หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 4

การวิเคราะห์เพื่อออกแบบสร้างวงจรอินเวอร์เตอร์

4.1 คำนำ

ในบทนี้จะขอกล่าวถึงวงจรอินเวอร์เตอร์ที่ใช้หลักการคอมมิวเตตแบบใหม่[10] ซึ่งมีลักษณะวงจรคล้ายกับวงจรแมคเมอร์เรย์อินเวอร์เตอร์(McMurray Inverter) ดังรูปที่ 4.1 แต่มีข้อแตกต่างที่สำคัญ 2 ประการคือ

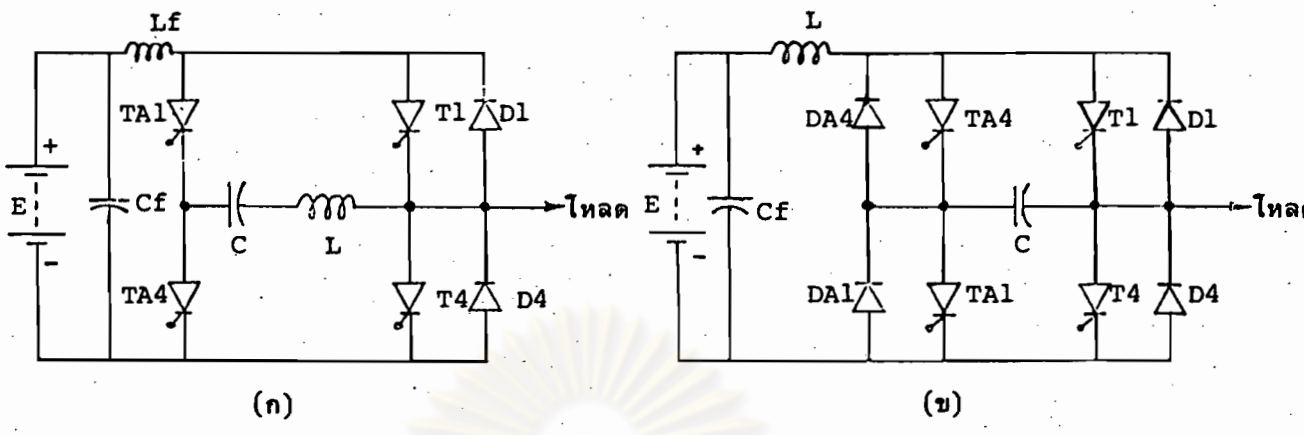
4.1.1 การคอมมิวเตตไทรีสเตอร์ โดยไม่ต้องประจุไฟให้แก่ตัวเก็บประจุก่อน กล่าวคือแรงดันตกคร่อมตัวเก็บประจุจะมีค่าเป็นศูนย์ในช่วงเริ่มแรกของไซเคิลของการคอมมิวเตต สามารถคอมมิวเตตไทรีสเตอร์ให้หยุดนำกระแสได้ทุกเวลา

4.1.2 ในการทำงานแบบพัลสวิดท์มอดูเลท (พี.ดับเพิลยู.เอ็ม.) อินเวอร์เตอร์ จำนวนครั้งของการคอมมิวเตตต่อไซเคิลของเอาท์พุทสามารถลดลงครึ่งหนึ่งของการคอมมิวเตตของวงจรอินเวอร์เตอร์แบบอื่น ๆ เพราะว่าไม่จำเป็นต้องประจุไฟฟ้ากลับขั้วให้แก่ตัวเก็บประจุ

การคอมมิวเตตแบบใหม่นี้ เหมาะสำหรับใช้ในวงจรพัลสวิดธ์มอดูเลทอินเวอร์เตอร์มาก เพราะไม่ต้องประจุไฟให้แก่ตัวเก็บประจุก่อน สามารถคอมมิวเตตไทรีสเตอร์ได้ทันทีทันใด มีประสิทธิภาพและความเชื่อถือสูง รูปลักษณะวงจรง่ายไม่ยุ่งยาก สามารถปรับปรุงวงจรได้หลายแบบ

