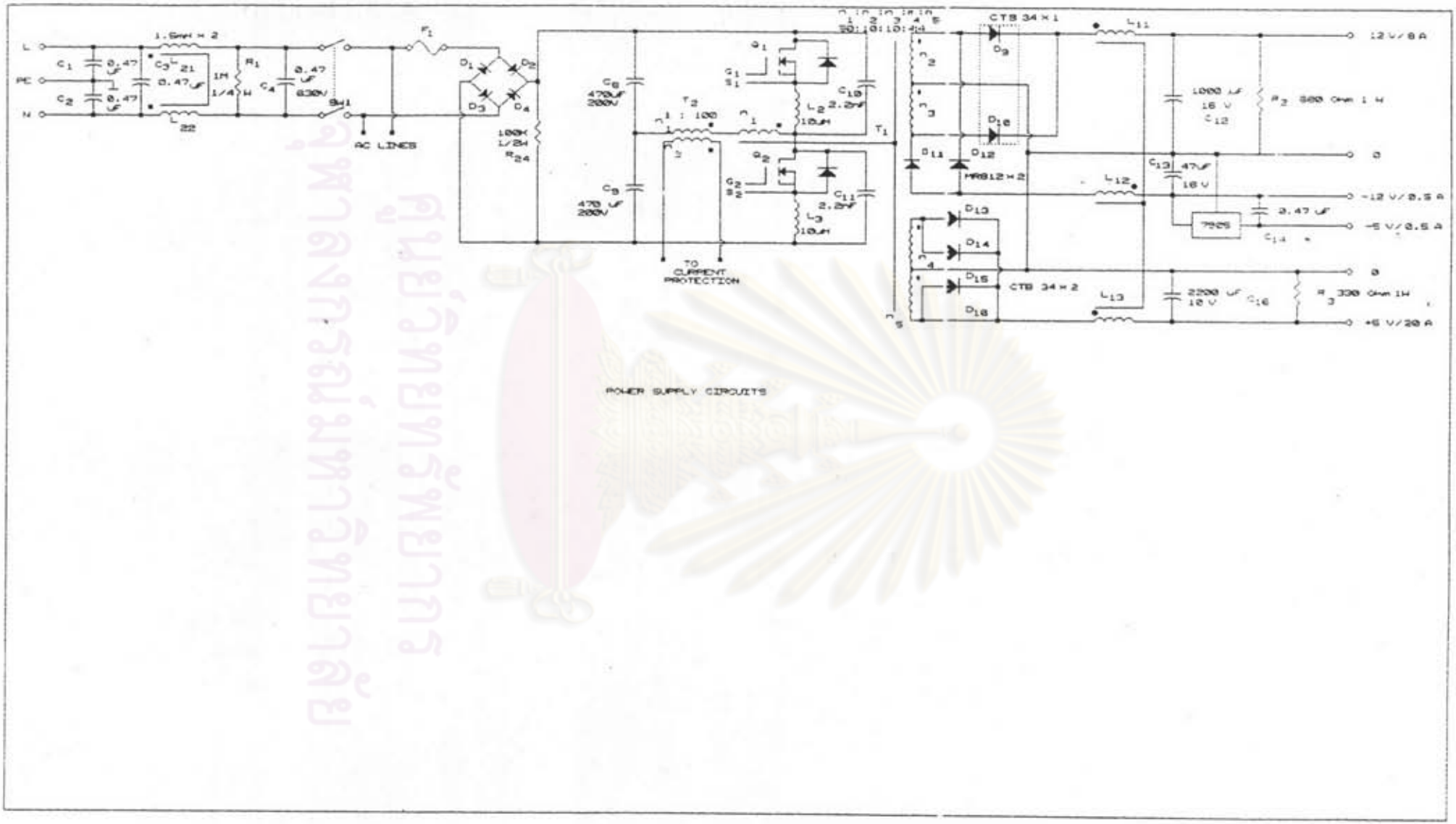
บทที่ 6

ภาควงจรกำลังของวงจรกิ่งบริดจ์ที่ใช้สวิตช์กระแสศูนย์

6.1 โครงสร้างของภาควงจรกำลัง

ภาควงจรกำลังนี้ จะประกอบไปด้วยวงจรเรียงกระแสและกรองไฟด้านเข้า วงจรแปลงผันกำลังหม้อแปลงความถี่สูง วงจรเรียงกระแสและวงจรกรองไฟภาคออกดังแสดงในรูปที่ 6.1

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 6.1 ภาควงจรกำลังของวงจรกิ่งบริดจ์ที่ใช้สวิตช์กระแสศูนย์

6.2 ข้อกำหนดในการออกแบบ

จากผลการทดสอบด้วยโปรแกรม LEC ในบทที่ผ่านมาวงจรกำลังจะออกแบบให้จ่ายพิกัดกำลังให้สอดคล้องกับขนาดของโหลดคือ คอมพิวเตอร์ ดังกล่าวในหัวข้อ 2.2 ได้ผลดี แต่ถ้าจะให้วงจรแปลงผันยังคงมีสภาวะทำงานยังมีกระแสแกว่งเป็นลบในสวิตช์เรโซแนนซ์ อาจต้องลดพิกัดลงเพื่อให้ประสิทธิภาพสูงขึ้นหรือเลือกพิจารณาประสิทธิภาพในช่วงโหลดเกือบถึงค่าสูงสุด

6.3 พิกัดการสูญเสียที่กำหนด

จากหัวข้อ 2.3 อุปกรณ์ต่าง ๆ ยกเว้นสวิตช์มอสเฟตมีกำลังสูญเสียรวม 34.0 W กระแสที่ไหลผ่านสวิตช์ในช่วงโหลดเต็มพิกัด ตามรูปที่ 5.16 โดยประมาณว่ากระแสผ่านสวิตช์เป็นฟังก์ชันไซน์ครึ่งคาบมีแอมพลิจูด I_m = 5 A ค่าสูญเสียเวลาช่วงนำกระแส T_{on} จะมีค่าประมาณ

$$P_{cond} = [(I_m/\sqrt{2})^2 \times T_{on} / (T)] R_{ds.on} \qquad (6.1)$$

$$= [(5/\sqrt{2})^2 \times 1.05 \times 10^{-6} / (1.75 \times 10^{-6})] 0.85$$

$$= 6.37 \quad W$$

(เลือกใช้มอสเฟตเบอร์ IRF 840 ที่มี $R_{ds.on}$ 0.85 ohms)

กำลังสูญเสียที่คาดล่วงหน้า = 34.0 + 6.37 W

= 40.4 W

(ในกรณีนี้ไม่คิดการสูญเสียในขณะสวิตช์เปลี่ยนสถานะ)

$$\text{ประสิทธิภาพเมื่อจ่ายโหลด 200 W} = \frac{200 \times 100}{200 \times 40.4} \%$$

$$= 83 \%$$

6.4 การออกแบบวงจรภาคขาเข้า

ในวงจรภาคขาเข้าประกอบด้วยวงจรกรองสัญญาณรบกวน , ฟิวส์ , ไดโอด จะเลือกใช้ค่าตามการออกแบบในหัวข้อ 2.4 , 2.5 , 2.6 เพราะพิกัดต่าง ๆ จะมีค่าเดียวกัน

6.5 พิกัดของสวิตช์มอสเฟต

กระแสอาร์เอมเอสผ่านมอสเฟต

$$I_{d,rms} = I_m (T_{on} / 2T)^{1/2} \quad (6.2)$$

$$= 5(1.05 \times 10^{-6}/2 \times 1.75 \times 10^{-6})^{1/2}$$

$$= 3.87 \text{ A}$$

กระแสเฉลี่ยผ่านมอสเฟต

$$I_{d,av} = 2 I_m T_{on} / \pi T \quad (6.3)$$

$$= (2 \times 5 \times 1.05 \times 10^{-6})/(\pi \times 1.75 \times 10^{-6})$$

$$= 1.9 \text{ A}$$

แรงดันตกคร่อมสวิตช์มอสเฟตจากการทดสอบด้วยโปรแกรม LEC ในบทที่ 5 จะรับแรงดันมีค่าไม่เกิน 340 V ในวงจรนี้เลือกใช้มอสเฟตเบอร์ IRF 840 ($I_{d(cont.)}$ = 8A, V_{dss} = 500 V)

6.6 ขนาดของตัวเหนี่ยวนำและตัวเก็บประจุในสวิตช์

จากหัวข้อ 5.3 จะใช้ $C_r/2$ =2.2 nF สองตัวแบ่งกันต่อคร่อมสวิตช์และตัวเหนี่ยวนำที่อนุกรมกันอยู่ เลือกใช้ตัวเก็บประจุชนิด MKP ที่มีพิกัดแรงดัน 2 kV

สำหรับตัวเหนี่ยวนำขนาด 10 μH ได้จากการพันลวดเบอร์ 23 SWG เส้นผ่าศูนย์กลาง

30 มม. จำนวนรอบ 15 รอบพัน 2 ชั้น โดยพันบนแกนอากาศ และตัวเหนี่ยวนำชุดบนและชุดล่างนำมาพันติดกัน โดยให้ฟลักซ์แม่เหล็กที่เกิดขึ้นมีทิศทางหักล้างกัน

6.7 พิกัดของไดโอดต่อขนานกลับทิศทาง และไดโอดกั้นกระแสลบผ่านมอสเฟต

ใช้ไดโอดกั้นกระแสลบผ่านมอสเฟตซึ่งมีเวลาฟื้นตัวเร็วกว่าไดโอดภายในของมอสเฟตมาต่ออนุกรมกับมอสเฟตเพื่อลดปัญหาการกระแสฟื้นตัวย้อนกลับ(reverse recovery current) อันเป็นเหตุให้เกิดการแกว่งของกระแสก่อนการหยุดนำกระแสของสวิตช์(การแกว่งเช่นนี้ทำให้เกิดการสูญเสียเพิ่มขึ้น) จึงเลือกใช้ไดโอดชอตต์กีเบอร์ MBR 1045 มีพิกัด Iaverage = 10 A V_{RRM} = 45 V โดยแรงดันเดินหน้า 0.72 V ที่กระแสเต็มพิกัด

สำหรับไดโอดต่อขนานกลับทิศทาง จะต้องเลือกให้มีเวลาฟื้นตัวน้อยกว่าไดโอดในมอสเฟต เลือกไดโอดเบอร์ MR 826 มีเวลาฟื้นตัว 0.2 μs โดยมีพิกัดกระแส 5A แรงดันที่ทนได้มีค่า 600 V

6.8 พิกัดแผ่นระบายความร้อนของสวิตช์

การสูญเสียของสวิตช์ในหัวข้อ 6.3 จะมีค่าประมาณไม่เกิน 10 W ซึ่งคิดจากสวิตช์ทั้งสองแล้ว ถ้าใช้แผ่นระบายความร้อน 1 W / ลูกบาศก์นิ้ว จะต้องใช้ขนาดแผ่นระบายความร้อนขนาด = (10 W) / (1 W /ลูกบาศก์นิ้ว)

= 10 ลูกบาศก์นิ้ว

ถ้าต้องการให้ขนาดของแผ่นระบายความร้อนเล็กลงต้องใช้การระบายความร้อนด้วยลมซึ่งมาเพิ่มปริมาตรรวมของอุปกรณ์อยู่ดี

6.9 การพิจารณาเลือกวงจรเรียงกระแสขาออก

จะเลือกใช้อุปกรณ์ต่าง ๆ เช่นเดียวกับหัวข้อ 2.9 คือใช้ไดโอดชอตต์กีเบอร์ CTB-34 พิกัด 30 A 45 V ชนิดโมดูลสองตัว สำหรับแรงดัน 12 V พิกัดโหลด 8 A

ด้านออก 5 V/20 A จะใช้โมดูล CTB-34 2 ชุดขนานกันเพื่อให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้น

ด้านออก -12 V/0.5 A จะใช้ไดโอดฟื้นตัวเร็วขนาด 1 A ใช้เบอร์ MR 812 หรือเบอร์อื่น ๆ ที่พิกัด 50 V ขึ้นไป

6.10 การคำนวณหาค่าตัวเหนี่ยวนำทางด้านออก

ด้านออก 5 V/20 A จากการกำหนดให้กระแสเปลี่ยนแปลงในตัวเหนี่ยวนำ Δi_L มีค่า 10 เปอร์เซ็นต์ $= 0.1\ I_o = 2$ A กระแสที่เปลี่ยนแปลงในตัวเหนี่ยวนำ ในช่วงสวิตช์หยุดนำกระแส

$$\Delta i_L = [V_o \times (T - T_{on})]/L$$

$$L = [V_o\ (T - T_{on})]/\Delta i_L \qquad (6.4)$$

เมื่อแรงดันด้านออก V_o มีค่า 5 V คาบเวลา 1 รอบของการสวิตช์ $T = 8 \times 10^{-6}$ s และคาบเวลานำกระแสของสวิตช์ $T_{on} = 1.05 \times 10^{-6}$ s

$$L_{13} = [5(8 \times 10^{-6} - 1.05 \times 10^{-6})]/2 \quad H$$

$$= 1.74 \times 10^{-5} \quad H$$

ด้านออก 12 V/8 A กระแสในตัวเหนี่ยวนำ $\Delta i_L = 0.8$ A จากสมการ (6.4)

$$L_{11} = [12(8 \times 10^{-6} - 1.05 \times 10^{-6})]/0.8 \quad H$$

$$= 104 \quad \mu H$$

L_{12} ที่แหล่งจ่าย -12 V / 0.5 A จะใช้ค่า 104 μH เช่นเดียวกับ L_{11} โดยพันอยู่บนแกน TRB 24 x 15 x 10(ชนิดความชันชาบแม่เหล็กต่ำเพื่อรับกระแสไฟตรงได้สูง) เดียวกัน เช่นเดียวกับหัวข้อ 2.11 จำนวนรอบของ L_{13} จะพัน 10 รอบได้ค่าประมาณ 10 μH

ใช้ลวดเบอร์ 20 SWG 2 เส้นขนานส่วนขดลวด L_{11} จะใช้ลวดเบอร์ 22 SWG 2 เส้นขนาน พัน 32 รอบได้ค่าประมาณ 104 μH สำหรับขด -12 V/0.5 A จะใช้ลวดเบอร์ 27 SWG พัน 32 รอบ ขดลวดทั้งสามชุดจะมีการพันลวดไปในทางเดียวกันคือ 12 V/8 A, 5 V/ 20 A และขดลวด -12/0.5 A ก็ต้องพันให้มีทิศทางกระแสเสริมกันด้วยเช่นกัน ซึ่งทำให้การคุมค่าไขว้ (cross regulation) ของไฟตรง 5 V/ 20 A และ 12 V/ 8 A ดีขึ้น

6.11 การคำนวณหาค่าตัวเก็บประจุด้านออก

ด้านออก 5V /20 A จากสูตร

$$C = T(\Delta i_L)/(8\,\Delta V_o) \qquad (6.5)$$

เมื่อ $T = 8 \times 10^{-6}$ S ; $\Delta i_L = 0.1\, I_o = 2$ A ; $\Delta V_o =$

$C_{10} = 8 \times 10^{-6}\,(2) / (8 \times 0.05)$ F

$= 40$ μF

เลือกค่า C_{10} ในทางปฏิบัติเลือกใช้ 100μF เพื่อชดเชย R ในวงจรสมมูลของตัวเก็บประจุอิเลคโตรไลต์

ด้านออก 12 V / 8 A จากสูตร (6.5)

$T = 8 \times 10^{-6}$ S ; $\Delta i_L = 0.1\, I_o = 0.8$ A

$C_{12} = 8 \times 10^{-6}\,(0.8) / (8 \times 0.12)$ F

$= 6.6$ μF

ในทางปฏิบัติเลือกใช้ C_{12} มีค่า 50 μF เพื่อชดเชย R ในวงจรสมมูลของตัวเก็บประจุอิเลคโตรไลต์

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

6.12 การออกแบบหม้อแปลง

ในการพิจารณาขั้นแรกเลือกพิจารณาสภาวะที่แรงดันไฟสลับด้านเข้าลดลงเหลือ 80 % ของค่าปกติ แรงดันไฟตรง V_s จะมีค่า

$$V_s = \sqrt{2}(220) \times 0.8$$

$$\simeq 240 \quad V$$

อัตราการแปลงผันแรงดันของวงจรแปลงผันกำลัง

$$V_o = (f_s/f_n) \times 1/n \qquad (6.6)$$

โดยที่ f_s คือความถี่การสวิตช์ f_n คือความถี่เรโซแนนซ์และ n คืออัตราการแปลงของหม้อแปลง [3] แรงดันเข้าหม้อแปลงทางด้านทุติยภูมิมีค่า V_s = 240 V และแรงดันตกคร่อมในหม้อแปลง, ตัวเหนี่ยวนำรวมมีค่า 1 V ขดลวดแรงดัน 5 V V_o จะมีพิกัดแรงดัน 6 V

อัตราการทำงานของหม้อแปลง จาก(6.6)

$$n_1 = (f_s/f_n) \times (V_s / V_{o1})$$

$$= (286 \times 10^3/758 \times 10^3) \times (240/6)$$

$$= 15$$

ใช้หลัก K_g approach จากสมการ (2.9) บทที่ 2

$$K_g = kWS^2 / t = \rho(p_t)^2 /[4(B_m)^2 (f_s)^2 P_{cu}]$$

P_t = 256 W, ρ = 1.724×10^{-8} ohms - m, B_m = 0.2 T

f_s = 125 kHz และ P_{cu} คิดจาก 1 % ของ P_t คือ 3 W

$$K_g = 1.724 \times 10^{-8} (256)^2 / [4(0.2)^2 (125 \times 10^3)^2 \times 3]$$

$$= 1.5 \times 10^{-13}$$

เลือกแกน SIEMENS ETD 34 [10] มีค่า W = 97.1 mm^2

S = 91.6 $mm.^2$ t = 78.6 mm. และ k = 0.3

$$(k_g)_{actual} = KWS^2 /t$$

$$= 0.3(97.1 \times 10^{-6}) (91.6 \times 10^{-6})^2 /78.6 \times 10^{-3}$$

$= 3.1 \times 10^{-12}$

k_p ที่ได้จากการเลือก ETD 34 มีค่าเป็น 21 เท่า ซึ่งเป็นผลดีคือทำให้แกนมีการสูญเสียไม่มากนัก เมื่อดูจากข้อมูลผู้ผลิตที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส ความถี่สวิตช์ 100 kHz จะใช้ B_{max} = 25 mT

ใช้หลัก A_p Approach หาจำนวนรอบในขดปฐมภูมิ N_1 [9]

$$N_1 = V_1/4\, B_m\, S\, f_s \qquad (6.7)$$

$= 120 /(4 \times 25 \times 10^{-3} \times 91.6 \times 10^{-6} \times 286 \times 10^{3})$

$= 46$ รอบ

เพื่อให้ B_{max} น้อยลงเลือก N_1 = 66 รอบ

ขดลวดชุด 5 V/ 20 A N_2

$N_2 = N_1 / n_1$

$= 66/15$

ใช้ $N_2 = 4.4$ รอบ

ขดลวดชุด 12 V/ 8 A N_4 ให้แรงดันออกมีค่า 14 V

$N_4 = (V_o / V_o) \times N_2$

$= (14/4.4) \times 3$

$= 9.5$ รอบ

ปรับ N_4 เป็น 10 รอบ จะได้ N_2 มีค่า

$N_2 = (V_{o2}/V_{o3}) \times N_4$

$= (6/14) \times 10$

$= 4$ รอบ

พื้นที่หน้าตัดของขดลวดปฐมภูมิ

$A_{w1} = k\,(W/2) / N_1$ ตร.มม.

$= 0.3\,(97.1/2) / 66$ ตร.มม.

$= 0.22$ ตร.มม.

พื้นที่หน้าตัดของขดลวดทุติยภูมิ ขดทุติยภูมิมี 2 ชุดแบบมีจุดกึ่งกลาง (center - tap) เมื่อคิดพื้นที่หน้าตัดต้องคิดจำนวนรอบเพิ่มเป็น 2 เท่า

ชุด 5 V

$A_{wa1} = K(W/4)/N_2 \times 2$

$= 0.3\ (97.1/4)/4 \times 2$

$= 0.9$ มม.^{2}

ชุด 12 V

$A_{wa2} = K(W/4)/N_3 \times 2$

$= 0.3\ (97.1/4)/10 \times 2$

$= 0.364$ มม.^{2}

หม้อแปลงที่ได้ขดลวดปฐมภูมิจะพันด้วยลวดเบอร์ 25 SWG ($A_w = 0.2027$ มม.^{2}) ขดทุติยภูมิสำหรับแรงดัน 5 V จะใช้ลวดเบอร์ 25 SWG พันขนานกัน 4 เส้นเพื่อให้กระแสไฟฟ้าไหลได้สะดวกดังกล่าวในบทที่ 2 ขดทุติยภูมิสำหรับแรงดัน 12 V จะใช้เบอร์ 25 SWG พันขนานกัน 2 เส้น

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย