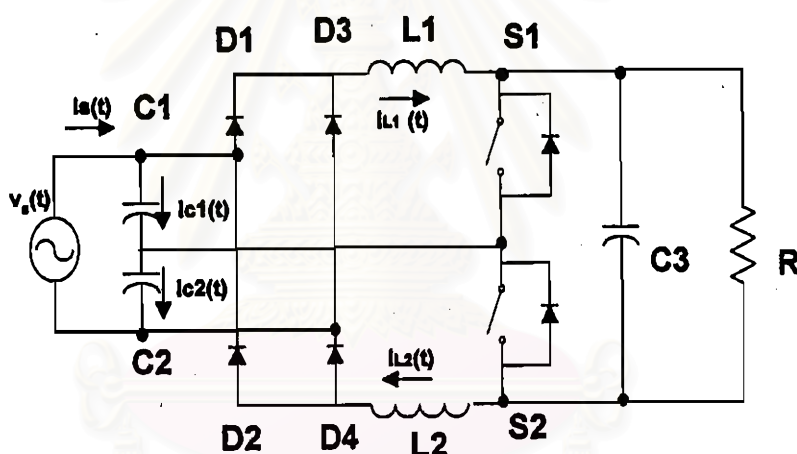


บทที่ 2

วงจรเรียงกระแสแบบวิธีสวิตช์แบบสวิตช์คู่

2.1 โครงสร้างและหลักการทั่วไปของวงจรเรียงกระแสแบบวิธีสวิตช์แบบสวิตช์คู่

วงจรเรียงกระแสแบบวิธีสวิตช์แบบสวิตช์คู่ ดังรูปที่ 2.1 ประกอบด้วยวงจรไดโอดบริดจ์ (D1 - D4) ตัวเก็บประจุกระแสสลับ (C1, C2) ซึ่งทำหน้าที่แบ่งแรงดันไฟฟ้าสลับทางด้านเข้าออกเป็นสองส่วน ตัวเหนี่ยวนำ (L1, L2) ซึ่งทำหน้าที่สะสมและคายพลังงาน และสวิตช์กำลังจำนวนสองตัว (S1, S2) ซึ่งภายในจะประกอบด้วยไดโอดหมุนเปล่า โดยสวิตช์กำลังทั้งสองจะผลัดกันทำงานเปิดปิดวงจรในลักษณะคู่ประกอบ



รูปที่ 2.1 วงจรเรียงกระแสแบบวิธีสวิตช์แบบสวิตช์คู่

วงจรนี้อาศัยหลักการการทำงานของวงจรทระดับ(boost) 2 วงจรต่อร่วมกันอยู่ในวงจรเดียว โดยมีตัวเก็บประจุไฟฟ้าสลับ C1 และ C2 เป็นเสมือนแหล่งจ่ายของแต่ละวงจร ตัวเหนี่ยวนำ L1 และ L2 ทำหน้าที่สะสมพลังงานและคายพลังงาน โดยที่กระแสผ่านตัวเหนี่ยวนำทำงานในโหมดกระแสไม่ต่อเนื่อง วงจรทระดับทั้งสองวงจรจะผลัดกันสะสมพลังงานและคายพลังงานที่ตัวเหนี่ยวนำ โดยการควบคุมการเปิดปิดของสวิตช์ S1 และ S2 ตามค่าวัฏจักรงานที่เรากำหนด ยกตัวอย่างเช่นเมื่อเรากำหนดค่าวัฏจักรงานเป็น 50% หมายความว่าช่วงเวลาในการเปิดและปิดของสวิตช์จะมีค่าเท่ากัน

ในที่นี้เราจะพิจารณาสถานะการทำงานของวงจรในครึ่งคาบบวกของแหล่งจ่ายซึ่งจะประกอบไปด้วยการทำงาน 4 สถานะดังต่อไปนี้

สถานะที่ 1

แสดงดังรูปที่ 2.2(ก) เมื่อสวิตช์ S1 ปิดวงจร กระแสจะไหลผ่านตัวเก็บประจุ C1, ไดโอด D1, ตัวเหนี่ยวนำ L1 และสวิตช์กำลัง S1 โดยจะมีการสะสมพลังงานที่ตัวเหนี่ยวนำ L1 ในขณะที่เดียวกันตัวเก็บประจุ C3 ก็จะคายประจุผ่านไปยังโหลดความต้านทาน ซึ่งเราสามารถแสดงสมการกระแสที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำได้เป็น

$$\begin{aligned}\frac{di_{L1}(t)}{dt} &= \frac{vc1(t)}{L1} \\ i_{L2}(t) &= 0\end{aligned}$$

สถานะที่ 2

ต่อมาเมื่อสวิตช์กำลัง S1 เปิดวงจรและสวิตช์กำลัง S2 ปิดวงจรในเวลาเดียวกัน พลังงานที่สะสมอยู่ที่ตัวเหนี่ยวนำ L1 จะคายสู่ โหลดความต้านทานและตัวเก็บประจุ C3 ผ่านทาง ไดโอด หมุนแปล่า ของสวิตช์กำลังตัวที่ 2 ดังรูปที่ 2.2(ข) ในขณะที่ ตัวเหนี่ยวนำ L2 จะเริ่มสะสมพลังงาน แสดงสมการกระแสที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำได้เป็น

$$\begin{aligned}\frac{di_{L1}(t)}{dt} &= \frac{vc1(t) - e_d}{L1} \\ \frac{di_{L2}(t)}{dt} &= \frac{vc2(t)}{L2}\end{aligned}$$

สถานะที่ 3

หลังจากตัวเหนี่ยวนำ L1 คายพลังงานจนหมด ตัวเหนี่ยวนำ L2 ก็ยังคงสะสมพลังงาน และตัวเก็บประจุ C3 จะคายประจุสู่โหลดความต้านทาน R ดังรูปที่ 2.2(ค) แสดงสมการกระแสที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำได้เป็น

$$\begin{aligned}i_{L1}(t) &= 0 \\ \frac{di_{L2}(t)}{dt} &= \frac{vc2(t)}{L2}\end{aligned}$$

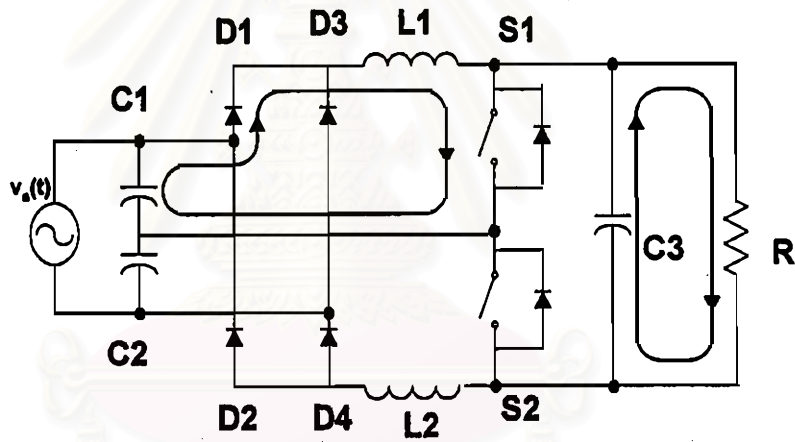
สถานะที่ 4

ต่อมาเมื่อสวิตช์กำลัง S2 เปิดวงจร และสวิตช์กำลัง S1 ปิดวงจรในเวลาเดียวกัน พลังงานที่สะสมอยู่ที่ตัวเหนี่ยวนำ L2 จะคายสู่ โหลดความต้านทานและตัวเก็บประจุ C3 ผ่านทาง ไดโอด

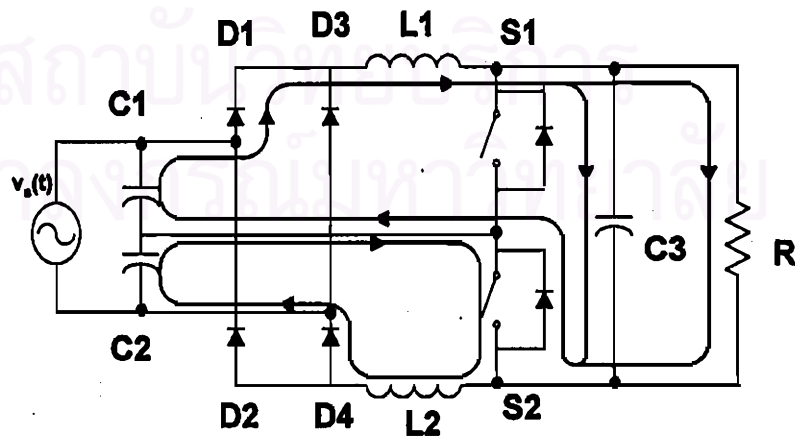
หมุนเปล่า ของสวิทช์กำลังตัวที่ 1 ดังรูปที่ 2.2(ง) ในขณะที่ ตัวเหนี่ยวนำ L1 จะเริ่มสะสมพลังงาน ผ่านทางตัวเก็บประจุ C1, ไดโอด D1 หลังจากตัวเหนี่ยวนำ L2 คายพลังงานจนหมด จะเหลือเพียงตัวเหนี่ยวนำ L1 ที่ยังคงสะสมพลังงาน และตัวเก็บประจุ C3 จะคายประจุสู่โหลดความต้านทาน R ซึ่งก็จะกลับไปทำงานในสถานะที่ 1 นั่นเอง ดังรูปที่ 2.2(ง) แสดงสมการกระแสที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำได้เป็น

$$\frac{di_{L1}(t)}{dt} = \frac{vc1(t)}{L1}$$

$$\frac{di_{L2}(t)}{dt} = \frac{(vc2(t) - e_{gd})}{L2}$$

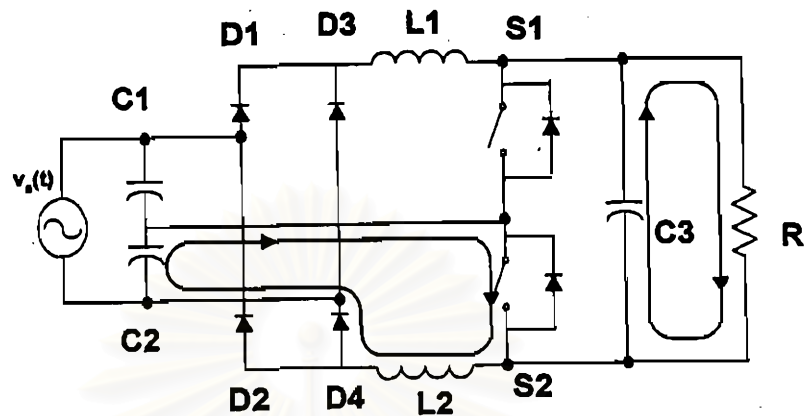


(ก) สถานะที่ 1

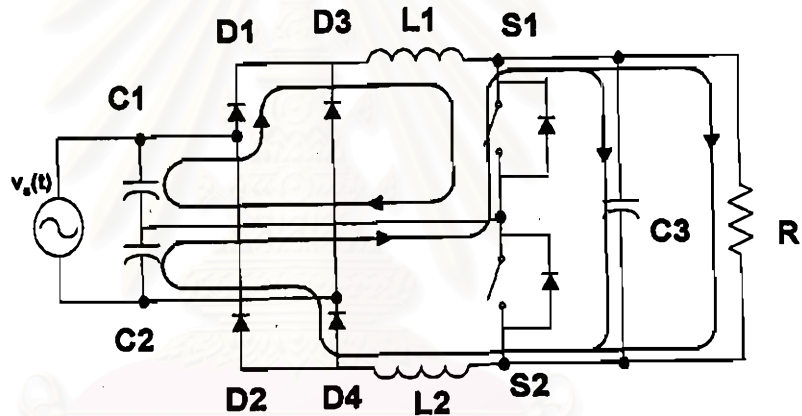


(ข) สถานะที่ 2

รูปที่ 2.2 สถานะการทำงานของวงจรในครึ่งคาบบวกของแหล่งจ่าย



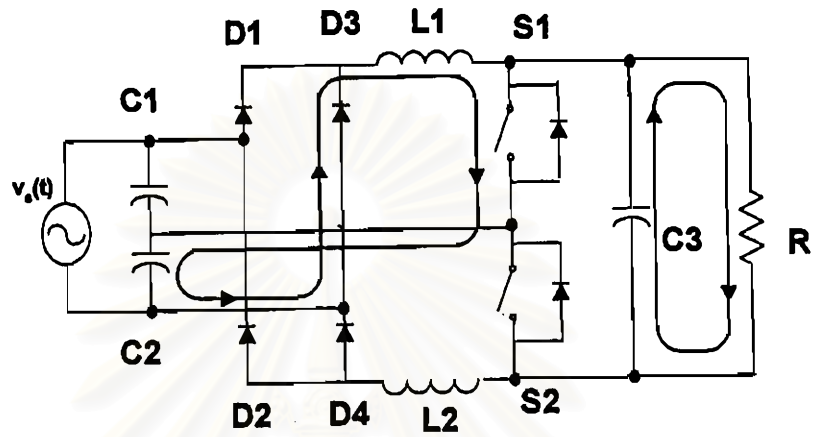
(ค) สถานะที่ 3



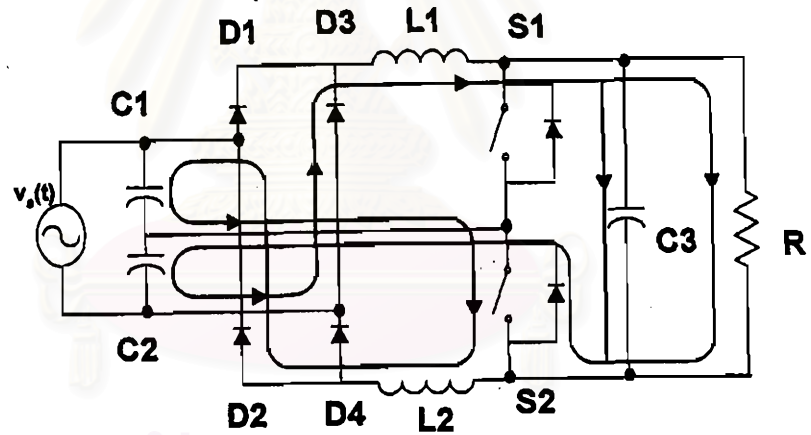
(ง) สถานะที่ 4

รูปที่ 2.2 (ต่อ) สถานะการทำงานของวงจรในครึ่งคาบบวกของแหล่งจ่าย

สถานะการทำงานทั้ง 4 ตามที่กล่าวไว้ข้างต้นนั้นจะเป็นการทำงานในช่วงที่แรงดันจากแหล่งจ่ายไฟสลับอยู่ในช่วงครึ่งคาบแรกที่มีค่าเป็นบวก อย่างไรก็ตามในกรณีที่แหล่งจ่ายไฟสลับอยู่ในช่วงครึ่งคาบลบ โหมดการทำงานทั้ง 4 ก็จะเป็นไปในลักษณะเดียวกัน ยกเว้นแต่เพียงไดโอด D2, D3 จะถูกใช้งานแทนไดโอด D1, D4 ตามลำดับ ดังแสดงทิศทางการไหลของกระแสในสถานะต่างๆ ได้ดังในรูปที่ 2.3

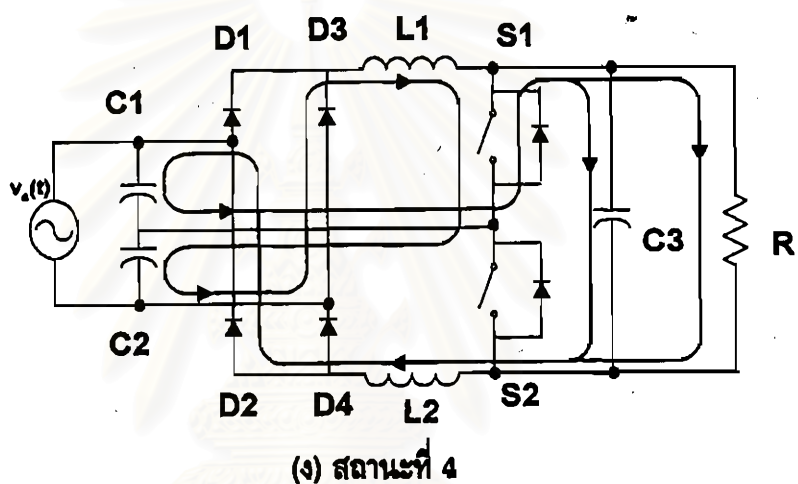
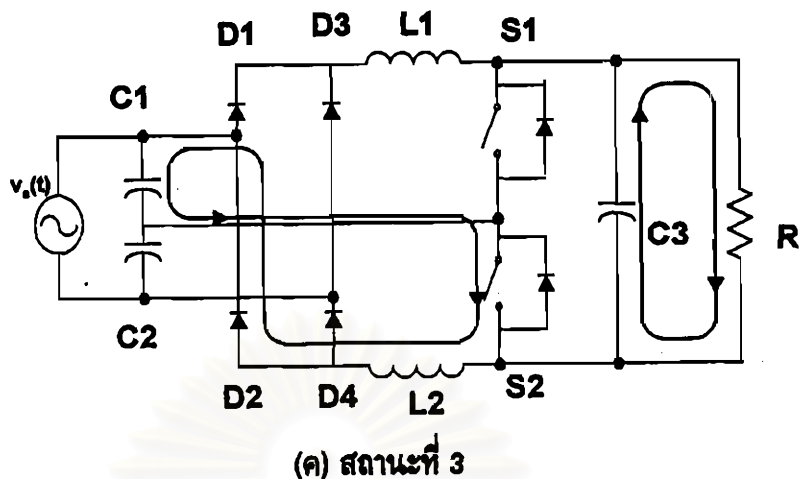


(ก) สถานะที่ 1



(ข) สถานะที่ 2

รูปที่ 2.3 สถานะการทำงานของวงจรในครึ่งคาบของแหล่งจ่าย
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

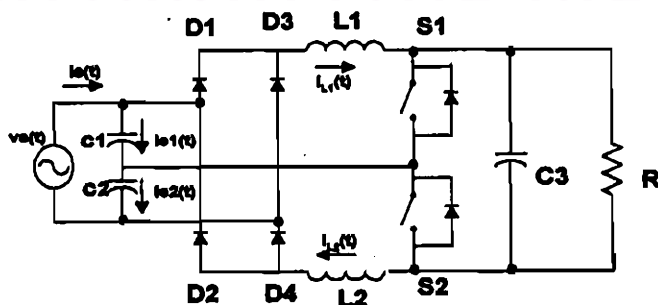


รูปที่ 2.3 (ต่อ) สถานะการทำงานของวงจรในครึ่งคาบของแหล่งจ่าย

2.2 การวิเคราะห์การทำงานของวงจรเรียงกระแสแบบวิธีสวิตช์แบบสวิตซ์คู่

2.2.1 การวิเคราะห์สมการกระแสด้านเข้า

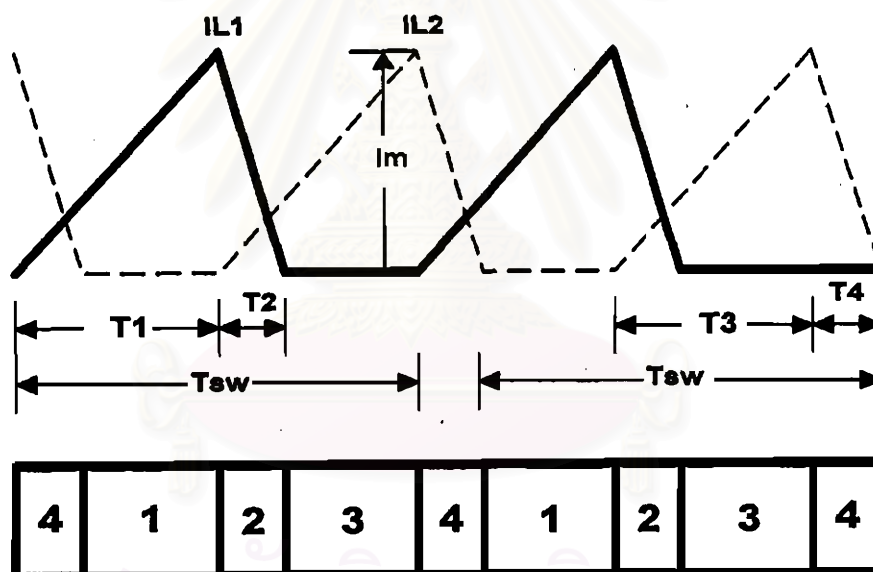
ในการวิเคราะห์การทำงานของวงจรเพื่อประมาณค่ากระแสทางด้านเข้าที่ค่าวัฏจักรงานต่าง ๆ นั้นค่อนข้างมีความซับซ้อน ในเบื้องต้นเราจะทำการศึกษาตัวแปรกระแสที่จุดต่างๆ และสามารถแสดงทิศทางกระแสไหลได้ดังรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 วงจรแสดงทิศทางกระแสไหลของกระแสที่จุดต่างๆ

- โดยที่ $i_g(t)$ = กระแสทางค่านเข้าที่เวลาขณะใดๆ
 $i_{c1}(t)$ = กระแสขณะใดๆ ที่ไหลผ่านตัวเก็บประจุที่ 1
 $i_{c2}(t)$ = กระแสขณะใดๆ ที่ไหลผ่านตัวเก็บประจุที่ 2
 $i_{L1}(t)$ = กระแสขณะใดๆ ที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำที่ 1
 $i_{L2}(t)$ = กระแสขณะใดๆ ที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำที่ 2
 $L1$ = ตัวเหนี่ยวนำตัวที่ 1 $L2$ = ตัวเหนี่ยวนำตัวที่ 2

ที่ค่าวัฏจักรงานใดๆ เราสามารถแสดงรูปคลื่นของกระแสที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำที่ 1 (เส้นทึบ) และที่ 2 (เส้นประ) เพื่อที่จะทำการพิจารณาสมการของกระแสที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำ ในหนึ่งคาบการสวิตช์ ดังในรูปที่ 2.5 โดยที่หมายเลขในกรอบข้างใต้แสดงถึงสถานะการทำงานของวงจร



รูปที่ 2.5 รูปคลื่นกระแสที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำที่ 1 (เส้นทึบ) และที่ 2 (เส้นประ)

โดยที่ T_{sw} = คาบเวลาการสวิตช์ f_{sw} = ความถี่การสวิตช์

$T1$ = ช่วงเวลาที่สวิตช์ตัวที่ 1 ปิดวงจร = $D \cdot T_{sw}$

$T2$ = ช่วงเวลาที่กระแสที่ไหลผ่าน $L1$ ลดลงเป็นศูนย์

$T3$ = ช่วงเวลาที่สวิตช์ตัวที่ 2 ปิดวงจร = $D' \cdot T_{sw}$

$T4$ = ช่วงเวลาที่กระแสที่ไหลผ่าน $L2$ ลดลงเป็นศูนย์

D = ค่าวัฏจักรงาน

D' = $1 - D$

ในการวิเคราะห์ต่อไปนี้เป็นสมมติฐานว่าวงจรทำงานอยู่ในโหมดกระแสไม่ต่อเนื่อง โดยที่แรงดันไฟตรงขาออก (e_d) มีค่าสูงกว่าค่าสูงสุดของแรงดันคกกร่อมตัวเก็บประจุ C1 และ C2 สมการของกระแสที่ไหลผ่าน ตัวเหนี่ยวนำ L_1 และ L_2 ที่ค่าวัฏจักรงานใดๆ ในหนึ่งคาบการสวิตช์ แสดงได้ดังนี้

$$1) \text{ กรณี } v_s(t) > 0$$

$$i_{L1}(t) = \frac{vc1(t)}{L1} \cdot t \quad (0 < t < T1) \quad (2.1)$$

$$i_{L1}(t) = Im1 - \frac{1}{L1} (e_d - vc1(t))(t - T1) \quad (T1 < t < T1 + T2) \quad (2.2)$$

$$i_{L1}(t) = 0 \quad (T1 + T2 < t < Tsw) \quad (2.3)$$

$$i_{L2}(t) = \frac{vc2(t)}{L2} \cdot t \quad (0 < t < T3) \quad (2.4)$$

$$i_{L2}(t) = Im2 - \frac{1}{L2} (e_d - vc2(t))(t - T3) \quad (T3 < t < T3 + T4) \quad (2.5)$$

$$i_{L2}(t) = 0 \quad (T3 + T4 < t < Tsw) \quad (2.6)$$

$$Im1 = \frac{vc1(t)}{L1} D \cdot Tsw \quad (2.7)$$

$$Im2 = \frac{vc2(t)}{L2} D' \cdot Tsw \quad (2.8)$$

จากสมการที่ (2.2) และ (2.7) เราสามารถคำนวณหา $T2$ ได้ดังนี้

$$0 = \frac{vc1(t)}{L1} D \cdot Tsw - \frac{1}{L1} (e_d - vc1(t))(T2)$$

$$T2 = \frac{vc1(t)}{e_d - vc1(t)} D \cdot Tsw \quad (2.9)$$

และจากสมการที่ (2.5) และ (2.8) เราสามารถคำนวณหา $T4$ ได้ดังนี้

$$0 = \frac{vc2(t)}{L2} D' \cdot Tsw - \frac{1}{L2} (e_d - vc2(t)) (T4)$$

$$T4 = \frac{vc2(t)}{e_d - vc2(t)} D' \cdot Tsw \quad (2.10)$$

โดยที่ $Im1$ = ค่ายอดของกระแสที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำตัวที่ 1

$Im2$ = ค่ายอดของกระแสที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำตัวที่ 2

$vs(t)$ = แรงดันขณะใดๆจากแหล่งจ่าย e_d = แรงดันไฟตรงค่านอก

$vc1(t)$ = แรงดันขณะใดๆที่ตกคร่อมตัวเก็บประจุ $C1$

$vc2(t)$ = แรงดันขณะใดๆที่ตกคร่อมตัวเก็บประจุ $C2$

2) กรณี $vs(t) < 0$

$$i_{L1}(t) = \frac{vc2(t)}{L1} \cdot t \quad (0 < t < T1) \quad (2.11)$$

$$i_{L1}(t) = Im1 - \frac{1}{L1} (e_d - vc2(t)) (t - T1) \quad (T1 < t < T1 + T2) \quad (2.12)$$

$$i_{L1}(t) = 0 \quad (T1 + T2 < t < Tsw) \quad (2.13)$$

$$i_{L2}(t) = \frac{vc1(t)}{L2} \cdot t \quad (0 < t < T3) \quad (2.14)$$

$$i_{L2}(t) = Im2 - \frac{1}{L2} (e_d - vc1(t)) (t - T3) \quad (T3 < t < T3 + T4) \quad (2.15)$$

$$i_{L2}(t) = 0 \quad (T3 + T4 < t < T_{sw}) \quad (2.16)$$

$$I_{m1} = \frac{vc2(t)}{L1} D \cdot T_{sw} \quad (2.17)$$

$$I_{m2} = \frac{vc1(t)}{L2} D' \cdot T_{sw} \quad (2.18)$$

จากสมการที่ (2.12) และ (2.17) เราสามารถคำนวณหา $T2$ ได้ดังนี้

$$0 = \frac{vc2(t)}{L1} D \cdot T_{sw} - \frac{1}{L1} (e_d - vc2(t))(T2)$$

$$T2 = \frac{vc2(t)}{e_d - vc2(t)} D \cdot T_{sw} \quad (2.19)$$

และจากสมการที่ (2.15) และ (2.18) เราสามารถคำนวณหา $T4$ ได้ดังนี้

$$0 = \frac{vc1(t)}{L2} D' \cdot T_{sw} - \frac{1}{L2} (e_d - vc1(t))(T4)$$

$$T4 = \frac{vc1(t)}{e_d - vc1(t)} D' \cdot T_{sw} \quad (2.20)$$

เงื่อนไขแรงดันเพื่อให้วงจรทำงานในโหมดกระแสไม่ต่อเนื่องคือ

$$e_d \gg vc1(t)$$

$$e_d \gg vc2(t)$$

จากนี้เราจะทำการหาค่าเฉลี่ยของกระแสต้านเข้า $(i_s(t))$ ใน 1 คาบการสวิตช์ โดยได้จากการหาค่ากระแสเฉลี่ยที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำ $L1$ และ $L2$ ในหนึ่งคาบการสวิตช์ โดยพิจารณารูปที่

2.4 และ 2.5 ประกอบ ก็จะได้จากผลรวมของกระแสเฉลี่ยทั้งสองส่วน ซึ่งแสดงการคำนวณพอสังเขปดังนี้

กำหนดให้ $C_1 = C_2 = C$, $L_1 = L_2 = L$ และ “ ” แสดงค่าเฉลี่ยต่อคาบการสวิตช์

จากรูปที่ 2.4 จะได้ว่า

$$\begin{aligned} i_s(t) &= i_{c1}(t) + i_{L1}(t) \\ i_s(t) &= i_{c2}(t) + i_{L2}(t) \\ i_s(t) &= \frac{1}{2} [i_{c1}(t) + i_{c2}(t) + i_{L1}(t) + i_{L2}(t)] \end{aligned} \quad (2.21)$$

และจากความสัมพันธ์

$$\begin{aligned} v_s(t) &= v_{c1}(t) + v_{c2}(t) \\ C \frac{dv_s(t)}{dt} &= C \frac{dv_{c1}(t)}{dt} + C \frac{dv_{c2}(t)}{dt} \\ C \frac{dv_s(t)}{dt} &= i_{c1}(t) + i_{c2}(t) \end{aligned} \quad (2.22)$$

แทนสมการที่ (2.22) ลงในสมการที่ (2.21) จะได้

$$i_s(t) = \frac{1}{2} \left[i_{L1}(t) + i_{L2}(t) + C \frac{dv_s(t)}{dt} \right] \quad (2.23)$$

จากนี้เราจะทำการพิจารณาค่ากระแสเฉลี่ยที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำ แต่จากลักษณะการทำงานจริงของวงจรที่จะเปลี่ยนแปลงทิศทางกระแสของกระแสตามเครื่องหมายของแรงดันจากแหล่งจ่าย เราจึงแบ่งการพิจารณาเป็น 2 กรณี ดังนี้

1) กรณี $v_{s1}(t) > 0$
 จากรูปที่ 2.5 จะได้ว่า

$$\overline{i_{L1}(t)} = \frac{1}{T_{sw}} \left[\int_0^{T_{sw}} i_{L1}(t) dt \right] = \frac{1}{T_{sw}} \cdot \frac{1}{2} \text{Im } 1(T1 + T2) \quad (2.24)$$

โดยอาศัยสมการที่ (2.7) และ (2.9) และจากนิยาม $T1 = D \cdot T_{sw}$

$$\overline{i_{L1}(t)} = \frac{1}{2} \frac{\left(\frac{v_{c1}(t)}{L} D \cdot T_{sw} \right) \left(\frac{e_d}{e_d - v_{c1}(t)} D \cdot T_{sw} \right)}{T_{sw}} \quad (2.25)$$

$$\overline{i_{L1}(t)} = \frac{1}{2} \frac{D^2 \cdot T_{sw}}{L} \cdot \left(\frac{v_{c1}(t) \cdot e_d}{e_d - v_{c1}(t)} \right) \quad (2.26)$$

ในทำนองเดียวกัน

$$\overline{i_{L2}(t)} = \frac{1}{T_{sw}} \left[\int_0^{T_{sw}} i_{L2}(t) dt \right] = \frac{1}{T_{sw}} \cdot \frac{1}{2} \text{Im } 2(T3 + T4) \quad (2.27)$$

จากสมการที่ (2.8) และ (2.10) และจากนิยาม $T3 = D' \cdot T_{sw}$ จะได้

$$\overline{i_{L2}(t)} = \frac{1}{2} \frac{\left(\frac{v_{c2}(t)}{L} D' \cdot T_{sw} \right) \left(\frac{e_d}{e_d - v_{c2}(t)} D' \cdot T_{sw} \right)}{T_{sw}} \quad (2.28)$$

$$\overline{i_{L2}(t)} = \frac{1}{2} \frac{D'^2 \cdot T_{sw}}{L} \cdot \left(\frac{v_{c2}(t) \cdot e_d}{e_d - v_{c2}(t)} \right) \quad (2.29)$$

จากสมการที่ (2.13) , (2.26) และ (2.29) เราสามารถหาค่าเฉลี่ยของกระแสด้านเข้าต่อคาบการสวิตช์เมื่อแรงดันจากแหล่งจ่ายอยู่ในครึ่งคาบบวกได้เป็น

$$\overline{i_s(t)} = \frac{1}{4L} \left[D^2 \cdot T_{sw} \left(\frac{vc1(t) \cdot c_d}{c_d - vc1(t)} \right) + D'^2 \cdot T_{sw} \left(\frac{vc2(t) \cdot c_d}{c_d - vc2(t)} \right) \right] + \frac{c}{2} \cdot \frac{dvs(t)}{dt} \quad (2.30)$$

2) กรณี $vs(t) < 0$

$$\overline{i_{L1}(t)} = \frac{1}{T_{sw}} \left[\int_0^{T_{sw}} i_{L1}(t) dt \right] = \frac{1}{T_{sw}} \cdot \frac{1}{2} \text{Im}1(T1 + T2) \quad (2.31)$$

จากสมการที่ (2.17) และ (2.19) และจากนิยาม $T1 = D \cdot T_{sw}$ จะได้

$$\overline{i_{L1}(t)} = \frac{1}{2} \frac{\left(\frac{vc2(t)}{L} D \cdot T_{sw} \right) \left(\frac{c_d}{c_d - vc2(t)} D \cdot T_{sw} \right)}{T_{sw}} \quad (2.32)$$

$$\overline{i_{L1}(t)} = \frac{1}{2} \frac{D^2 \cdot T_{sw}}{L} \cdot \left(\frac{vc2(t) \cdot c_d}{c_d - vc2(t)} \right) \quad (2.33)$$

ในทำนองเดียวกัน

$$\overline{i_{L2}(t)} = \frac{1}{T_{sw}} \left[\int_0^{T_{sw}} i_{L2}(t) dt \right] = \frac{1}{T_{sw}} \cdot \frac{1}{2} \text{Im}2(T3 + T4) \quad (2.34)$$

จากสมการที่ (2.18) และ (2.20) และจากนิยาม $T3 = D' \cdot T_{sw}$ จะได้

$$\overline{i_{L2}(t)} = \frac{1}{2} \frac{\left(\frac{vc1(t)}{L} D' \cdot T_{sw}\right) \left(\frac{c_d}{c_d - vc1(t)} D' \cdot T_{sw}\right)}{T_{sw}} \quad (2.35)$$

$$\overline{i_{L2}(t)} = \frac{1}{2} \frac{D'^2 \cdot T_{sw}}{L} \cdot \left(\frac{vc1(t) \cdot c_d}{c_d - vc1(t)}\right) \quad (2.36)$$

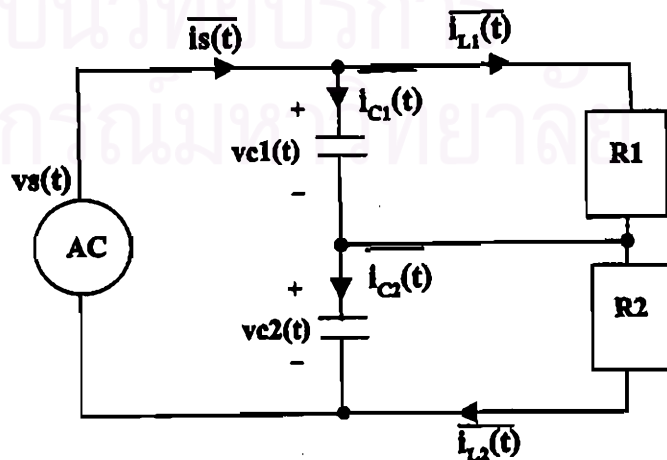
จากสมการที่ (2.13), (2.33) และ (2.36) เราจึงสามารถหาค่าเฉลี่ยของกระแสด้านเข้าต่อคาบการสวิตช์เมื่อแรงดันจากแหล่งจ่ายอยู่ในคาบลบได้เป็น

$$\overline{i_s(t)} = \frac{1}{4L} \left[D'^2 \cdot T_{sw} \left(\frac{vc1(t) \cdot c_d}{c_d - vc1(t)}\right) + D^2 \cdot T_{sw} \left(\frac{vc2(t) \cdot c_d}{c_d - vc2(t)}\right) \right] + \frac{c}{2} \cdot \frac{dvs(t)}{dt} \quad (2.37)$$

2.2.2 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าวัฏจักรงานกับรูปคลื่นกระแสด้านเข้า

เราสามารถพิจารณาค่ากระแสเฉลี่ยด้านเข้าได้โดยการแทนวงจรในส่วนที่ต่อกับตัวเก็บประจุ C1 และ C2 ด้วยตัวต้านทานสมมูล R1 และ R2 ที่สะท้อนสภาพเฉลี่ยของกระแสที่ไหลออกจาก C1 และ C2 ดังในรูปที่ 2.6 ซึ่งจะทำให้เราสามารถมองเห็นภาพรวมของการทำงานของวงจรได้ง่ายขึ้น โดยแบ่งการพิจารณาค่าตัวต้านทานสมมูลเป็น 2 กรณี ตามทิศทางของแหล่งจ่ายแรงดันดังนี้

1) กรณี $v_s(t) > 0$



รูปที่ 2.6 วงจรที่แทนส่วนที่เป็นสวิตช์ด้วยตัวต้านทานสมมูล เมื่อ $v_s(t) > 0$

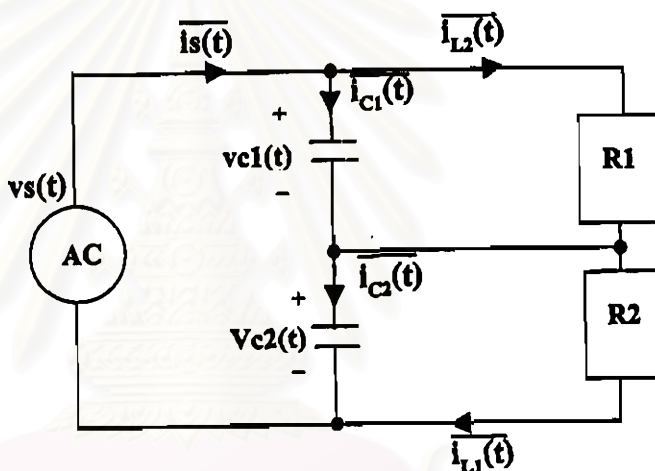
จากสมการ (2.26)

$$R1 = \frac{vc1(t)}{i_{L1}(t)} = \frac{2L}{D^2 T_{sw}} \left(\frac{c_d - vc1(t)}{c_d} \right) \quad (2.38)$$

ในทำนองเดียวกันสามารถหา R2 จากสมการ(2.29) ได้เป็น

$$R2 = \frac{vc2(t)}{i_{L2}(t)} = \frac{2L}{D'^2 T_{sw}} \left(\frac{c_d - vc2(t)}{c_d} \right) \quad (2.39)$$

2) กรณี $v_s(t) < 0$



รูปที่ 2.7 วงจรที่แทนส่วนที่เป็นสวิตช์ด้วยตัวต้านทานสมมูล เมื่อ $v_s(t) < 0$

จะเห็นว่าเมื่อแรงดันจากแหล่งจ่ายอยู่ในช่วงลบจะทำให้เกิดการสลับทิศทางการไหลของกระแสผ่านตัวเหนี่ยวนำ ซึ่งเป็นไปตามลักษณะการทำงานจริงของวงจร เราจึงสามารถหาค่าความต้านทานสมมูลได้ดังนี้

จากสมการ (2.33)

$$R1 = \frac{vc1(t)}{i_{L2}(t)} = \frac{2L}{D'^2 T_{sw}} \left(\frac{c_d - vc1(t)}{c_d} \right) \quad (2.40)$$

ในทำนองเดียวกันสามารถหา R2 จากสมการ (2.33) ได้เป็น

$$R2 = \frac{vc2(t)}{i_{L1}(t)} = \frac{2L}{D^2 T_{sw}} \left(\frac{c_d - vc2(t)}{c_d} \right) \quad (2.41)$$

จากวงจรที่แสดงดังรูปที่ 2.6 เราสามารถแสดงความสัมพันธ์ของกระแสทางด้านเข้าได้
ดังนี้

$$\overline{is(t)} = \overline{i_{c1}(t)} + \frac{\overline{vc1(t)}}{R1} = \overline{i_{c2}(t)} + \frac{\overline{vc2(t)}}{R2} \quad (2.42)$$

$$\overline{vc2(t)} = \overline{vs(t)} - \overline{vc1(t)} \quad (2.43)$$

จากความสัมพันธ์ระหว่างแรงดัน ตามสมการที่ (2.43) เราสามารถเขียนสมการของกระแส
ผ่านตัวเก็บประจุได้เป็น

$$\overline{i_{c1}(t)} = C \frac{d\overline{vc1(t)}}{dt}$$

$$\overline{i_{c2}(t)} = C \frac{d\overline{vc2(t)}}{dt} = C \frac{d\overline{vs(t)}}{dt} - C \frac{d\overline{vc1(t)}}{dt} \quad (2.44)$$

จากสมการที่ (2.42) เราจะได้

$$\overline{i_{c1}(t)} = \overline{i_{c2}(t)} + \frac{\overline{vc2(t)}}{R2} - \frac{\overline{vc1(t)}}{R1} \quad (2.45)$$

แทนค่า $\overline{i_{c1}(t)}$ และ $\overline{i_{c2}(t)}$ จากสมการที่ (2.44) ถึง (2.45) จะได้

$$C \frac{d\overline{vc1(t)}}{dt} = C \frac{d\overline{vs(t)}}{dt} - C \frac{d\overline{vc1(t)}}{dt} + \frac{(\overline{vs(t)} - \overline{vc1(t)})}{R2} - \frac{\overline{vc1(t)}}{R1} \quad (2.46)$$

$$(2C) \frac{d\overline{vc1(t)}}{dt} = C \frac{d\overline{vs(t)}}{dt} + \frac{\overline{vs(t)}}{R2} - \overline{vc1(t)} \cdot \left(\frac{1}{R1} + \frac{1}{R2} \right) \quad (2.47)$$

$$\frac{dvc1(t)}{dt} = \frac{1}{2C} \left[\left(C \frac{dvs(t)}{dt} + \frac{vs(t)}{R2} \right) - vc1(t) \cdot \left(\frac{1}{R1} + \frac{1}{R2} \right) \right] \quad (2.48)$$

สมการที่ (2.48) เป็นสมการที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันตกคร่อมตัวเก็บประจุและค่าความต้านทานสมมูล เราแบ่งการพิจารณากระแสเฉลี่ยทางด้านเข้าตามลักษณะของค่าวัฏจักรงานได้ดังนี้

ก. ในกรณีที่เรากำหนดค่าวัฏจักรงานเป็น $D = 0.5 + \Delta \sin \omega t$ และ $D' = 1 - D = 0.5 - \Delta \sin \omega t$

เหตุผลที่คิด $D = 0.5 + \Delta \sin \omega t$ เพราะว่าถ้าเราเปลี่ยนค่าวัฏจักรงานเป็นดังนี้ได้จะทำให้เราสามารถลดแรงดันบัลไฟตรงที่จำเป็นต้องใช้ในภาคอินเวอร์เตอร์ลงได้ ดังจะได้กล่าวรายละเอียดในภาคผนวก ข

สมการที่ (2.48) แสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันตกคร่อมตัวเก็บประจุ $C1, C2$ และค่าตัวต้านทานสมมูลซึ่งก่อนข้างมีความซับซ้อนเราจึงมีความจำเป็นต้องใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วยในการคำนวณ แต่ในเบื้องต้นนี้เราต้องการพิจารณาเฉพาะผลของการเปลี่ยนแปลงค่าวัฏจักรงานที่มีต่อกระแสทางด้านเข้าจึงทำการประมาณค่าต่างๆ โดยมีเงื่อนไขดังนี้

เราจะประมาณว่าค่าตัวเก็บประจุ $C1, C2$ มีค่าน้อย ทำให้อิมพีแดนซ์มีค่ามากเมื่อเทียบกับความต้านทานสมมูล $R1, R2$ ดังนั้น แรงดันตกคร่อมตัวเก็บประจุจึงถูกกำหนดโดยตัวแบ่งแรงดัน $R1, R2$ ตามสมการที่ (2.49) และ (2.50)

$$vc1(t) = \left(\frac{R1}{R1 + R2} \right) vs(t) \quad (2.49)$$

$$vc2(t) = \left(\frac{R2}{R1 + R2} \right) vs(t) \quad (2.50)$$

จากสมการค่าความต้านทานสมมูลดังสมการที่ (2.38) ถึง (2.41) เมื่อเราประมาณให้ขนาดของแรงดันไฟตรงมีค่ามากกว่าแรงดันตกคร่อมตัวเก็บประจุมากๆ ($e_s \gg vc(t)$) ทำให้เราสามารถประมาณค่าตัวต้านทานสมมูลเมื่อแรงดันจากแหล่งจ่ายอยู่ในคาบบวกได้ดังนี้

$$R1 \cong \frac{2L}{D^2 T_{sw}} \quad (2.51)$$

$$R2 \cong \frac{2L}{D'^2 T_{sw}} \quad (2.52)$$

จากเงื่อนไขในการประมาณค่าตามที่กล่าวข้างต้นเราสามารถหาค่าเฉลี่ยของกระแสทาง
ด้านเข้าได้ดังนี้

$$\overline{i_{L1}(t)} = \frac{vc1(t)}{R1} = \frac{T_{sw}}{2L} \left(\frac{D^2 D'^2}{D^2 + D'^2} \right) vs(t) \quad (2.53)$$

$$\overline{i_{L2}(t)} = \frac{vc2(t)}{R2} = \frac{T_{sw}}{2L} \left(\frac{D^2 D'^2}{D^2 + D'^2} \right) vs(t) \quad (2.54)$$

ดังนั้นจะเห็นว่าเราสามารถประมาณค่ากระแสทางด้านเข้า โดยเฉลี่ยกระแสส่วนที่ไหล
ผ่าน C จะได้สมการค่าเฉลี่ยดังนี้

$$\overline{i_s(t)} = \frac{(\overline{i_{L1}(t)} + \overline{i_{L2}(t)})}{2} \quad (2.55)$$

$$\overline{i_s(t)} = \frac{T_{sw}}{2L} \left(\frac{D^2 D'^2}{D^2 + D'^2} \right) vs(t) \quad (2.56)$$

เมื่อ $vs(t) = V_m \sin \omega_0 t$ เราจะได้สมการของกระแสด้านเข้าจากสมการ(2.56)โดย
เลขเทอมอันดับสูงของ Δ ดังนี้

$$\begin{aligned} \overline{i_s(t)} &= (V_m \sin \omega_0 t) \cdot \frac{T_{sw}}{L} \cdot \left[\frac{(0.25 - \Delta^2 \sin^2 \omega t)^2}{0.5 + 2\Delta^2 \sin^2 \omega t} \right] \\ &\cong V_m \sin \omega_0 t) \cdot \frac{T_{sw}}{L} \cdot \left[(0.0625 - 0.5\Delta^2 \sin^2 \omega t + \Delta^4 \sin^4 \omega t) (1 - 4\Delta^2 \sin^2 \omega t + 16\Delta^4 \sin^4 \omega t - 64\Delta^6 \sin^6 \omega t \dots) \right] \\ &\cong (V_m \sin \omega_0 t) \cdot \frac{T_{sw}}{L} \cdot \left[(0.0625 - 0.75\Delta^2 \sin^2 \omega t + 4\Delta^4 \sin^4 \omega t - 16\Delta^6 \sin^6 \omega t + 48\Delta^8 \sin^8 \omega t - 64\Delta^{10} \sin^{10} \omega t \dots) \right] \end{aligned} \quad (2.57)$$

$$\overline{i_s(t)} \cong \frac{T_{sw}}{L} \cdot (V_m) \cdot \begin{bmatrix} a_0 \sin(\omega_0 t) \\ + a_1 \sin(\omega_0 - 2\omega)t \\ + a_1 \sin(\omega_0 + 2\omega)t \\ + a_2 \sin(\omega_0 - 4\omega)t \\ + a_2 \sin(\omega_0 + 4\omega)t \end{bmatrix} \quad (2.58)$$

โดยที่

$$\begin{aligned} a_0 &= (0.125 - 0.75\Delta^2 + 3\Delta^4 - 10\Delta^6 + 35\Delta^8) \\ a_1 &= (0.375\Delta^2 - 2\Delta^4 + 7.5\Delta^6 - 28\Delta^8) \\ a_2 &= (0.5\Delta^4 - 3\Delta^6 + 14\Delta^8) \end{aligned}$$

จากสมการกระแสข้างต้น เมื่อเราให้ $V_m = 310 \text{ V}$, $L = 1.2 \text{ mH}$ และ $T_{sw} = 70 \text{ us}$ เราสามารถคำนวณค่าขนาดขององค์ประกอบฮาร์มอนิกอันดับต่ำสำหรับ Δ ค่าต่างๆ ได้ ดังตารางที่ 2.1

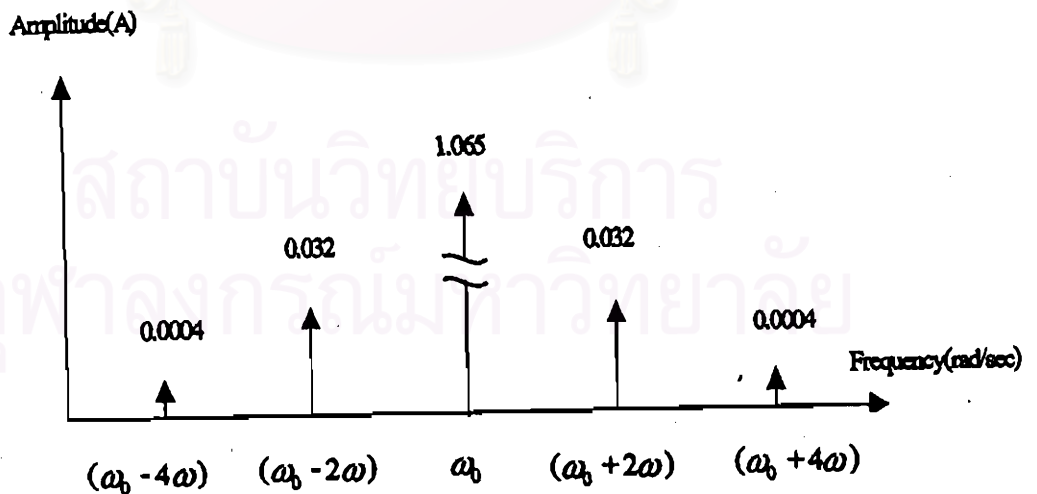
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 2.1 ขนาดขององค์ประกอบฮาร์มอนิกอันดับต่ำ เมื่อเปลี่ยนแปลงค่าวิถีกรรมงาน

ขนาดการเปลี่ยนแปลง เปลี่ยนวิถีกรรมงาน(Δ)	ความถี่ฮาร์มอนิก		
	$\sin \omega_0 t$	$\sin(\omega_0 \pm 2\omega)$	$\sin(\omega_0 \pm 4\omega)$
0	0.125	0 (0%)	0 (0%)
0.05	0.123	0.0009 (0.73%)	$3.0e-6$ (0.002%)
0.10	0.118	0.0035(3%)	$4.7e-5$ (0.04%)
0.15	0.109	0.0075(6.9%)	$2.2e-4$ (0.2%)
0.20	0.099	0.0122(12.3%)	$6.4e-4$ (0.64%)
0.25	0.088	0.0170(19.3%)	$1.4e-3$ (1.6%)
0.30	0.077	0.0212(27.5%)	$2.7e-3$ (3.5%)

% เทียบกับองค์ประกอบหลักมูล

จากสมการข้างต้นและผลการคำนวณขนาดขององค์ประกอบฮาร์มอนิกต่างๆ ของกระแสทางด้านเข้าดังตารางที่ 2.1 จะเห็นว่า เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าวิถีกรรมงานด้วยความถี่ ω ค่าหนึ่งก็จะมียังองค์ประกอบฮาร์มอนิกที่ความถี่นั้นมาปรากฏรอบๆความถี่ ω_0 ของแหล่งจ่ายดังแสดงตัวอย่างสเปกตรัมของกระแสขาเข้าเมื่อ $\Delta = 0.1$ ที่ได้จากการคำนวณได้ดังรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.8 สเปกตรัมของกระแสขาเข้าที่ได้จากการคำนวณ เมื่อ $\Delta = 0.1$

ข. ในกรณีที่เรากำหนดค่าวัฏจักรงานคงที่เท่ากับ 50 %

จากผลการวิเคราะห์ดังแสดงในตารางที่ 2.1 เราพบว่าจะมีกระแสฮาร์โมนิกอันดับต่ำปะปนเข้ามาในกระแสทางด้านเข้าเมื่อมีการแปรเปลี่ยนค่าวัฏจักรงาน ซึ่งขนาดของฮาร์โมนิกจะขึ้นกับขนาดการเปลี่ยนแปลงของค่าวัฏจักรงาน ในกรณีที่เรานำมาใช้ค่าวัฏจักรงานคงที่ที่ 50% จะไม่มีฮาร์โมนิกอันดับต่ำปะปนเข้ามาในกระแสทางด้านเข้า ซึ่งสอดคล้องกับวัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้มากที่สุด

ดังนั้นจากการวิเคราะห์สมการกระแสทางด้านเข้า ดังที่ได้แสดงในสมการที่ (2.30) และ (2.37) เมื่อค่าวัฏจักรงานมีค่าเป็น 50 % ($D = 0.5$) จะทำให้เราได้สมการกระแสด้านเข้าดังนี้

กรณี $v_s(t) > 0$

$$\overline{i_s(t)} = \frac{1}{4L} \left[\frac{T_{sw}}{4} \left(\frac{vc1(t) \cdot e_d}{e_d - vc1(t)} \right) + \frac{T_{sw}}{4} \left(\frac{vc2(t) \cdot e_d}{e_d - vc2(t)} \right) \right] + \frac{Cdvs(t)}{2dt} \quad (2.59)$$

กรณี $v_s(t) < 0$

$$\overline{i_s(t)} = \frac{1}{4L} \left[\frac{T_{sw}}{4} \left(\frac{vc1(t) \cdot e_d}{e_d - vc1(t)} \right) + \frac{T_{sw}}{4} \left(\frac{vc2(t) \cdot e_d}{e_d - vc2(t)} \right) \right] + \frac{Cdvs(t)}{2dt} \quad (2.60)$$

จะเห็นว่ากรณีที่เรานำค่าวัฏจักรงาน 50% สมการของกระแสทางด้านเข้าในกรณี $v_s(t) > 0$ และ กรณี $v_s(t) < 0$ จะเหมือนกันดังนั้นจากนี้ไปจะได้แสดงสมการกระแสทางด้านเข้าเพียงสมการเดียวแต่สามารถสามารถใช้อธิบายได้ทั้ง 2 กรณี และจากสมการที่ (2.59) และ (2.60) จะเห็นว่าเมื่อค่า $D = 0.5$ จะทำให้เราได้ค่าแรงดันคั่นคกรวมตัวเก็บประจุในปริมาณที่เท่ากัน ดังนั้นจะทำให้เราได้สมการกระแสเฉลี่ยทางด้านเข้าต่อคาบการสวิตช์ที่ค่าวัฏจักรงาน 50% ดังนี้

$$vc1(t) = vc2(t) = \frac{v_s(t)}{2}$$

$$\overline{i_s(t)} = \frac{v_s(t)T_{sw}}{16L} \left[\left(\frac{2e_d}{(2e_d - v_s(t))} \right) \right] + \frac{C}{2} \frac{d v_s(t)}{dt} \quad (2.61)$$

ในกรณีที่ $e_d \gg \frac{v_s(t)}{2}$ จะได้ว่า

$$\overline{i_s(t)} \approx \frac{T_{sw}}{16L} v_s(t) + \frac{C}{2} \frac{d v_s(t)}{dt} \quad (2.62)$$

จากสมการ (2.41) จะเห็นว่าถ้า $e_d \gg \frac{v_s(t)}{2}$ กระแสทางดำนเข้าจะมีรูปคลื่นเป็นไซน์

ตามแรงดันของแหล่งจ่าย $v_s(t)$ และเราสามารถควบคุมขนาดของกระแสดำนเข้าได้โดยการแปรค่าความถี่การสวิตช์ โดยเมื่อเราเพิ่มความถี่การสวิตช์จะทำให้ได้ขนาดกระแสลดลง และเมื่อลดความถี่การสวิตช์จะทำให้ได้ขนาดของกระแสเพิ่มขึ้น ซึ่งเราจะใช้คุณสมบัตินี้ในการควบคุมแรงดันไฟตรง ซึ่งจะได้กล่าวถึงรายละเอียดในหัวข้อที่ 2.3 นอกจากนี้ ถ้าเราเปรียบเทียบกับวงจรเรียงกระแสแบบวิธีสวิตช์ที่ใช้สวิตช์เดี่ยวที่ทำงานที่ค่าวัฏจักรงาน 50% [1] เหมือนกัน จะพบว่าเงื่อนไขที่จะทำให้กระแสขาเข้ามีรูปคลื่นเป็นไปตามแรงดันแหล่งจ่ายคือ $e_d \gg v_s(t)$ ซึ่งจะเห็นได้ว่าแรงดันบัสไฟตรงที่ต้องการ จะต้องมีค่าสูงกว่าวงจรแบบสวิตช์คู่ 2 เท่า จึงต้องใช้สวิตช์กำลังที่มีพิกัดแรงดันสูงกว่า

2.2.3 การออกแบบวงจร

ก่อนที่จะเราจะทำการออกแบบวงจรนั้นจำเป็นต้องมาพิจารณาถึง ตัวแปรสำคัญที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของกระแสทางดำนเข้า เมื่อพิจารณาจากสมการที่ (2.62) แล้วจะเห็นว่า เมื่อขนาดของแรงดันดำนเข้ามีค่าคงที่ที่ 220Vrms ก็จะมีเพียงตัวแปรค่าตัวเหนี่ยวนำ(L) และคาบการสวิตช์(T_{sw})ที่ต้องกำหนด ซึ่งในการเลือกใช้ค่าต่างๆของตัวแปรย่อมมีขีดจำกัดในทางปฏิบัติ ยกตัวอย่างเช่น ความสามารถในการทนแรงดัน กระแส และความถี่สูงสุดที่สวิตช์กำลังสามารถทำงานได้ ดังนั้นในการเริ่มต้นการออกแบบวงจรเราจะเริ่มจากการกำหนดพิกัดต่างๆดังนี้

- 1) กำหนดให้พิกัดกำลังของวงจรเรียงกระแสเพียงพอลดต่อโหลดที่เป็นวงจรอินเวอร์เตอร์ที่ใช้ขับมอเตอร์เหนี่ยวนำขนาดเล็ก (370W)
- 2) สวิตช์กำลังแบบแพคเกจ(Intelligent Power Module) ที่เลือกใช้มีค่าพิกัดของแรงดันไฟตรง 1200V และค่ากระแสพิกัด 25A ซึ่งในปัจจุบันสวิตช์กำลังชนิดนี้จะมีค่า

การสวิตช์สูงสุดที่ทำงานได้คือ 20 kHz แต่ในที่นี้เราจะทำการออกแบบวงจรให้ทำงานอยู่ในช่วงความถี่ไม่เกิน 14 kHz เพื่อป้องกันความเสียหายของอุปกรณ์

จากข้อกำหนดของค่าพิกัดข้างต้น และจากความสัมพันธ์ในสมการที่ (2.62) เราจะออกแบบวงจรให้ทำงานอยู่ในช่วงความถี่ 2 – 14 kHz คลอดย่านการทำงานของมอเตอร์เหนี่ยวนำตั้งแต่ภาวะไร้โหลด จนถึงโหลดพิกัด ซึ่งมอเตอร์ที่ใช้จะมีค่าพิกัดดังแสดงในตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 ค่าพารามิเตอร์ต่างๆของมอเตอร์เหนี่ยวนำ

230/400 V	2.0/1.7 A
0.37 kW	$\cos \phi = 0.87$
1400 min^{-1}	50 Hz

เราสามารถแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าโหลดของวงจรเรียงกระแสกับความถี่การสวิตช์ได้ดังนี้คือ

- ที่สภาวะไร้โหลด (No load) มอเตอร์เหนี่ยวนำรวมทั้งวงจรเรียงกระแสและอินเวอร์เตอร์ จะมีกำลังสูญเสียประมาณ 100W ซึ่งค่านี้จะเป็นโหลดค่าสุดของวงจรเรียงกระแส และจะเป็นจุดทำงานที่ความถี่สูงสุดด้วย ดังนั้นเราจะกำหนดให้ความถี่การสวิตช์ของวงจรเรียงกระแสเป็น 14 kHz ณ จุดทำงานนี้
- ในสภาวะโหลดพิกัด (Full load) มอเตอร์เหนี่ยวนำรวมทั้งวงจรเรียงกระแสและอินเวอร์เตอร์ จะมีกำลังประมาณ 750 W ซึ่งจะมีค่าประมาณ 7 เท่า ของค่ากำลังที่สภาวะไร้โหลด ดังนั้นจึงกำหนดความถี่การสวิตช์ของวงจรเรียงกระแสให้เป็น 2kHz

ขั้นตอนในการออกแบบค่าตัวเหนี่ยวนำมีดังต่อไปนี้

จากสมการที่ 2.62 ประมาณว่าตัวเก็บประจุที่ใช้ในการแบ่งแรงดัน ไม่มีผลต่อการเลื่อนเฟสระหว่างแรงดันและกระแสทางด้านเข้าเราสามารถคำนวณหา กำลังด้านเข้า P_{in} ของวงจรเรียงกระแสได้เป็นสมการที่ (2.63) และค่า L ก็สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (2.64)

$$P_{in} = \frac{V_m}{\sqrt{2}} \cdot \frac{V_m}{\sqrt{2}} \cdot \frac{T_{sw}}{16L} \quad (2.63)$$

$$L = \frac{V_m^2 T_{sw}}{32 P_{in}} \quad (2.64)$$

เนื่องจากแรงดันไฟสลับ 1 เฟสค่านเข้ามีค่าขอด $V_m = 310 \text{ V}$ และที่สภาวะโหลดพิกัด $P_{in} = 750 \text{ W}$ ความถี่การสวิตช์ $f_{sw} = \frac{1}{T_{sw}} = 2 \text{ kHz}$ เราสามารถนำค่าเหล่านี้มาคำนวณหาค่า L ได้ดังนี้

$$L = \frac{(310) * (310) * (500 * 10^{-6})}{32 * (750)}$$

$$\cong 2.0 \text{ mH}$$

เมื่อเราได้ค่า L ที่จำเป็นต้องใช้ในสภาวะโหลดพิกัด(750W) ได้เรียบร้อยแล้วจึงนำค่า L ดังกล่าวมาทดลองคำนวณกลับเพื่อหาค่าความถี่การสวิตช์ในสภาวะไร้อหลด(100W) เพื่อทดสอบว่าวงจรจะทำงานอยู่ในย่านความถี่ประมาณ 14 kHz ที่กำหนดหรือไม่ โดยใช้สมการที่ 2.63 เช่นเดิมได้ผลการคำนวณดังนี้

$$100 \text{ W} = \frac{(310) * (310)}{32} * \frac{T_{sw}}{(2 * 10^{-3})}$$

$$T_{sw} = 0.067 \text{ ms}$$

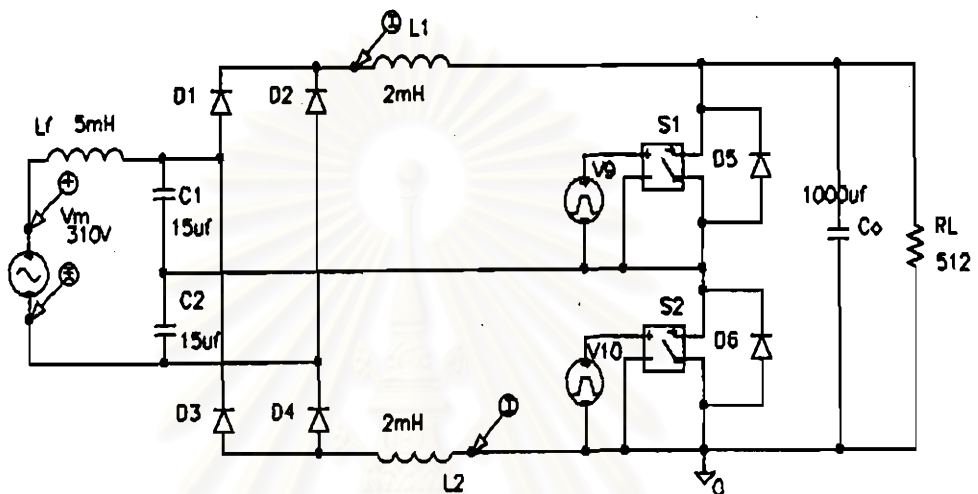
$$f_{sw} \cong 14.9 \text{ kHz}$$

ซึ่งจะเห็นว่าจากค่า L ที่เรากำหนดได้ที่สภาวะโหลดพิกัดเมื่อนำมาคำนวณกลับเพื่อหาค่าความถี่การสวิตช์ที่สภาวะไร้อหลด จะได้ค่าความถี่การสวิตช์อยู่ในย่านที่ยอมรับได้ จึงนำค่า L และค่าความถี่การสวิตช์ดังกล่าวไปทำการจำลองการทำงานที่ทั้ง 2 สภาวะ โดยผลการจำลองการทำงานจะแสดงในหัวข้อถัดไป

2.2.4 การจำลองการทำงานของวงจรด้วยโปรแกรม PSPICE

เพื่อเป็นการพิสูจน์ความถูกต้องในเบื้องต้นของสมการที่ใช้อธิบายการทำงานของวงจร เราได้ใช้โปรแกรม PSPICE ในการจำลองการทำงานของวงจร ดังรูปที่ 2.9 ภายได้เงื่อนไขดังนี้คือ

- 1) ใช้แบบจำลองของอุปกรณ์สวิตช์กำลังที่เป็นสวิตช์อุดมคติ
 - 2) ในการจำลองการทำงานของวงจร ได้มีการตั้งค่าแรงดันเริ่มต้นให้แก่ตัวเก็บประจุทางด้านออก (Co) เพื่อให้วงจรเข้าสู่สภาวะอยู่ตัวได้เร็วขึ้น
- ดังแสดงผลการจำลองการทำงานได้ดังต่อไปนี้



รูปที่ 2.9 วงจรที่ใช้ในการจำลองการทำงานด้วยโปรแกรม PSpice

เรากำหนดการจำลองการทำงานออกเป็น 2 กรณี ดังต่อไปนี้

ก) จำลองการทำงานที่สภาวะโหลดพิกัด (750W)

กำหนดค่าพารามิเตอร์ต่างๆดังต่อไปนี้

$$v_s = 310\sin 100\pi t$$

$$L_1 = L_2 = 2.0 \text{ mH}$$

$$C_1 = C_2 = 15 \text{ uF}$$

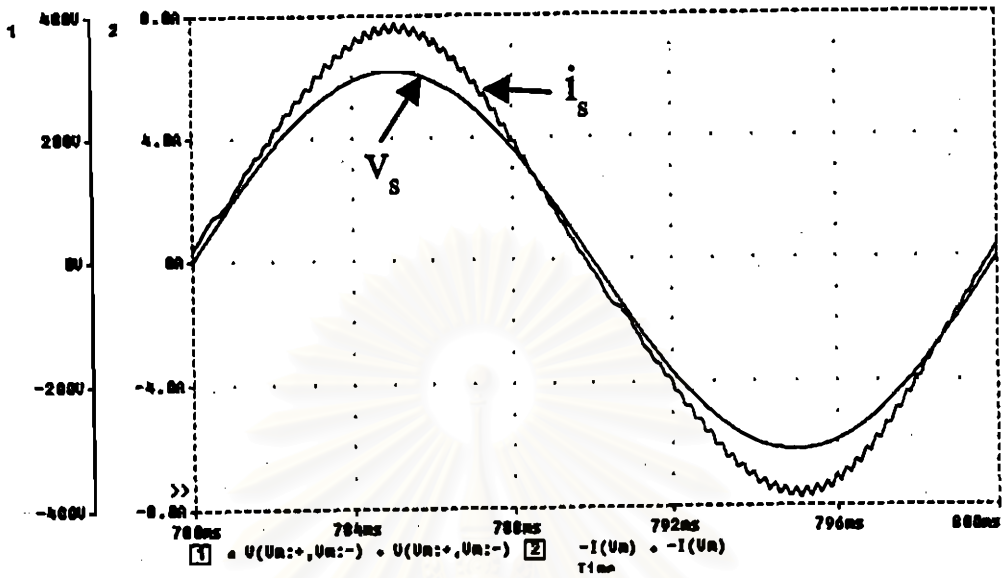
$$R_L = 512 \text{ ohm}$$

$$C_o = 1000 \text{ uF}$$

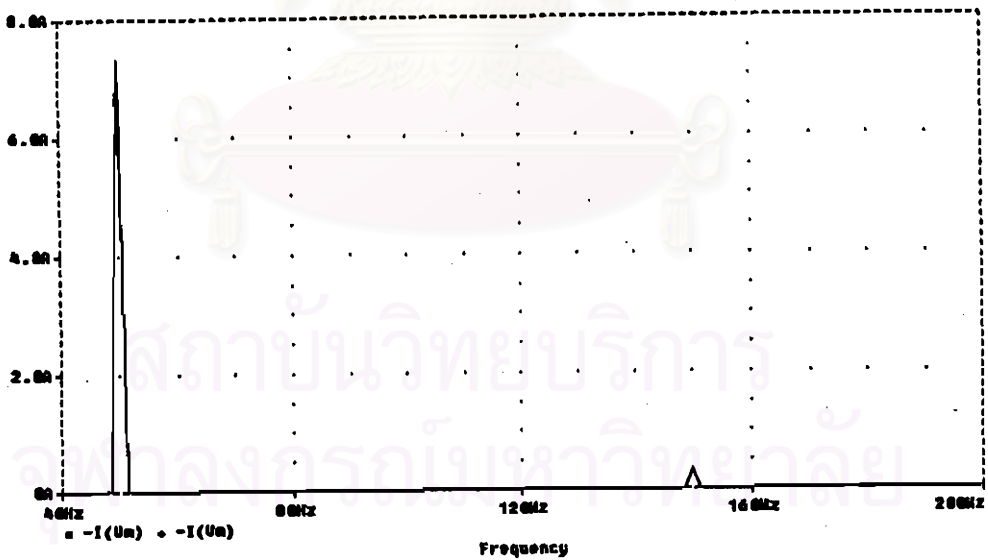
$$f_{sw} = 2 \text{ kHz}$$

$$e_d = 620 \text{ V}$$

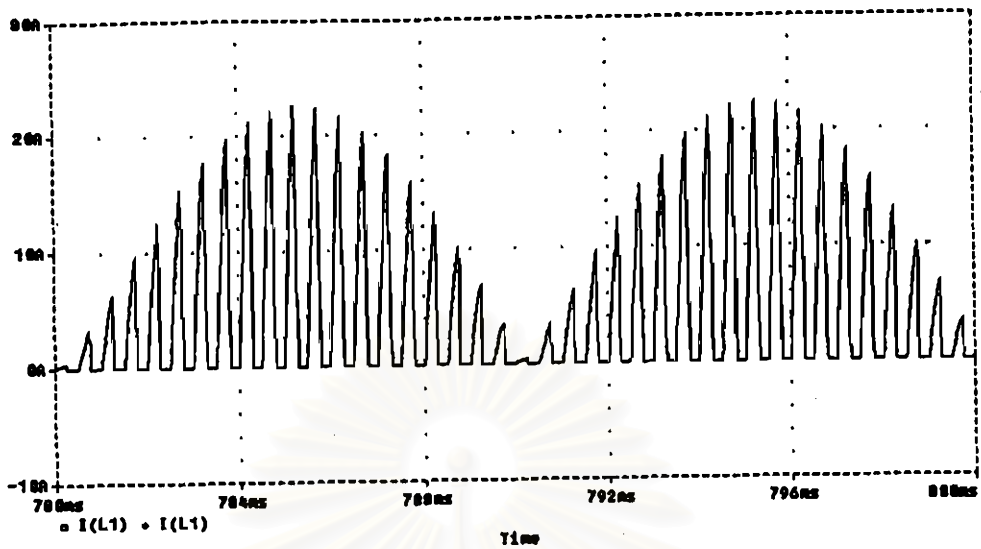
ได้ผลการจำลองการทำงานแสดงดังรูปที่ 2.10 ถึง 2.13



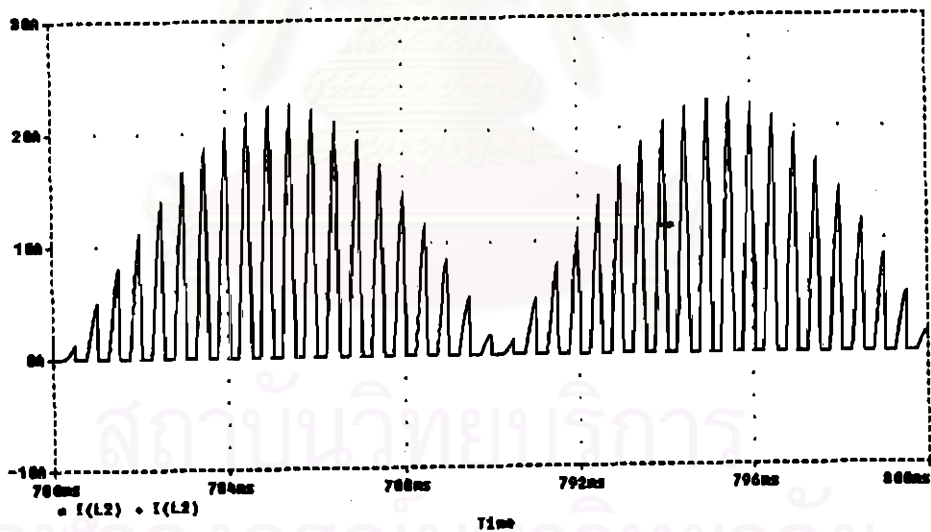
รูปที่ 2.10 รูปคลื่นของแรงดันและกระแสจากแหล่งจ่ายไฟกระแสกลับ 1 เฟส



รูปที่ 2.11 สเปกตรัมของกระแสจากแหล่งจ่ายไฟสลับ 1 เฟส (i)



รูปที่ 2.12 รูปคลื่นของกระแสที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำ L_1 (i_{L1})



รูปที่ 2.13 รูปคลื่นของกระแสที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำ L_2 (i_{L2})

เมื่อพิจารณาผลการจำลองการทำงานที่สภาวะโหลดหนัก รูปคลื่นของกระแสจากแหล่งจ่าย จะมีรูปร่างใกล้เคียงรูปไซน์ตามที่ต้องการและมีมุมต่างเฟสจากแรงดันทางด้านเข้าเล็กน้อย แต่เมื่อเราทำการคำนวณกำลังด้านเข้าของวงจรจากรูปคลื่นของกระแสและแรงดันด้านเข้า จะได้กำลังด้านเข้าประมาณ 1000W ซึ่งจะเห็นว่าผลการจำลองการทำงานยังแตกต่างจากค่าที่คำนวณไว้เบื้องต้นอยู่พอสมควร

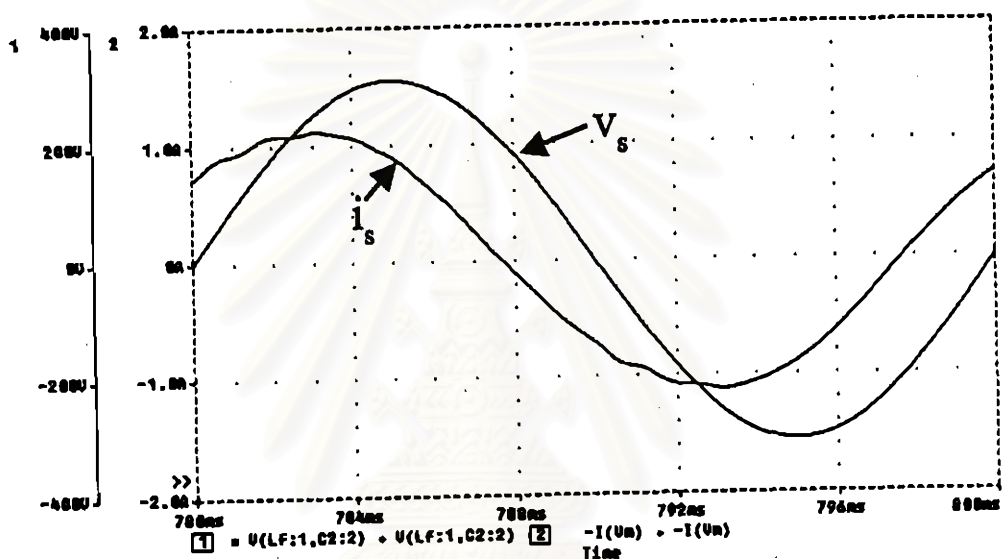
ข) ข้างลองการทำงานที่สภาวะโหลดเบา(100W)

กำหนดค่าพารามิเตอร์ต่างๆดังต่อไปนี้

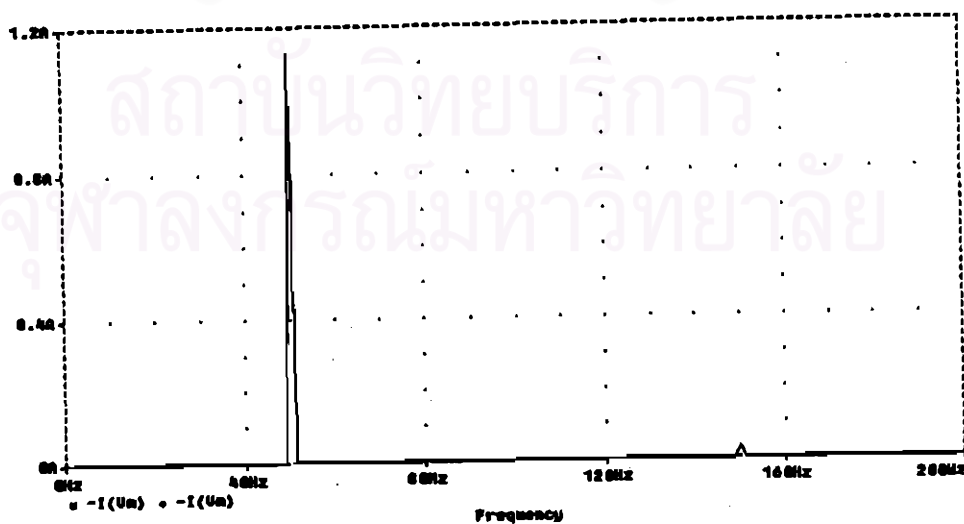
$$v_s = 310\sin 100\pi t \quad L_1 = L_2 = 2.0 \text{ mH} \quad C_1 = C_2 = 15 \text{ uF}$$

$$R_L = 3844 \text{ ohm} \quad C_o = 1000 \text{ uF} \quad f_{sw} = 14.8 \text{ kHz} \quad e_d = 620 \text{ V}$$

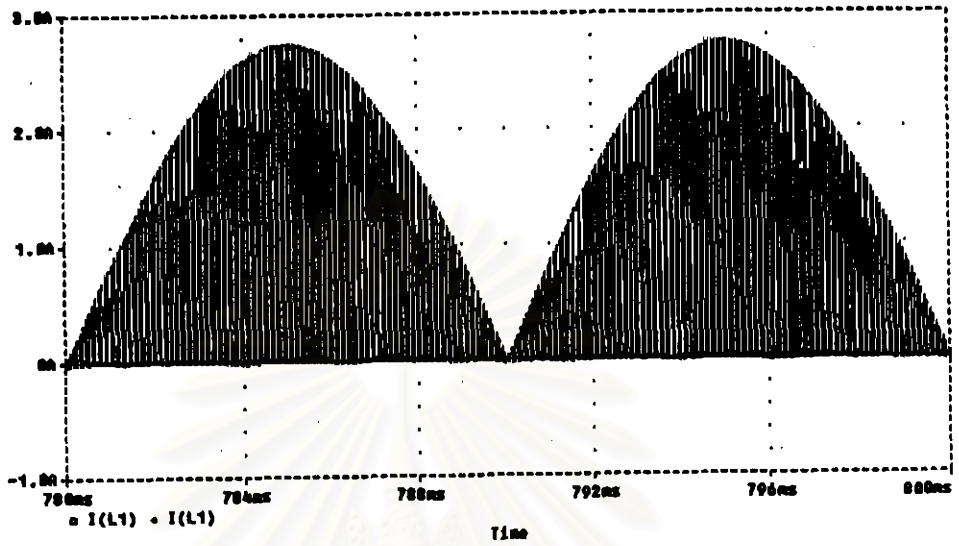
ได้ผลการข้างลองการทำงานแสดงดังรูปที่ 2.14 ถึง 2.17



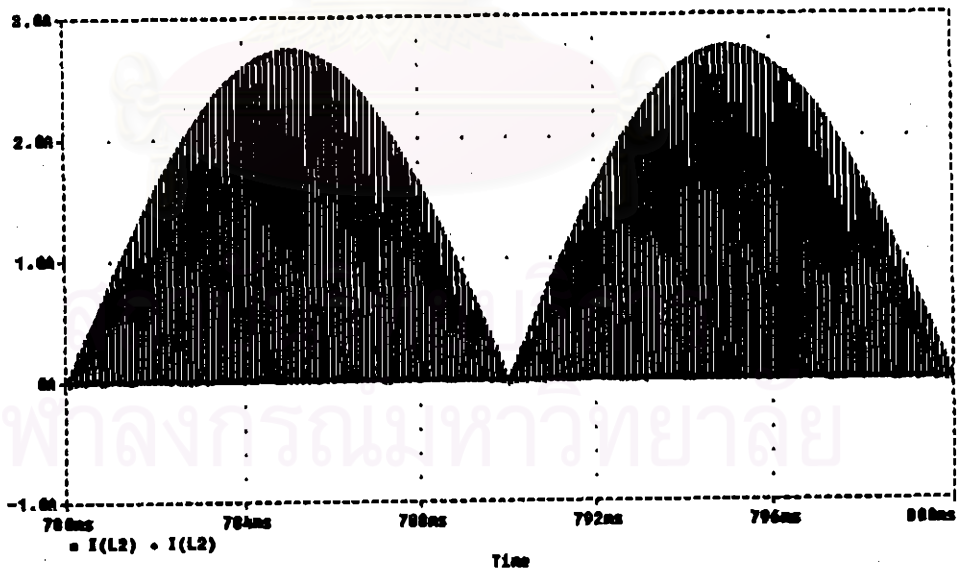
รูปที่ 2.14 รูปคลื่นของกระแสและแรงดันจากแหล่งจ่ายไฟกระแสระดับ 1 เฟส



รูปที่ 2.15 สเปกตรัมของกระแสจากแหล่งจ่ายไฟระดับ 1 เฟส (i)



รูปที่ 2.16 รูปคลื่นของกระแสที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำ $L1$ (i_{L1})



รูปที่ 2.17 รูปคลื่นของกระแสที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำ $L2$ (i_{L2})

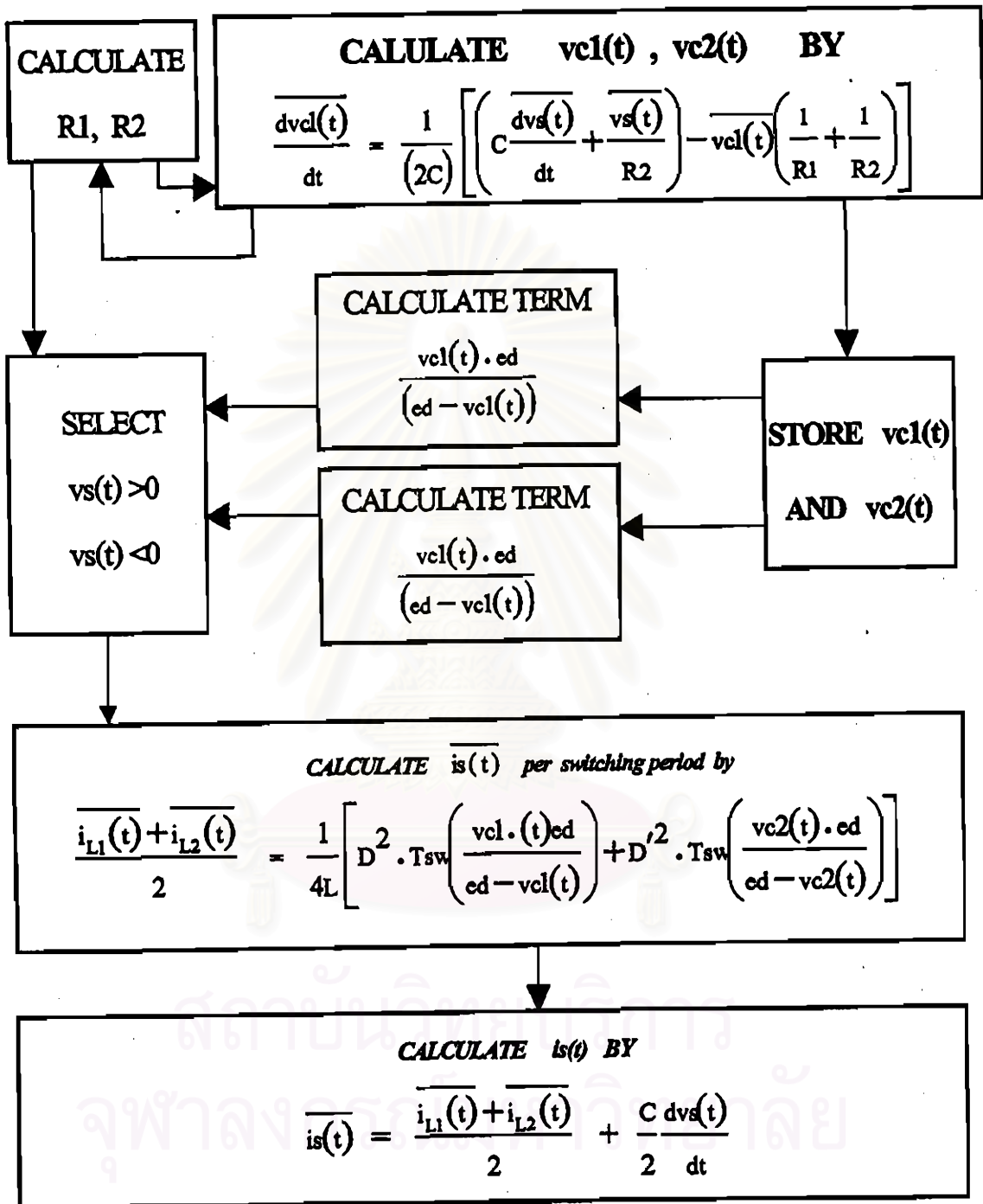
เมื่อพิจารณาการจำลองการทำงานที่สถานะไร้โหลด รูปคลื่นของกระแสจากแหล่งจ่ายไฟจะมีรูปร่างใกล้เคียงรูปไซน์ตามที่ต้องการแต่จะมีมุมต่างเฟสจากแรงดันทางด้านเข้ามากกว่ากรณีโหลดพิกัด แต่เมื่อเราทำการคำนวณกำลังทางเข้าของวงจร จะได้กำลังด้านเข้าประมาณ 140W ซึ่งจะเห็นว่าผลการจำลองการทำงานที่สถานะนี้จะใกล้เคียงกับที่ออกแบบไว้ตอนแรกมากกว่าที่สถานะโหลดพิกัด

เมื่อนำผลการจำลองการทำงานมาเปรียบเทียบกับค่าที่ออกแบบไว้ในเบื้องต้น จะเห็นว่าการออกแบบค่า L โดยใช้เพียงสมการที่ 2.64 ยังมีความผิดพลาดอยู่พอสมควร ซึ่งอาจเนื่องมาจากในการคำนวณนั้นได้มีการประมาณค่า และเลขค่าในบางส่วนคงได้กล่าวไว้แล้วในเบื้องต้น ซึ่งความผิดพลาดนี้ทำให้เราต้องใช้การคำนวณที่ละเอียดขึ้นเพื่อประโยชน์ในการออกแบบวงจรให้ได้ค่าที่ถูกต้อง ซึ่งในการประมาณค่ากระแสทางด้านเข้าจากกระแสที่ผ่านตัวเหนี่ยวนำก่อนข้างมีความซับซ้อน เราจึงต้องทำการคำนวณโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ MATLAB/SIMULINK ช่วยในการคำนวณ ซึ่งจะได้กล่าวโดยละเอียดในหัวข้อต่อไป

2.2.5 การประมาณค่ากระแสทางด้านเข้าโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ (MATLAB)

เราจะใช้สมการที่ (2.38) และ (2.39) ในการคำนวณค่า R_1 , R_2 และคำนวณหาค่าแรงดันคร่อมตัวเก็บประจุ v_{c1} , v_{c2} ได้จากสมการที่ (2.48) จากนั้นจึงคำนวณหาค่ากระแสด้านเข้าซึ่งประมาณโดยใช้สมการที่ (2.23) ตามลำดับ การคำนวณทั้งหมดสามารถแสดงเป็นบล็อกไดอะแกรมดังรูปที่ 2.18

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 2.18 บล็อกโคโอะแกรมที่ใช้ในการประมาณค่ากระแสทางด้นเข้า

ขั้นตอนในการออกแบบโดยใช้โปรแกรม

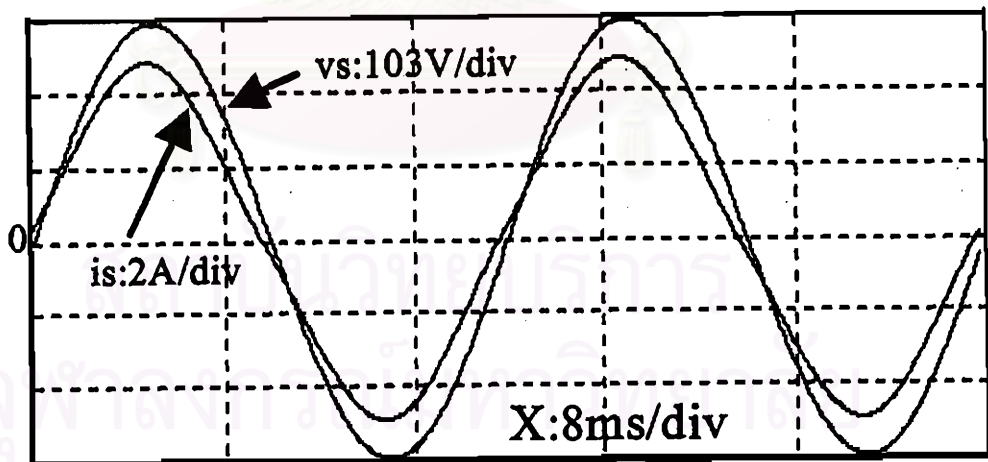
1. เลือกใช้ค่า L ที่คิดว่าเหมาะสมอาจพิจารณาจากการจำลองการทำงาน เช่น เมื่อเลือกใช้ค่า $L = 2.0 \text{ mH}$ ได้ขนาดกำลังประมาณ 1000 W ซึ่งมากเกินไปจึงต้องเปลี่ยนค่า L ในลักษณะที่เพิ่มขึ้น (พิจารณาจากสมการที่ 2.63) ในที่นี้ทดลองใช้ค่า $L = 2.5 \text{ mH}$
2. เลือกใช้ค่า C_1 และ C_2 ที่เหมาะสม โดยพิจารณาจากมุมต่างเฟสที่จะเกิดขึ้นที่สถานะโหลด พิจารณาเลือกใช้ C ค่าใหญ่ หรือค่า C ที่เล็กเกินไปก็จะมีผลต่อแรงดันกระแสลับที่ตกคร่อมที่ C อาจมีรูปร่างไม่เป็นไซน์
3. เลือกค่าวัฏจักรงาน (D) ที่ต้องการใช้ในวงจร ในที่นี้เลือกใช้ค่าวัฏจักรงาน = 50%
4. ทำการคำนวณค่ากระแสทางด้านเข้าแล้วพิจารณาว่าขนาดของกระแสที่ได้มีค่าตรงกับที่ควรจะได้ตามที่ออกแบบไว้หรือไม่ หากไม่ตรงก็ทำการปรับเปลี่ยนค่า L จนได้ค่ากระแสที่ต้องการ

ผลการออกแบบวงจรด้วยโปรแกรม

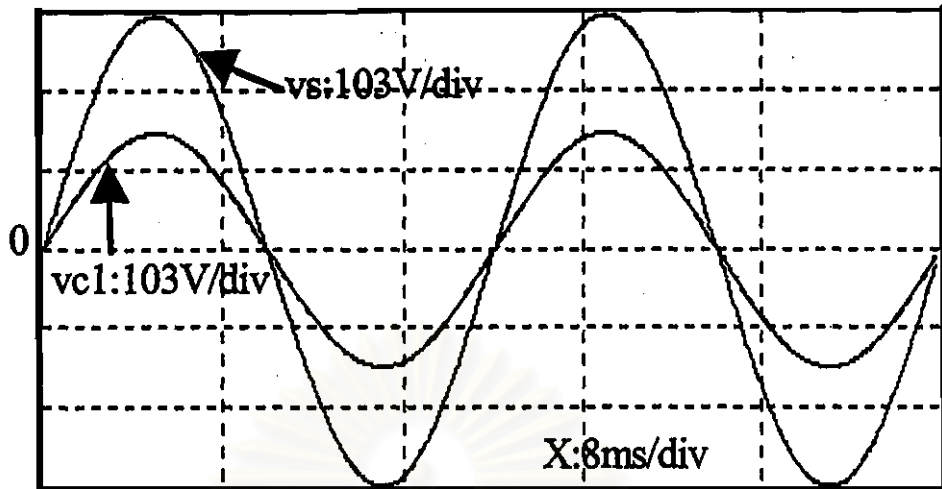
1) ออกแบบการทำงานที่สถานะ โหลดพิกัด (750 W)

กำหนดค่าพารามิเตอร์ต่างๆดังต่อไปนี้

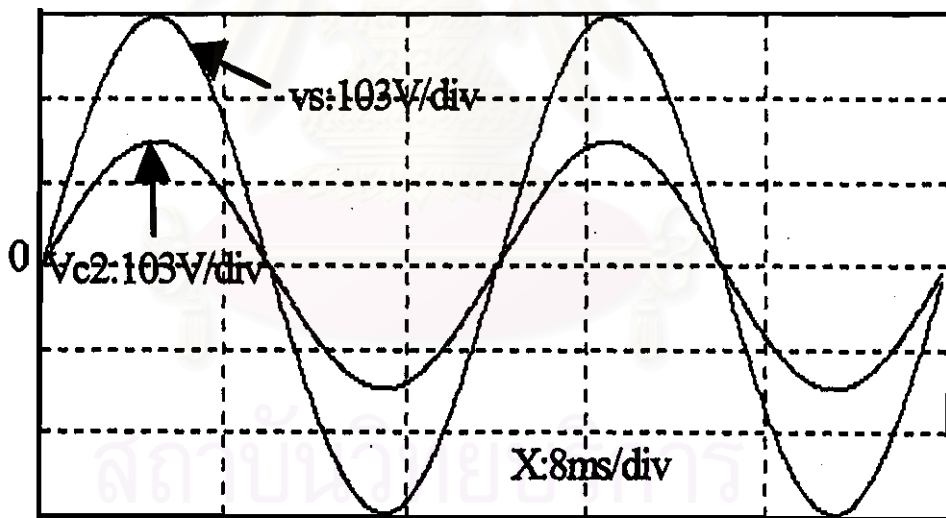
$$v_s = 310\sin 100\pi t \quad L_1 = L_2 = 2.5 \text{ mH} \quad C_1 = C_2 = 10 \text{ uF} \quad f_{sw} = 2 \text{ kHz}$$



รูปที่ 2.19 รูปคลื่นของกระแสด้านเข้าที่สถานะโหลดพิกัด



รูปที่ 2.20 รูปคลื่นแรงดันไฟฟ้สลับที่คกกรอมตัวเก็บประจุ C_1 ที่สภาวะโหลดพิกัด



รูปที่ 2.21 รูปคลื่นแรงดันไฟฟ้สลับที่คกกรอมตัวเก็บประจุ C_2 ที่สภาวะโหลดพิกัด

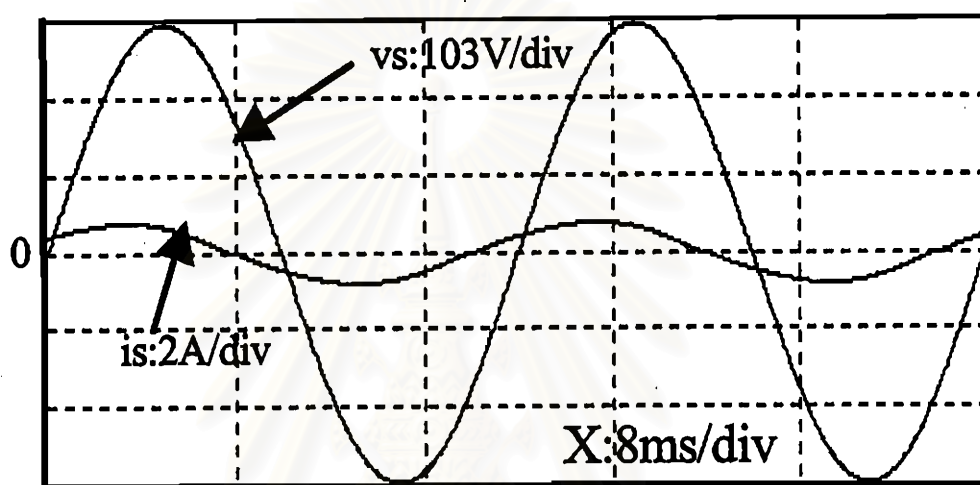
เมื่อเรานำค่ากระแสทางด้านเข้าที่โปรแกรมคำนวณได้ในรูปที่ 2.18 มาทำการคำนวณหาขนาดของกำลังด้านเข้าจะได้ค่าประมาณ 760 W ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับค่าที่ด้องการ และรูปคลื่นแรงดันที่คกกรอมตัวเก็บประจุยังคงเป็นรูปไซน์และมีมุมต่างเฟสไม่มากนัก ทำให้ค่าตัวประกอบกำลังมีค่าใกล้เคียง 1

2. ออกแบบการทำงานที่สภาวะไร้โหลด (100W)

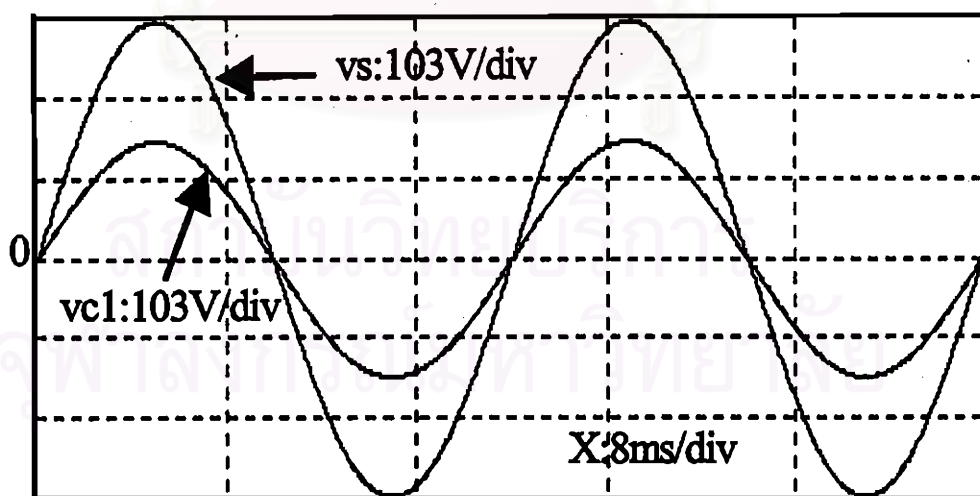
กำหนดค่าพารามิเตอร์ต่างๆดังต่อไปนี้

$$v_s(t) = 310\sin 100\pi t \quad L_1 = L_2 = 2.5 \text{ mH} \quad C_1 = C_2 = 10 \text{ }\mu\text{F}$$

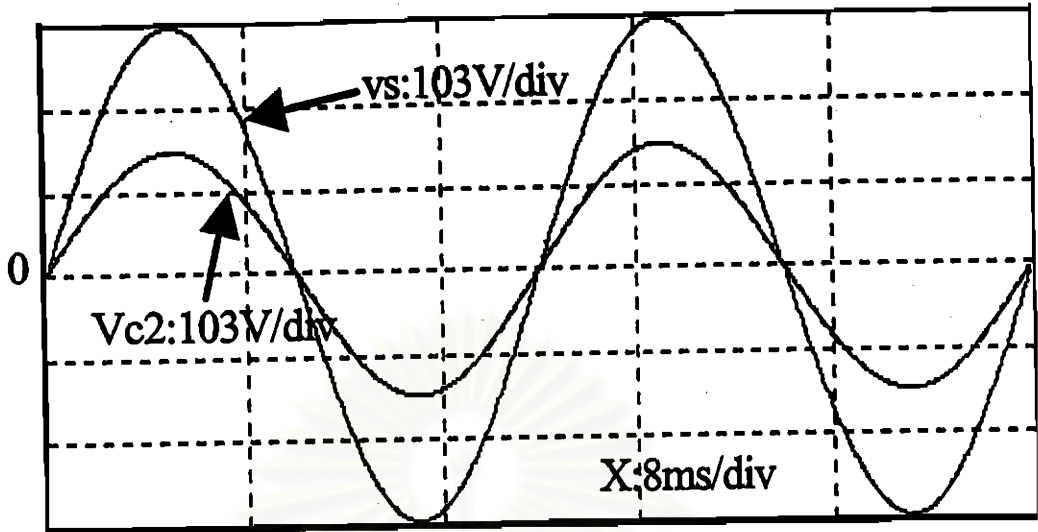
$$f_{sw} = 14 \text{ kHz}$$



รูปที่ 2.22 รูปคลื่นของกระแสด้านเข้าที่สภาวะไร้โหลด



รูปที่ 2.23 รูปคลื่นแรงดันไฟสลับที่ตกคร่อมตัวเก็บประจุ C_1 ที่สภาวะไร้โหลด



รูปที่ 2.24 รูปคลื่นแรงดันไฟสลับที่ตกคร่อมตัวเก็บประจุ C2 ที่สภาวะไร้โหลด

เมื่อเรานำค่ากระแสทางด้านเข้าที่คำนวณได้ในสภาวะไร้โหลดซึ่งมีค่าประมาณ 0.8A มาทำการคำนวณหาขนาดของกำลังทางด้านเข้า จะได้ค่าประมาณ 95W ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับค่าที่ต้องการ และรูปคลื่นแรงดันที่ตกคร่อมตัวเก็บประจุก็ยังคงเป็นรูปไซน์

จะเห็นว่าเราสามารถที่จะใช้ผลการวิเคราะห์การทำงานอย่างละเอียดมาช่วยในการออกแบบวงจรเพื่อเลือกค่า L และ C ที่เหมาะสมกับขนาดของกำลังและความถี่การสวิตช์ที่ต้องการ และจะได้ผลการออกแบบที่ใกล้เคียงกับความต้องการจริง ค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการวิจัยทั้งหมดแสดงได้ดังตารางที่ 2.3 เราจะนำค่าต่างๆที่คำนวณได้นี้ไปใช้ในการสร้างและทดสอบวงจรจริงดังจะได้แสดงผลการทดลองในหัวข้อ 2.4

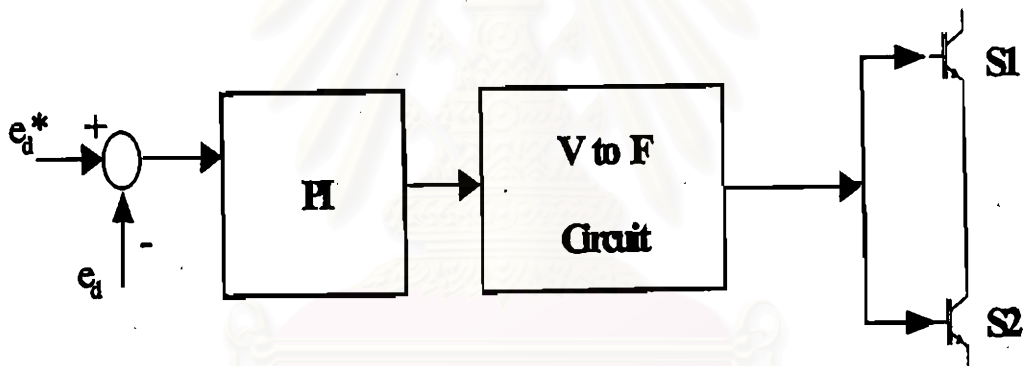
ตารางที่ 2.3 พารามิเตอร์ต่างๆที่ใช้ในวงจร

$v_s = 220 \text{ V}$	$L_1 = L_2 = 2.5\text{mH}$
$f = 50 \text{ Hz}$	$C_1 = C_2 = 10\mu\text{F}$
$f_{sw} = 2 - 14 \text{ kHz}$	$C = 1000\mu\text{F}$
$e_s = 620 \text{ V}$	$L_f = 5\text{mH}$

2.3 การควบคุมแรงดันบัลไฟตรงของวงจรให้คงที่

จากสมการที่ 2.62 จะเห็นว่าเราสามารถควบคุมขนาดของกระแสด้านเข้าได้โดยการแปรค่าความถี่การสวิตช์ โดยเมื่อเราเพิ่มความถี่การสวิตช์จะทำให้ได้ขนาดกระแสด้านเข้าลดลง และเมื่อลดความถี่การสวิตช์จะทำให้ได้ขนาดของกระแสด้านเข้าเพิ่มขึ้น ซึ่งเปรียบเสมือนการควบคุมการถ่ายเทพลังงานจากแหล่งจ่ายให้มาสะสมอยู่ที่ตัวเก็บประจุ และเราจะใช้คุณสมบัตินี้ในการควบคุมแรงดันบัลไฟตรง

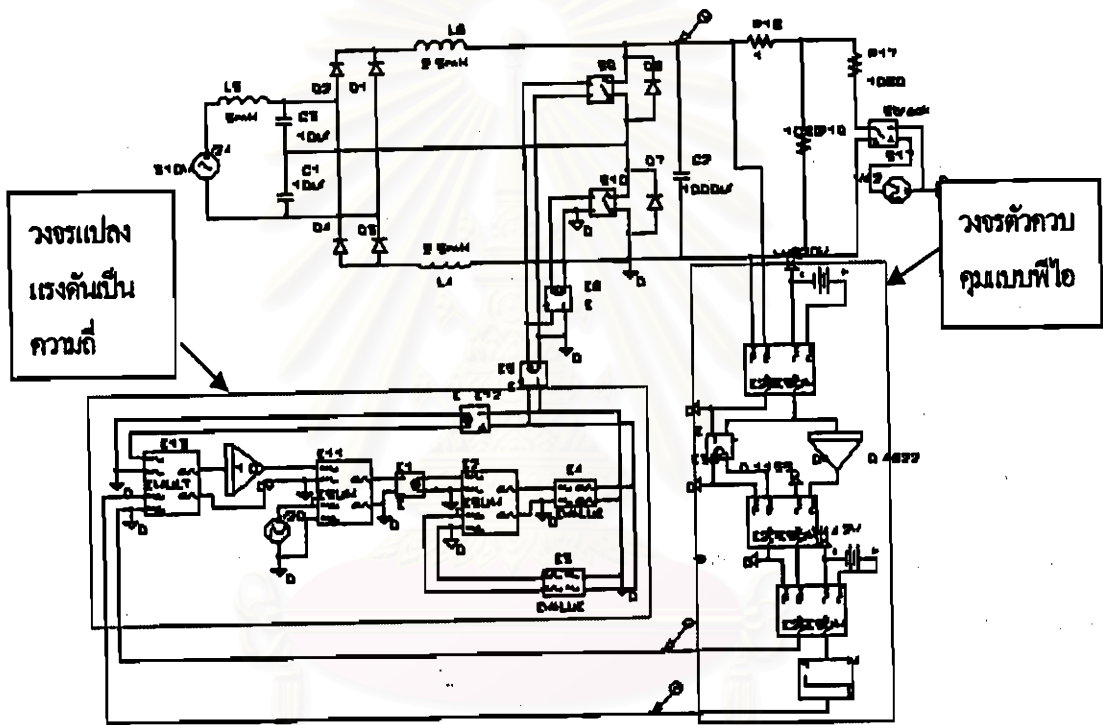
การควบคุมแรงดันบัลไฟตรงเริ่มต้นด้วยการตรวจจับแรงดันบัลไฟตรงมาทำการเปรียบเทียบกับแรงดันบัลอ้างอิงที่ต้องการควบคุม นำค่าผลต่างของแรงดันที่ได้ไปผ่านตัวควบคุมแบบพีโอ เพื่อให้ได้เอาต์พุตออกมามีอยู่ในรูปของคำสั่งความถี่การสวิตช์ ซึ่งในการจำลองการทำงานด้วย PSPICE นั้นเราจะใช้วงจรที่มีการทำงาน ดังแสดงเป็นโคอะแกรมในรูปที่ 2.25



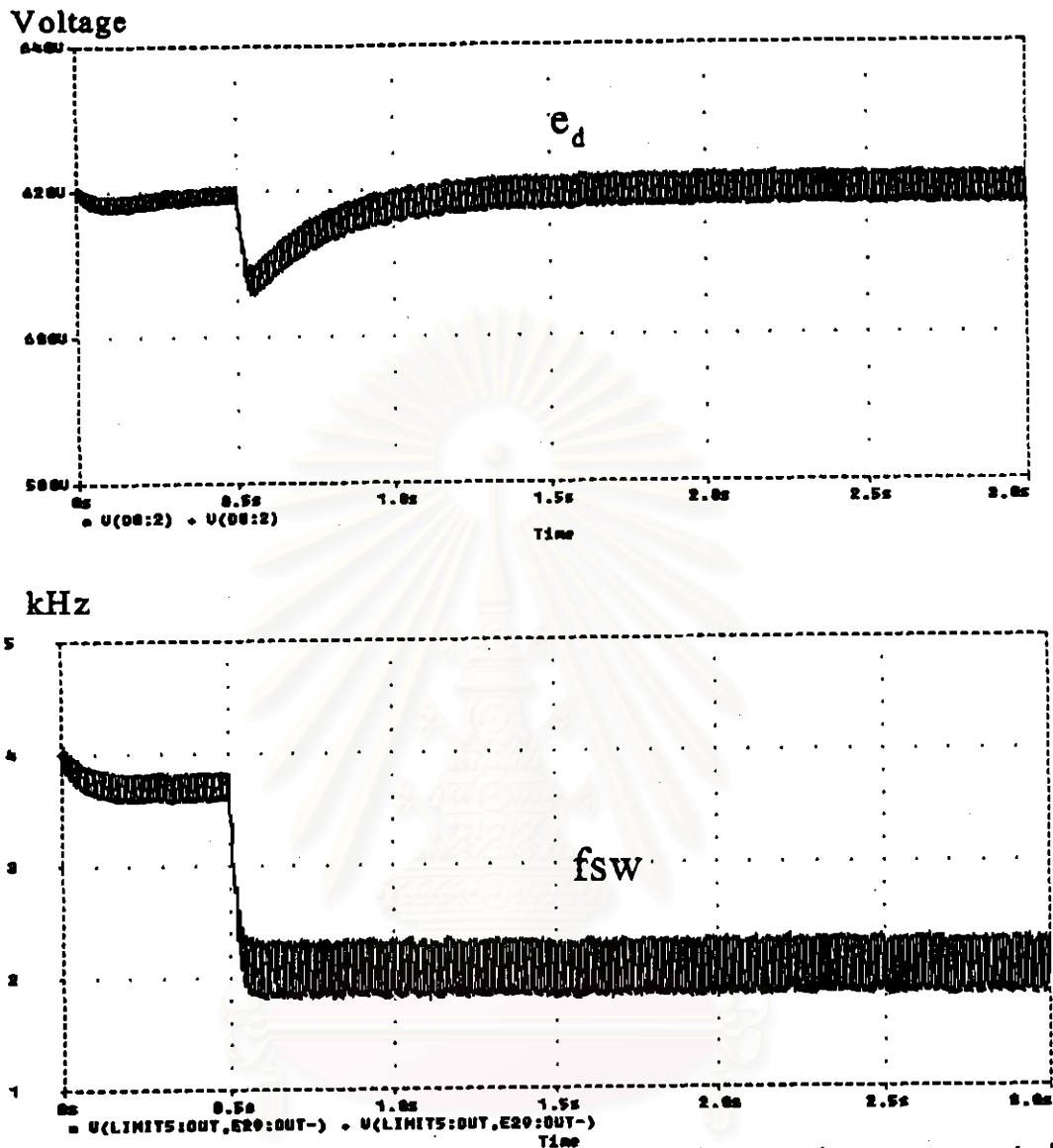
รูปที่ 2.25 บล็อกโคอะแกรมในการควบคุมแรงดันบัลไฟตรง

การจำลองการทำงานการควบคุมแรงดันบัลไฟตรงให้คงที่

การจำลองการทำงานเพื่อทดสอบหลักการควบคุมแรงดันบัลไฟตรงโดยการแปรเปลี่ยนความถี่การสวิตช์ ตามบล็อกโคอะแกรมในรูปที่ 2.25 โดยใช้วงจรดังรูปที่ 2.26 ซึ่งวงจรจะมีการเพิ่มเติมในส่วนของวงจรควบคุมแบบพีโอ และวงจรที่ทำหน้าที่ในการแปลงแรงดันคำสั่งเป็นความถี่คำสั่งในสถานะการทำงานที่มีการเปลี่ยนแปลงโหลดเพิ่มขึ้นจากประมาณ 400 W เป็น 800 W และในสถานะที่มีการเปลี่ยนแปลงโหลดลดลงจาก 800 W เป็น 400 W ดังแสดงผลการจำลองการทำงานได้ดังรูปที่ 2.27 และ 2.28



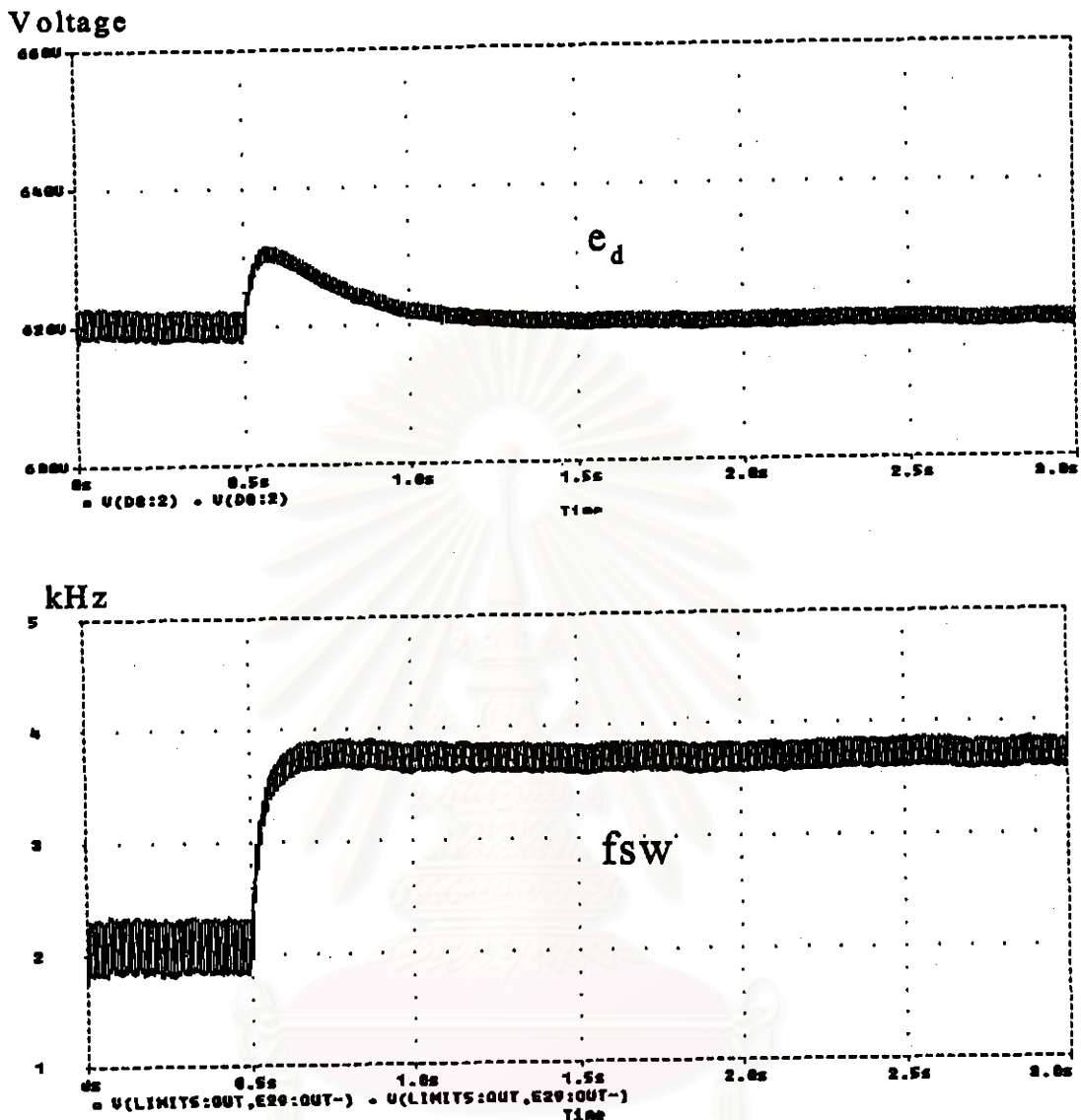
รูปที่ 2.26 วงจรที่ใช้ในการจำลองการทำงานเมื่อมีการควบคุมแรงดันไฟตรงด้านออก



รูปที่ 2.27 รูปคลื่นของแรงดันบัสไฟตรง และความถี่การสวิตช์เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงโหลดเพิ่มขึ้น

จะเห็นว่าเมื่อโหลดเพิ่มมากขึ้นแรงดันบัสไฟตรงจะลดลงมาที่ค่าหนึ่ง แต่ตัวควบคุมแบบพีไอจะทำการสั่งให้มีลวดความถี่ถึงเพื่อดึงพลังงานเข้ามาในระบบให้มากขึ้น ระบบจึงสามารถคงค่าแรงดันบัสไฟตรงไว้ที่ค่าที่ต้องการได้(620V)

ผลการจำลองการทำงานในกรณีที่เราเปลี่ยนแปลงโหลดลดลง จาก 800W เป็น 400W แสดงได้ดังรูปที่ 2.28



รูปที่ 2.28 รูปคลื่นของแรงดันบัสไฟตรง และความถี่การสวิตช์เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงโหลดลดลง

จากผลการจำลองการทำงานจะเห็นว่าเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงโหลดลดลงแรงดันบัสไฟตรงจะมีค่าสูงขึ้น ในขณะที่ความถี่การสวิตช์จะปรับตัวสูงขึ้นจาก 2.2 kHz เป็น 3.8 kHz ทำให้กระแสขาเข้าจะมีค่าลดลงตามที่วิเคราะห์ในสมการที่ 2.62 ทำให้กำลังงานจากแหล่งจ่ายไฟลดลงทำให้เราสามารถควบคุมแรงดันบัสไฟตรงให้คงที่ตามค่าที่ตั้งไว้ได้ ผลการจำลองการทำงานแสดงให้เห็นว่าเราสามารถนำวิธีดังกล่าวข้างต้นไปใช้ในการควบคุมแรงดันบัสไฟตรงให้คงที่ได้ ซึ่งเราจะได้นำแนวคิดที่ได้กล่าวไว้ນີ้นำไปใช้ในการทดลองกับวงจรจริงดังจะได้กล่าวถึงในบทที่ 4

2.4 ผลการทดสอบวงจรเรียงกระแสแบบวิธีสวิทช์แบบสวิทช์คู่

เราได้ทำการออกแบบสร้างวงจรอนต่าเรียงและทำการทดสอบวงจรเรียงกระแสแบบวิธีสวิทช์แบบสวิทช์คู่ในสภาวะต่างๆดังนี้

- 1) ที่สภาวะโหลดเบา (180 W)
 - 2) ที่สภาวะโหลดปานกลาง (260W)
 - 3) ที่สภาวะโหลดหนัก (330 W)
- ซึ่งได้ผลการทดสอบในแต่ละหัวข้อแสดงดังนี้

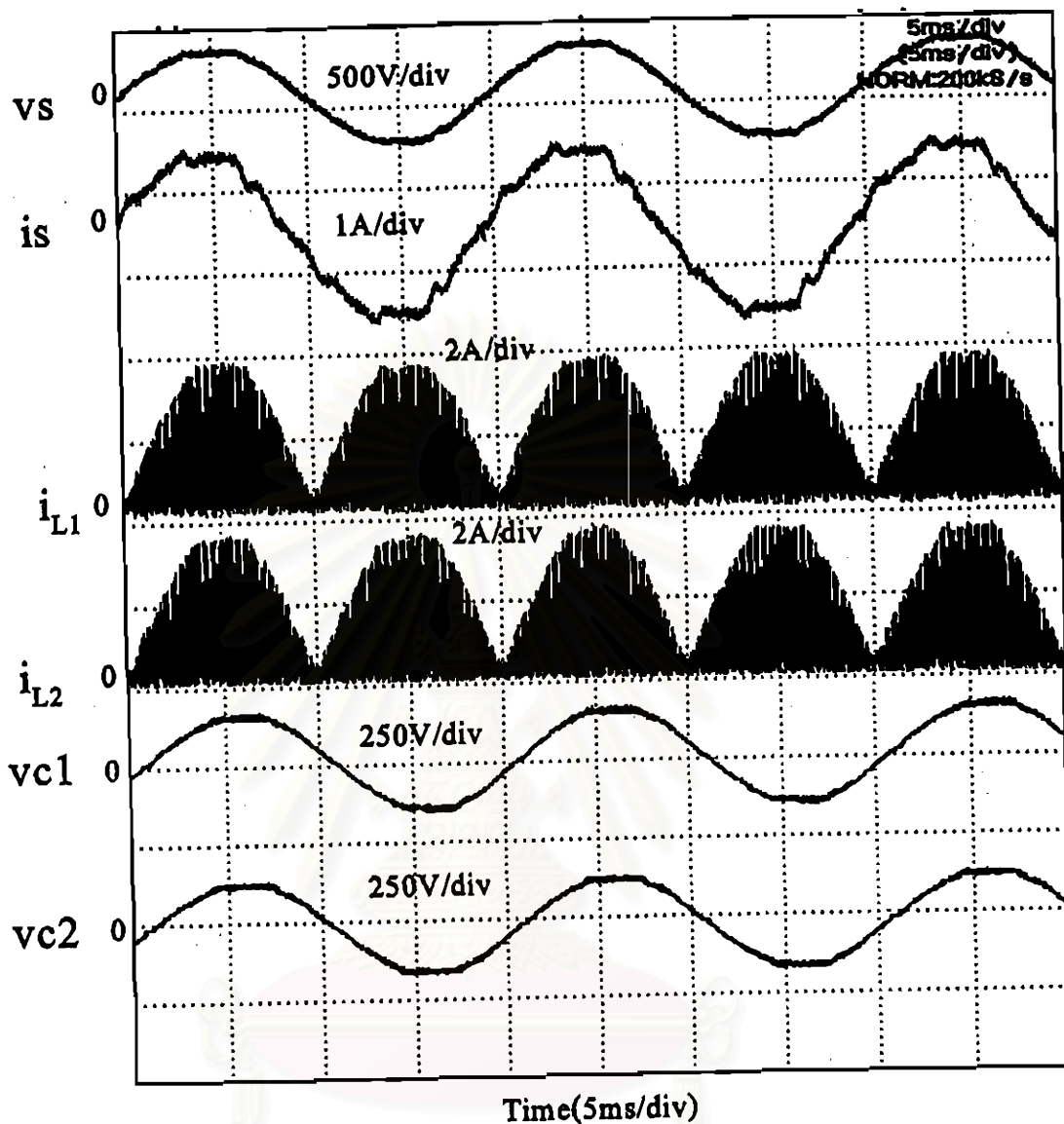
1. ที่สภาวะโหลดเบา (180 W)

เนื่องจากกระแสขาเข้าจะถูกควบคุมให้มีรูปคลื่นแปรตามแรงดันขาเข้า ดังนั้นถ้าแรงดันขาเข้าเคมิมิฮาร์โมนิกปะปนมาอยู่ด้วยแล้ว ถึงแม้การทำงานของวงจรในสภาวะอุดมคติก็จะยังคงมีกระแสฮาร์โมนิกในสัดส่วนตามองค์ประกอบแรงดันฮาร์โมนิก ดังนั้นเราจึงทำการบันทึกค่าความเพี้ยนของแรงดันแหล่งจ่ายประกอบผลการทดลองด้วย

แรงดันแหล่งจ่าย = 218 V , ค่า THD ของแรงดันแหล่งจ่าย = 2.85% ,

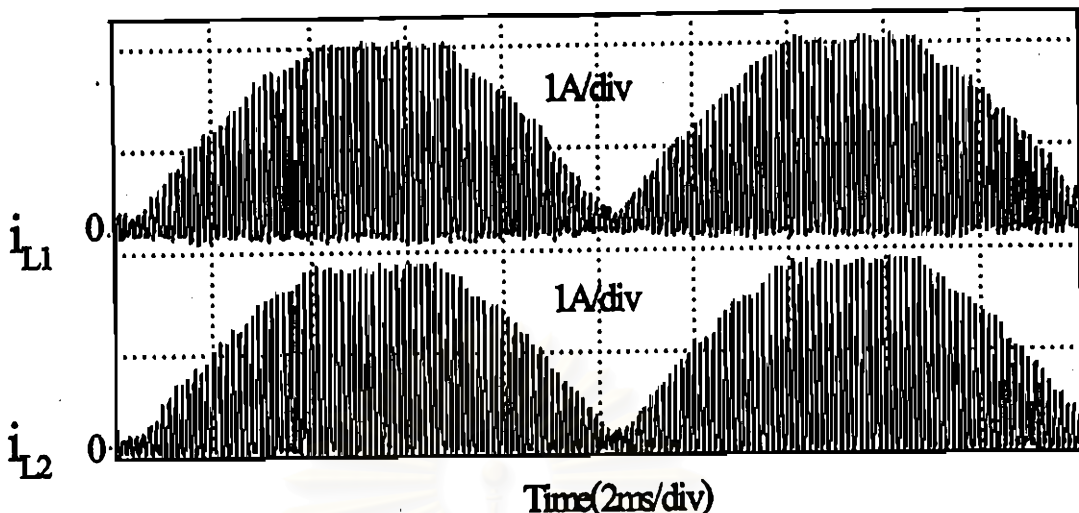
ความถี่ = 50.01 Hz , แรงดันปลัฟไฟตรง = 620 V

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



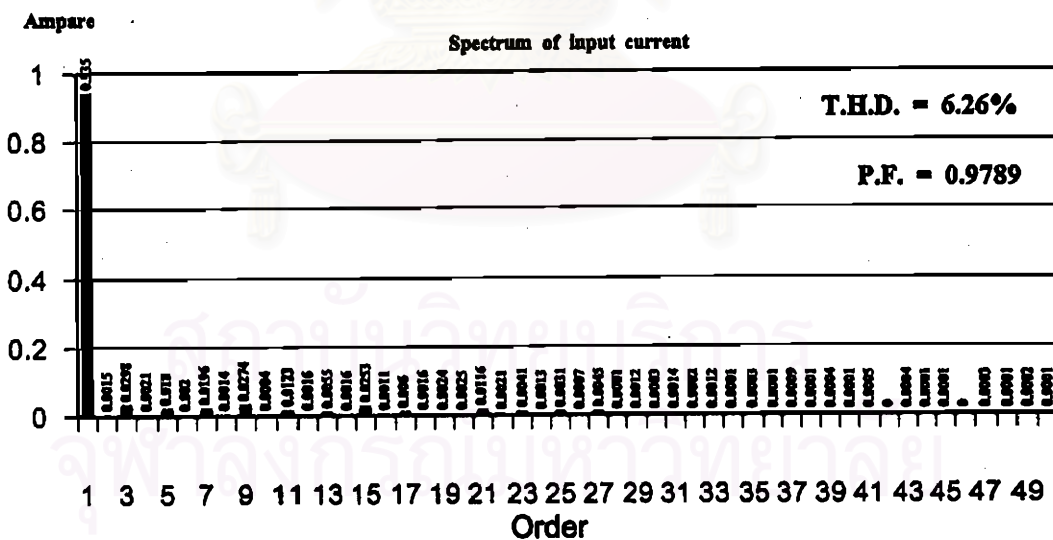
รูปที่ 2.29 รูปคลื่นกระแสและแรงดัน ของวงจรเรียงกระแส ที่สถานะโหลดเบา (180W)

จากผลการทดลองจะเห็นว่ารูปคลื่นกระแสด้านเข้าเมื่อเปรียบเทียบกับแรงดันด้านเข้าจะมีรูปร่างใกล้เคียงไซน์ และมีมุมต่างเฟสไม่มากนัก รัศมีค่าตัวประกอบกำลังได้เท่ากับ 0.979 รูปร่างของแรงดันที่ตกคร่อมตัวเก็บประจุยังคงมีรูปร่างเป็นไซน์ ส่วนรูปคลื่นของกระแสที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำ เราสามารถแสดงภาพในสเกลที่ละเอียดขึ้นได้ดังรูปที่ 2.30



รูปที่ 2.30 รูปคลื่นกระแสที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำ

รูปคลื่นกระแสจะทำงานในโหมดกระแสไม่ต่อเนื่อง วงจรจะทำงานที่ความถี่ประมาณ 8kHz เนื่องจากทำงานที่สภาวะโหลดเบา เราสามารถแสดงขนาดของกระแสที่ฮาร์มอนิกต่างๆ ได้ ดังรูปที่ 2.31



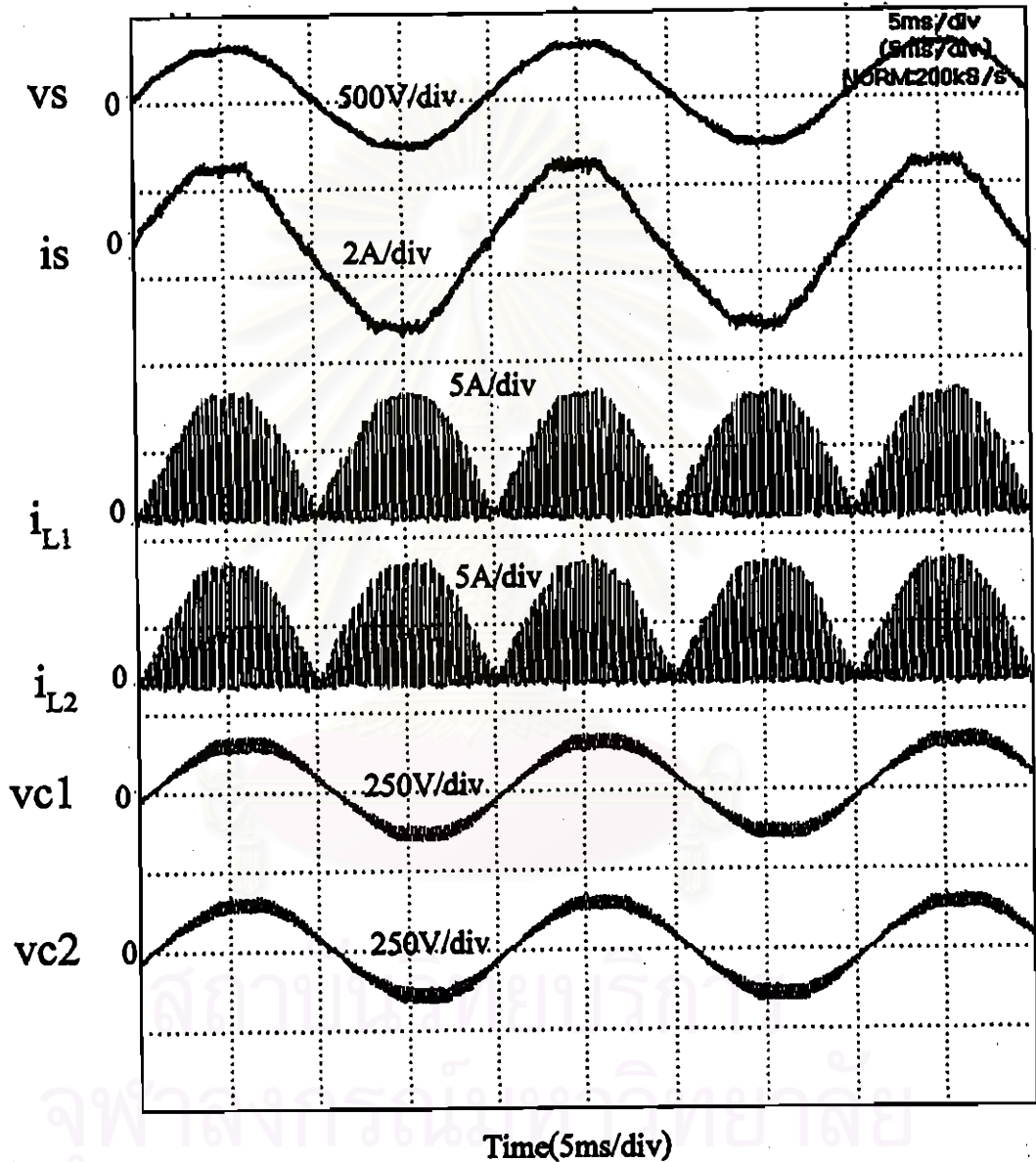
รูปที่ 2.31 สเปกตรัมของกระแสทางค่านเข้าที่สภาวะ โหลดเบา (180W)

ขนาดของกระแสทางค่านเข้ารวมจะประมาณ 0.937A เมื่อพิจารณาขนาดของกระแสที่ฮาร์มอนิกต่างๆจะมีค่าไม่เกินมาตรฐาน IEC 61000-3-2 class A ที่เราใช้ในการอ้างอิง และค่า THD รวมที่การทำงานที่สภาวะ โหลดเบาจะประมาณ 6.26 %

2. ที่สภาวะโหลดปานกลาง (260W)

แรงดันแหล่งจ่าย = 218 V , ค่า THD ของแรงดันแหล่งจ่าย = 2.75% ,

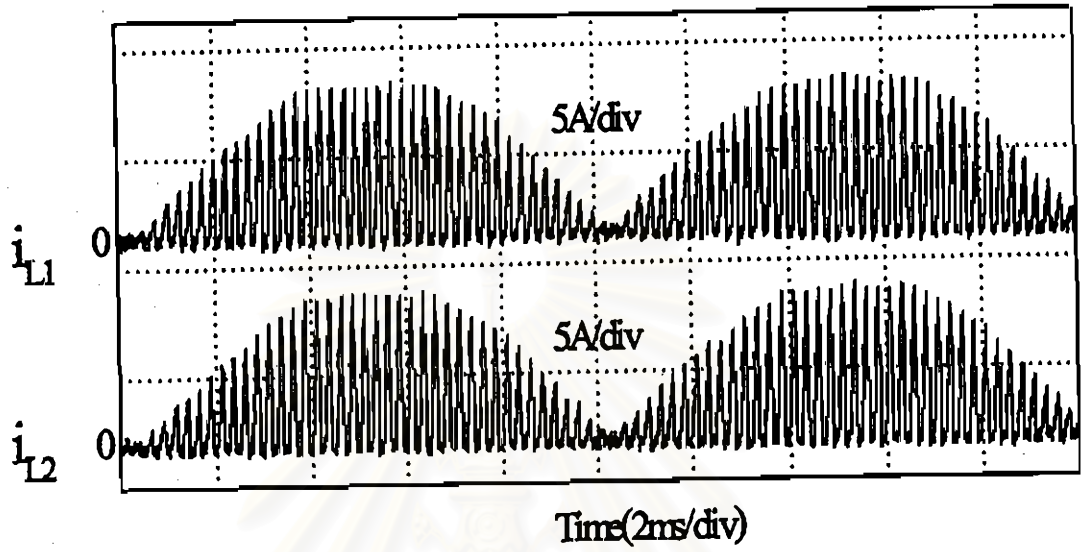
ความถี่ = 49.967 Hz , แรงดันบัสไฟตรง = 620 V



รูปที่ 2.32 รูปคลื่นกระแสและแรงดัน ของวงจรเรียงกระแสที่สภาวะโหลดปานกลาง (260W)

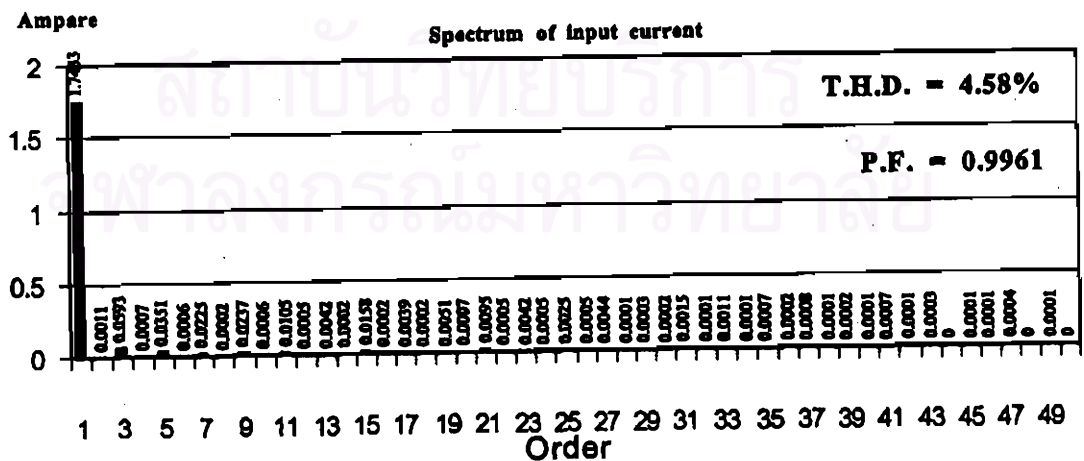
จากผลการทดลองจะเห็นว่ารูปคลื่นกระแสทางด้านเข้าเมื่อเปรียบเทียบกับแรงดันด้านเข้า จะมีรูปร่างใกล้เคียงไซน์มากกว่าที่สภาวะโหลดเบา วัตถุประสงค์ประกอบกำลังได้เท่ากับ 0.996 รูป

ร่างของแรงดันที่ตกคร่อมตัวเก็บประจุยังคงมีรูปร่างเป็นไซน์แต่จะเริ่มมีกระแสฮาร์มอนิกที่ความถี่ การสวิตช์ปะปนเข้ามามากขึ้น ส่วนรูปคลื่นของกระแสที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำ เราสามารถแสดง ภาพในสเกลที่ละเอียดขึ้นได้ดังรูปที่ 2.33



รูปที่ 2.33 รูปคลื่นกระแสที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำที่สภาวะโหลดปานกลาง

รูปคลื่นกระแสจะทำงานในโหมดกระแสไม่ต่อเนื่อง ซึ่งจะเห็นได้เด่นชัดขึ้น เพราะวงจร จะทำงานที่ความถี่ที่ต่ำลงประมาณ 4kHz เนื่องจากทำงานที่สภาวะโหลดปานกลาง เราสามารถ แสดงขนาดของกระแสฮาร์มอนิกต่างๆ ได้ดังรูปที่ 2.34



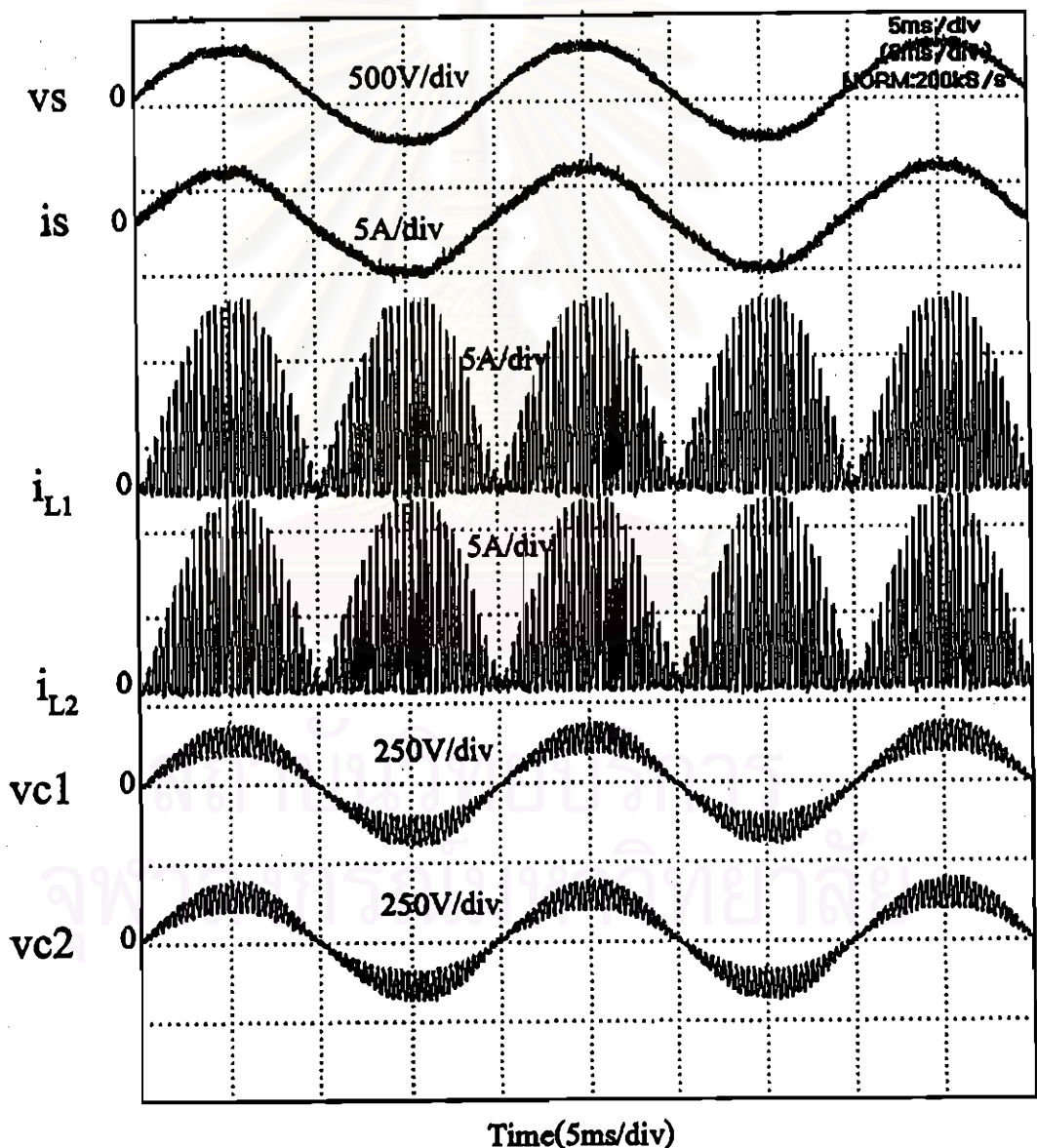
รูปที่ 2.34 สเปกตรัมของกระแสทางเข้าที่สภาวะ โหลดปานกลาง (260W)

ขนาดของกระแสทางค่านเข้ารวมจะประมาณ 1.745A เมื่อพิจารณาขนาดของกระแสที่ฮาร์โมนิกต่างๆจะมีค่าไม่เกินมาตรฐาน IEC 61000-3-2 class A ที่เราใช้ในการอ้างอิง และค่า THD รวมที่การทำงานที่สภาวะโหลดปานกลางจะประมาณ 4.58 %

3. ที่สภาวะโหลดหนัก (330 W)

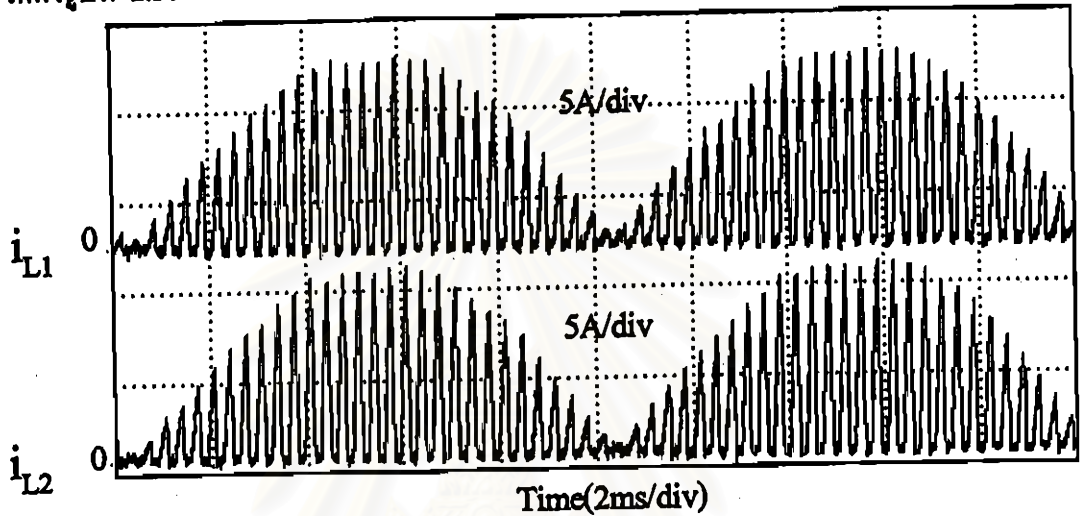
แรงดันแหล่งจ่าย = 218 V , ค่า THD ของแรงดันแหล่งจ่าย = 2.75% ,

ความถี่ = 50 Hz , แรงดันบัสไฟตรง = 620 V



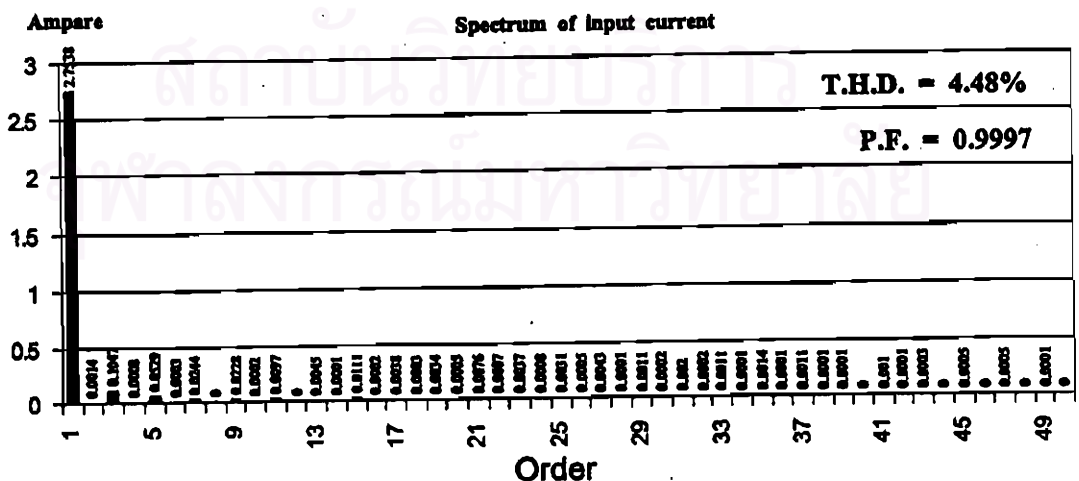
รูปที่ 2.35 รูปคลื่นกระแสและแรงดันของวงจรเรียงกระแสที่สภาวะโหลดหนัก (330W)

จากผลการทดลองจะเห็นว่ารูปคลื่นกระแสทางด้านเข้าเมื่อเปรียบเทียบกับแรงดันด้านเข้าจะมีรูปร่างใกล้เคียงไซน์มาก วัตต์ค่าตัวประกอบกำลังได้เท่ากับ 0.999 รูปร่างของแรงดันที่ตกคร่อมตัวเก็บประจุยังคงมีรูปร่างเป็นไซน์แต่จะมีกระแสฮาร์มอนิกที่ความถี่การสวิตช์ปะปนเข้ามามากขึ้น ส่วนรูปคลื่นของกระแสที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำ เราสามารถแสดงภาพในสเกลที่ละเอียดขึ้นได้ดังรูปที่ 2.36



รูปที่ 2.36 รูปคลื่นกระแสที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำที่สภาวะโหลดหนัก

รูปคลื่นกระแสจะทำงานในโหมดกระแสไม่ต่อเนื่อง ซึ่งจะเห็นได้เด่นชัดขึ้น เพราะวงจรจะทำงานที่ความถี่ที่ต่ำลงประมาณ 3kHz เนื่องจากทำงานที่สภาวะโหลดหนักความถี่ในการสวิตช์จะต่ำลง เราสามารถแสดงขนาดของกระแสที่ฮาร์มอนิกต่างๆ ได้ดังรูปที่ 2.37



รูปที่ 2.37 สเปกตรัมของกระแสทางด้านเข้าที่สภาวะโหลดหนัก (330W)

ขนาดของกระแสทางด้านเข้ารวมจะประมาณ 2.756A เมื่อพิจารณาขนาดของกระแสที่ฮาร์โมนิกต่างๆมีค่าไม่เกินมาตรฐาน IEC 61000-3-2 class A ที่เราใช้ในการอ้างอิง และค่า THD รวมที่การทำงานที่สภาวะโหลดหนักจะประมาณ 4.48 %

จากผลการทดลองที่แสดงรูปคลื่นของกระแสและแรงดันที่ส่วนต่างๆของวงจรเรียงกระแสแบบวิธีสวิตช์ เราสามารถยืนยันความถูกต้องในการทำงานของวงจรที่เราทำการศึกษาไว้เบื้องต้น ตลอดจนกระบวนการในการออกแบบและการประมาณค่าต่างๆก็ได้ผลการทดลองอยู่ในเกณฑ์ที่ใกล้เคียงกับผลการวิเคราะห์ที่นำเสนอ ดังแสดงผลการเปรียบเทียบขนาดของกระแสฮาร์โมนิกในอันดับที่สำคัญคิดเทียบเป็นเปอร์เซ็นต์ได้ดังตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.4 แสดงผลการเปรียบเทียบขนาดของกระแสฮาร์โมนิกในอันดับที่สำคัญ

	ขนาดของฮาร์โมนิกอันดับต่าง (%)		
	3	5	7
มาตรฐาน IEC	14.3	7.12	4.8
โหลดเบา	3.19	1.93	2.10
โหลดปานกลาง	3.40	2.01	1.29
โหลดหนัก	3.80	1.92	0.88