4.2 การทำงานของวงจร

จากวงจรในรูปที่ 4.1 เป็นวงจรบริดจ์อินเวอร์เตอร์ซึ่งสามารถจ่ายไฟให้แก่โหลดได้สองทิศทางโดยการจุดชนวนไทรีสเตอร์แต่ละคู่ คือ T1 กับ T2



รูปที่ 4.1 ก) วงจรแมคเมอร์เรย์อินเวอร์เตอร์ 1 เฟส

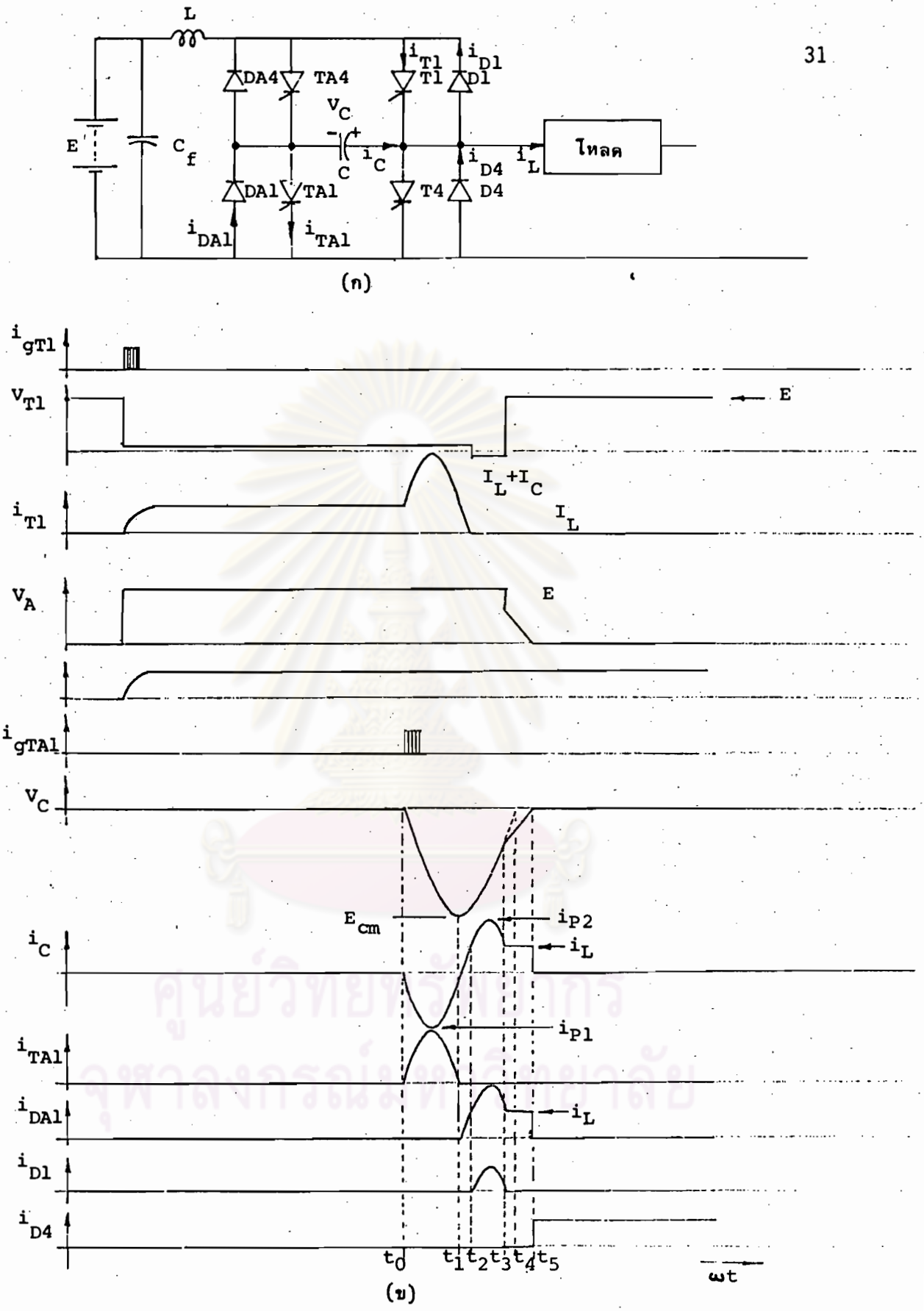
ข) วงจรบริดจ์อินเวอร์เตอร์ 1 เฟส ที่ประกอบด้วยวงจรคอมมิวเตตแบบใหม่ (แสดงเพียงครึ่งวงจร)

และ T3 กับ T4 สลับกัน การคอมมิวเตตไทรีสเตอร์ T1 จากรูปที่ 4.1 โดยการจุดชนวนไทรีสเตอร์ช่วย TA1 รูปคลื่นแรงดันและกระแสในระหว่างการคอมมิวเตตแสดงได้ดังรูปที่ 4.2 การคอมมิวเตตจะแบ่งออกเป็น 3 ขั้นตอน โดยสมมุติว่าโหลดเป็นอินดัคตีฟโหลด (Inductive Load) ซึ่งจะให้กระแสโหลด I_L มีค่าคงที่ในช่วงของการคอมมิวเตต

เมื่อไทรีสเตอร์ T1 นำกระแสเพื่อจ่ายไฟให้แก่อินดัคตีฟโหลดในช่วงนี้แรงดันคร่อมตัวเก็บประจุ C มีค่าเท่ากับ 0 ($v_c = 0$) การคอมมิวเตตไทรีสเตอร์ T1 โดยการจุดชนวนไทรีสเตอร์ช่วย TA1 ที่เวลา t_0 ดังแสดงในรูปที่ 4.3 ก) ซึ่งจะเกิดการออสซิเลทของกระแสผ่าน L, T1, C, TA1 และไหลกลับเข้าสู่แหล่งจ่ายไฟ E กระแสที่ไหลผ่าน T1 มีค่าเท่ากับ $i_T = i_C + i_L$ หลังจากกระแสถึงค่าสูงสุดแล้ว กระแสก็จะลดลงและไหลกลับทิศทางที่เวลา t_1 โดยไหลจากขั้วลบของแบตเตอรี่ผ่าน DA1 และ C เข้าสู่จุด A เนื่องจากกระแสโหลดมีค่าคงที่ จะทำให้กระแสที่ไหลผ่าน T1 มีค่าลดลงที่เวลา t_2 กระแสจากตัวเก็บประจุ C มีค่าเท่ากับกระแสโหลดทำให้กระแสที่ไหลผ่านไทรีสเตอร์ T1 มีค่าเท่ากับศูนย์ ในช่วงเวลา t_2-t_3 กระแสจากตัวเก็บประจุ C มีค่ามากกว่ากระแสโหลด ดังนั้นกระแสส่วนที่เกินจะไหลผ่านไดโอด D1 ดัง

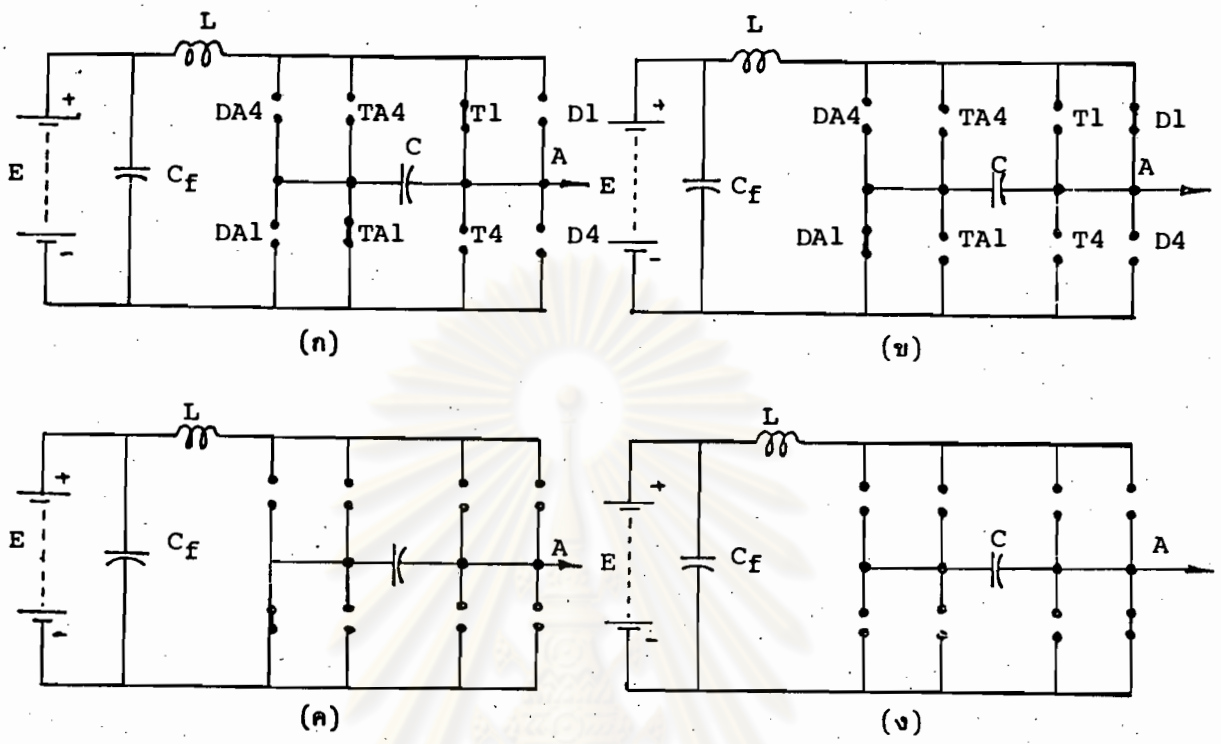
แสดงในรูปที่ 4.3 ข) ก่อให้เกิดแรงดันกลับทางตกคร่อมไทรีสเตอร์ T1 ทำให้ไทรีสเตอร์ T1 หยุดนำกระแส ที่เวลา t_3 กระแสจากตัวเก็บประจุ C จะลดลงเท่ากับกระแสโหลดอีกครั้ง ทำให้ไดโอด D1 หยุดนำกระแส จากเวลา T_3 ถึง t_5 ตัวเก็บประจุ C จะจ่ายไฟให้แก่โหลดด้วยกระแสคงที่ $i_c = i_L$ ทำให้แรงดันของตัวเก็บประจุลดลงอย่างเชิงเส้นจนถึงเวลา t_5 แรงดันของตัวเก็บประจุ C จะมีค่าเป็นศูนย์ ($v_c = 0$) ต่อจากนั้นไดโอด D4 จะเริ่มนำกระแส ในขณะเดียวกันกระแสจากตัวเก็บประจุจะลดลงเป็นศูนย์ทันที ในช่วง t_3-t_5 นี้จะขึ้นอยู่กับขนาดของโหลด; Q แฟคเตอร์ ของวงจรคอมมิวเตต LC และแรงดันของแหล่งจ่ายไฟ E ที่เวลา t_5 ตัวเก็บประจำได้ถ่ายเทประจุออกหมดแล้ว และพร้อมที่จะคอมมิวเตตในไซเคิลต่อไป

การคอมมิวเตตไทรีสเตอร์ T4 เริ่มด้วยการจุดชนวนไทรีสเตอร์ช่วย TA4 ขบวนการคอมมิวเตตเหมือนกับการคอมมิวเตตไทรีสเตอร์ T4 โดยกระแสจากตัวเก็บประจุ C จะไหลผ่าน T4 ในช่วงครึ่งแรกของไซเคิลของการคอมมิวเตตและไหลกลับในช่วงครึ่งหลัง ซึ่งกระแสจากตัวเก็บประจุจะจ่ายไฟให้แก่โหลด จนกระทั่งไดโอด D4 เริ่มนำกระแส กระแสที่ไหลผ่านไทรีสเตอร์ T4 จะมีค่าเป็นศูนย์และมีแรงดันตกคร่อมไทรีสเตอร์กลับทาง เนื่องจากไดโอด D4 นำกระแส ทำให้ไทรีสเตอร์ T4 หยุดนำกระแส ดังนั้นจะเห็นได้ว่าข้อดีของวงจรอินเวอร์เตอร์นี้ คือไม่ต้องประจุไฟให้แก่ตัวเก็บประจุก่อนในช่วงของการคอมมิวเตต และการที่มีขดลวดเหนี่ยวนำ L ต่ออนุกรมอยู่ในวงจรทำให้ลดอัตราการเปลี่ยนแปลงของกระแสต่อเวลาลง(di/dt)อย่างไรก็ตามอัตราการเปลี่ยนแปลงแรงดันต่อเวลา(dv/dt) ในช่วงการคอมมิวเตตจะมีค่าสูงแต่ก็น้อยกว่าวงแมคเมอร์เรย์[10]



รูปที่ 4.2 ก) วงจรอินเวอร์เตอร์ที่พิจารณาในช่วงคอมมิวเตต T1

ข) รูปคลื่นแรงดันและกระแสในช่วงการคอมมิวเตต



รูปที่ 4.3 แสดงขั้นตอนของการคอมมิวเตตจากรูป 4.2

ก) ช่วงเวลา t_0-t_1 ข) ช่วงเวลา t_2-t_3

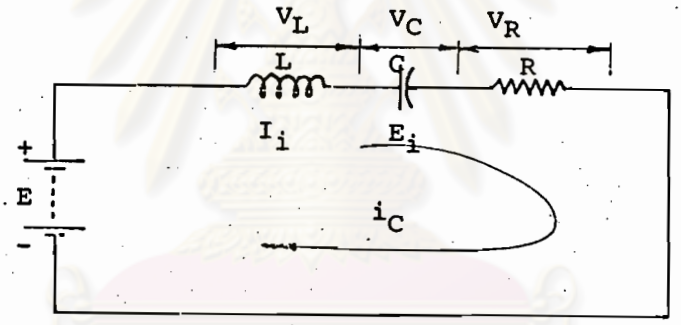
ค) ช่วงเวลา t_3-t_5 ง) ช่วงเวลา $t > t_5$

ต่อเวลาลง (di/dt) อย่างไรก็ตามอัตราการเปลี่ยนแปลงแรงดันต่อเวลา dv/dt ในช่วงคอมมิวเตตจะมีค่าสูงแต่ก็น้อยกว่าของวงจรแมคเมอร์เรย์[10]

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.3 การวิเคราะห์วงจรคอมมิวเตต[10]

การคอมมิวเตตไทรีสเตอร์ จะใช้กระแสพัลสป้อนให้ไทรีสเตอร์ในทิศทางกลับทางชั่วระยะเวลาหนึ่ง ซึ่งมากกว่าช่วงเวลาการหยุดนำกระแสของไทรีสเตอร์จะทำให้ไทรีสเตอร์หยุดนำกระแส กระแสพัลสนี้เกิดจากการออสซิเลทของวงจร LC โดยมีความถี่ธรรมชาติ (Natural Frequency ; w_o) สัมพันธ์โดยตรงกับเวลาการหยุดนำกระแสของไทรีสเตอร์ (Turn-off Time t_q) จากรูป 4.4 ซึ่งเป็นวงจร RLC ที่ต่ออยู่กับแหล่งจ่ายไฟกระแสตรง ประกอบด้วยความต้านทาน R ; ตัวเก็บประจุ C และตัวเหนี่ยวนำ L ต่ออนุกรมกับแหล่งจ่ายไฟกระแสตรง E



รูป 4.4 วงจร RLC ต่ออนุกรมกับแหล่งจ่ายไฟกระแสตรง

กระแสของตัวเก็บประจุ C เขียนในรูปสมการได้ว่า

$$i_c(t) = \frac{E}{\omega L} e^{-\alpha t} \sin \omega t \qquad \text{.....4.1}$$

โดยมีเงื่อนไขเริ่มต้น ที่เวลา $t_o = 0$ ว่า

กระแสในตัวเหนี่ยวนำ $I_i = 0$

แรงดันของตัวเก็บประจุ $E_i = 0$

และกำหนดให้

$$\alpha = \frac{R}{2L}$$

$$\omega = \sqrt{\omega_0{}^2 - \alpha^2}$$

$$\omega_0{}^2 = \frac{1}{LC} \quad ; \quad R^2 < 4\frac{L}{C}.$$

R เป็นความต้านทานรวมของวงจรคอมมิวเตต ซึ่งจะเป็นตัวกำหนด Q แฟคเตอร์

$$Q = \frac{\sqrt{L/C}}{R}.$$

แรงดันของตัวเก็บประจุ เขียนในรูปสมการได้ดังนี้

$$v_c(t) = E - Ee^{-\alpha t}\cos\omega t. \qquad \ldots\ldots\ldots\ldots 4.2$$

ที่เวลา $wt = wt_1 = \pi$ แรงดันของตัวประจุ จะมีค่าสูงสุด

$$E_{cm} = E\left[1 + e^{-\pi/\sqrt{4Q^2-1}}\right]. \qquad \ldots\ldots\ldots\ldots 4.3$$

กรณีที่ $4Q^2 >> 1$ จะประมาณค่าแรงดันของตัวเก็บประจุได้ว่า

$$E_{cm} = E[1 + e^{-\pi/2Q}] = KE. \qquad \ldots\ldots\ldots\ldots 4.4$$

จากสมการ 4.4 จะเห็นได้ว่า แรงดันของตัวเก็บประจุ C จะไม่ขึ้นกับกระแสของโหลด แต่จะขึ้นอยู่กับแรงดันของแหล่งจ่ายไฟกระแสตรงและ Q แฟคเดอร์[10] ถ้าการสูญเสียในขบวนการคอมมิวเตตมีค่าน้อยมาก ($Q \Rightarrow \infty$) จะทำให้แรงดัน

ของตัวเก็บประจุ C มีค่าเป็นสองเท่าของแรงดันจากแหล่งจ่ายไฟ E อย่างไรก็ตามในทางปฏิบัติ k < 2

จากสมการที่ 4.1 ในช่วงระหว่างครึ่งไซเคิลแรกของการคอมมิวเตต กระแสจากตัวเก็บประจุ i_c จะมีค่าสูงสุดที่เวลา $wt = \frac{\pi}{2}$ นั้นคือ

$$I_{p1} = \frac{E}{\omega L} e^{-\pi/2/\sqrt{4Q^2-1}} \approx \frac{E}{X} e^{-\pi/4Q} \qquad \text{.....4.5}$$

กำหนดให้ $X = \sqrt{\frac{L}{C}}$.

และการคอมมิวเตตในช่วงครึ่งไซเคิลหลัง กระแสตัวเก็บประจุ C จะมีค่าสูงสุดเมื่อ $wt = \frac{3\pi}{2}$

$$I_{p2} = \frac{E_{cm} - E}{X} e^{-\pi/2\sqrt{4Q^2-1}} \approx \frac{E_{cm} - E}{X} e^{-\pi/4Q}. \qquad \text{.....4.6}$$

แทนค่า E_{cm} จากสมการที่ 4.4 ในสมการที่ 4.6 จะได้ว่า

$$I_{p2} = \frac{E}{X}(K-1)e^{-\pi/4Q} = \frac{E}{X} e^{-3\pi/4Q}. \qquad \text{.....4.7}$$

พลังงานสูญเสียทั้งหมดในวงจรคอมมิวเตต มีค่า

$$W_L = CE^2(1 - e^{\pi/Q}). \qquad \text{.....4.8}$$

จากสมการ 4.8 จะหาค่าตัวเก็บประจุและตัวเหนี่ยวนำได้ดังนี้[4]

$$C = \frac{I_L t_q}{2E\nu \arccos \nu} e^{3\pi/4Q} \qquad \text{.....4.9}$$

$$L = \frac{\nu E t_q}{2I_L \arccos \nu} e^{-3\pi/4Q}. \qquad \text{.....4.10}$$

โดยที่ ν = อัตราส่วนระหว่างกระแสโหลดสูงสุด I_L กับกระแส

I16794140X

คอมมิวเตตสูงสุด $I_{p0} = E/X$

$$\nu = \frac{I_L}{I_{p0}} \qquad \text{.....4.11}$$

tg = ช่วงเวลาหยุดนำกระแสของไทรีสเตอร์

ช่วงความกว้างของกระแสพัลส์ในการคอมมิวเตต (Tp = t1-t4) กำหนดได้ดังสมการ

$$T_p = \pi\sqrt{LC} \qquad \text{.....4.12}$$

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย