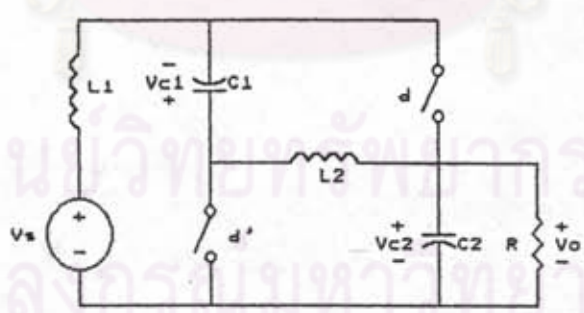
บทที่ 2
วงจรแปลงผัน 2 ทิศทาง

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.1 วงจรแปลงผันสองทิศทาง

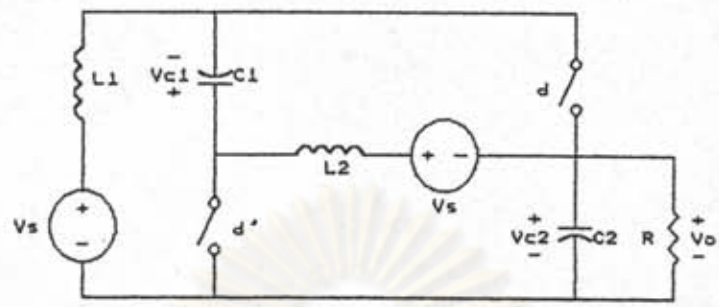
จากโครงสร้างของ UPS ที่ได้กล่าวมาแล้วนั้น จะเห็นว่าเราสามารถรวมวงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้ากระแสสลับเป็นไฟตรงกระแสตรง และวงจรอินเวอร์เตอร์ เข้าไว้ด้วยกัน โดยใช้วงจรแปลงผันสองทิศทาง โดยในภาวะที่ไฟฟ้าจากการไฟฟ้าเป็นปกติ วงจรนี้จะทำหน้าที่แปลงผันกำลังไฟฟ้ากระแสสลับเป็นไฟฟ้ากระแสตรง เพื่อใช้ในการประจุแบตเตอรี่ และในภาวะที่ไฟฟ้าจากการไฟฟ้าผิดปกติ วงจรจะทำหน้าที่เป็นอินเวอร์เตอร์แปลงผันกำลังไฟฟ้ากระแสตรงจากแบตเตอรี่เป็นไฟฟ้ากระแสสลับจ่ายให้กับโหลด

ลักษณะวงจรแปลงผัน 2 ทิศทางที่จะนำมาศึกษาเพื่อใช้เป็นโครงสร้างของ UPS นี้ดัดแปลงมาจากวงจร non-inverting buckboost [โคทม อารียา, 2534] ซึ่งมีลักษณะดังรูปที่ 2.1

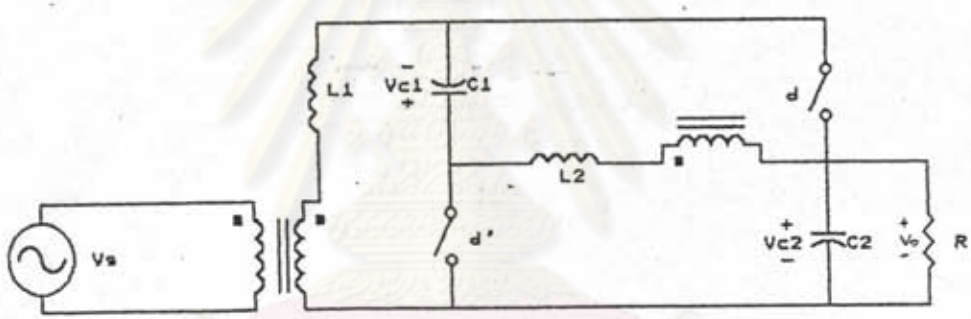


รูปที่ 2.1 วงจร non-inverting buck-boost ดัดแปลง

จากโครงสร้างของวงจรในรูปที่ 2.1 นำมาดัดแปลงให้ลักษณะของวงจรมีความสมมาตร โดยการเพิ่มแหล่งแรงดันเข้าไป ซึ่งจะมีโครงสร้างดังรูปที่ 2.2 และจากลักษณะวงจรที่สมมาตรนี้ เราสามารถทำการแยกโดด โดยใช้หม้อแปลงทำหน้าที่เป็นแหล่งแรงดันทั้ง 2 ดังรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.2 วงจร non-inverting buck-boost ตัดแปลงที่มีลักษณะสมมาตร



รูปที่ 2.3 วงจรแปลงผันสองทิศทางที่มีการแยกโดด

จากรูปที่ 2.3 วงจรจะมีอัตราการแปลงผัน ดังสมการ (2.1)

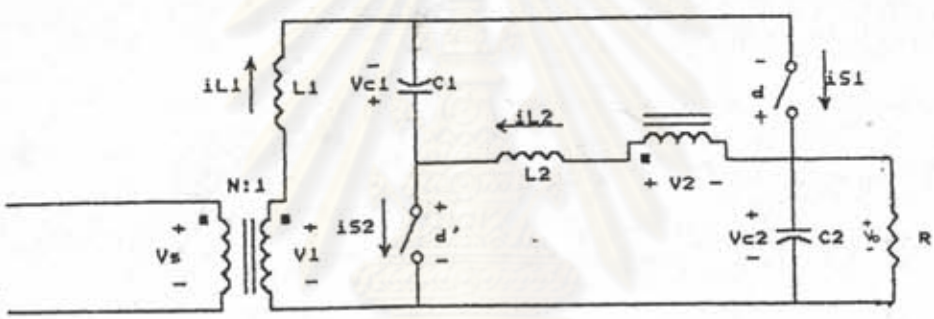
$$\frac{V_{C2}}{V_S} = \frac{1}{(2d-1)} \qquad (2.1)$$

จากอัตราการแปลงผัน จะสังเกตได้ว่า เราสามารถควบคุมให้วงจรทำการแปลงผันแรงดันไฟสลับ V_s ให้เป็นแรงดันไฟตรงที่ C_2 และในขณะเดียวกันก็สามารถที่จะทำการควบคุมวงจร ให้ทำการแปลงผันแรงดันไฟตรงที่ C_2 กลับไปเป็นแรงดันไฟสลับ V_s ได้เช่นเดียวกัน แสดงว่าวงจรรูปที่ 2.3 นี้สามารถนำมาทำเป็นโครงสร้างของ UPS ที่มีการรวมวงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้ากระแสสลับเป็นไฟฟ้ากระแสตรง และวงจรอินเวอร์เตอร์เข้าไว้ด้วยกันในวงจรเดียว

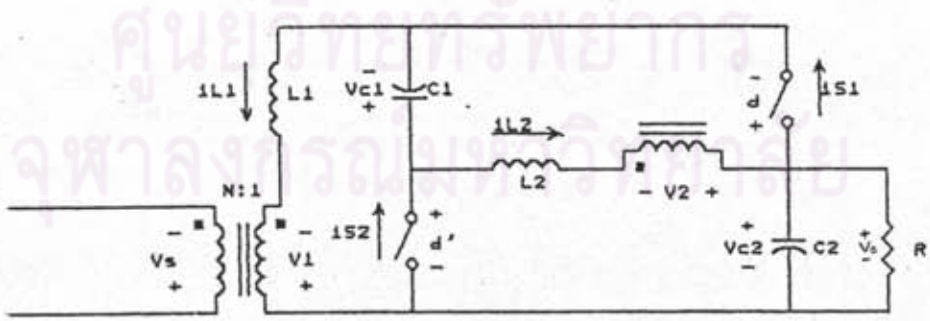
เราสามารถวิเคราะห์การทำงานของวงจรแปลงผันสองทิศทาง ที่มีการแยกโดดได้ดังนี้

2.2 วงจรแปลงผัน 2 ทิศทาง เมื่อทำหน้าที่แปลงผันกำลังไฟฟ้ากระแสสลับเป็นไฟฟ้ากระแสตรง

การทำงานของวงจรแปลงผันสองทิศทาง ที่ทำหน้าที่แปลงผันกำลังไฟฟ้ากระแสสลับเป็นไฟฟ้ากระแสตรง สามารถวิเคราะห์การทำงานได้ดังนี้ ในขณะที่แหล่งจ่ายแรงดันไฟสลับด้านเข้า (V_s) เป็นไฟทางด้านบวกจะมีลักษณะของแรงดันและกระแสต่างๆ ดังรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4ก เมื่อไฟสลับด้านเข้าเป็นขีกบวก



รูปที่ 2.4ข เมื่อไฟสลับด้านเข้าเป็นขีกลบ

รูปที่ 2.4 วงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้ากระแสสลับเป็นไฟฟ้ากระแสตรง

จากความสมดุล โวลต์.วินาที ที่ L_1

$$(v_1 + v_{c1})d'T = (v_{c2} - v_1)dT \quad (2.1)$$

$$v_1 = v_{c2}d - v_{c1}d' \quad (2.2)$$

จากความสมดุล โวลต์.วินาที ที่ L_2

$$(v_2 + v_{c2})d'T = (v_{c1} - v_2)dT \quad (2.3)$$

$$v_2 = v_{c1}d - v_{c2}d' \quad (2.4)$$

ทำการออกแบบให้

$$v_1 = v_2 = v$$

$$v_{c2}d - v_{c1}d' = v_{c1}d - v_{c2}d'$$

$$v_{c2} = v_{c1} \quad (2.5)$$

นำ(2.5) แทนลงใน (2.2) หรือ (2.4)

$$v = v_c(2d-1)$$

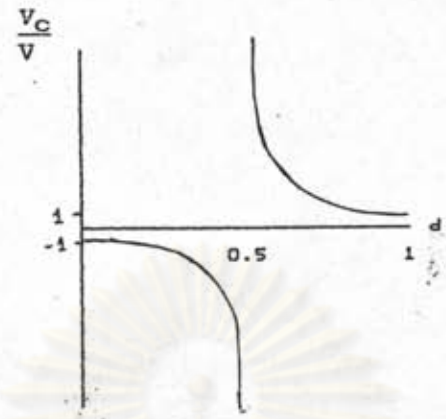
$$\frac{v_c}{v} = \frac{1}{(2d-1)} \quad (2.6)$$

เมื่อ d คือ วัฏจักรการทำงานของสวิตช์ S_1

v คือ แรงดันของขดทุติยภูมิทั้งสองของหม้อแปลง (v_1 หรือ v_2)

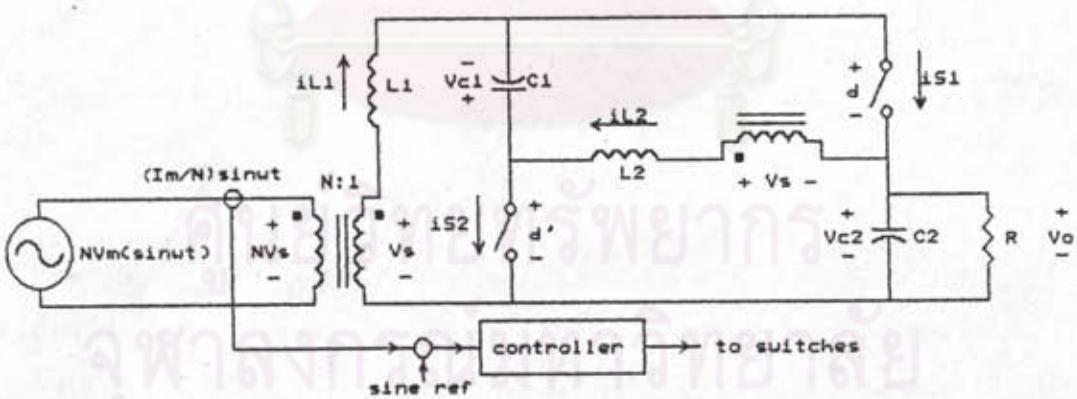
v_c คือ แรงดันของตัวเก็บประจุทั้งสอง (v_{c1} หรือ v_{c2})

การวิเคราะห์การทำงานเมื่อไฟสลับด้านเข้าเป็นไฟด้านลบดังรูปที่ 2.4 ข ทำได้ในลักษณะเดียวกันและได้ผลเหมือนกัน จากอัตราส่วนแรงดัน ในสมการ (2.6) จะมีลักษณะดังรูปที่ 2.5 จะเห็นได้ว่าเราสามารถควบคุมให้ แรงดันที่ตัวเก็บประจุทั้งสองเป็นไฟตรงได้ดังนี้ ในขณะที่ v_s เป็นไฟสลับด้านบวก ให้ควบคุมวัฏจักรการทำงานของสวิตช์ ให้มากกว่า 0.5 และถ้าเป็นไฟสลับด้านลบ ให้ควบคุมวัฏจักรการทำงานของสวิตช์ ให้น้อยกว่า 0.5 แสดงว่าวงจรนี้ สามารถแปลงผันกำลังไฟฟ้าสลับเป็นไฟฟ้ากระแสตรงได้ นอกจากนี้แล้วยังสามารถ



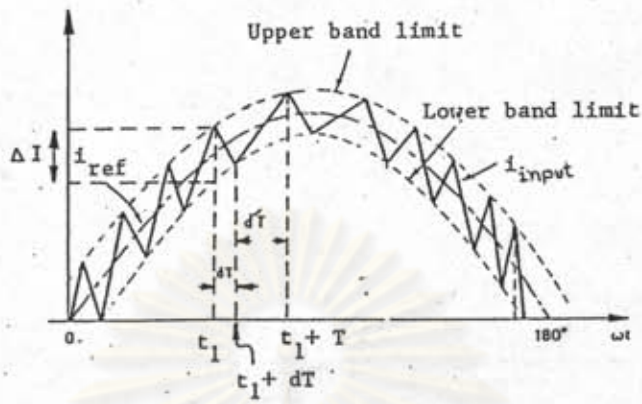
รูปที่ 2.5 อัตราส่วนของแรงดัน v_c กับ v

ที่จะควบคุมกระแสไฟสลับด้านเข้า ให้มีลักษณะเป็นรูปไซน์ และมีตัวประกอบกำลังใกล้เคียง 1 เพื่อลดผลเสียต่างๆ อันที่จะเกิดเนื่องจากการมีกระแสฮาร์มอนิก(ซึ่งจะกล่าวต่อไปใน บทที่ 5)



รูปที่ 2.6 วงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้ากระแสสลับเป็นไฟฟ้ากระแสตรง
ที่มีการควบคุมกระแสไฟสลับด้านเข้า

การควบคุมกระแสไฟสลับขาเข้า ให้มีลักษณะใกล้เคียงรูปไซน์นี้ ทำได้โดยการควบคุมผ่านกระแส L_1และL_2 โดยลักษณะของกระแส L_1 รวมกับกระแส L_2 ที่ถูกควบคุมจะเป็นดังรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 ลักษณะของกระแสที่ถูกควบคุมใน L_1 และ L_2

ในขณะที่แรงดัน V_s เป็นไฟสลับทางด้านบวก การควบคุมให้กระแสของ L_1 และ L_2 มีลักษณะดังรูปที่ 2.7 ได้นั้น วงจรจะต้องมีหลักการดังนี้

เมื่อสวิตช์ S_2 ทำงาน $V_{L1} = V_s + V_{C1}$ กระแสของ L_1 จะเพิ่มขึ้น

$V_{L2} = V_s + V_{C2}$ กระแสของ L_2 จะเพิ่มขึ้น

เมื่อสวิตช์ S_1 ทำงาน $V_{L1} = V_s - V_{C2}$ กระแสของ L_1 จะลดลง

$V_{L2} = V_s - V_{C1}$ กระแสของ L_2 จะลดลง

จากสมการข้างต้นจะเห็นว่ากระแสผ่าน L จะถูกควบคุมให้มีลักษณะตามที่ต้องการได้ แรงดันของตัวเก็บประจุทั้งสอง จะต้องมีค่าสูงกว่าแรงดันค่ายอดของแรงดันไฟสลับ v_1 และv_2 เพื่อที่จะสามารถควบคุมให้กระแสของ L_1 และ L_2 เพิ่มขึ้นหรือลดลงได้ ตามจังหวะการสวิตช์ และอยู่ในแถบความกว้างรอบๆค่ากระแสที่กำหนด ส่วนการวิเคราะห์ในขณะที่แรงดันเป็นไฟสลับทางด้านลบก็ให้ผลเช่นเดียวกัน

จากรูปที่ 2.6 ในขณะที่สวิตช์แต่ละตัวทำงาน เราสามารถเขียนสมการลักษณะของแต่ละอุปกรณ์ ได้ดังนี้

018478

เมื่อสวิตช์ S_1 ทำงานที่วัฏจักรการทำงาน d เมื่อสวิตช์ S_2 ทำงานที่วัฏจักรการทำงาน d'

$$L_1\frac{di_{L1}}{dt} = v_s - v_{c2} \qquad L_1\frac{di_1}{dt} = v_s + v_{c1}$$

$$L_2\frac{di_{L2}}{dt} = v_s - v_{c1} \qquad L_2\frac{di_2}{dt} = v_s + v_{c2}$$

$$C_1\frac{dv_{c1}}{dt} = i_{L2} \qquad C_1\frac{dv_{c1}}{dt} = -i_{11}$$

$$C_2\frac{dv_{c2}}{dt} = i_{L1} - \frac{v_{c2}}{R} \qquad C_2\frac{dv_{c2}}{dt} = -i_{L2} - \frac{v_{c2}}{R}$$

จากวิธี state space averaging [M. Mitchell,1988] สามารถเขียนสมการเฉลี่ยได้ดังนี้

$$L_1\frac{di_{L1}}{dt} = v_s - v_{c2}d + v_{c1}d' \tag{2.7}$$

$$L_2\frac{di_{L2}}{dt} = v_s - v_{c1}d + v_{c2}d' \tag{2.8}$$

$$C_1\frac{dv_{c1}}{dt} = i_{L2}d - i_{L1}d' \tag{2.9}$$

$$C_2\frac{dv_{c2}}{dt} = -i_{L2}d' + i_{L1}d - \frac{v_{c2}}{R} \tag{2.10}$$

2.2.1 <u>วัฏจักรการทำงาน</u> ถ้าทำการออกแบบตัวเหนี่ยวนำ L_1 ให้มีค่าเท่ากับ L_2 เราสามารถวิเคราะห์หาฟังก์ชัน ของวัฏจักรการทำงานของสวิตช์ได้โดย นำสมการ (2.7) รวมเข้ากับสมการ (2.8)

$$L\frac{d(i_{L1}+i_{L2})}{dt} = 2v_s + (1-2d)v_{c1} + (1-2d)v_{c2} \tag{2.11}$$
$$= 2v_s + 2(1-2d)v_c$$

โดยที่เราควบคุมกระแสด้านเข้าให้มีรูปใกล้เคียงไซน์เท่ากับว่าเรากำหนดให้

$$i_{L1} + i_{L2} = I_m \sin wt \tag{2.12}$$

ในขณะที่ไฟฟ้ากระแสสลับด้านเข้าเป็น $NV_m \sin wt$ ดังนั้น

$$v_s = V_m \sin wt$$

$$L\frac{d(I_m \sin wt)}{dt} = 2V_m \sin wt + 2(1-2d)v_c$$

$$wLI_m \cos wt = 2V_m \sin wt + 2(1-2d)v_c$$

$$d(t) = \frac{1}{2} + \frac{V_m \sin wt}{2v_c} - \frac{LwI_m \cos wt}{4V_c} \qquad (2.13)$$

ถ้าตัวเก็บประจุมีค่าความจุที่ใหญ่ ทำให้แรงดันกระเพื่อมของตัวเก็บประจุมีค่าน้อยมาก จะได้ว่า $v_c + \Delta v_c \simeq V_o$

$$d(t) = \frac{1}{2} + \frac{V_m \sin wt}{2V_o} - \frac{LwI_m \cos wt}{4V_o}$$

2.2.2 <u>รูปลักษณะกระแสของตัวเหนี่ยวนำ</u> กำหนดให้ค่าความจุของตัวเก็บประจุ C_1 มีขนาดเท่ากับค่าความจุของตัวเก็บประจุ C_2 จะได้ว่าสมการที่ (2.9) เท่ากับสมการที่ (2.10)

$$i_{L2}d - i_{L1}d' = -i_{L2}d' + i_{L1}d - \frac{V_{C2}}{R}$$

$$i_{L2} = i_{L1} - \frac{V_{C2}}{R} \qquad (2.14)$$

แก้สมการ (2.12) และ (2.14) จะได้

$$i_{L2} = \frac{I_m \sin wt}{2} - \frac{V_{C2}}{2R} \qquad (2.15)$$

$$i_{L1} = \frac{I_m \sin wt}{2} + \frac{V_{C2}}{2R} \qquad (2.16)$$

จะเห็นว่ากระแสผ่านตัวเหนี่ยวนำทั้ง 2 มีกระแสไฟตรงเป็นส่วนประกอบอยู่ด้วย แต่กระแสไฟตรงนี้จะไม่มีผลทำให้หม้อแปลงอิ่มตัวเพราะ กระแสไฟตรงที่ผ่านหม้อแปลงมี

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ทิศทางตรงข้าม ทำให้เกิดฟลักซ์ที่หักล้างกันหมด

2.2.3 <u>รูปลักษณะแรงดันของตัวเก็บประจุ</u> เราสามารถวิเคราะห์รูปลักษณะของแรงดันของตัวเก็บประจุทั้งสองได้ โดยการแทนค่าวัฏจักรการทำงาน และกระแสของตัวเหนี่ยวนำ ในสมการ 2.9 ซึ่งจะได้ว่า

$$C_1 \frac{dv_{c1}}{dt} = -\frac{v_{c2}}{2R} + \frac{I_m V_m \sin^2 wt}{2V_o} - \frac{LwI^2_m \sin wt \cos wt}{4V_o}$$

$$= -\frac{v_{c2}}{2R} + \frac{I_m V_m}{4V_o} - \frac{I_m V_m \cos 2wt}{4V_o} - \frac{LwI^2_m \sin 2wt}{8V_o}$$

ถ้าแรงดันกระเพื่อมมีค่าน้อยมากเมื่อเทียบกับแรงดันไฟตรง จะได้ว่า กำลังไฟฟ้าขาออก(P_{out})

$$P_{out} = \frac{V^2_o}{R}$$

และจากการควบคุมกระแสไฟสลับด้านเข้ามีลักษณะเป็นรูปไซน์ และมีตัวประกอบกำลังใกล้เคียง 1 มาก ดังนั้นกำลังไฟขาเข้า (P_{in})

$$P_{in} = \frac{V_m I_m}{2}$$

จากหลักของกำลังไฟฟ้าขาเข้าเท่ากับกำลังไฟฟ้าขาออก โดยถือว่ากำลังสูญเสียในวงจรแปรผันนี้มีค่าน้อยมาก จะได้ว่า

$$\frac{V_m I_m}{2} = \frac{V^2_o}{R}$$

ดังนั้นจะได้ว่า

$$C_1 \frac{dv_{c1}}{dt} = \frac{-I_m V_m \cos 2wt}{4V_o} - \frac{LwI^2_m \sin 2wt}{8V_o}$$

แรงดันกระเพื่อมของตัวเก็บประจุทั้งสองคือ

$$\Delta V_c = \frac{-V_o}{4CWR}\sin 2wt + \frac{LI^2_m}{16V_oC}\cos 2wt \qquad (2.17)$$

จากสมการแรงดันจะเห็นได้ว่าแรงดันกระเพื่อมของตัวเก็บประจุ C_1 และ C_2 จะมีลักษณะไฟตรง และมีแรงดันกระเพื่อมที่มีความถี่เป็น 2 เท่าของความถี่ของไฟสลับด้านเข้า แรงดันกระเพื่อมนี้ จะมีค่าน้อยลงเมื่อตัวเก็บประจุมีค่าใหญ่ขึ้น

2.2.4 <u>การออกแบบตัวความเหนี่ยวนำ</u> เราสามารถที่จะออกแบบค่าความเหนี่ยวนำให้เหมาะสมกับการทำงาน โดยการหาความสัมพันธ์ของค่าตัวเหนี่ยวนำกับการกระเพื่อมของกระแส(Δi_L)และความถี่(f) จากรูปที่ 2.6 ในช่วงเวลา d จะได้ว่า

$$L_2\frac{\Delta i_{L2}}{dT} = V_s - V_{c1}$$

$$= V_{c1}(2d-1) - V_{c1}$$

$$L_2\Delta i_{L2} = V_{c1}(2d^2-2d)T$$

เนื่องจากการทำการควบคุมการทำงาน โดยการควบคุมการกระเพื่อมของกระแสผ่านตัวเหนี่ยวนำ ดังนั้นการออกแบบค่าตัวเหนี่ยวนำ จะเป็นการออกแบบเพื่อกำหนดความถี่ และจากความสัมพันธ์ของค่าตัวเหนี่ยวนำกับความถี่ จะได้ว่าเมื่อวัฏจักรการทำงานเท่ากับ 0.5 จะเป็นความถี่สูงสุด(f_{max})ของการทำงาน

จะได้ความสัมพันธ์ของค่าความเหนี่ยวนำดังนี้

$$L = \frac{V_c}{2\Delta i_L f_{max}} \qquad (2.18)$$

การวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ของค่าตัวเหนี่ยวนำนี้ ในช่วงเวลา d' ก็ให้ผลเช่นเดียวกัน ดังนั้นการออกแบบตัวเหนี่ยวนำทั้งสองของวงจร สามารถหาได้ดังนี้

ค่าความเหนี่ยวนำ - การกระเพื่อมของกระแส Δi_L กำหนดจากแถบความกว้างของฮีสเตอรีซิสแล้ว การเลือกค่าความเหนี่ยวนำ ก็เพื่อกำหนดความถี่สูงสุดในการสวิตช์ เมื่อทนความถี่สูงสุดที่ต้องการ รวมทั้งแรงดันไฟตรงของตัวเก็บประจุลงในสมการ

2.18 ก็จะได้ค่าความเหนี่ยวนำ

พิกัดกระแส - ตัวเหนี่ยวนำนี้จะต้องสามารถ รับกระแสที่มีขนาดสูงสุดที่เกิดจากกระแสในสมการ 2.15 หรือ 2.16 รวมกับการกระเพื่อมของกระแส โดยที่ตัวเหนี่ยวนำยังไม่เกิดการอิ่มตัว

2.2.5 <u>การออกแบบตัวเก็บประจุ</u> แรงดันกระเพื่อมที่เกิดขึ้นที่ตัวเก็บประจุทั้งสองในสมการที่ 2.17 จะได้ว่า เขียนได้ใหม่ดังนี้

$$\Delta V_c = \frac{V_o}{4CWR}\sqrt{1+\frac{4V_m^2}{(LwI_m)^2}}\cos(2wt+\tan^{-1}\frac{2V_m}{LwI_m}) \qquad (2.19)$$

จากสมการ 2.19 เราสามารถหาค่าความจุของตัวเก็บประจุได้โดย

ค่าความจุ - ออกแบบได้โดยการกำหนดแอมพลิจูดแรงดันกระเพื่อมสูงสุดและแทนค่าอุปกรณ์ต่างๆลงในสมการ 2.19 แล้วหาค่าความจุ

พิกัดแรงดัน - ตัวเก็บประจุนี้จะต้องสามารถทนแรงดันสูงสุด ที่เกิดจากผลรวมของแรงดันไฟตรงที่ต้องการ(V_o) และแรงดันกระเพื่อม

2.2.6 <u>คุณลักษณะของส่วนประกอบต่างๆ เมื่อวงจรทำหน้าที่ในการปรับปรุงตัวประกอบกำลัง</u> เมื่อวงจรทำหน้าที่ปรับปรุงตัวประกอบกำลัง ให้แก่โหลดอื่นที่ต่ออยู่กับวงจร ดังนั้นกระแสไฟสลับที่ทำการควบคุมให้มีลักษณะรูปไซน์ จะเกิดจากผลรวมของกระแสของวงจรแปลงผันสองทิศทางและกระแสในโหลด(i_{load}) ดังนั้นกระแสที่ผ่านตัวเหนี่ยวนำ จะมีค่าเท่ากับกระแสไฟสลับด้านเข้าลบออกด้วยกระแสโหลด แทนค่ากระแสที่ผ่านตัวเหนี่ยวนำลงในสมการต่างๆที่ได้ทำการพิสูจน์ไว้แล้ว จะได้ว่าวงจรที่มีการปรับปรุงตัวประกอบกำลังด้วย จะมีวัฏจักรการทำงาน กระแสผ่านตัวเหนี่ยวนำ และแรงดันกระเพื่อมของตัวเก็บประจุดังนี้

$$d(t) = \frac{1}{2}+\frac{V_m\sin wt}{2V_o}-\frac{LwI_m\cos wt}{4V_o}+\frac{Ldi_{load}(t)}{4V_o dt} \qquad (2.20)$$

$$i_{L1} = \frac{I_m\sin wt}{2}+\frac{V_o}{2R}-\frac{i_{load}(t)}{2} \qquad (2.21)$$

$$i_{L2} = \frac{I_m\sin wt}{2}-\frac{V_o}{2R}-\frac{i_{load}(t)}{2} \qquad (2.22)$$

$$\frac{Cdv_c}{dt} = \frac{-V_m I_m \cos 2wt}{4V_o} - \frac{LwI^2_m \sin 2wt}{8V_o} - \frac{V_m \sin wt[i_{load}(t)]}{2V_o}$$

$$+\frac{LwI_m \cos wt[i_{load}(t)]}{4V_o} + \frac{Ldi_{load}(t)}{4V_o dt}[I_m \sin wt - i_{load}(t)] \qquad (2.23)$$

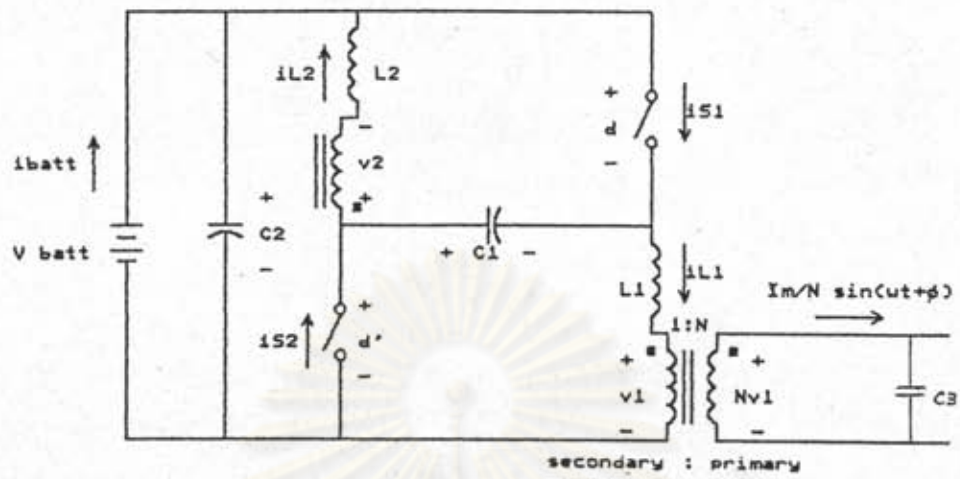
โดยการหาคุณลักษณะต่างๆนี้ เราจะต้องทราบความสัมพันธ์ของกระแสโหลดกับเวลา แล้วนำลงไปแทนในสมการ 2.21 และ 2.22 สำหรับการหาแรงดันกระเพื่อมนั้น ให้นำความสัมพันธ์ของกระแสโหลดกับเวลา แทนลงในสมการ 2.23 เพื่อทำการดิฟเฟอเรนชิเอตในพจน์สุดท้ายของสมการ และทำการอินทิเกรต

ผลการคำนวณคุณลักษณะต่างๆของวงจร เมื่อวงจรทำหน้าที่แปลงผันกำลังไฟฟ้ากระแสสลับเป็นไฟฟ้ากระแสตรงนี้ จะทำการซิมูเลตเพื่อยืนยันผลการคำนวณในบทที่ 5

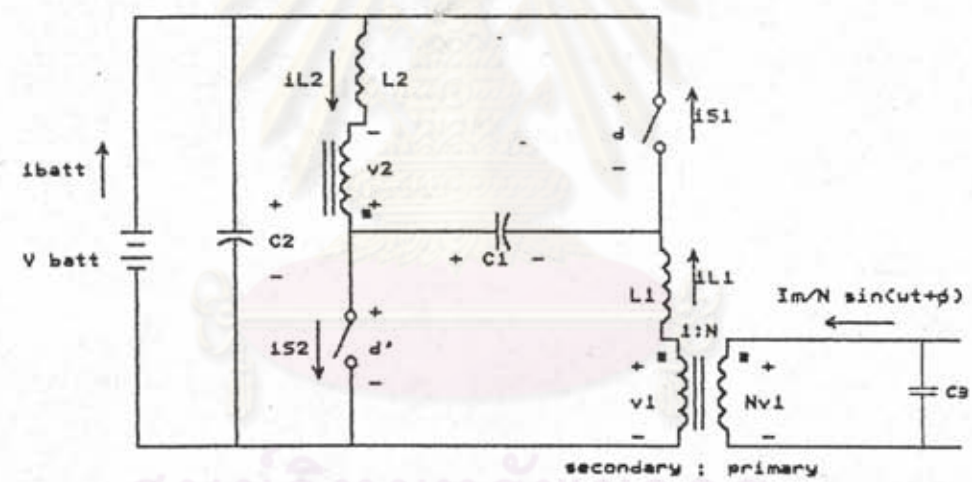
2.3 วงจรแปลงผัน 2 ทิศทาง เมื่อทำหน้าที่แปลงกำลังไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับ

จากวงจรแปลงผัน 2 ทิศทาง ถ้าเรานำแบตเตอรี่มาต่อขนานเข้ากับตัวเก็บประจุ เพื่อเป็นแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้าให้กับวงจร เพื่อที่จะทำการแปลงผันจากไฟฟ้ากระแสตรงมาเป็นไฟฟ้ากระแสสลับทางด้านออก เราสามารถวิเคราะห์การทำงานได้ดังนี้ ในขณะที่แรงดันไฟสลับทางด้านออกเป็นขีกบวก จะมีลักษณะแรงดันและกระแสต่างๆ ดังรูปที่ 2.8ก

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 2.8ก เมื่อไฟสลับด้านออกเป็นซีกบวก



รูปที่ 2.8ข เมื่อไฟสลับด้านออกเป็นซีกลบ

รูปที่ 2.8 วงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับ

จากรูป 2.8ก เราสามารถเขียนสมการได้โดยใช้วิธี state-space averging ได้ดังนี้

$$L_1 \frac{di_{L1}}{dt} = -v_1 - v_{c1}d' + v_{c2}d \qquad (2.24)$$

$$L_2 \frac{di_{L2}}{dt} = -v_2 + v_{c1}d - v_{c2}d' \qquad (2.25)$$

$$C_1 \frac{dv_{C1}}{dt} = i_{L1}d' - i_{L2}d \qquad (2.26)$$

$$C_2 \frac{dv_{C2}}{dt} = i_{batt} - i_{L1}d + i_{L2}d' = 0 \qquad (2.27)$$

เนื่องจากแรงดันเฉลี่ยของตัวเหนี่ยวนำในหนึ่งคาบการสวิตช์ มีค่าเป็นศูนย์ และทำการออกแบบให้ $v_1 = v_2$ ดังนั้นจากสมการ 2.24 และ 2.25 จะได้

$$2v_1 = v_{C1}(d-d')+V(d-d') \qquad (2.28)$$

แรงดันของตัวเก็บประจุประกอบด้วย แรงดันไฟตรงซึ่งมีแอมพลิจูดเท่ากับแรงดันของแบตเตอรี่ และ แรงดันกระเพื่อม

$$v_{C1} = V+\Delta v_C \qquad (2.29)$$

$$2v_1 = (2d-1)(2V+\Delta v_C)$$

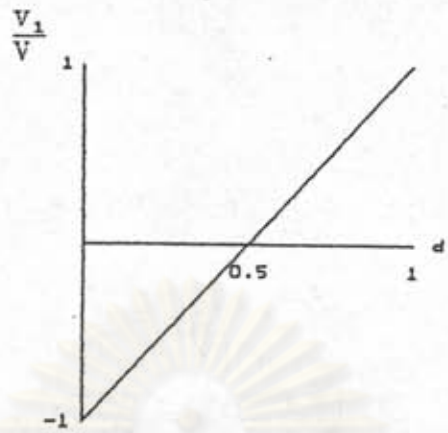
$$\frac{2v_1}{(2V+\Delta v_C)} = 2d - 1 \qquad (2.30)$$

ทำการออกแบบให้ แอมพลิจูดของแรงดันกระเพื่อมมีค่าน้อยกว่าแอมพลิจูดของแรงดันไฟตรงมาก ดังนั้นเราสามารถละเลยผลของแรงดันกระเพื่อมได้

$$\frac{v_1}{V} \simeq 2d - 1 \qquad (2.31)$$

เมื่อ d คือ วัฏจักรการทำงานของสวิตช์ S_1

V คือ แรงดันไฟตรงของตัวเก็บประจุ C_1



รูปที่ 2.9 อัตราส่วนแรงดัน v_1 กับ V

จากอัตราส่วนแรงดัน v_1กับ V จะเห็นได้ว่า เราสามารถที่จะควบคุมวงจรทำหน้าที่แปลงผันกำลังไฟฟ้ากระแสตรง จากแบตเตอรี่ เป็นไฟฟ้ากระแสสลับทางด้านออก ได้โดยการควบคุม วัฏจักรการทำงานของสวิตช์ $S_1(d)$ มากกว่า 0.5 จะได้ไฟสลับด้านออกเป็นซีกบวก และควบคุมวัฏจักรการทำงานของสวิตช์ $S_1(d)$ ให้น้อยกว่า 0.5 ถ้าต้องการไฟสลับด้านออกเป็นซีกลบ

2.3.1 <u>วัฏจักรการทำงาน</u> เราสามารถหาฟังก์ชันของ วัฏจักรการทำงานของสวิตช์เพื่อให้ได้สัญญาณออกเป็นไฟสลับโดยให้ v_1 เป็น $V_m \sin wt$ จาก (2.30) จะได้

$$\frac{2V_m \sin wt}{(2V+\Delta v_C)} = 2d - 1 \qquad (2.32)$$

$$d = \frac{1}{2} + \frac{V_m}{2V}\left[1/\left(1+\frac{\Delta v_C}{2V}\right)\right]\sin wt \qquad (2.33)$$

$$d \simeq \frac{1}{2} + \frac{V_m}{2V} \sin wt \qquad (2.34)$$

2.3.2 <u>รูปลักษณะกระแสของตัวเหนี่ยวนำ</u> จะทำการออกแบบให้ค่าความจุของ C_1 และ C_2 เท่ากัน จะได้ว่าสมการ (2.32) เท่ากับสมการ (2.33)

$$i_{L1}d' - i_{L2}d = i_{batt} - i_{L1}d + i_{L2}d'$$

$$i_{L1} = i_{batt} + i_{L2} \qquad (2.35)$$

และถ้าวงจรนี้จ่ายกระแส $\frac{I_m}{N}\sin(wt+\phi)$ ให้กับโหลดแบบเชิงเส้นจะได้

$$i_{L1} + i_{L2} = I_m\sin(wt+\phi) \qquad (2.36)$$

จากหลักของกำลังไฟฟ้าเฉลี่ยเข้าเท่ากับกำลังไฟฟ้าเฉลี่ยออก จะได้ว่า

$$VI_{batt} = \frac{I_m V_m}{2}\cos\phi \qquad (2.37)$$

จากสมการ (2.35) (2.36) และ (2.37)

$$i_{L1} = \frac{I_m\sin(wt+\phi)}{2} + \frac{I_m V_m\cos\phi}{4V} \qquad (2.38)$$

$$i_{L2} = \frac{I_m\sin(wt+\phi)}{2} - \frac{I_m V_m\cos\phi}{4V} \qquad (2.39)$$

หรือ $$i_L = \frac{i_{load}(t)}{2} \pm \frac{i_{batt}}{2}$$

จะเห็นว่ากระแสผ่านตัวเหนี่ยวนำทั้งสอง มีกระแสไฟตรงเป็นส่วนประกอบอยู่ด้วย แต่กระแสไฟตรงนี้จะไม่มีผลทำให้หม้อแปลงอิ่มตัว เพราะฟลักซ์ที่เกิดจากกระแสไฟตรงจะหักล้างกันหมดไป เหมือนในกรณีของวงจรเมื่อทำหน้าที่แปลงผันกำลังไฟฟ้ากระแสสลับเป็นไฟฟ้ากระแสตรง

2.3.3 <u>รูปลักษณะแรงดันของตัวเก็บประจุ</u> การวิเคราะห์รูปลักษณะของแรงดันกระเพื่อมที่เป็นองค์ประกอบของแรงดันของตัวเก็บประจุทั้งสองของวงจร เมื่อทำหน้าที่เป็นอินเวอร์เตอร์ ได้โดยแทนค่าวัฏจักรการทำงานในสมการ 2.34 และกระแสผ่านตัวเหนี่ยวนำในสมการที่ 2.26 จะได้ว่า

$$\frac{C_1 dv_{C1}}{dt} \simeq \frac{I_m V_m}{4V}[\cos 2wt\cos\phi - \sin 2wt\sin\phi]$$

แรงดันกระเพื่อมของตัวเก็บประจุ คือ

$$\Delta v_c \simeq \frac{I_m V_m}{8CwV}[\sin 2wt\cos\phi + \cos 2wt\sin\phi] \qquad (2.40)$$

จะเห็นได้ว่า แรงดันกระเพื่อมของตัวเก็บประจุนี้ มีความถี่เป็น 2 เท่าของความถี่ไฟสลับที่วงจรอินเวอร์เตอร์ให้ออกมา

2.3.4 <u>การออกแบบตัวเหนี่ยวนำ</u> เราสามารถออกแบบ ค่าความเหนี่ยวนำให้เหมาะสมกับการทำงานของวงจรได้ โดยการหาความสัมพันธ์ของค่าตัวเหนี่ยวนำ กับการกระเพื่อมของกระแส (Δi_L) ได้จากรูปที่ 2.8ก ในช่วงเวลา d

$$L_2 \frac{\Delta i_{L2}}{dT} = V_{C1} - V_2$$

$$L_2 \Delta i_{L2} = (2d-2d^2) V_{C1} T$$

ขนาดของการกระเพื่อมของกระแสจะมีค่าสูงสุด(Δi_{Lmax}) เมื่อ วัฏจักรการทำงาน d มีค่าเท่ากับ 0.5 จะได้ความสัมพันธ์ของค่าความเหนี่ยวนำดังนี้

$$L = \frac{V_C}{2\Delta i_{Lmax} f} \qquad (2.41)$$

ส่วนการวิเคราะห์การกระเพื่อมของกระแสในช่วงเวลา d' หรือการวิเคราะห์การกระเพื่อมของกระแส L_1 ซึ่งมีค่าความเหนี่ยวนำเท่ากับของ L_2 ก็จะได้ผลเช่นเดียวกัน ดังนั้นสามารถออกแบบตัวเหนี่ยวนำทั้งสองได้โดย

ค่าความเหนี่ยวนำ - ออกแบบได้โดย กำหนดความถี่ของการสวิตช์และการ กระเพื่อมของกระแสสูงสุด แทนค่าลงในสมการที่ 2.41 เพื่อหาค่าความเหนี่ยวนำ แต่ค่าความเหนี่ยวนำนี้ นอกจากจะใช้ข้อกำหนดข้างต้นแล้ว ยังจะต้องพิจารณาถึงความเร็วในการตอบสนอง และแรงดันในภาวะชั่วครู่ ซึ่งเป็นเงื่อนไขที่สำคัญมากด้วย

พิกัดกระแส - ตัวเหนี่ยวนำนี้จะต้องสามารถใรับกระแส ที่มีขนาดสูงสุดที่เกิดจากกระแสในสมการที่ 2.38 หรือ 2.39 รวมกับขนาดการกระเพื่อมของกระแสสูงสุดผ่านตัวเหนี่ยงนำได้ โดยไม่เกิดการอิ่มตัว

2.3.5 <u>การออกแบบตัวเก็บประจุ</u> ขนาดของแรงดันกระเพื่อม ขึ้นอยู่กับค่าความจุไฟฟ้า ดังสมการ 2.40 ซึ่งเขียนได้ใหม่ดังนี้

$$\Delta v_c = \frac{I_m V_m}{8CwV} \sin(2wt+\phi) \qquad (2.42)$$

จากค่าแอมพลิจูดของแรงดันกระเพื่อมที่ได้ ทำให้สามารถออกแบบตัวเก็บประจุได้ดังนี้

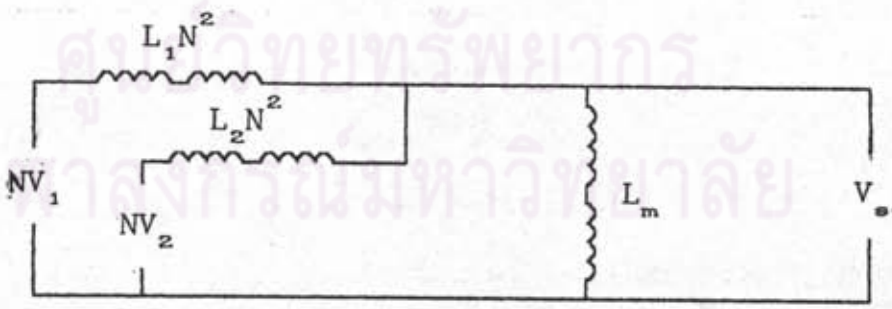
ค่าความจุ - ออกแบบได้โดยการกำหนดแอมพลิจูดของแรงดันกระเพื่อม แทนค่าในสมการ 2.42 เพื่อหาค่าความจุ

พิกัดแรงดัน - ตัวเก็บประจุนี้จะต้องสามารถทนแรงดันสูงสุด ที่เกิดจากผลรวมของแรงดันจากแบตเตอรี่และแอมพลิจูดแรงดันกระเพื่อมได้

2.3.6 <u>การออกแบบวงจรกรอง</u> ตัวเก็บประจุ C_3 ของวงจรจะทำหน้าที่ร่วมกับตัวเหนี่ยวนำทั้งสองของวงจร ประกอบเป็นวงจรผ่านต่ำ ทำหน้าที่กรองฮาร์มอนิกต่างๆ โดยวงจรกรองนี้จะมีความถี่เรโซแนนต์(f_o) ดังสมการที่ 2.43

$$f_o = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_{eq}C_3}} \qquad (2.43)$$

โดยค่าความเหนี่ยวนำที่จะแทนในสมการหาได้จากกฎการโอนย้ายอิมพีแดนซ์ของหม้อแปลง โดยทำการออกแบบให้ขดทุติยภูมิทั้งสองขดของหม้อแปลง ขนาดที่เท่ากันและสมมาตรกันทุกประการ ซึ่งจะทำให้ได้วงจรสมมูลดังรูปที่ 2.10



รูปที่ 2.10 วงจรสมมูลของหม้อแปลง

ดังนั้นค่าความเหนี่ยวนำ(L_{eq})ที่จะนำมาแทนค่าในสมการมีค่าเท่ากับ

[ค่าความเหนี่ยวนำทางทุติยภูมิ x (อัตราส่วนจำนวนรอบของหม้อแปลง)^2]/2

การออกแบบวงจรกรองนี้ นอกจากจะคำนึงถึง การกระเพื่อมของกระแส ความถี่เรโซแนนซ์ของวงจรกรองแล้ว เราจะต้องทำการปรับค่าความเหนี่ยวนำและค่าความจุ เพื่อให้อินเวอร์เตอร์มีการตอบสนองที่รวดเร็ว มีแรงดันในภาวะชั่วครู่ไม่มากนัก และแรงดันออกมีผลรวมความเพี้ยนฮาร์มอนิกที่ต่ำ สำหรับตัวเก็บประจุของวงจรกรองสามารถทำการออกแบบๆได้ดังนี้

ค่าความจุ - ออกแบบได้โดยกำหนดความถี่เรโซแนนซ์ของวงจรกรอง ซึ่งอยู่ระหว่าง ความถี่หลักมูลของแรงดันออกของอินเวอร์เตอร์ กับความถี่การสวิตช์ และค่าความเหนี่ยวนำที่โอนย้ายมาทางปฐมภูมิ แล้วแทนค่าหาค่าความจุของตัวเก็บประจุในสมการที่ 2.43

พิกัดแรงดัน - ต้องสามารถทนแรงดันสูงสุดที่อินเวอร์เตอร์สร้างขึ้นโดยเฉพาะในภาวะไร้โหลด

ผลการคำนวณคุณลักษณะต่างๆของวงจร เมื่อทำหน้าที่เป็นวงจรอินเวอร์เตอร์นั้น จะทำการซิมูเลตเพื่อยืนยันผลการคำนวณในบทที่ 3

2.4 เงื่อนไขในการออกแบบวงจรแปลงผัน 2 ทิศทาง

เนื่องจากวงจรแปลงผันสองทิศทางนี้ สามารถเป็นทั้งวงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับ เพื่อใช้เป็นอินเวอร์เตอร์ และเป็นวงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้ากระแสสลับเป็นไฟฟ้ากระแสตรง เพื่อใช้ในการประจุแบตเตอรี่ ดังนั้นเราสามารถที่จะนำโครงสร้างของวงจรแปลงผันสองทิศทางนี้ มาประยุกต์ใช้เป็น UPS ได้ โดยโครงสร้างของวงจรแปลงผันสองทิศทางที่จะได้ทำการออกแบบนี้ มีข้อได้เปรียบกว่าวงจรอื่นคือ

- ใช้สวิตช์เพียงสองตัว ในแต่ละครั้งของการทำงานจะมีการสูญเสียเนื่องจากแรงดันตกคร่อมสวิตช์เพียงหนึ่งรอยต่อ (junction)
- กระแสผ่านตัวเหนี่ยวนำสามารถไหลได้อย่างต่อเนื่อง ทำให้ไม่เกิดปัญหาแรงดันยอดแหลม(spike)ที่สวิตช์
- ตัวเหนี่ยวนำนี้สามารถใช้ตัวเหนี่ยวนำรั่วไหลของหม้อแปลงแทนได้

ในการออกแบบวงจรแปลงผันสองทิศทางนี้อุปกรณ์แต่ละตัวในแต่ละโมด มีข้อควรพิจารณาดังนี้

ตารางที่ 2.1 ข้อควรพิจารณาในการออกแบบ

อุปกรณ์	เมื่อวงจรทำหน้าที่เป็นวงจรแปลงผัน	
	กระแสสลับเป็นกระแสตรง	กระแสตรงเป็นกระแสสลับ
ตัวเหนี่ยวนำ	- มีกระแสไฟตรง = $\frac{V_c}{2R}$ - เป็นตัวกำหนดความถี่ ถ้าตัวเหนี่ยวนำมีค่าต่ำลงความถี่จะสูงขึ้น	-มีกระแสไฟตรง = $\frac{i_{batt}}{2}$ - มีผลต่อการตอบสนองในภาวะชั่วครู่ โดยถ้าตัวเหนี่ยวนำมีค่าสูงจะทำให้มีความเร็วในการตอบสนองช้าและมีแรงดันยอดแหลมสูง - ทำหน้าที่เป็นวงจรกรองแรงดันขาออกให้มีความเพี้ยนต่ำ ถ้าตัวเหนี่ยวนำมีค่าสูง ก็จะทำให้สามารถใช้ตัวเก็บประจุ ที่มีค่าความจุเล็กลง - เป็นตัวกำหนด การกระเพื่อมของกระแสผ่านตัวเหนี่ยวนำ
ตัวเก็บประจุ	- มีผลต่อขนาดแรงดันกระเพื่อมของแรงดันไฟตรงที่ถูกแปลง โดยถ้าค่าความจุมีค่าสูง ขนาดแรงดันกระเพื่อมลดลง	- เป็นแหล่งจ่ายพลังงานโดยเฉพาะ C_1 ในรูปที่ 2.7ก ทำหน้าที่เป็นแหล่งแรงดันอีกตัวหนึ่ง ถ้ามีค่าความจุสูงก็จะสามารถเก็บ และจ่ายพลังงานได้ดีขึ้น

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 2.1 (ต่อ) ข้อควรพิจารณาในการออกแบบ

อุปกรณ์	เมื่อวงจรทำหน้าที่เป็นวงจรแปลงผัน	
	กระแสสลับเป็นกระแสตรง	กระแสตรงเป็นกระแสสลับ
สวิตช์	- ต้องสามารถให้กระแสไหลได้สองทิศทาง และทนแรงดันได้หนึ่งทิศทาง	- ต้องสามารถให้กระแสไหลได้สองทิศทาง และทนแรงดันได้หนึ่งทิศทาง
หม้อแปลง	- หม้อแปลง จะต้องมีสัดส่วน N ที่ทำให้ v_1 และ v_2 มีค่ายอดที่ต่ำ กว่าแรงดันที่ตัวเก็บประจุทั้งสอง จึงสามารถควบคุมการทำงานได้	- สัดส่วนของหม้อแปลง จะต้องเหมาะสม กับแรงดันแบตเตอรี่ที่ใช้ เพื่อให้มี modulation ratio ที่เหมาะสม

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย