประกอบด้วยตัวเก็บประจุที่ทำหน้าที่เป็นวงจรกรองต่อขนานกับตัวต้านทาน RL ที่ทำหน้าที่เป็นโหลด ในกรณีที่ต้องการให้พลังงานไหลได้สองทาง จะต้องใช้สวิตช์ที่สามารถนำกระแสได้สองทาง และทนแรงดันได้ทางเดียว อัตราการแปลงผันแรงดันของวงจรทบระดับในสถานะอยู่ตัวจะมีค่าขึ้นอยู่กับวัฏจักรงาน (D) ของสวิตช์ SW1 ตามสมการที่ (3.9)

$$\frac{V_0}{V_s} = \frac{1}{(1-D)} \tag{3.9}$$



รูปที่ 3.12 ก. โครงสร้างพื้นฐานของวงจรทบระดับ

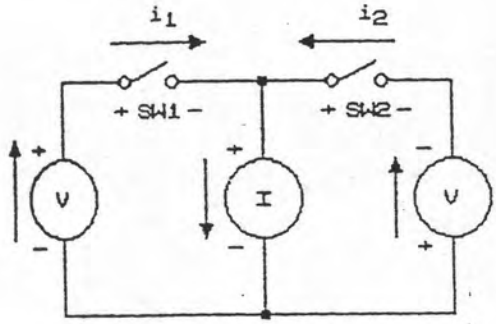


รูปที่ 3.12 ข. ตัวอย่างวงจรทบระดับที่พลังงานไหลได้ทางเดียว

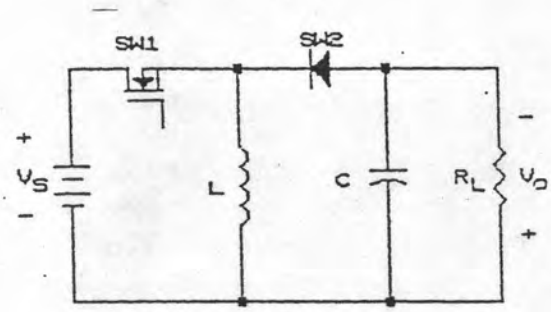
เนื่องจาก (1-D) <= 1 ดังนั้น แรงดันออกจะมีค่ามากกว่า หรือเท่ากับแรงดันเข้าเท่านั้น วงจรทบระดับนี้จะมีความต่อเนื่องของกระแสด้านเข้าเนื่องจากมีตัวเหนี่ยวนำอยู่ ส่วนด้านออกกระแสจะไม่ต่อเนื่อง ทำให้ตัวเก็บประจุที่เป็นวงจรกรองด้านออกมีขนาดใหญ่กว่าในกรณีของวงจรทอนระดับดังกล่าวมาแล้ว

3.2.3 วงจรทอนทบระดับ (Buck- Boost converter)

วงจรทอนทบระดับเป็นวงจรแปลงผันไฟตรง-ไฟตรง ที่สามารถให้ค่าแรงดันออกสูงหรือต่ำกว่าแรงดันเข้าก็ได้ ขึ้นอยู่กับวัฏจักรงานของสวิตช์ โครงสร้างพื้นฐานของวงจรทอนทบระดับนั้น แหล่งจ่ายพลังงาน (Source) และแหล่งรับพลังงาน (load) จะเป็นกิ่งแรงดัน ส่วนตัวกลางส่งผ่านพลังงานจะเป็นกิ่งกระแส ดังรูปที่ 3.13 ก. ในรูปที่ 3.13 ข. เป็นตัวอย่างของวงจรทอนทบระดับที่พลังงานไหลจากกิ่งแรงดันด้านซ้าย ซึ่งเป็นแหล่งแรงดันไปยังกิ่งแรงดันด้านขวามือ ซึ่งประกอบด้วยตัวเก็บประจุ (C) ที่ทำหน้าที่เป็นวงจรกรอง และตัวต้านทาน RL ที่ทำหน้าที่เป็นโหลด ในกรณีที่ต้องการให้พลังงานไหลได้ทั้งสองทาง จะต้องใช้สวิตช์ซึ่งนำกระแสได้ทั้งสองทางแต่ทนแรงดันได้เพียงทางเดียว



รูปที่ 3.13 ก. โครงสร้างพื้นฐานของวงจรทอนทบระดับ



รูปที่ 3.13 ข. ตัวอย่างวงจรทอนทบระดับที่พลังงานไหลได้ทางเดียว

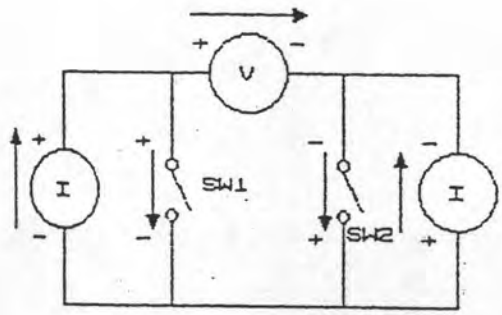
อัตราการแปลงผันแรงดันของวงจรทอนทบระดับในสถานะอยู่ตัว จะมีค่าขึ้นอยู่กับวัฏจักรงาน (D) ของสวิตช์ SW1 ตามสมการที่ (3.10)

$$\frac{V_0}{V_s} = \frac{D}{(1-D)} \quad (3.10)$$

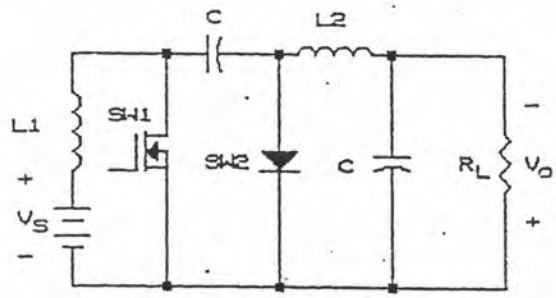
วงจรทอนทบระดับนี้กระแสจะไม่มีความต่อเนื่องทั้งด้านเข้าและด้านออก ซึ่งนับว่าเป็นข้อเสียที่สำคัญอันหนึ่งของวงจรนี้

3.2.4 วงจรทบทอนระดับหรือวงจรชุค (Boost-Buck or Cuk converter)

วงจรชุค เป็นวงจรแปลงผันไฟตรง-ไฟตรง ที่สามารถให้แรงดันออกสูงกว่าหรือต่ำกว่าแรงดันเข้า เช่นเดียวกันกับวงจรทอนทบระดับ แต่จะมีข้อดีกว่าที่มีความต่อเนื่องของกระแสทั้งด้านเข้าและขาออก ทั้งนี้เพราะตามโครงสร้างพื้นฐานของวงจรชุคทั้งแหล่งจ่ายพลังงาน (Source) และแหล่งรับพลังงาน (load) เป็นกิ่งกระแสโดยมีกิ่งแรงดันเป็นตัวกลางส่งผ่านพลังงาน ดังแสดงในรูปที่ 3.14 ก. ในรูปที่ 3.14 ข. เป็นตัวอย่างของวงจรชุคที่พลังงานไหลจากกิ่งกระแสด้านซ้ายมือซึ่งประกอบด้วยแหล่งแรงดัน (Vs) อนุกรมกับตัวเหนี่ยวนำ (L1) ไปยังกิ่งกระแสด้านขวามือ ซึ่งประกอบด้วยตัวเหนี่ยวนำ (L2) ต่ออนุกรมกับตัวเก็บประจุ (C) และมีตัวต้านทาน (RL) เป็นโหลดต่อขนานกับตัวเก็บประจุ (C) ในกรณีที่ต้องการให้พลังงานไหลได้สองทาง จะต้องใช้สวิตช์ซึ่งนำกระแสได้ทั้งสองทาง แต่ทนแรงดันได้เพียงทางเดียว



รูปที่ 3.14 ก. โครงสร้างพื้นฐานของวงจรชุค

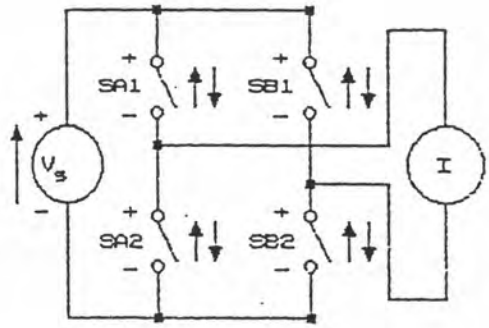


รูปที่ 3.14 ข. ตัวอย่างวงจรชุดที่พลังงานไหลได้ทางเดียว

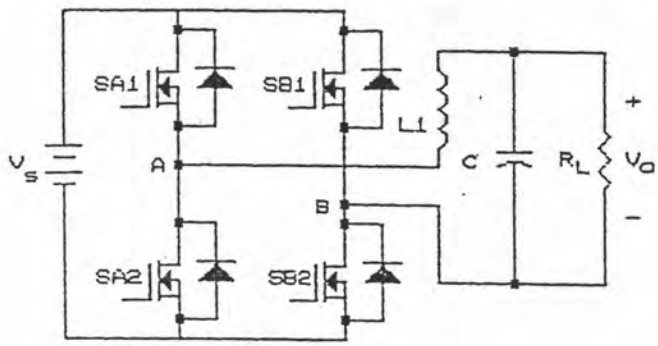
สำหรับอัตราการแปลงผันแรงดันของวงจรชุดในสถานะอยู่ตัว จะมีค่าขึ้นอยู่กับวัฏจักรงานของสวิตช์ SW1 ตามสมการ 3.9 เช่นเดียวกับวงจรทอนทบระดับ จากสมการ 3.10 จะเห็นได้ว่าถ้าวัฏจักรงาน (D) ของ SW1 มีค่าน้อยกว่า 0.5 แรงดันออกของทั้งวงจรทอนทบระดับและวงจรชุดจะมีค่าน้อยกว่าแรงดันเข้า แต่ถ้าวัฏจักรงานมีค่ามากกว่า 0.5 แรงดันออกของทั้งสองวงจรจะมีค่ามากกว่าแรงดันเข้า และเมื่อวัฏจักรงานมีค่า = 0.5 แรงดันออกจะเท่ากับแรงดันเข้าพอดี อย่างไรก็ดีสมการของอัตราแปลงผันแรงดันที่กล่าวมาทั้งหมดจะถูกต้องก็เฉพาะในกรณีที่ไม่มีกำลังสูญเสียในอุปกรณ์ที่ใช้ ฉะนั้นในความเป็นจริงแล้ว แรงดันออกจะมีค่าน้อยกว่าค่าที่ได้จากการคำนวณจากสมการของอัตราแปลงผันที่กล่าวมาทั้งสิ้น

3.2.5 วงจรบริดจ์เต็มรูป (Full Bridge Converter)

จะเห็นได้ว่าวงจรแปลงผันไฟตรง-ไฟตรงพื้นฐาน ดังที่ได้กล่าวมาแล้วสามารถกลับทิศทางการไหลของพลังงาน โดยการกลับทิศทางไหลของกระแส แต่ไม่สามารถจะกลับทิศทางของแรงดันออกได้ ในกรณีที่ต้องการให้มีการกลับทิศทางของแรงดันออกได้ จะต้องใช้วงจรบริดจ์เต็มรูป (Full Bridge Converter) ซึ่งเป็นวงจรที่ได้มีการดัดแปลงมาจากวงจรแปลงผันไฟตรง-ไฟตรงพื้นฐาน ดังได้กล่าวมาแล้ว ในรูปที่ 3.15 ก. แสดงโครงสร้างพื้นฐานของวงจรบริดจ์เต็มรูป ซึ่งใช้สวิตช์ที่นำกระแสได้สองทาง แต่ทนแรงดันได้ทางเดียว ในวงจรที่กล่าวถึงนี้พลังงานสามารถไหลได้ทั้งสองทิศทาง และแรงดันออกก็สามารถกลับทิศทางได้โดยไม่ต้องกลับทิศทางแรงดันของแหล่งจ่ายพลังงาน

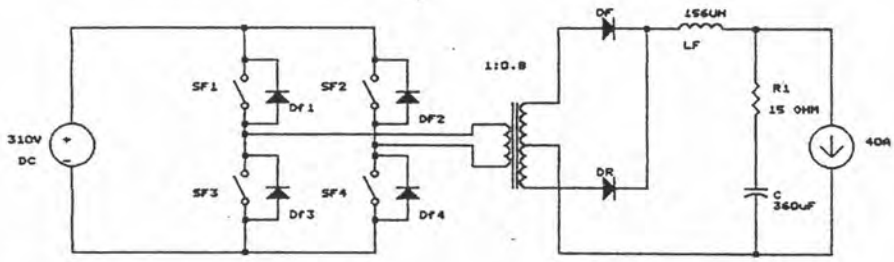


3.15 ก. แสดงโครงสร้างพื้นฐานของวงจรบริดจ์เต็มรูป



3.15 ข. ตัวอย่างวงจรบริดจ์เต็มรูป

กระแสของกิ่งแรงดันของวงจรบริดจ์เต็มรูปจะไม่ต่อเนื่อง ส่วนกระแสในกิ่งกระแสจะมีความต่อเนื่อง เช่นเดียวกับวงจรแปลงผันไฟตรง-ไฟตรงแบบทอนระดับ ที่ใช้สวิตช์ซึ่งนำกระแสได้สองทิศทาง และเนื่องจากข้อกำหนดในเรื่องพิกัดกำลังทางด้านออกของแหล่งจ่ายกำลังแบบสวิตชิง สำหรับเครื่องตัดโลหะแบบพลาสมา มีค่าประมาณ 4000 วัตต์ ซึ่งถือว่าเป็นกำลังขาออกที่ค่อนข้างสูงพอสมควร ดังนั้นผู้ทำวิจัยจึงเลือก วงจรแปลงผันไฟตรง-ไฟตรงแบบบริดจ์เต็มรูปมาใช้ในแหล่งจ่ายไฟกำลังแบบสวิตชิง สำหรับเครื่องตัดโลหะแบบพลาสมาในวิทยานิพนธ์นี้ ซึ่งข้อดีของวงจรบริดจ์เต็มรูปจะได้กล่าวในหัวข้อถัดไป ในรูปที่ 3.16 แสดงให้เห็นถึงวงจรที่ใช้ในการวิเคราะห์และออกแบบการใช้งานวงจรแปลงผันไฟตรง-ไฟตรงแบบบริดจ์เต็มรูป สำหรับแหล่งจ่ายกำลังของเครื่องตัดโลหะแบบพลาสมา และจะเห็นได้ว่าวงจรบริดจ์เต็มรูปนี้ มีลักษณะการทำงานคล้ายกับวงจรทอนระดับ แต่มีหม้อแปลงในวงจรเพื่อช่วยในการแยกโดดเท่านั้นเอง



รูปที่ 3.16 แสดงวงจรที่ใช้วิเคราะห์หาพารามิเตอร์ต่าง ๆ ในวงจรแหล่งจ่ายไฟกำลังแบบสวิตชิง ของเครื่องตัดโลหะแบบพลาสมา

วงจรแปลงผันไฟตรง-ไฟตรงแบบบริดจ์เต็มรูป (Full Bridge Converter) ที่เลือกนำมาใช้ในแหล่งจ่ายกำลังแบบสวิตชิง ของเครื่องตัดโลหะแบบพลาสมา มีความจำเป็นต้องใช้สวิตช์ไวงานทั้งหมดด้วยกัน 4 ตัว สำหรับสวิตช์ไวงานที่จะนำมาใช้อาจเป็นทรานซิสเตอร์หรือมอสเฟตก็ได้ แต่สำหรับงานส่วนนี้ได้เลือกใช้ มอสเฟตกำลังทำหน้าที่เป็นสวิตช์ไวงานในวงจรดังกล่าว การใช้สวิตช์ไวงานถึง 4 ตัว ทำให้ต้องมีการเพิ่มจำนวนของวงจรขับนำเพิ่มมากขึ้น ทำให้ราคาโดยรวมของระบบจะสูงขึ้นอีกเล็กน้อย อีกทั้งการออกแบบวงจรขับนำจะซับซ้อนกว่าวงจรแปลงผันไฟตรง-ไฟตรงแบบอื่น ๆ แต่อย่างไรก็ดีวงจรบริดจ์เต็มรูปนี้เหมาะสมที่จะใช้สำหรับการประยุกต์ใช้งาน วงจรแปลงผันไฟตรง-ไฟตรง ที่ต้องการพิกัดกำลังในการใช้งานค่อนข้างสูง และนอกจากนั้นข้อดีของวงจรบริดจ์เต็มรูปที่น่าสนใจคือ

3.2.5.1 ในการออกแบบหม้อแปลง สำหรับการนำไปใช้งานกับวงจรบริดจ์เต็มรูปต้องการขดลวดทางด้านปฐมภูมิเพียงชุดเดียว

3.2.5.2 แรงดันที่ตกคร่อมขดลวดของหม้อแปลงทางด้านปฐมภูมิจะมีค่าไม่เกินค่ายอดของแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับของแรงดันด้านเข้า หรือไม่เกินแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงเฉลี่ยที่ป้อนเข้าสู่วงจรแปลงผันไฟตรง-ไฟตรงแบบบริดจ์เต็มรูป ซึ่งประมาณ + 310 โวลต์ และ - 310 โวลต์

3.2.5.3 สวิตช์ไวงาน ที่ใช้ในวงจรบริดจ์เต็มรูปนี้ จะทำงานในระดับแรงดันที่ที่ไม่เกินค่ายอดของแรงดันไฟตรง ซึ่งจะประมาณ 310 โวลต์ ทำให้สามารถเลือกหาซื้อได้ง่ายในท้องตลาด ซึ่งทั้งกระแสผ่านสวิตช์จะต่ำกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับวงจรแปลงผันไฟตรง-ไฟตรงแบบอื่น ที่พิกัดกำลังที่เท่ากัน

3.2.6 สาเหตุที่เลือกใช้มอสเฟตกำลังเป็นสวิตช์ไวงาน ในวงจรบริดจ์เต็มที่สำคัญ ๆ มีดังนี้

3.2.6.1 การขับนำมอสเฟตจะทำได้ง่ายกว่า การขับนำสวิตช์ที่เป็นทรานซิสเตอร์

3.2.6.2 มอสเฟตกำลังสามารถทำงานที่ความถี่สูงกว่าทรานซิสเตอร์

3.2.6.3 มอสเฟตกำลัง มีความเร็วในการสวิตช์สูง ทำให้สามารถลดเวลาสงบ (dead time) ที่ใช้ป้องกันการลัดวงจรไฟฟ้าผ่านสวิตช์ในกิ่งเดียวกัน

3.2.7 การหาขนาดของสวิตช์

3.2.7.1 ขนาดของแรงดันสูงสุดคล่อมสวิตช์ ที่ใช้ในวงจรแปลงผันไฟตรง-ไฟตรงแบบบริดจ์เต็มรูป จะมีค่าไม่เกิน 310 โวลต์ สำหรับกรณีแรงดันจากแหล่งจ่ายเป็น 220 โวลต์ และสามารถหาขนาดของสวิตช์ได้โดยใช้สมการที่ 3.11

ขนาดแรงดันของสวิตช์มอสเฟตกำลัง = แรงดันสูงสุด x ค่าเผื่อความปลอดภัย (3.11)

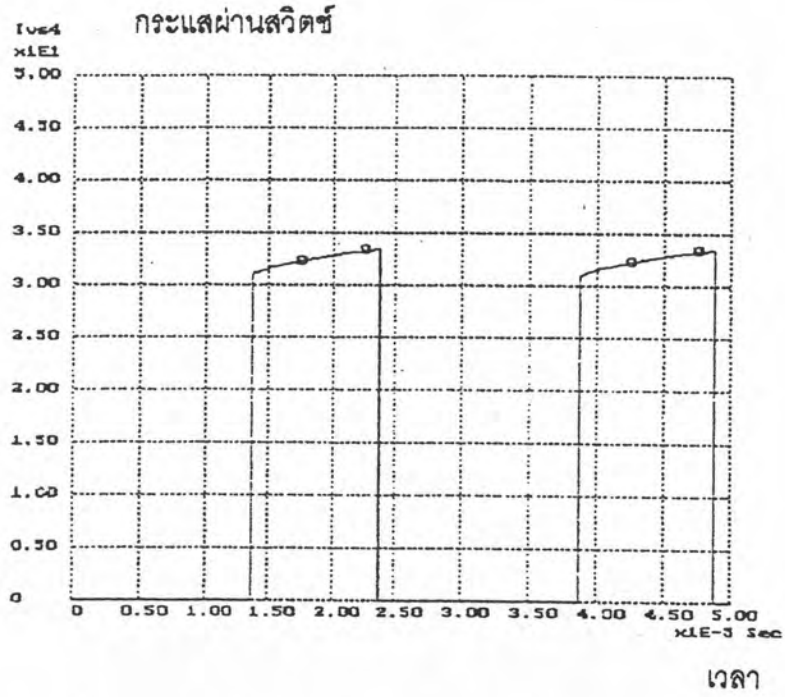
ถ้ากำหนดให้ใช้ค่าเผื่อความปลอดภัยเท่ากับ 1.3

ดังนั้น

ขนาดของแรงดันของสวิตช์มอสเฟตกำลัง = 310 x 1.3

= 443 โวลต์

3.2.7.2 ในการหาขนาดกระแสของสวิตช์ จะอาศัยผลของการซิมูเลต ในกรณีวงจรแหล่งจ่ายกำลังแบบสวิตชิงได้รับโหลดเต็มพิกัดที่ 40 แอมป์ ซึ่งได้ใช้รูป 3.16 ทำการซิมูเลต และผลของการซิมูเลต แสดงได้เห็นในรูป 3.17



รูปที่ 3.17 รูปคลื่นที่ได้จากการซิมูเลตเพื่อหาขนาดของสวิตช์

จากรูป 3.17 กระแสที่ไหลสูงสุดผ่านสวิตช์ มีค่าประมาณ 34 แอมป์ ดังนั้นขนาดของกระแสผ่านสวิตช์ หาได้จากสมการที่ 3.12

ขนาดกระแสของสวิตช์ = กระแสสูงสุดที่ไหลผ่านสวิตช์ / Temperature derating (3.12)

นั่นคือ

ขนาดกระแสของสวิตช์เฟต = 34 / 0.8

= 42.5 แอมป์

ดังนั้น ขนาดของสวิตช์เฟตที่จะนำมาใช้ ต้องมีขนาดทนแรงดันได้มากกว่า 443 โวลต์ และมีพิกัดกระแสมากกว่า 42.5 แอมป์ ซึ่งในทางปฏิบัติ เลือกมอสเฟตกำลังขนาดพิกัดกระแส 50 แอมป์ ทนแรงดัน 500 โวลต์

3.3 <u>หม้อแปลงแยกโดดและส่งผ่านกำลังความถี่สูง</u>

หม้อแปลงแยกโดดและส่งผ่านกำลังความถี่สูงเป็นส่วนที่ 3 ตามโครงสร้างในรูปที่ 3.3 และจากการศึกษาข้อมูลขั้นพื้นฐาน คุณสมบัติที่เหมาะสมของหม้อแปลงที่จะนำมาใช้กับงานทางด้านการเชื่อม หรือการตัดโลหะด้วยพลาสมา พบว่าหม้อแปลงที่มีผู้นำมาทดลองใช้งานและได้

ผลดี จะต้องมีลักษณะที่เมื่อหม้อแปลงทำการจ่ายกระแสให้กับภาระ จะมีผลทำให้แรงดันที่ขั้วจ่ายกระแสไฟฟ้าลดลง ดังนั้นจึงได้ทำการทดลองออกแบบหม้อแปลงขึ้น และทำการทดลองจัดหาความสัมพันธ์ระหว่างศักดาไฟฟ้า และกระแส (V-I Curve) เพื่อใช้เป็นข้อมูลหาจุดทำงานของต้นกำเนิดพลาสมา ซึ่งขั้นตอนการออกแบบ และการทดลองเป็นไปตามลำดับดังนี้

3.3.1 ข้อกำหนดการออกแบบหม้อแปลง

1. แรงดันไฟฟ้าด้านเข้า	310 ± 15%	โวลต์
2. ความถี่ที่ใช้งาน	40	กิโลเฮิรตซ์
3. แรงดันไฟฟ้าด้านออกที่พิกัด	100	โวลต์
4. กำลังไฟฟ้าด้านออกที่พิกัด	4,000	วัตต์
5. กระแสไฟฟ้าด้านออกที่พิกัด	40	แอมป์
6. Duty cycle สูงสุด	0.65	

สำหรับการหาอัตราส่วนของหม้อแปลงนั้น เราจะกำหนดให้มีแรงดันตกคร่อมที่ส่วนต่าง ๆ ในองค์ประกอบตลอดทั้งวงจรเป็น 20% โดยที่ทางด้านขาเข้าของวงจรนั้นสามารถที่จะรับแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับได้ในช่วงตั้งแต่ 187 - 253 โวลต์ (220 V ± 15%) มีแรงดันกระเพื่อม (Ripple Voltage) ที่ด้านขาออกของวงจรเรียงกระแสจากสายกำลังไม่เกิน 10% จะมีผลทำให้ได้แรงดันไฟฟ้ากระแสตรงด้านขาเข้าของขดลวดปฐมภูมิของหม้อแปลงต่ำสุดเป็น (310*0.85) * 0.9 ซึ่งมีค่าเท่ากับ 237 โวลต์ ส่วนทางด้านขดลวดทุติยภูมิของหม้อแปลงนั้นเราจะต้องออกแบบให้ได้กำลังไฟฟ้าด้านขาออกตามต้องการ โดยมีแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงด้านขาออกที่พิกัดภาระ 40 แอมป์ เป็น 100 โวลต์ เมื่อ Duty Cycle สูงสุดเป็น 0.65 และเมื่อนำผลของแรงดันตกคร่อมในองค์ประกอบของวงจรพิจารณาร่วมด้วย จะทำให้ได้แรงดันที่ขดทุติยภูมิของหม้อแปลงก่อนเข้าวงจรเรียงกระแสและวงจรกรองทางด้านออกเป็น 100/ (0.65*0.8) ซึ่งมีค่าเท่ากับ 192 โวลต์ ดังนั้น เราจะได้ว่า

อัตราส่วนของหม้อแปลง (a) = แรงดันขดทุติยภูมิ / แรงดันขดปฐมภูมิ (3.13)

= 192/ 237 โวลต์

= 0.8

3.3.2 การหาจำนวนรอบทางด้านปฐมภูมิ

เราสามารถที่จะหาจำนวนรอบด้านปฐมภูมิ ได้จากสมการดังต่อไปนี้ (Keith M, Billing, 1989)

$$\text{จำนวนรอบด้านปฐมภูมิ} = \frac{Vcc*Ton}{B_{max}*Am} \quad \text{รอบ} \qquad (3.14)$$

โดยที่ Vcc = แรงดันไฟกระแสตรงที่ป้อนเข้าทางด้านปฐมภูมิ

= 310 โวลต์

Ton = ช่วงเวลาการทำงานของสวิตช์

$= \frac{1}{2} * \frac{1}{40000}$

= 12.5 ไมโคร-วินาที

ในการกำหนดค่าความหนาแน่นฟลักซ์สนามแม่เหล็ก จะกำหนดให้มีค่าต่ำ ทั้งนี้เนื่องจากต้องการลดความสูญเสียที่เกิดขึ้นในแกนหม้อแปลง ซึ่งการสูญเสียนี้จะแปรค่าตามความถี่และความหนาแน่นฟลักซ์สนามแม่เหล็ก และเนื่องจากความถี่ที่ใช้ค่อนข้างสูง ดังนั้นเพื่อลดการสูญเสียในแกนหม้อแปลงให้ต่ำลง และเนื่องจากแกนเฟอร์ไรต์ที่หาได้มีพื้นที่หน้าตัดค่อนข้างใหญ่ จึงเลือกความหนาแน่นของฟลักซ์สนามแม่เหล็กให้มีค่าต่ำ ๆ

ในทางปฏิบัติจึงเลือก B = 0.08 Tesla

B = flux density swing

= 0.08 Tesla

Am = พื้นที่หน้าตัดของแกนในส่วนที่เป็นทางเดินของวงจรแม่เหล็ก

= 1020 ตารางมิลลิเมตร

จากสมการที่ 3.14 จะได้

จำนวนรอบทางด้านปฐมภูมิ $= \frac{310*12.5}{0.08*1020}$

= 47.48 รอบ

ในทางปฏิบัติได้ทำการพันขดลวดหม้อแปลงทางด้านปฐมภูมิเพิ่มเป็น 48 รอบ

ในการหาจำนวนรอบทางด้านทุติยภูมินั้น เนื่องจากเราต้องการแรงดันด้านออกมีค่าประมาณ 250 โวลต์ และผลของความคลาดเคลื่อนของแรงดันในด้านออกอันเนื่องมาจากการที่มีแรงดันตกคร่อมในไดโอด ตัวเหนี่ยวนำ และในส่วนของความต้านทานในขดลวดของหม้อแปลงเอง เราจะละเลยไม่นำมาพิจารณา

ดังนั้น จำนวนรอบทางด้านทุติยภูมิ = จำนวนรอบทางด้านปฐมภูมิ x a

= 48 x 0.8

= 38.4

ในทางปฏิบัติพันขดลวดทางด้านทุติยภูมิ 39 รอบ

ในการที่จะหากระแสผ่านขดลวดปฐมภูมิหาได้จาก

กระแสปฐมภูมิ = กระแสทุติยภูมิ x a

= 40 x 0.8

= 32 แอมป์

ได้นำเอาค่ากระแสที่ไหลผ่านขดลวดทั้ง 2 มาหาขนาดของตัวนำโดยใช้ตาราง ที่ 3.3 ซึ่งขนาดของขดลวดตัวนำของขดลวดปฐมภูมิ หาได้โดยการกำหนดค่าความหนาแน่นกระแสเป็น 350 Cmil/A ซึ่งจากการทดลองพันหม้อแปลง และทำการทดสอบ โดยการให้ภาระแก่หม้อแปลงที่พิกัด ผลปรากฏว่า อุณหภูมิของขดลวดอันเนื่องมาจากการสูญเสียในขดลวดตัวนำไม่สูงมากจนทำให้เกิดการเสียหายที่ขดลวด

ดังนั้น ขนาดของขดลวดด้านปฐมภูมิ = 350 X 32

= 11,200 Cmil

จากตาราง 3.3 ทำการเลือกขนาดของขดลวดที่จะนำมาใช้พันขดลวดหม้อแปลงด้านปฐมภูมิ โดยใช้ลวดเบอร์ 27 AWG จำนวน 55 เส้นขนานกันเพื่อทำให้สามารถทนกระแสได้ตามพิกัด

ขนาดขดลวดทางด้านทุติยภูมิ = 350 x 40

= 14,000 Cmil

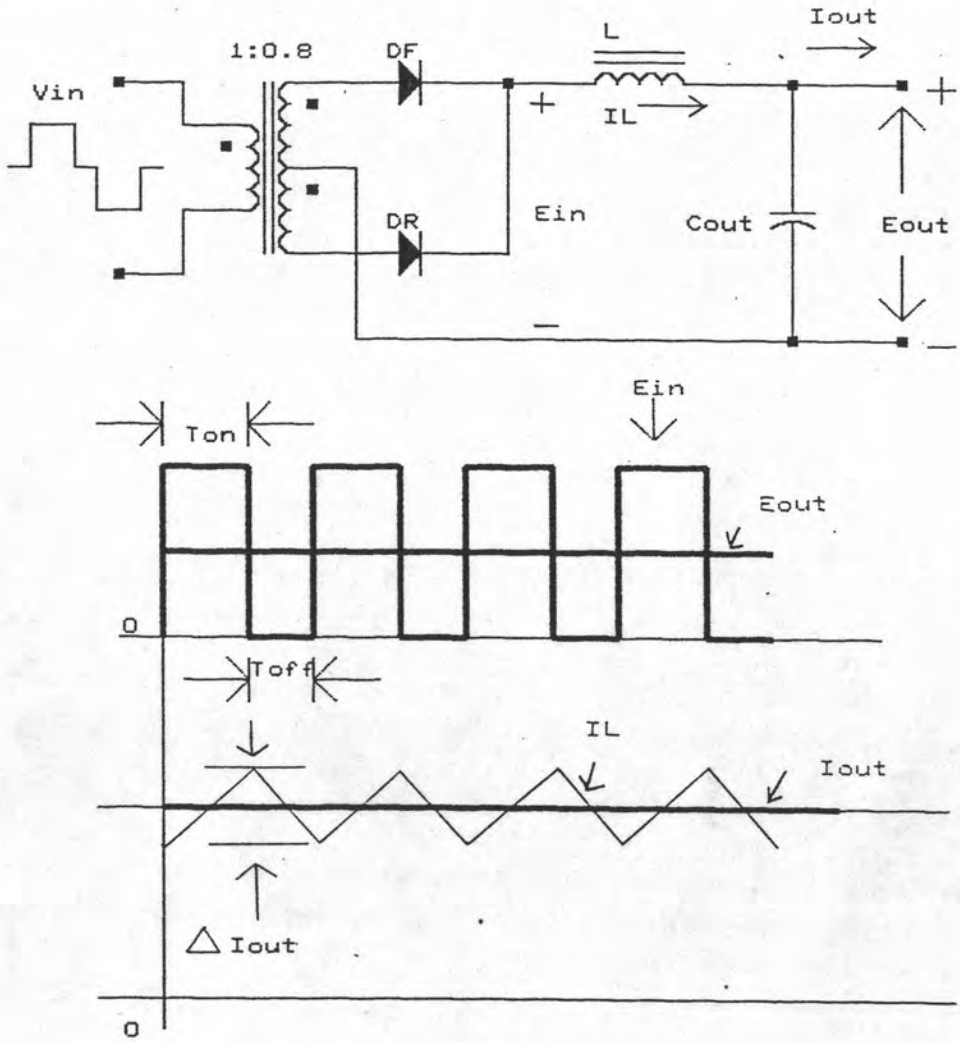
ในทางปฏิบัติได้ใช้ลวดเบอร์ 27 AWG จำนวน 70 เส้น ขนานกันเพื่อที่จะสามารถทนกระแสได้ตามพิกัดที่ต้องการ

AWG	Diameter over insulation (inches) Min.	Max.	Nominal circular mil area	Resistance per 1000 ft	Current capacity in milliamperes based on 1000 c.m./A	AWG
8	0.130	0.133	16510	0.6281	16510	8
9	0.116	0.119	13090	0.7925	13090	9
10	0.104	0.106	10380	0.9955	10350	10
11	0.0928	0.0948	8230	1.251	8225	11
12	0.0829	0.0847	6530	1.583	6529	12
13	0.0741	0.0757	5180	2.001	5184	13
14	0.0667	0.0682	4110	2.524	4109	14
15	0.0595	0.0609	3260	3.181	3260	15
16	0.0532	0.0543	2580	4.020	2551	16
17	0.0476	0.0488	2050	5.054	2052	17
18	0.0425	0.0437	1620	6.386	1624	18
19	0.0380	0.0391	1290	8.046	1259	19
20	0.0340	0.0351	1020	10.13	1024	20
21	0.0302	0.0314	812	12.77	812.3	21
22	0.0271	0.0281	640	16.20	640.1	22
23	0.0244	0.0253	511	20.30	510.8	23
24	0.0218	0.0227	404	25.67	404	24
25	0.0195	0.0203	320	32.37	320.4	25
26	0.0174	0.0182	253	41.02	252.3	26
27	0.0157	0.0161	202	51.44	201.6	27
28	0.0141	0.0147	159	65.31	158.9	28
29	0.0127	0.0133	128	81.21	127.7	29
30	0.0113	0.0119	100	103.7	100	30
31	0.0101	0.0108	79.2	130.9	79.21	31
32	0.0091	0.0098	64	162	64	32
33	0.0081	0.0083	50.4	205.7	50.41	33
34	0.0072	0.0078	39.7	261.3	39.69	34
35	0.0064	0.0070	31.4	330.7	31.36	35

ตารางที่ 3.3 แสดงขนาดของเส้นลวดพันหม้อแปลง

3.4 <u>วงจรเรียงกระแสและวงจรกรองทางด้านออก</u> (George C. Chryssis, 1989)

ในส่วนที่ 4 ของ Block diagram แหล่งจ่ายกำลังแบบสวิตชิงของเครื่องตัดโลหะแบบพลาสมา ตามรูปที่ 3.3 นี้จะเป็นวงจรเรียงกระแสและวงจรกรองทางด้านออก ซึ่งจะประกอบไปด้วยส่วนหลัก ๆ คือ ไดโอด ตัวเก็บประจุและตัวเหนี่ยวนำ ทั้งนี้เพราะเราต้องการได้แรงดันไฟฟ้ากระแสตรง เพื่อเป็นแหล่งจ่ายกำลังเพิ่มเติมให้กับขบวนการที่เปลี่ยนสถานะของก๊าซให้เป็นพลาสมา เพราะแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง จะทำให้พลาสมาคงสถานะขณะเกิดพลาสมาได้ดีกว่า เมื่อได้รับแหล่งจ่ายกำลังที่เป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ ในส่วนของวงจรเรียงกระแสและวงจรกรองทางด้านออกสามารถแสดงให้เห็นได้ดังรูปที่ 3.18



รูปที่ 3.18 แสดงส่วนของวงจรเรียงกระแสและวงจรกรองทางด้านออก

ในการพิจารณาพิกัดของไดโอด D_F และ D_R หาได้จากสมการต่อไปนี้คือ

$$I_{F(av)} = I_{out} \times D \qquad (3.15)$$

เมื่อ $I_{F(av)}$ = กระแสเดินหน้าเฉลี่ยสูงสุด (Maximum average Forward current)

D = ตัวประกอบของวัฏจักรงาน

จากข้อกำหนด พิกัดนำกระแสทางด้านขาออกที่โหลดเต็มพิกัดประมาณ 40 แอมป์ ที่วัฏจักรทำงาน = 0.5

ดังนั้นจะได้

$I_{F(av)}$ = กำลังด้านออกที่พิกัด / แรงดันด้านออกที่พิกัด x 0.5

$$= \frac{4,000}{100} X 0.5$$

$$= 20 \quad \text{แอมป์}$$

ดังนั้น ในทางปฏิบัติได้เลือกใช้ไดโอดที่ทนกระแส $I_{F(av)}$ ได้ในขนาดพิกัด 30 แอมป์

ในการหาขนาดของตัวเหนี่ยวนำ จะกำหนดให้ค่า Ripple ของกระแสทางด้านออก ($\triangle I_{out}$) จะมีค่าสูงสุดไม่เกิน 20 เปอร์เซนต์ของกระแสเฉลี่ยทางด้านออก

ดังนั้นค่าของตัวเหนี่ยวนำ หาได้จากสมการต่อไปนี้ (George C. Chryssis, 1989)

$$L = \frac{Eout * Toff}{0.2 I_L} \qquad (3.16)$$

เมื่อ Eout = แรงดันไฟฟ้ากระแสตรงด้านออก

Toff = ช่วงเวลาหยุดนำกระแสของสวิตช์

I_L = กระแสโหลดที่พิกัด

เนื่องจากค่า Ripple ของกระแสทางด้านออกสูงสุดจะเกิดขึ้นที่ Duty Cycle = 0.5

ดังนั้น ค่า Toff ที่จะทำให้ Ripple สูงสุด = $\frac{1}{2}$ x T

$$= \frac{1}{2} \times 25 \times 10^{-6} \quad \text{วินาที}$$

$$= 12.5 \times 10^{-6} \quad \text{วินาที}$$

จากสมการ 3.16 จะได้

$$\text{ค่าตัวเหนี่ยวนำทางด้านออก (L)} = \frac{100 x 12.5 x 10^{-6}}{0.2 x 40}$$

$$= 156.25 \quad \text{ไมโครเฮนรี}$$

สำหรับการออกแบบและพันขดลวดเพื่อให้ได้ค่า L ตามที่ต้องการ หาได้จากสมการดังต่อไปนี้ (Keith H, Billing, 1989)

$$N = \frac{L * I_{pm} * 10^4}{B_{max} * Ae} \qquad (3.17)$$

เมื่อ N = จำนวนรอบของขดลวด (รอบ)

L = ค่าความเหนี่ยวนำ (156.25×10^{-6} เฮนรี)

Bmax = ค่าความหนาแน่นฟลักซ์แม่เหล็ก (0.25 Tesla)

Ae = พื้นที่หน้าตัดของแกนเฟอร์ไรต์ในส่วนที่เป็นทางเดินวงจรแม่เหล็ก ($5.1\ cm^2$)

Ipm = กระแสที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำสูงสุด

= 44 แอมป์

ดังนั้น จะได้

$$N = \frac{156.25*10^{-6}*44*10^{4}}{0.25*5.1}$$

$$= 53.9 \quad \text{รอบ}$$

$$= 54 \quad \text{รอบ}$$

ทำการเลือกขนาดของขดลวดที่จะนำมาใช้พันตัวเหนี่ยวนำ โดยการกำหนดค่าความหนาแน่นกระแสเป็น 350 Cmil / A

ดังนั้น

ขนาดของขดลวดที่ใช้พันในตัวเหนี่ยวนำ = 44×350

= 15,400 Cmil

จากตารางที่ 3.3 ทำการเลือกขนาดของขดลวด โดยใช้ลวดเบอร์ 27 AWG จำนวน 78 เส้นขนานกัน เพื่อที่จะสามารถทนกระแสได้ที่พิกัดที่ต้องการ

การหาตัวเก็บประจุสำหรับวงจรกรองด้านออก หาได้จากสมการที่ 3.19

$$Cout = \frac{I_{out}}{8 f \triangle v_{out}} \qquad (3.18)$$

โดยการกำหนดให้ว่าค่า Ripple ของกระแสทางด้านออก ($\triangle I_{out}$) จะมีค่าไม่เกิน 0.20 I_L

เมื่อ $\triangle I_{out}$ = 20 เปอร์เซ็นต์ของกระแสเฉลี่ยด้านออก

I_L = คือกระแสที่พิกัดทางด้านออก

$\triangle v_{out}$ = แรงดันกระเพื่อมทางด้านออก

f = ความถี่ที่ใช้งาน

จากข้อกำหนด

$\triangle I_{out}$ = 0.20*40

= 8 แอมป์

$\triangle v_{out}$ = 100 มิลลิโวลต์

f = $40 * 10^3$ เฮิรตซ์

ดังนั้นจะได้

$$\text{ตัวเก็บประจุ } C = \frac{8}{8*40*10^{3}*0.1}$$

$$= 250 \quad \text{ไมโครฟารัด}$$

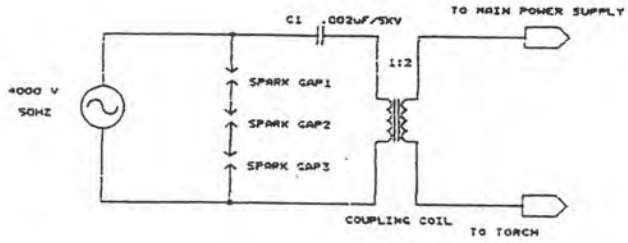
ในทางปฏิบัติเลือกใช้ตัวเก็บประจุขนาด 300 ไมโครฟารัด

3.5 <u>ต้นกำเนิดศักดาไฟฟ้าแรงสูง ความถี่สูงและหม้อแปลงเชื่อมโยง</u>

ในส่วนที่ 5 ของ Block Diagram ของแหล่งจ่ายกำลังแบบสวิตชิงของ เครื่องตัดโลหะแบบพลาสมา ที่ได้ออกแบบขึ้นนี้เป็นส่วนสำคัญมากส่วนหนึ่ง เพราะการทำให้เกิดอาร์คพลาสมาโดยวิธีศักดาไฟฟ้าแรงสูง ความถี่สูงนี้นิยมใช้กันมาก ในกรณีที่ แอโนดและแคโทด ไม่สามารถที่จะเคลื่อนที่เข้ามาแตะกัน เพื่อทำให้เกิดอาร์คได้ เราจึงมีความจำเป็นที่จะต้องใช้เครื่องกำเนิดศักดาไฟฟ้าแรงสูง ความถี่สูงเข้าช่วย เพื่อให้เกิดอาร์คความถี่สูง ซึ่งเป็นปรากฏการณ์ของก๊าซโดยทั่ว ๆ ไป ที่มีโอกาสจะเกิดอาร์คดิสชาร์จได้ง่าย (Arc Discharge) เมื่อได้รับศักดาไฟฟ้าแรงสูง ความถี่สูง โดยที่อาร์คความถี่สูงที่เกิดขึ้นนี้จะทำหน้าที่เป็นทางเดินให้เกิดอาร์คหลัก ที่ได้จากวงจรแปลงผันไฟตรง-ไฟตรง ที่ได้ออกแบบขึ้น เมื่อเกิดอาร์คในช่วงแรกแล้วในช่วงเวลาอันสั้น ก็จะทำให้เกิดอาร์คหลักรอบช่องที่เป็นทางผ่านของพลาสมาก๊าซ ซึ่งถ้าเป็นลักษณะเช่นนี้ เราอาจถือได้ว่า ได้เกิดอาร์คหลักคงที่พร้อมทั้งลำพลาสมา และไม่จำเป็นต้องใช้เครื่องกำเนิดศักดาไฟฟ้าแรงสูง ความถี่สูงอีกต่อไป

สำหรับต้นกำเนิดศักดาไฟฟ้าแรงสูง ความถี่สูงที่ได้ทดลองทำขึ้นนั้น จะทำงานในช่วงแรงดันประมาณ 4000 โวลต์ ในช่วงความถี่ 2-3 เมกะเฮิรตซ์ โดยประมาณ โดยจะอาศัยหลักการของการเรโซแนนซ์ความถี่ของตัวเก็บประจุ C1 และตัวเหนี่ยวนำ L1 ของ Coupling Coil จากการอาร์คของศักดาไฟฟ้าแรงสูงที่สปาร์คแกบ (Spark gap) และเชื่อมโยงความถี่สูงออกมาใช้งานที่วงจรด้านขาออกของวงจรแปลงผันไฟตรง-ไฟตรง แบบบริดจ์เต็มรูป ในทางปฏิบัติได้ใช้หม้อแปลงไฟฟ้ากระแสสลับที่มีขดลวดด้านปฐมภูมิ สามารถทนแรงดันเข้าได้ 220 โวลต์ และแรงดันออกทางด้านทุติยภูมิเป็น 4000 โวลต์ เป็นต้นกำเนิดศักดาแรงสูง ส่วน Coupling Coil นั้นจะพันขึ้นเอง สำหรับวิธีการพันนั้น ทำได้โดยพันขดลวดปฐมภูมิและทุติยภูมิของ Coupling Coil ไปพร้อม ๆ กันบนแกนเฟอร์ไรต์ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 1.5 ซม. (ในทางปฏิบัติได้ใช้แกนเฟอร์ไรต์ของ Fly back T.V.) โดยมีจำนวนรอบของขดปฐมภูมิ 10 รอบ และขดทุติยภูมิ 20 รอบ โดยที่ลักษณะ

พิเศษของขดลวดทุติยภูมิของ Coupling coil จะต้องทนกระแสไฟฟ้าขนาดสูงที่ไหลผ่านวงจรจ่ายกำลังทางด้านขาออกได้ด้วย วงจรกำเนิดศักดาไฟฟ้าแรงสูง ความถี่สูง แสดงให้เห็นดังรูปที่ 3.19

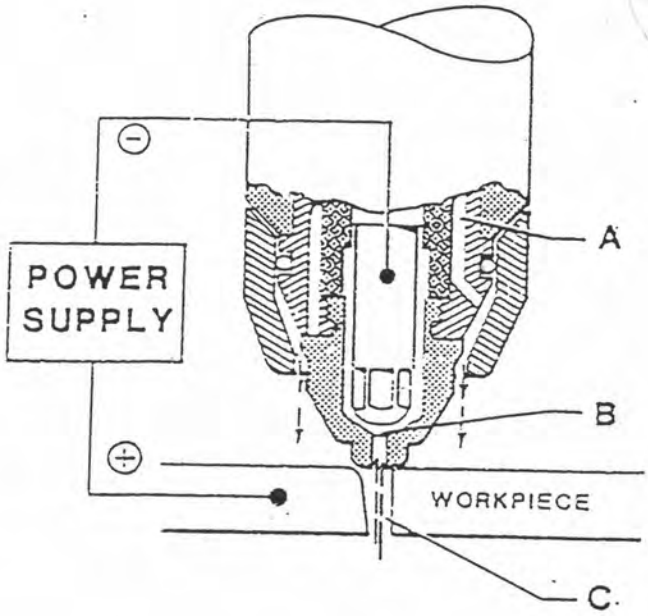


รูปที่ 3.19 แสดงวงจรที่ใช้สร้างต้นกำเนิดศักดาไฟฟ้าแรงสูง ความถี่สูง

3.6 <u>หัวคบพลาสมา (Torch)</u>

วัสดุที่นิยมนำมาใช้เป็นขั้วไฟฟ้าในต้นกำเนิดอาร์คพลาสมามี 3 ชนิด คือ ทังสเตน ทองแดงและแกรไฟต์ ตามปรกติจะใช้ทังสเตนเป็นขั้วไฟฟ้าลบ และทองแดงเป็นขั้วไฟฟ้าบวก ทังสเตนที่ใช้จะเป็นโลหะบริสุทธิ หรือจะมี ทอเรียม หรือ เซอร์โคเนียปนอยู่ก็ได้ เหตุที่นิยมใช้ทังสเตนเป็นขั้วไฟฟ้า เพราะทังสเตนมีคุณสมบัติให้อิเลคตรอนเมื่อได้รับความร้อน (Thermionic emission) ได้ง่ายและมีจุดหลอมตัวสูง ส่วนทองแดงนั้นนิยมใช้เนื่องจาก นำความร้อน และนำไฟฟ้าได้ดี ข้อเสียของทองแดงคือมีจุดหลอมตัวต่ำ การใช้ทองแดงเป็นขั้วไฟฟ้า จึงต้องมีการระบายความร้อนให้พอเพียง หรือมีกลไกมาหมุนตรงบริเวณที่รอรับอาร์ค เพื่อกระจายความร้อนมิให้ได้รับมากเกินไปจนเกิดหลอมละลายได้ ถ้ากำลังไฟฟ้าที่ใช้ไม่สูงนัก จะใช้ก๊าซที่นำมาทำเป็นพลาสมาก๊าซ บางส่วนระบายความร้อนให้หัวคบพลาสมา การออกแบบลักษณะขั้วไฟฟ้ามีความสำคัญมากในการใช้งานต้นกำเนิดพลาสมา เนื่องจากการออกแบบที่ไม่เหมาะสม จะทำให้เกิดอาร์คไม่ทั่วถึง เป็นผลให้พลาสมาที่เกิดขึ้นไม่มีเสถียรภาพ โดยปรกติจะออกแบบให้ขั้วไฟฟ้าด้านหนึ่งมีลักษณะเป็นแท่ง อีกด้านหนึ่งเป็นวงแหวน หรือรูปทรงกระบอก ดังรูปที่ 3.20 พลาสมาก๊าซจะผ่านเข้ามารอบ ๆ ขั้วไฟฟ้าผ่านอาร์ค แล้วพุ่งผ่านรูของขั้วไฟฟ้า ที่เจาะไว้ออกไปด้านนอก (Zone A) เพื่อเป็นการระบายความร้อนออกจากคบพลาสมา ส่วนหนึ่งจะผ่านบริเวณที่มีช่องว่างระหว่างขั้วไฟฟ้าทั้ง 2 (Gap) น้อยที่สุด (Zone B) ใน Zone C นั้นเป็น Zone ที่ก๊าซถูกเปลี่ยนสถานะเป็นพลาสมาโดยสมบูรณ์ และอุณหภูมิที่สูงของพลาสมาที่เกิดขึ้นได้ถูกส่งผ่านไปยังชิ้นงาน.

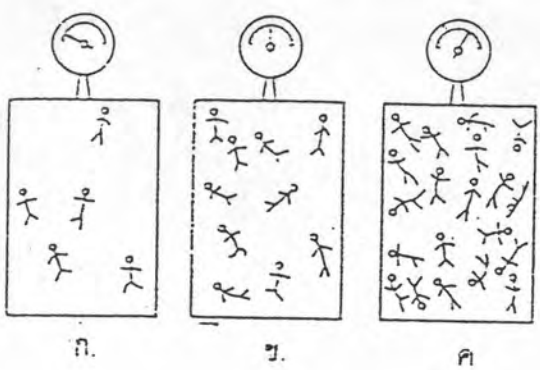
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 3.20 แสดงหัวคบพลาสมา

3.7 <u>เครื่องอัดอากาศ</u> (Air compressor) (ดร. หริส สูตะบุตร, 2526)

ในส่วนที่ 7 ของ Block diagram แหล่งจ่ายกำลังแบบสวิตชิงของเครื่องตัดโลหะแบบพลาสมา ในรูปที่ 3.3 จะเป็นส่วนที่ทำหน้าที่ผลิตลม เพื่อที่จะนำมาใช้เป็นพลาสมาก๊าซ เราจะเรียกอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่ผลิตลมนี้ว่า เครื่องอัดอากาศ (Air compressor) โดยที่เครื่องอัดอากาศนี้จะเป็นเครื่องที่ทำหน้าที่เพิ่มความดันของอากาศ หรือก๊าซให้สูงขึ้น โดยที่ความดันของก๊าซ จะมีผลโดยตรงกับอุณหภูมิของก๊าซ นั้นคือ เมื่อความดันของก๊าซเพิ่มขึ้น อุณหภูมิของก๊าซก็จะเพิ่มด้วยเช่นกัน เราสามารถอธิบายได้จากรูปที่ 3.21 ก., ข. และ ค.



รูปที่ 3.21 แสดงโมเลกุลและความดันของก๊าซ

จากรูปที่ 3.21 ก. แสดงภาพของโมเลกุลในบรรยากาศ โมเลกุลเคลื่อนที่แต่ความเร็วไม่สูง ดังนั้นแรงกระแทกผนังจึงน้อย เข็มความดันจึงขึ้นน้อย รูป 3.21 ข. แสดงภาพของโมเลกุลในบรรยากาศ เมื่อมีอุณหภูมิสูงขึ้น โมเลกุลจะเคลื่อนที่รวดเร็วขึ้น จึงทำให้แรงกระแทกสูงขึ้น เข็มความดันจึงสูงขึ้น และถ้าเปิดภาชนะโมเลกุลก็จะออกมาจากภาชนะ ในรูปที่ 3.21 ค. ก๊าซถูกอัด ความหนาแน่นสูงขึ้น ทำให้เกิดแรงกระแทกสูง กระทำกับผนัง มีผลทำให้ความดันสูงขึ้น

คุณสมบัติทางกายภาพของอากาศ ก่อนที่จะถูกอัดจากเครื่องอัดอากาศนั้นจะประกอบด้วย 1 ส่วนอ๊อกซิเจน และ 4 ส่วนไนโตรเจนโดยปริมาตร ซึ่งรายละเอียดขององค์ประกอบของอากาศแสดงดังตารางที่ 3.4

องค์ประกอบของอากาศ	ไนโตรเจน (N_2)	ออกซิเจน (O_2)	อาร์กอน (Ar)	คาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2)	ไอน้ำ ฝุ่น น้ำมัน ฯลฯ
ร้อยละโดยปริมาตร (%)	79.09	20.95	0.93	0.03	มีบ้าง
ร้อยละโดยน้ำหนัก (%)	75.53	23.14	1.28	0.05	มีบ้าง

ตารางที่ 3.4 องค์ประกอบของอากาศ

ถ้าคิดอย่างละเอียดแล้วจะพบว่า อากาศเป็นก๊าซผสมซึ่งประกอบด้วย ไนโตรเจน ออกซิเจนและ ก๊าซเฉื่อย ดังนั้นจากการศึกษา พบว่าอากาศที่ผ่านการอัดด้วยเครื่องอัดอากาศ (Air Compressor) มีความเหมาะสมอย่างยิ่งที่เราจะนำมาเป็น พลาสมาก๊าซ สำหรับเป็นต้นกำเนิดความร้อน และสำหรับงานวิจัยนี้จะใช้พลาสมาก๊าซจากเครื่องอัดอากาศที่ความดันประมาณ 3.1 - 6.5 บาร์ ที่อัตราการไหลของก๊าซอย่างน้อย 114 lpm.

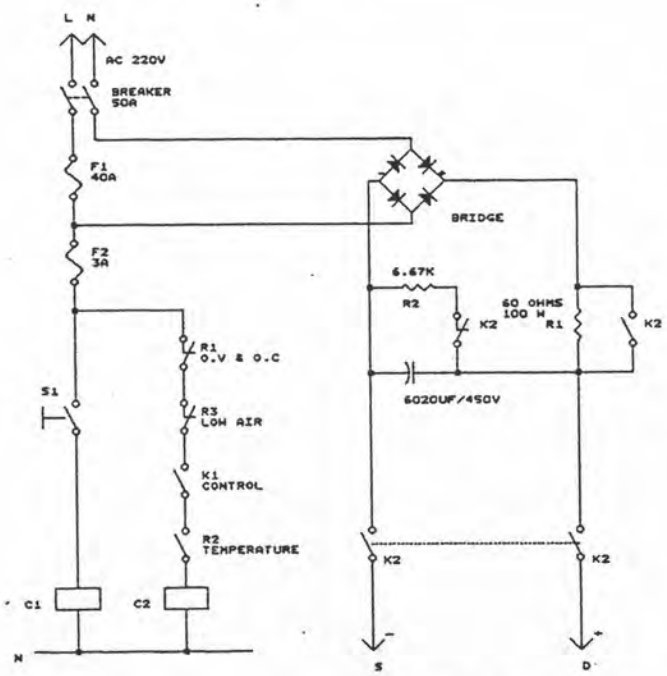
3.8 <u>การควบคุมลำดับการทำงานของระบบ</u>

ในส่วนที่ 8 ของ Block diagram (รูปที่ 3.3) แหล่งจ่ายกำลังแบบสวิตชิงของเครื่องตัดโลหะแบบพลาสมา จะเป็นวงจรควบคุม ในส่วนของการจัดลำดับการทำงานของระบบไฟฟ้าและระบบของก๊าซที่นำมาใช้เป็นพลาสมาก๊าซ เพื่อให้เกิดความสอดคล้องกับความสัมพันธ์ของระบบไฟฟ้า และการควบคุมการเกิดอาร์คพลาสมา ตลอดจนการระบายความร้อนออกจากหัวคบพลาสมา (Torch) ได้ในเวลาที่เหมาะสม อีกทั้งยังต้องมีส่วนแสดงสถานะการทำงานของระบบเพื่อให้ผู้ปฏิบัติงานสามารถที่เรียนรู้การทำงานของเครื่อง และใช้งานได้ถูกต้อง มีประสิทธิภาพมากขึ้น

3.8.1 ระบบแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้า

ในการควบคุมการจ่ายกำลังไฟฟ้า เพื่อให้ป้อนเข้าสู่ระบบของเครื่องแหล่งจ่าย

กำลังแบบสวิตชิง ของเครื่องตัดโลหะแบบพลาสมานั้น สามารถแสดงให้เห็นดังรูปที่ 3.22



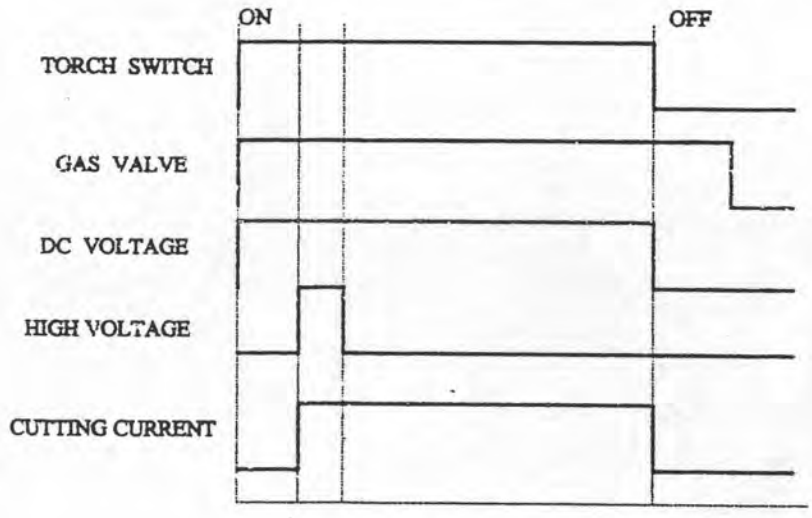
รูปที่ 3.22 แสดงให้เห็นส่วนของการควบคุมการจ่ายกำลังไฟฟ้า ของแหล่งจ่ายกำลังแบบสวิตชิงของเครื่องตัดโลหะแบบพลาสมา

จากรูปที่ 3.22 แสดงให้เห็นถึงส่วนของวงจรควบคุมระบบแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้าเข้าสู่แหล่งจ่ายกำลังแบบสวิตชิง ของเครื่องตัดโลหะแบบพลาสมา แรงดันไฟฟ้าขนาด 220 โวลต์ 50 เฮิรตซ์ จะถูกป้อนเข้าสู่ระบบโดยผ่านเซอร์กิตเบรกเกอร์ขนาด 50 แอมป์ แรงดันไฟฟ้านี้จะถูกแบ่งเป็น 2 ส่วน คือส่วนของวงจรควบคุม และส่วนของวงจรกำลังโดยในส่วนของวงจรภาคกำลังจะมีฟิวส์ F1 ขนาด 40 แอมป์ เป็นส่วนป้องกันขณะเกิดการลัดวงจรในภาคกำลัง ในคอลัมน์ที่ 1 ของวงจรควบคุม จะมีสวิตช์ S1 และ C1 โดยที่ S1 เป็นสวิตช์ควบคุมการทำงานในภาควงจรควบคุมส่วน C1 เป็นขดลวดสร้างสนามแม่เหล็กของรีเลย์ช่วยซึ่งจะมีคอนแทคปรกติเปิดอยู่ในคอลัมน์ที่ 2 ของวงจรควบคุม กล่าวคือ ถ้าต่อวงจรของสวิตช์ S1 จะทำให้มีแรงดันครบวงจรในส่วนของขดลวดสร้างสนามแม่เหล็กของรีเลย์ C1 มีผลทำให้คอนแทคปรกติเปิดของรีเลย์ C1 และในคอลัมน์ที่ 2 ในวงจรควบคุมต่อวงจร ในคอลัมน์ที่ 2 ของวงจรควมคุม จะมีคอนแทคต่ออนุกรมกันอยู่ 4 ชุดด้วยกัน ทั้งนี้เพื่อเป็นการป้องกันไม่ให้ขดลวดสร้างสนามแม่เหล็ก C2 ทำงาน ถ้าสภาวะของอุณหภูมิของขดลวดที่ใช้พันหม้อแปลง ความดันของลม ไม่อยู่ในสภาวะปรกติ แรงดันที่ป้อนเข้าสู่ระบบสูงเกินพิกัด และกระแสที่ใช้งานสูงเกินพิกัดก็จะทำให้ขดลวดสร้างสนามแม่เหล็ก C2 ไม่ทำงานด้วยเช่นกัน ในส่วนของวงจรในภาคกำลัง จะมีไดโอดต่อแบบบริดจ์ ทำ

หน้าที่เป็นวงจรเรียงกระแสจากแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับให้เป็นไฟฟ้ากระแสตรง ซึ่งมีค่าโดยเฉลี่ยประมาณ 310 โวลต์ แรงดันที่ผ่านวงจรเรียงกระแสจะถูกกรองด้วยตัวเก็บประจุโดยมี R1 เป็นตัวต้านทานจำกัดกระแสในสภาวะเริ่มต้นทำงาน และตัวต้านทาน R2 จะเป็นตัวคายประจุให้กับตัวเก็บประจุในสภาวะเลิกการทำงาน โดยการอาศัยการต่อวงจรของคอนแทคแบบปรกติเปิดของรีเลย์ C2 ในสภาวะทำงาน จะทำให้มีแรงดันประมาณ 310 โวลต์ พร้อมที่จะต่อเข้าไปในส่วนของวงจรแปลงผันไฟตรง-ไฟตรง แบบบริดจ์เต็มรูป ในขณะเดียวกันนี้ในส่วนของวงจรขับนำมอสเฟตกำลังก็พร้อมที่จะอยู่ในสภาวะทำงาน ทั้งนี้เพราะคอนแทคแบบปรกติเปิดของรีเลย์ C1 จะทำการต่อแหล่งจ่ายไฟเลี้ยงให้กับวงจรในส่วนที่ทำหน้าที่สร้างสัญญาณขับนำสวิตช์ด้วยเช่นกัน ในสภาวะปรกติขณะที่ยังไม่ทำการกดสวิตช์ที่หัวคบพลาสมา เพื่อทำการกระตุ้นแหล่งกำเนิดแรงดันสูง ที่ความถี่สูง ทำให้เกิด Pilot Arc เพื่อทำการอาร์คพลาสมาที่ใช้สำหรับการตัดโลหะที่แรงดันทางด้านขาออกของวงจรแหล่งจ่ายกำลังแบบสวิตชิงของเครื่องตัดโลหะแบบพลาสมา จะมีแรงดันประมาณ 250 โวลต์

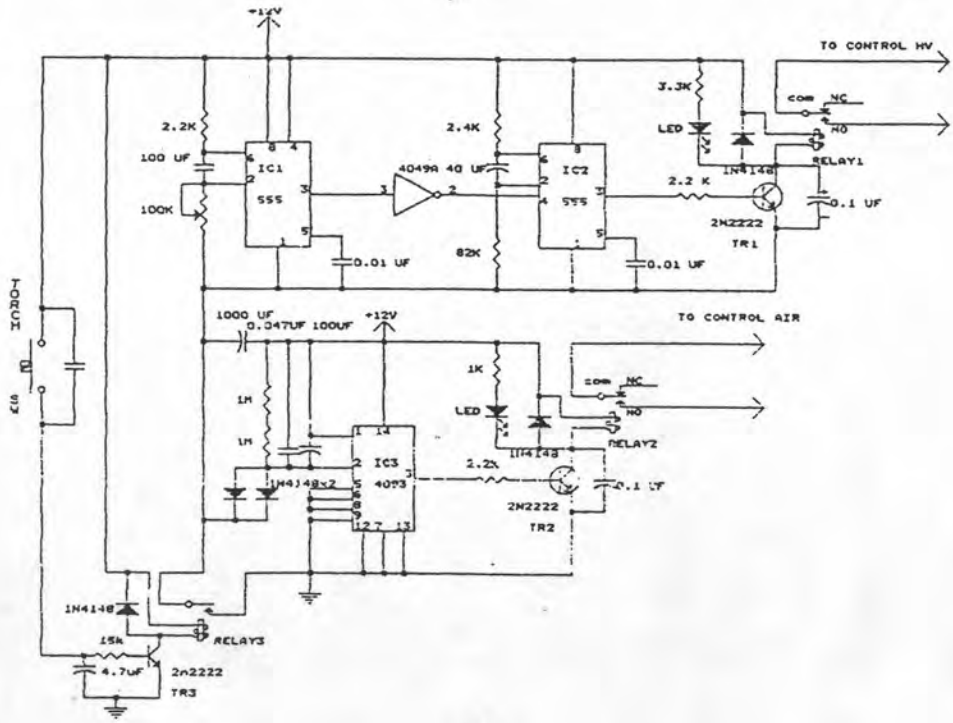
3.8.2 การกำหนดเวลาที่เหมาะสมในการกระตุ้นให้เกิด Pilot Arc

สำหรับการทำให้เกิด Pilot Arc เพื่อเป็นการกระตุ้นให้เกิดอาร์คพลาสมานั้นจะอาศัย Timing Diagram ดังต่อไปนี้ช่วยในการออกแบบดังแสดงในรูป 3.23



รูปที่ 3.23 แสดง Timing Diagram ของความสัมพันธ์ระหว่างลมและการกระตุ้นให้เกิดอาร์คพลาสมารวมทั้งการระบายความร้อน ออกจากหัวคบพลาสมาขณะเลิกใช้งาน

จาก Timing Diagram ในรูปที่ 3.23 จะแสดงให้เห็นถึงช่วงเวลาการทำงานของระบบลมและระบบการกระตุ้นให้เกิดอาร์คพลาสมา ด้วยแหล่งกำเนิดศักดาไฟฟ้าแรงสูงที่ความถี่สูง การทำงานของ Timing Diagram อธิบายได้ว่า ขณะที่จะเริ่มทำการจะตัดโลหะจะต้องทำการกดสวิตช์ที่หัวคบพลาสมา (Torch) ทันทีที่กดสวิตช์จะต้องมีการต่อระบบลมผ่านเข้าหัวคบพลาสมาเพื่อเป็นการไล่สิ่งสกปรก และความชื้นออกจากสายลมให้หมด ช่วงนี้จะใช้เวลาประมาณ 3 วินาที หลังจากผ่านช่วงนี้แล้วส่วนกำเนิดศักดาไฟฟ้าสูง ความถี่สูง จะถูกทำให้เกิดกระตุ้นการเกิดอาร์คพลาสมาเวลาช่วงนี้จะใช้เวลาประมาณ 1 วินาที หลังจากนั้น อาร์คพลาสมาหลักก็จะเกิดขึ้น พลาสมาที่เกิดขึ้นจะถูกส่งผ่านไปยังชิ้นงาน และเมื่อทำการปล่อยสวิตช์ที่หัวคบพลาสมา ลมจะยังคงไหลผ่านหัวคบพลาสมาอยู่เพื่อเป็นการระบายความร้อนออกจากหัวคบพลาสมา ขณะหลังจากการเลิกใช้งาน การออกแบบวงจรในส่วนนี้แสดงให้เห็นในรูปที่ 3.24



รูปที่ 3.24 แสดงวงจรที่ใช้ควบคุมการกำเนิดอาร์คพลาสมา

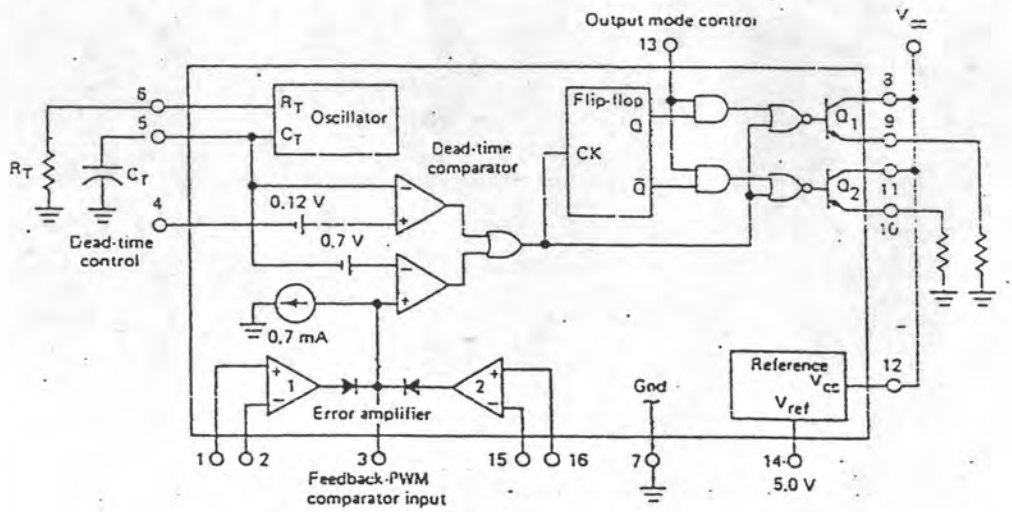
จากรูปที่ 3.24 สามารถที่จะอธิบายการทำงานของวงจรพอสังเขปดังต่อไปนี้ เมื่อทำการกดสวิตช์ที่อยู่ตรงหัวคบพลาสมา เพื่อที่จะทำการตัดโลหะ ในช่วงเวลานี้ TR3 ซึ่งเป็นทรานซิสเตอร์เบอร์ 2N2222 จะทำงาน มีผลทำให้ Relay 3 ในวงจรทำงาน คอนแทคแบบปรกติเปิดของ Relay 3 จะต่อไฟเลี้ยงให้กับวงจรทั้งหมด ดังนั้น Ic 3 ในวงจรซึ่งเป็นแนนเกทแบบ

ชมิททริกเกอร์ เบอร์ 4093 จะทำงานทันที มีผลทำให้มีแรงดันไปขับนำ TR2 ก็จะมีผลทำให้ Relay 2 ทำงานตามไปด้วย เราจะอาศัยคอนแทคแบบปรกติเปิดของ Relay 2 ไปต่อไฟเลี้ยงให้ Solinoid Valve ในส่วนปิด-เปิดลมให้เข้าสู่ระบบ ในเวลาเดียวกันที่ Relay 3 ทำงาน Ic 1 และ Ic 2 ก็จะทำงานไปด้วย โดยที่ Ic 1 และ Ic 2 จะถูกต่อเป็นวงจรโมโนสเตเบิ้ล สัญญาณที่ขา 3 ของ Ic 1 จะถูกใช้เป็นสัญญาณ Reset ของ Ic 2 ที่ขา 3 ของ Ic 2 จะมี TR1 ต่ออยู่และที่ขาคอลเลคเตอร์ของ TR1 จะมี Relay 1 ต่ออยู่ ถ้า TR 1 ทำงาน Relay 1 ก็จะทำงานด้วยเช่นกัน เราจะอาศัยคอนแทคแบบปรกติเปิดของ Relay 1 ไปมีส่วนทำให้วงจรในภาคกำเนิดศักดาไฟฟ้าแรงสูงที่ความถี่สูงทำงาน ช่วงเวลาการทำงานของ Ic 1 และ Ic 2 จะขึ้นอยู่กับค่าตัวต้านทานและตัวเก็บประจุที่ต่ออยู่ เมื่อทำการปล่อยสวิตช์ที่หัวคบพลาสมา มีผลทำให้ Relay 3 ตัดไฟเลี้ยงของวงจรทั้งหมดออก แต่ที่ TR2 จะยังคงทำงานอยู่อีกระยะหนึ่ง ขึ้นอยู่กับขนาดตัวเก็บประจุไฟฟ้าที่ต่ออยู่ที่ขา 1 และ 2 ของ Ic 3 มีผลทำให้ Solinoid Valve ของลมจะยังคงทำงานต่อไปอีกระยะหนึ่ง เพื่อเป็นการระบายความร้อนออกจากหัวคบพลาสมานั่นเอง

3.9 วงจรขับนำสวิตช์และการป้องกัน

3.9.1 วงจรกำเนิดสัญญาณ

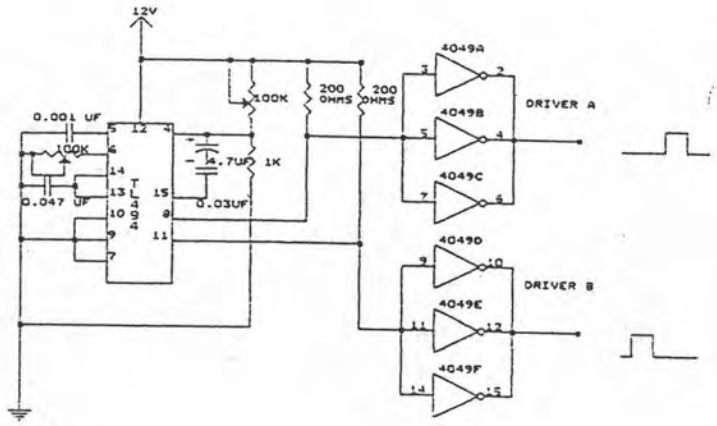
ในการกำเนิดสัญญาณรูปคลื่นสี่เหลี่ยม ในช่วงความถี่ 40 กิโลเฮิรตซ์ เพื่อใช้ในการควบคุมสวิตช์ ในวงจรแปลงผันไฟตรง-ไฟตรง แบบบริดจ์เต็มรูป จะใช้ไอซีหมายเลข TL494 ซึ่งนิยมใช้กันอยู่ทั่ว ๆ ไป ไอซีนี้กำเนิดสัญญาณรูปสี่เหลี่ยมมีวัฏจักรการทำงาน (Duty cycle) 50 เปอร์เซนต์สองสัญญาณในลักษณะคู่ประกอบ แผนภาพบล็อกของวงจรไอซีหมายเลข TL 494 และการต่อไอซีเป็นวงจรกำเนิดสัญญาณแสดงดังรูปที่ 3.25 และ 3.26 ตามลำดับ



รูปที่ 3.25 แสดงแผนภาพบล็อกวงจรไอซีหมายเลข TL 494

จากรูปที่ 3.25 ตัวต้านทาน RT และ CT ที่ต่อกับขา 5 และ 6 ของไอซีหมายเลข TL 494 ตามลำดับ เป็นตัวกำหนดความถี่ของสัญญาณสี่เหลี่ยมที่ต้องการ ซึ่งจะปรากฏที่ขา 8 และขา 11 โดยความถี่ของสัญญาณหาได้จากสมการที่

$$f = 1.1 / R_t C_t \qquad (3.19)$$



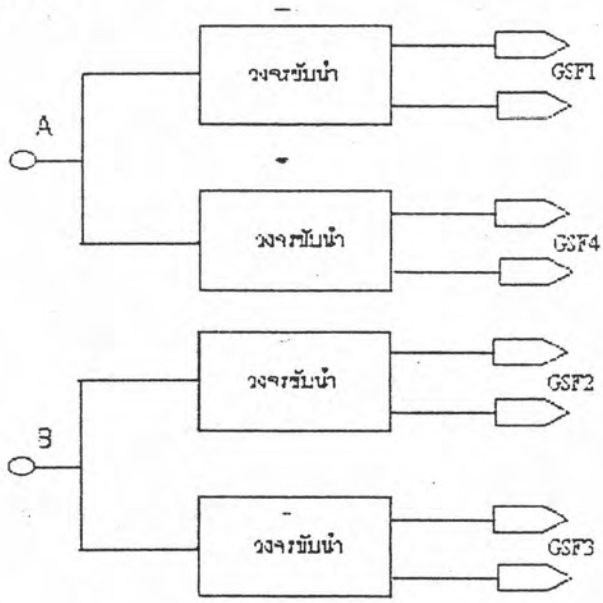
รูปที่ 3.26 วงจรกำเนิดสัญญาณสี่เหลี่ยมที่ใช้ในการควบคุมมอสเฟตกำลัง ในวงจร แปลงผันไฟตรง-ไฟตรง แบบบริดจ์เต็มรูป

เราต้องการความถี่ของสัญญาณเท่ากับ 40 กิโลเฮิรตซ์ เราจึงเลือกใช้ตัวเก็บประจุ CT = 0.001 ไมโครฟารัด และใช้ตัวต้านทานปรับค่าได้ขนาด 100 k เพื่อปรับหาค่าความถี่ให้ได้ตามต้องการ รูปคลื่นสัญญาณที่ปรากฏที่ขา 8 และขา 11 ของไอซี TL 494 จะมีลักษณะเป็น Complement กันและจะถูกกลับสัญญาณให้มีความเหมาะสม ก่อนที่จะต่อเข้ากับส่วนของวงจรขับนำเกทของมอสเฟตกำลังในวงจรแปลงผันไฟตรง-ไฟตรง แบบบริดจ์เต็มรูป การกลับสัญญาณจะใช้ไอซีเบอร์ 4049 ดังแสดงในรูปที่ 3.26

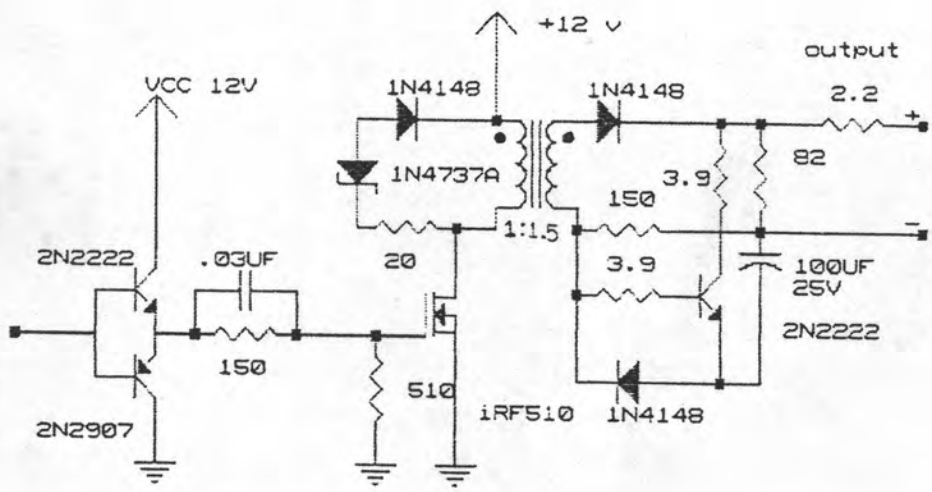
3.9.2 การออกแบบวงจรขับนำเกทแบบแยกโดดสำหรับมอสเฟตกำลัง

เนื่องจากวงจรบริดจ์เต็มรูปที่เลือกนำมาใช้งาน ในส่วนของวงจรแปลงผันไฟตรง-ไฟตรงนั้น จำเป็นต้องใช้มอสเฟตกำลังทั้งหมด 4 ตัว ทำหน้าที่เป็นสวิตช์ ดังรูปที่ 3.27 การทำงานของมอสเฟตกำลังนั้นจะทำงานพร้อมกันเป็นคู่ ๆ ในแนวทแยง นั้นคือ มอสเฟตกำลังคู่ที่ทำงานพร้อมกันคือ Sf1 และ Sf4 กับ Sf2 และ Sf3 ดังนั้นชุดขับนำเกทซอร์ซ จึงต้องมีจำนวนทั้งหมด

4 ชุด โดยทำงานพร้อมกัน 2 ชุด ในการขับนำเกทซอร์ซของมอสเฟตกำลังในวงจรแปลงผันไฟตรง-ไฟตรง ไม่สามารถที่จะอ้างอิงแรงดันที่ขาซอร์ซของมอสเฟตกำลังทุกตัวกับกราวด์ของสัญญาณไฟเลี้ยงในวงจรได้ทั้งหมด ดังนั้น จึงจำเป็นต้องแยกกราวด์ของสัญญาณไฟเลี้ยงออกจากสัญญาณไฟกำลัง ดังแสดงในรูป 3.26



รูปที่ 3.27 แสดงวงจรขับนำเกทแบบแยกโดดที่ใช้ในวงจรแปลงผันไฟตรง-ไฟตรงแบบบริดจ์เต็มรูป



รูปที่ 3.28 วงจรขับนำเกทที่มีการแยกโดดสำหรับมอสเฟตกำลัง

จากรูปที่ 3.28 เมื่อมีสัญญาณขับนำความถี่สูงป้อนให้แก่วงจรขับนำเกทและแยกโดด ในช่วงที่สัญญาณขับนำความถี่สูงมีแรงดันประมาณ 12 โวลต์ ทรานซิสเตอร์ 2N2222 จะสามารถนำกระแส ทำให้มอสเฟต IRF 510 สามารถนำกระแส และมีแรงดันขนาดประมาณ 12 โวลต์ตกตร่อมขดปฐมภูมิของหม้อแปลงขับนำ เนื่องจากอัตราการแปลงแรงดันของหม้อแปลงมีค่า 1:1.5 ทำให้ขณะเดียวกันที่ขดทุติยภูมิจะมีแรงดันตกคร่อมประมาณ 18 โวลต์ แรงดันที่ขดทุติยภูมิจะมีค่าขนาด 18 โวลต์ไปจนกระทั่งสัญญาณขับนำมีค่าประมาณศูนย์โวลต์ ทรานซิสเตอร์ 2N2222 จะหยุดนำกระแส ขณะเดียวกัน ทรานซิสเตอร์ 2N2907 จะนำกระแสดังนั้น มอสเฟต IRF 510 จะหยุดนำกระแส เนื่องจากมีแรงดันค่าลบตกคร่อมเกท และซอร์ซของมอสเฟต IRF 510 จากประจุที่สะสมอยู่ที่ตัวเก็บประจุขนาด 0.03 ไมโครฟารัด ในช่วงที่ทรานซิสเตอร์ 2N2222 นำกระแส เดิมขดปฐมภูมิของหม้อแปลงขับนำสามารถนำกระแสได้โดยผ่านมอสเฟตกำลัง IRF 510 แต่เมื่อมอสเฟต IRF 510 หยุดนำกระแส กระแสทำแม่เหล็กจะต้องพยายามไหลในทิศทางเดิมโดยไหลผ่าน ซีเนอร์ไดโอด ตัวต้านทาน และไดโอดที่ต่อขนานกับขดปฐมภูมิของหม้อแปลงขับนำในช่วงเวลานี้แรงดันคร่อมขดปฐมภูมิจะมีค่าเป็นลบ เนื่องจากความเหนี่ยวนำทำแม่เหล็กของหม้อแปลงขับนำจะเหนี่ยวนำให้แรงดันคร่อมตัวเองกลับทิศ กระแสจึงจะสามารถไหลผ่านซีเนอร์ไดโอด และไดโอดได้

ถ้าพิจารณาทางขดทุติยภูมิของหม้อแปลงขับนำ พบว่ามีแรงดันบวกและลบตกคร่อมเช่นเดียวกับขดปฐมภูมิ และมีอัตราการแปลงแรงดันเป็น 1:1.5 และสัญญาณที่เกิดจะมีความถี่เท่ากับความถี่ของสัญญาณขับนำ เนื่องจากที่ขดทุติยภูมิต่อไดโอดไว้ จึงมีกระแสไหลได้เฉพาะช่วงที่มีแรงดันบวก ถ้าพิจารณาจะพบว่าสัญญาณความถี่สูงที่มีเฉพาะไฟบวกจะผ่านตัวต้านทานขนาด 82 โอห์ม และตัวเก็บประจุขนาด 100 ไมโครฟารัด ตัวเก็บประจุดังกล่าวจะกรองเอาระดับไฟตรงออกและระดับไฟตรงดังกล่าวจะมีค่ามากน้อยเท่าใด ขึ้นอยู่กับวัฏจักรงานของสัญญาณขับนำ ถ้าวัฏจักรงานมีค่าต่ำ แรงดันคร่อมตัวเก็บประจุจะมีค่าต่ำ ถ้าวัฏจักรงานมีค่าสูงแรงดันที่คร่อมตัวเก็บประจุจะมีค่าสูงตาม ดังนั้นในช่วงที่สัญญาณขับนำมีค่าประมาณ 12 โวลต์ จะมีแรงดันที่ขาออกของวงจรขับนำที่ใช้ขับนำมอสเฟตกำลังเท่ากับ 18 โวลต์ ลบด้วยไฟตรงที่ตกคร่อมตัวเก็บประจุ ในช่วงเวลานี้จะมีสัญญาณออกจากวงจรขับนำไปขับนำมอสเฟตกำลัง แต่เมื่อสัญญาณขับนำมีค่าเป็นศูนย์โวลต์ แรงดันไฟลบที่ตกคร่อมทุติยภูมิจะไม่สามารถผ่านออกไปได้ เนื่องจากไดโอดที่ต่ออยู่ที่ขดทุติยภูมิจะถูกไบอัสกลับทาง ในขณะเดียวกันเนื่องจากตัวเก็บประจุที่กรองไฟตรงจะมีประจุสะสมอยู่ ตัวเก็บประจุนี้คายประจุผ่านตัวต้านทานขนาด 150 โอห์ม และตัวต้านทานขนาด 3.9 โอห์ม ทำให้ทรานซิสเตอร์ 2N2222 เริ่มนำกระแส ตัวเก็บประจุจึงคายประจุผ่านตัวต้านทานขนาด 82 โอห์ม ตัวต้านทานขนาด 3.9 โอห์ม และขา

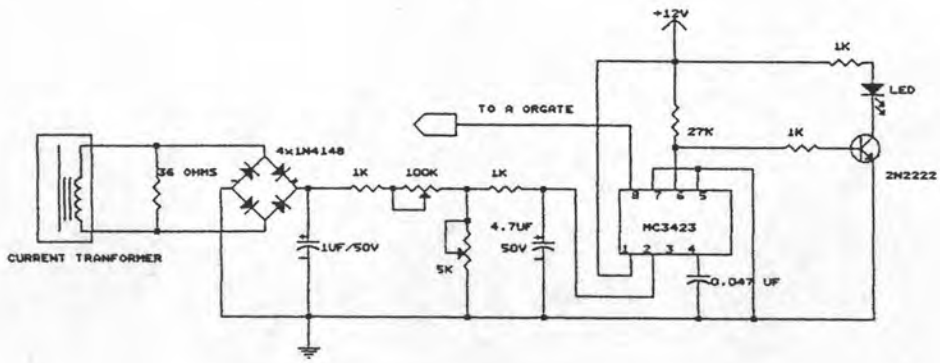
คอลเลคเตอร์ของทรานซิสเตอร์ 2N2222 อีกเส้นทางหนึ่ง ทำให้มีแรงดันไฟลบตกคร่อมที่สัญญาณขาออกของวงจรขับนำเกทเนื่องจากแรงดันคร่อมตัวเก็บประจุ ในช่วงเวลานี้มอสเฟตกำลังจะถูกสั่งให้หยุดนำกระแส

3.9.3 วงจรป้องกันและควบคุม

เนื่องจากอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำที่มีราคาแพง และเสียหายง่ายที่สุดในวงจร คือ มอสเฟตกำลัง ซึ่งต่อเป็นวงจรแปลงผันไฟตรง-ไฟตรง แบบบริดจ์เต็มรูป ในการป้องกันวงจร จุดประสงค์หลักก็เพื่อป้องกันมอสเฟตกำลังนี้ เนื่องจากมอสเฟตกำลังอาจเสียหายได้ จากกรณีที่มีกระแสไหลเกินขนาด ขณะนำกระแส หรืออาจเสียหายได้ เมื่อมอสเฟตกำลังได้รับแรงดันเกินในขณะหยุดนำกระแส วงจรป้องกันจึงแบ่งเป็น 2 ส่วน ดังนี้

3.9.3.1 วงจรป้องกันกระแสเกิน

วงจรส่วนนี้ทำหน้าที่ตรวจค่ากระแสที่ผ่านมอสเฟตกำลังว่าเกินขีดที่จำกัดหรือไม่ โดยถ้าเกินกว่าขีดจำกัดวงจรส่วนนี้จะส่งสัญญาณให้วงจรควบคุม เพื่อหยุดการขับนำมอสเฟตกำลังทุกตัว และตัดวงจรแปลงผันไฟตรง-ไฟตรง แบบบริดจ์เต็มรูป ออกจากแหล่งจ่ายไฟ การออกแบบจะอาศัยการตรวจสอบกระแสที่ผ่านขดปฐมภูมิของหม้อแปลงกำลังแทน ดังนั้นจึงได้ออกแบบวงจรป้องกันกระแสเกิน ดังรูปที่ 3.29



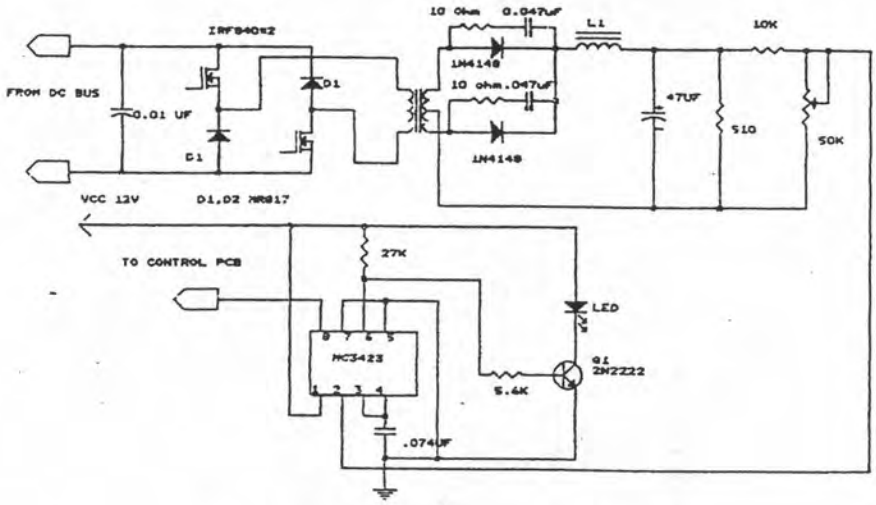
รูปที่ 3.29 แสดงวงจรป้องกันกระแสเกินของวงจรแปลงผันไฟตรง-ไฟตรง แบบบริดจ์เต็มรูป

จากรูปที่ 3.29 สามารถอธิบายได้ดังนี้คือ ในการตรวจวัดกระแสที่ผ่านขดปฐมภูมิของหม้อแปลงกำลัง จะใช้หม้อแปลงกระแสตรวจวัด เนื่องจากความถี่ของกระแสค่อนข้างสูง จึงเลือกใช้หม้อแปลง แกนเฟอร์ไรต์ แบบทอรอยด์ เบอร์ 22 โดยขดปฐมภูมิของหม้อแปลงกระแส คือ

กระแสที่ต้องการวัด ในทางปฏิบัติเพื่อความสะดวก จะให้กระแสที่ต้องการวัดคล้องผ่านหม้อแปลงกระแสจำนวน 1 รอบ ส่วนขดทุติยภูมิ จะใช้ลวด SWG # 31 พันให้มีจำนวนรอบเป็น 100 รอบ กระแสที่ผ่านขดทุติยภูมิของหม้อแปลงกระแส จะมีรูปร่างเช่นเดียวกับกระแสที่ผ่านขดปฐมภูมิของหม้อแปลงกระแส เพียงแต่มีขนาดลดลง 100 เท่า เนื่องจากอัตราการแปลงของกระแส เมื่อได้กระแสที่ต้องการวัดแล้วจะเปลี่ยนสัญญาณดังกล่าวให้เป็นแรงดัน โดยให้กระแสด้านขดทุติยภูมิของหม้อแปลงกระแสผ่านตัวต้านทานขนาด 30 โอห์ม 5 วัตต์ แรงดันที่คร่อมตัวต้านทานจะมีลักษณะเช่นเดียวกับกระแสที่ต้องการวัด จากแรงดันกระแสสลับที่ได้ จะผ่านวงจรเรียงกระแสแบบบริดจ์ และกรองให้เรียงโดยใช้ตัวเก็บประจุขนาด 1 ไมโครฟารัด เมื่อได้ระดับแรงดันไฟตรงแล้วจะแบ่งแรงดัน เพื่อทำการเปรียบเทียบด้วยตัวต้านทานปรับค่าได้ จากนั้นจะกรองด้วยวงจรกรองผ่านต่ำ สัญญาณที่ได้จะนำไปเปรียบเทียบ กับสัญญาณอ้างอิง โดยใช้ ไอซี เบอร์ 3423 (Motorola Linear / switchmode / Voltage Regulator Hand Book 1979) สัญญาณที่ต้องการเปรียบเทียบจะป้อนเข้าสู่ขา 2 ของไอซี 3423 เพื่อเปรียบเทียบกับแรงดันอ้างอิงภายในไอซี 3423 ที่มีขนาด 2.6 โวลต์ ถ้าสัญญาณที่ ขา 2 ของไอซี 3423 มีค่าสูงกว่าแรงดันอ้างอิงภายใน เป็นเวลานานกว่าช่วงเวลาที่หน่วงไว้ แรงดันที่ขา 6 ของไอซี 3423 จะเปลี่ยนสภาพจาก 12 โวลต์ เป็น 0 โวลต์ และที่ขา 8 ของไอซี 3423 จะให้สัญญาณที่เป็นพัลส์ออกมา 1 พัลส์ สัญญาณดังกล่าวจะถูกส่งไปยังวงจรควบคุม เพื่อคงสถานะสภาวะกระแสเกินไว้ เมื่อวงจรส่วนควบคุมได้รับสัญญาณ จะตัดไฟเลี้ยงที่ป้อนให้กับวงจรขับนำ จึงมีผลทำให้ มอสเฟตทุกตัวหยุดการทำงาน และตัดวงจรแปลงผันไฟตรง-ไฟตรง แบบบริดจ์เต็มรูปออกจากแหล่งจ่ายไฟที่ไอซี 3423 ตัวเก็บประจุที่ต่อที่ขา 3 และ 4 ขนาด 0.02 ไมโครฟารัด เป็นตัวเก็บประจุที่กำหนดช่วงเวลาที่ต้องการหน่วงไว้เพื่อป้องกันการลัดวงจร เนื่องจากมีสัญญาณรบกวนเข้าสู่วงจรในช่วงระยะเวลาสั้น ๆ ถ้าไม่มีการหน่วงเวลาวงจรป้องกันกระแสเกินจะส่งสัญญาณให้วงจรควบคุมทำงานทันที ซึ่งเป็นการป้องกันที่ผิดพลาด

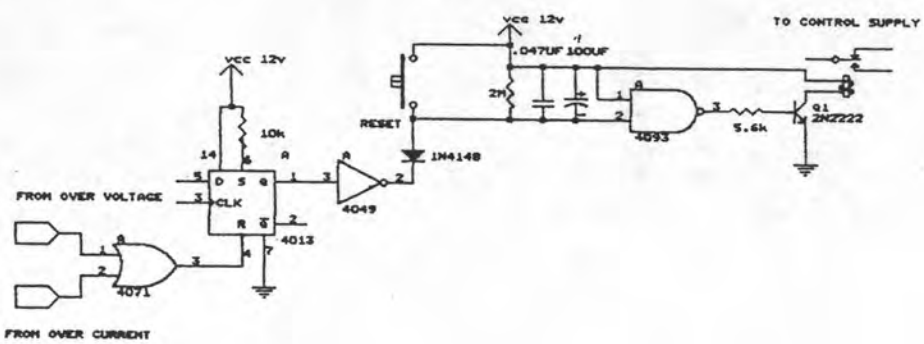
3.9.3.2 วงจรป้องกันแรงดันเกิน

ดังที่กล่าวมาแล้วว่า มอสเฟตกำลังอาจเสียงหายได้ ถ้าได้รับแรงดันเกินขีดจำกัดขณะหยุดนำกระแส จึงต้องมีวงจรป้องกันแรงดันเกิน ในการป้องกันแรงดันเกิน ได้ใช้วิธีการตรวจวัด จากแรงดันไฟตรงที่จ่ายให้กับวงจร แปลงผันไฟตรง-ไฟตรง แบบบริดจ์เต็มรูป ดังนั้นวงจรป้องกันในที่นี้ จะใช้วิธีการตรวจวัดแรงดันไฟตรงที่ป้อนเข้าวงจรแปลงผันไฟตรง-ไฟตรง แบบบริดจ์เต็มรูปโดยตรง ซึ่งจะเป็นการป้องกันที่รวดเร็ว เนื่องจากแรงดันไฟตรงที่ทำการตรวจวัดจะต่ออยู่กับแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ 1 เฟสที่ป้อนเข้าโดยตรง วงจรที่ใช้ในการป้องกันแรงดันเกิน แสดงให้เห็นได้ในรูปที่ 3.30



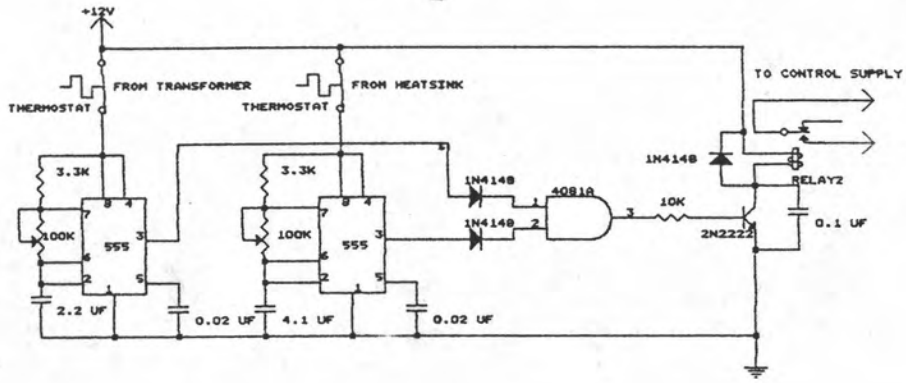
รูปที่ 3.30 แสดงวงจรป้องกันแรงดันเกิน

จากรูปที่ 3.30 เป็นวงจรตรวจวัดแรงดันไฟตรง โดยจะใช้วงจรแปลงผันไฟตรง-ไฟตรงแบบบริดจ์ไม่สมมาตร ซึ่งสร้างสัญญาณขับนำโดยใช้ไอซีเบอร์ 494 สัญญาณขับนำจะมีวัฏจักรงานที่ 40 เปอร์เซ็นต์ ที่ความถี่ 40 กิโลเฮิรตซ์ สัญญาณขับนำนี้จะส่งให้แก่วงจรขับนำเกทของมอสเฟต ที่มีสัญญาณออกสองสัญญาณ เพื่อไปขับนำ มอสเฟต IRF 840 ที่ต่อเป็นวงจรแบบบริดจ์ไม่สมมาตร โดยวงจรนี้จะทำการแปลงแรงดันที่ตรวจวัดให้มีค่าลดลงตามอัตราการแปลงของหม้อแปลงแยกโดด และวัฏจักรงาน สัญญาณที่ได้จะแยกโดดจากสัญญาณที่ตรวจวัด และสัญญาณที่ได้จะส่งไปเปรียบเทียบกับระดับแรงดันอ้างอิงที่ตั้งค่าเอาไว้ ถ้าระดับแรงดันไฟตรงที่ตรวจไว้มีค่ามากกว่า 340 โวลต์ เป็นเวลานานกว่าที่หน่วงเวลาไว้ วงจรป้องกันแรงดันเกินจะทำงาน โดยไอซี 3423 จะส่งสัญญาณที่เป็นพัลส์ออกมาที่ขา 8 สัญญาณที่เป็นพัลส์นี้ จะถูกส่งให้วงจรควบคุมคงสถานะไว้ และวงจรส่วนควบคุมจะตัดแหล่งจ่ายที่ป้อนให้กับส่วนที่สร้างสัญญาณขับนำมอสเฟตกำลังทั้งหมด ตลอดจนตัดแหล่งจ่ายไฟกระแสตรงที่ป้อนให้กับวงจรแปลงผันไฟตรง-ไฟตรง แบบบริดจ์เต็มรูปด้วย เป็นผลทำให้วงจรภาคกำลัง และมอสเฟตกำลังทุกตัวหยุดทำงานทันที แสดงดังรูปที่ 3.31

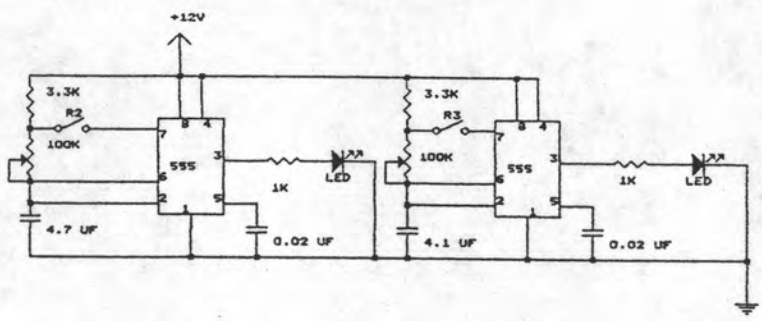


รูปที่ 3.31 แสดงวงจรควบคุมสัญญาณป้องกัน

นอกจากที่ได้มีการป้องกันทั้งแรงดันและกระแสเกินพิกัดแล้ว ยังได้ออกแบบให้มีการป้องกัน เนื่องจากอุณหภูมิสูงเกินขีดปลอดภัยอีกด้วย โดยที่ถ้าเกิดเหตุการณ์ที่ทำให้อุณหภูมิของขดลวดที่พันหม้อแปลง และความร้อนจากมอสเฟตกำลังสูงเกิน ก็จะทำให้ส่วนของวงจรในภาคกำลังหยุดทำงานทันที ดังแสดงให้เห็นดังรูปที่ 3.32 และในรูปที่ 3.33 แสดงวงจรเตือนเมื่อเกิดการผิดปรกติเกิดขึ้น เนื่องจากอุณหภูมิสูงเกินพิกัดหรือความดันของลมต่ำกว่าพิกัด



รูปที่ 3.32 แสดงวงจรป้องกัน เนื่องจากอุณหภูมิสูงเกินพิกัด



รูปที่ 3.33 วงจรแสดงสถานะการทำงานของเครื่อง เมื่ออยู่ในสภาวะผิดปรกติ