

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

ควอซีเรโซแนนท์บัคคอนเวอร์เตอร์แบบสวิตช์ที่กระแสไฟฟ้าเป็นศูนย์

Zero- Current-Switched (ZCS) Quasi-Resonant Buck Converters

3



เลขหมู่.....
เลขทะเบียน...103038
วัน,เดือน,ปี... 24 ส.ค. 2552



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมระบบควบคุม
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2551

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาานิพนธ์ปีการศึกษา 2551

ภาควิชาวิศวกรรมระบบควบคุม

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง ควอซีเรโซแนนท์บัคคอนเวอร์เตอร์แบบสวิตซ์ที่กระแสเป็นศูนย์

Zero- Current-Switched (ZCS) Quasi-Resonant Buck Converters

คณะผู้จัดทำ นาย รัชพล ศิริบุญมา รหัส48010507

นาย ประวิตร ศรีบริกิจ รหัส48010508

นาย สุทัศน์ กัญญาคำ รหัส48010988



.....อาจารย์ที่ปรึกษา

(รศ.ดร.ชนินทร์ บุญลักษณ์านุสรณ์)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ควอซีเรโซแนนท์บัคคอนเวอร์เตอร์แบบสวิตช์ที่กระแสไฟฟ้าเป็นศูนย์

Zero-Current-Switched (ZCS) Quasi-Resonant Buck Converters

โดย

นาย ชัชพล ศิริบุญมา รหัส48010507
นาย ประวิตร ศรีบริกิจ รหัส48010508
นาย สุทัศน์ กัญญาคำ รหัส48010988

อาจารย์ที่ปรึกษา

รศ.ดร.ชนินทร์ บุญลักษณ์านุสรณ์

บทคัดย่อ

วิทยานิพนธ์เล่มนี้ได้นำเสนอการวิเคราะห์ และการออกแบบวงจรควอซีเรโซแนนท์ บัคคอนเวอร์เตอร์แบบสวิตช์ที่กระแสไฟฟ้าเป็นศูนย์ สมการที่ได้จากการวิเคราะห์สามารถนำมาใช้ในการออกแบบวงจร โดยแสดงตัวอย่างการออกแบบวงจรควอซีเรโซแนนท์บัคคอนเวอร์เตอร์ แบบสวิตช์ที่กระแสไฟฟ้าเป็นศูนย์และแสดงผลการทดลองที่สอดคล้องกับทฤษฎีที่ออกแบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ZERO – CURRENT SWITCHED QUASI-RESONANT BUCK CONVERTER



By Tachapon Siriboonma 48010507

Prawit Sriborikit 48010508

Sutad Kanyakum 48010988

Advisor

Assoc.Prof.Dr. Chanin Bunlaksansusorn

Academic Year 2008

ABSTRACT

In this thesis, analysis and design of Zero-Current Switched (ZCS) Quasi-Resonant (QR) Buck Converters are presented. Equations resulted from the analysis are used in circuit design. Experimental results are given to confirm validity of the design.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้สามารถสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี เพราะได้รับความเมตตาเป็นอย่างสูงจาก ดร.ชรินทร์ บุญลักษณานุสรณ์ ซึ่งเป็น อาจารย์ ผู้ควบคุมปริญญาานิพนธ์ สำหรับคำแนะนำ ข้อคิดเห็นและ ให้ความกรุณาเอื้อเฟื้ออุปการณ์ในการทดลอง และความช่วยเหลืออื่นๆ แก่คณะผู้จัดทำ

ขอขอบคุณ คุณศิริระ เอกสุวรรณจุลเดชะ สำหรับคำแนะนำและคำวิจารณ์ที่เป็นประโยชน์ ต่องานวิจัยนี้เป็นอย่างดี

ขอขอบคุณ พี่ ป.โท ทุกคน สำหรับคำแนะนำและแนวทางในการแก้ไขปัญหาโดยเฉพาะอย่างยิ่งเกี่ยวกับการใช้อุปกรณ์และเครื่องมือวัดในห้องปฏิบัติการ

ขอขอบคุณเพื่อนๆทุกคนสำหรับความช่วยเหลือต่างๆและให้กำลังใจตลอดมา
สุดท้ายนี้ขอขอบคุณครอบครัวของผู้วิจัยสำหรับการสนับสนุนและการส่งเสริมในทุกๆ ด้าน จนปริญญาานิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี คุณค่าและประโยชน์อันพึงมีจากวิทยานิพนธ์นี้ขอมอบแด่ผู้มีพระคุณทุกท่าน

คณะผู้จัดทำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VII
สารบัญรูป.....	VIII
รายการคำย่อและสัญลักษณ์.....	XI
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา.....	1
1.3 ขอบเขตของโครงการ.....	1
บทที่ 2 ทฤษฎีของวงจรคอนเวอร์เตอร์แบบเรโซแนนท์สวิตชิงขณะกระแสไฟฟ้าเป็นศูนย์.....	2
2.1 บทนำ.....	2
2.2 ลักษณะโครงสร้างของการสวิตซ์.....	2
2.3 การออกแบบตัวเหนี่ยวนำ.....	3
2.4 การออกแบบตัวเหนี่ยวนำที่ใช้ในวงจรคอนเวอร์เตอร์แบบเรโซแนนท์สวิตชิงขณะ กระแสเป็นศูนย์.....	8
2.5 การเลือกใช้ตัวเก็บประจุ.....	8
บทที่ 3 การออกแบบสร้างวงจร.....	12
3.1 บทนำ.....	12
3.2 การออกแบบวงจร.....	12
3.3 การออกแบบตัวควบคุมและวงจรขับเคลื่อนของมอสเฟตกำลัง.....	17
3.3.1 Error amplifier(E/A).....	17
3.3.2 Voltage Control Oscillator.....	18
3.3.3 one short timing generator and	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

Zero wave crossing detection comparator.....	18
3.3.4 Under voltage lockout (UVLO) and 5V bias generator.....	19
3.3.5 Steering Logic to output driver.....	19
3.3.6 รายละเอียดอื่นๆของแต่ละขา.....	19
3.3.7 การออกแบบตัวควบคุม.....	20
3.4 การออกแบบสร้างวงจรจับเกตของมอสเฟตกำลัง.....	22
3.5 การออกแบบสร้างวงจรภาคกำลัง.....	24
3.5.1 การเลือกใช้มอสเฟตกำลังและไดโอดกำลัง.....	24
3.6 การออกแบบตัวเหนี่ยวนำด้วยวิธีผลคูณพื้นที่สำหรับแกนเฟอร์ไรต์.....	25
3.6.1 ขั้นตอนในการออกแบบตัวเหนี่ยวนำ.....	26
3.7 การออกแบบตัวเหนี่ยวนำที่ใช้ในวงจรคอนเวอร์เตอร์ แบบเรโซแนนท์สวิตชิงขณะกระแสไฟฟ้าเป็นศูนย์.....	29
3.8 การเลือกใช้ตัวเก็บประจุไฟฟ้า.....	34
บทที่ 4 การทดลองและผลการทดลอง.....	35
4.1 บทนำ.....	35
4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันกับความถี่ด้วย โปรแกรม Matlab.....	35
4.3 ผลการจำลองแบบวงจรเรโซแนนท์คอนเวอร์เตอร์ (ZCS).....	36
4.4 การทดลองวงจรคอนเวอร์เตอร์แบบเรโซแนนท์สวิตชิงขณะกระแสไฟฟ้าเป็นศูนย์ แบบวงปิด.....	39
บทที่ 5 บทวิจารณ์และสรุป.....	44
5.1 ปัญหาและแนวทางแก้ไข.....	44
5.2 แนวทางในการพัฒนา.....	44
5.3 บทสรุป.....	44

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง.....	47
ภาคผนวก ก. DATASHEET UC2866N	48
ภาคผนวก ข. ตารางแกนเฟอไรต์.....	57
ภาคผนวก ค. ตารางขนาดลวดตัวนำ.....	62
ภาคผนวก ง. DATASHEET IRFZ34N.....	65
ภาคผนวก จ. DATASHEET STTH3003CW.....	74



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 แสดงลักษณะโครงสร้างของการสวิตช์แบบ ZCS.....	2
3.1 แสดงค่าช่วงเวลาต่าง ๆ ที่แรงดันไฟฟ้าอินพุต $V_s = 25V$	15
3.2 แสดงค่าช่วงเวลาต่าง ๆ ที่แรงดันไฟฟ้าอินพุต $V_s = 20V$	15
4.1 ผลของกระแสไฟฟ้าที่ตัวเหนี่ยวนำ L_r กับแรงดันไฟฟ้าที่ตัวเก็บประจุไฟฟ้า C_r	38
4.2 ผลของแรงดันเอาต์พุตและความถี่เมื่อโหลดเปลี่ยนแปลง.....	44



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 (ก) วงจรบัคคอนเวอร์เตอร์ (ข) วงจรเรโซแนนท์คอนเวอร์เตอร์ (ZCS).....	3
2.2 วงจรคอนเวอร์เตอร์แบบเรโซแนนท์สวิตชิงขณะกระแสเป็นศูนย์.....	3
2.3 วงจรสมมูลและรูปสัญญาณช่วงเวลา $0 < t < t_1$	4
2.4 วงจรสมมูลและรูปสัญญาณช่วงเวลา $t_1 < t < t_2$	5
2.5 วงจรสมมูลและรูปสัญญาณช่วงเวลา $t_2 < t < t_3$	6
2.6 วงจรสมมูลช่วงเวลา $t_3 < t < T$	7
2.7 ความสัมพันธ์ระหว่าง $\frac{V_o}{V_s}$ และ $\frac{f_s}{f_r}$ ที่ค่า r ต่างๆ.....	9
3.1 วงจรเรโซแนนท์คอนเวอร์เตอร์แบบสวิตชิงกระแสเป็นศูนย์.....	12
3.2 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้ากับความถี่.....	16
3.3 โครงสร้างการทำงานตัวควบคุม.....	17
3.4 การต่อใช้งานของเอาต์พุต.....	19
3.5 แสดงการต่อวงจรควบคุม.....	21
3.6 วงจรขับเคลื่อนของมอสเฟตกำลัง.....	23
3.7 วงจรภาคกำลังของวงจรคอนเวอร์เตอร์แบบเรโซแนนท์ สวิตชิงขณะกระแสเป็นศูนย์.....	24
3.8 ตัวอย่างนิยามของ A_c และ A_w สำหรับแกนแม่เหล็กแบบ EI.....	26
4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุตกับความถี่.....	35
4.2 รูปสัญญาณออกจากวงจรควบคุม IC วงจรที่ได้จากการออกแบบ.....	36
4.3 วงจรที่ได้จากการออกแบบผลการจำลองแบบ.....	37
4.4 ผลการจำลองแบบที่ $f_{s,\min} = 100kHz, V_s = 25V, I_o = 1A$	37
4.5 แสดงช่วงเวลาการทำงานของวงจรที่ $f_{s,\max} = 318kHz, V_s = 20V, R_L 1\Omega$	38

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.6 การจัดชุดทดลองสำหรับทดสอบการรักษาระดับแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุต.....	39
4.7 ผลการทดลองของ $V_{GS}, V_{DS}, V_{Cr}, I_{Lr}$ ที่ $V_S = 20V \quad I_O = 1A$	40
4.8 ผลการทดลองของ $V_{GS}, V_{DS}, V_{Cr}, I_{Lr}$ ที่ $V_S = 20V \quad I_O = 3A$	40
4.9 ผลการทดลองของ $V_{GS}, V_{DS}, V_{Cr}, I_{Lr}$ ที่ $V_S = 20V \quad I_O = 5A$	41
4.10 ผลการทดลองของ $V_{GS}, V_{DS}, V_{Cr}, I_{Lr}$ ที่ $V_S = 25V \quad I_O = 1A$	42
4.11 ผลการทดลองของ $V_{GS}, V_{DS}, V_{Cr}, I_{Lr}$ ที่ $V_S = 25V \quad I_O = 3A$	42
4.12 ผลการทดลองของ $V_{GS}, V_{DS}, V_{Cr}, I_{Lr}$ ที่ $V_S = 25V \quad I_O = 5A$	43
5.1 วงจรโหนด.....	45
5.2 วงจร (ZCS).....	45
5.3 วงจร (ZCS) ต่อเข้ากับ วงจรโหนด.....	46

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รายการคำย่อและสัญลักษณ์

a	พื้นที่ตัดขวางของขดลวดทองแดง
A	แอมแปร์
A_c	พื้นที่ตัดขวางของแกน
A_p	ค่าผลคูณของพื้นที่ระหว่างพื้นที่ตัดขวางของแกนกับพื้นที่ที่ใช้บรรจุขดลวด
A_w	พื้นที่ที่ใช้บรรจุขดลวด
B_{max}	ความหนาแน่นฟลักซ์สูงสุด
C_p	ความจุไฟฟ้าของตัวเก็บประจุไฟฟ้า C_p
C_o	ความจุไฟฟ้าของตัวเก็บประจุไฟฟ้า C_o
C_p	ความจุไฟฟ้าของตัวเก็บประจุไฟฟ้า C_p
C_r	ความจุไฟฟ้าของตัวเก็บประจุไฟฟ้า C_r
C_s	ความจุไฟฟ้าของตัวเก็บประจุไฟฟ้า C_s
C_T	ความจุไฟฟ้าของตัวเก็บประจุไฟฟ้า C_T
D	คิวติไซเคิลที่สภาวะคงตัว
D_1	ไดโอดเรียงกระแส
D_{max}	คิวติไซเคิลสูงสุด
D_{min}	คิวติไซเคิลต่ำสุด
D_z	ซีเนอร์ไดโอด
E	พลังงานที่สะสมในตัวเหนี่ยวนำ
f_r	ความถี่เรโซแนนท์
f_s	ความถี่ในการสวิตช์
F	ฟารัด
H	เฮนรี
H_z	เฮิร์ตซ์
$I_{d,av}$	กระแสเฉลี่ยของมอสเฟตกำลัง
$I_{f,av}$	กระแสไปหน้าเฉลี่ยของไดโอดกำลัง
$I_{L,av}$	กระแสเฉลี่ยของตัวเหนี่ยวนำ
$I_{L,max}$	กระแสสูงสุดของตัวเหนี่ยวนำ
$I_{L,min}$	กระแสต่ำสุดของตัวเหนี่ยวนำ
I_o	กระแสเอาต์พุต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รายการคำย่อและสัญลักษณ์ (ต่อ)

ΔI_L	ริบเปิดของกระแสตัวเหนี่ยวนำ
J	จุด
J	ความหนาแน่นกระแสในเส้นลวดทองแดง
k	กิโล
k_c	อัตราส่วนระหว่างกระแสสูงสุดกับกระแสอาร์เอ็มเอสของตัวเหนี่ยวนำ
k_w	ค่าตัวประกอบการใช้ประโยชน์พื้นที่ที่ใช้บรรจุลวด
l_g	ความยาวของช่องอากาศ
L_o	ความเหนี่ยวนำของตัวเหนี่ยวนำ L_o
L_r	ความเหนี่ยวนำของตัวเหนี่ยวนำ L_r
m	มิลลิ
m	เมตร
M	เมกะ
n	นาโน
N	จำนวนรอบของลวดทองแดงของตัวเหนี่ยวนำ
N_p	จำนวนรอบของขดลวดปฐมภูมิของหม้อแปลงไฟฟ้า
N_s	จำนวนรอบของขดลวดทุติยภูมิของหม้อแปลงไฟฟ้า
rad/sec	เรเดียนต่อวินาที
R_L	ความต้านทานโหลด
R_g	ความต้านทานของตัวต้านทาน R_g
R_{gs}	ความต้านทานของตัวต้านทาน R_{gs}
R_{gs}	ความต้านทานของตัวต้านทาน R_{gs}
R_{max}	ความต้านทานของตัวต้านทาน R_{max}
R_{min}	ความต้านทานของตัวต้านทาน R_{min}
s	วินาที
t_{on}	ช่วงเวลาที่มอสเฟสนำกระแส
t_{off}	ช่วงเวลาที่มอสเฟสหยุดนำกระแส
T	เทสลา
T_s	คาบเวลาในการสวิตช์

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รายการคำย่อและสัญลักษณ์ (ต่อ)

V_s	แรงดันอินพุต
$V_{pri,pk}$	แรงดันสูงสุดทางด้านปฐมภูมิ
V_{ref}	แรงดันอ้างอิงที่สภาวะคงตัว
ΔV_o	ริปเปิลของแรงดันเอาต์พุต
Z_o	อิมพีแดนซ์เอาต์พุต
μ	ไมโคร
π	ค่าคงที่ประมาณ 3.14
Ω	โอห์ม
ϕ	เส้นผ่านศูนย์กลางของดวดทองแดง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

วงจรคอนเวอร์เตอร์โดยทั่วไปจะมี กำลังไฟฟ้าสูญเสียขณะการสวิตช์มีผลทำให้วงจรคอนเวอร์เตอร์มีประสิทธิภาพต่ำ จึงได้มีการค้นคว้าวิจัยวงจรคอนเวอร์เตอร์ที่มีการสูญเสียต่ำ หนึ่งในวิธีการที่มีการพัฒนาขึ้น คือ วงจรเรโซแนนท์คอนเวอร์เตอร์ที่สามารถลดกำลังไฟฟ้าสูญเสียที่เกิดจากการสวิตช์โดยแบ่งออกได้เป็นสองแบบ คือ วงจรเรโซแนนท์คอนเวอร์เตอร์แบบสวิตชิงขณะกระแสเป็นศูนย์ และ วงจรเรโซแนนท์คอนเวอร์เตอร์แบบสวิตชิงขณะแรงดันเป็นศูนย์ ทั้งสองประเภทนี้จะช่วยให้คอนเวอร์เตอร์มีประสิทธิภาพสูงขึ้น

โครงการนี้ศึกษาวงจรคอนเวอร์เตอร์แบบเรโซแนนท์สวิตชิงขณะกระแสไฟฟ้าเป็นศูนย์ เพื่อลดกำลังไฟฟ้าสูญเสียขณะเกิดการสวิตช์

1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา

1. ศึกษาหลักการทำงานของวงจรคอนเวอร์เตอร์แบบเรโซแนนท์สวิตชิงขณะกระแสไฟฟ้าเป็นศูนย์
2. เรียนรู้หลักการออกแบบและขั้นตอนออกแบบของวงจรคอนเวอร์เตอร์แบบเรโซแนนท์สวิตชิงขณะ กระแสไฟฟ้าเป็นศูนย์
3. เรียนรู้หลักการควบคุมวงจรคอนเวอร์เตอร์แบบเรโซแนนท์สวิตชิงขณะกระแสไฟฟ้าเป็นศูนย์
4. สร้างวงจรคอนเวอร์เตอร์แบบเรโซแนนท์สวิตชิงขณะกระแสไฟฟ้าเป็นศูนย์

1.3 ขอบเขตของโครงการ

1. ศึกษาหลักการทำงานของวงจรคอนเวอร์เตอร์แบบเรโซแนนท์สวิตชิงขณะกระแสไฟฟ้าเป็นศูนย์
2. หลักการออกแบบวงจรคอนเวอร์เตอร์แบบเรโซแนนท์สวิตชิงขณะกระแสไฟฟ้าเป็นศูนย์
3. การจำลองแบบวงจรคอนเวอร์เตอร์แบบเรโซแนนท์สวิตชิงขณะกระแสไฟฟ้าเป็นศูนย์ด้วยโปรแกรม Orcad Release 9.2
4. การสร้างวงจรจริงของวงจรคอนเวอร์เตอร์แบบเรโซแนนท์สวิตชิงขณะกระแสไฟฟ้าเป็นศูนย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีของวงจรคอนเวอร์เตอร์แบบเรโซแนนท์สวิตชิงขณะ กระแสไฟฟ้าเป็นศูนย์

2.1 บทนำ

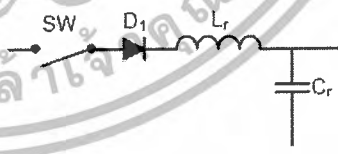
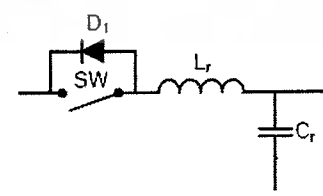
จากวงจรคอนเวอร์เตอร์ต้องการให้ทำงานที่ความถี่สูง เพราะจะช่วยลดขนาดของตัวเก็บประจุและตัวเหนี่ยวนำในระบบ แต่การทำงานที่ความถี่สูงจะทำให้เกิดสูญเสียที่สวิตช์ (Switching - loss) ซึ่งวงจรเรโซแนนท์คอนเวอร์เตอร์สามารถช่วยลด Switching loss ได้ โดยที่การสวิตช์ของวงจรเรโซแนนท์คอนเวอร์เตอร์ที่ทำการศึกษายกจะเกิดขึ้นเมื่อกระแสไฟฟ้ามามีค่าเป็นศูนย์

2.2 ลักษณะโครงสร้างของการสวิตช์

วงจรคอนเวอร์เตอร์แบบเรโซแนนท์สวิตชิงขณะกระแสไฟฟ้าเป็นศูนย์แบบ L-type สามารถจำแนกตามลักษณะของการสวิตช์ออกได้เป็น 2 แบบ ได้แก่

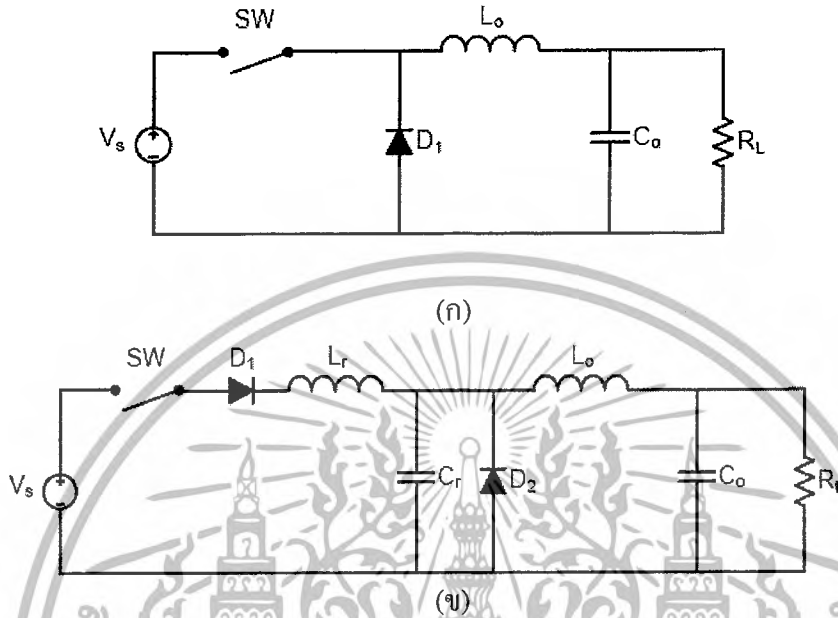
1. Half-wave mode - สวิตช์กระแสไฟฟ้าไหลได้ทางเดียว (unidirectional switch)
2. Full-wave mode - สวิตช์กระแสไฟฟ้าไหลได้สองทาง (bidirectional switch)

ตารางที่ 2.1 แสดงลักษณะโครงสร้างของการสวิตช์แบบ ZCS

ZCS	L-type
Half-wave mode	
Full-wave mode	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

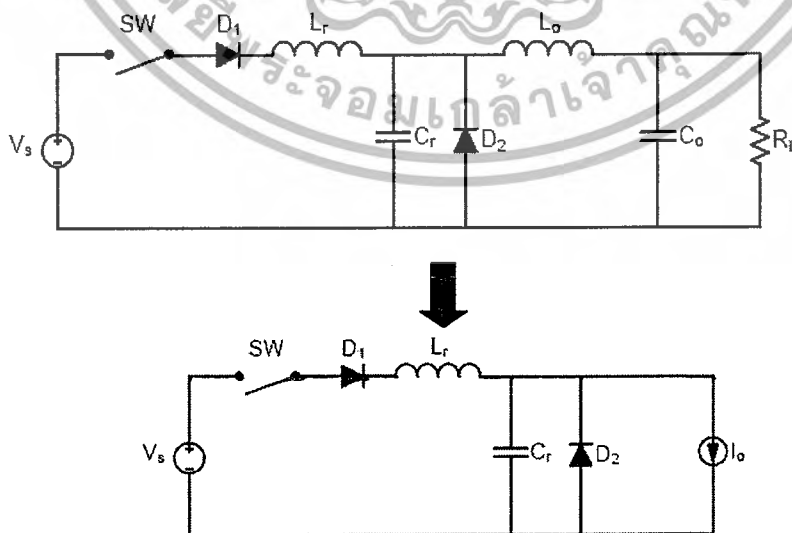
จากวงจรบัคคอนเวอร์เตอร์ถ้าทำงานที่ความถี่สูงจะทำให้เกิดการสูญเสียขณะสวิตช์มาก เพื่อลดการสูญเสียดังกล่าวจึงนำชุดสวิตช์ของ (ZCS) นำมาประกอบเข้ากับวงจรบัคคอนเวอร์เตอร์ แสดงดังรูปที่ (3)



รูปที่ 2.1 (ก) วงจรบัคคอนเวอร์เตอร์ (ข) วงจรเรโซแนนท์คอนเวอร์เตอร์(ZCS)

2.3 หลักการทำงาน

วงจรคอนเวอร์เตอร์แบบเรโซแนนท์สวิตช์ซึ่งขณะกระแสไฟฟ้าเป็นศูนย์สามารถจำแนกช่วงเวลารทำงานออกเป็น 4 โหมดการทำงาน ในการวิเคราะห์เพื่อให้ง่ายขึ้นตัวเหนี่ยวนำ L_o เราจะมองให้มีค่ามากๆซึ่งมีการทำงานเหมือนมีแหล่งจ่ายกระแสไฟฟ้า(Current Source) และอุปกรณ์ต่างๆเป็นอุดมคติแสดงดังรูปที่ (2.2)



รูปที่ 2.2 วงจรคอนเวอร์เตอร์แบบเรโซแนนท์สวิตช์ซึ่งขณะกระแสไฟฟ้าเป็นศูนย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยจะกำหนดค่าตัวแปรต่าง ๆ ดังนี้

$$\text{Characteristic impedance} \quad Z_0 = \sqrt{\frac{L_r}{C_r}} \quad (2.1)$$

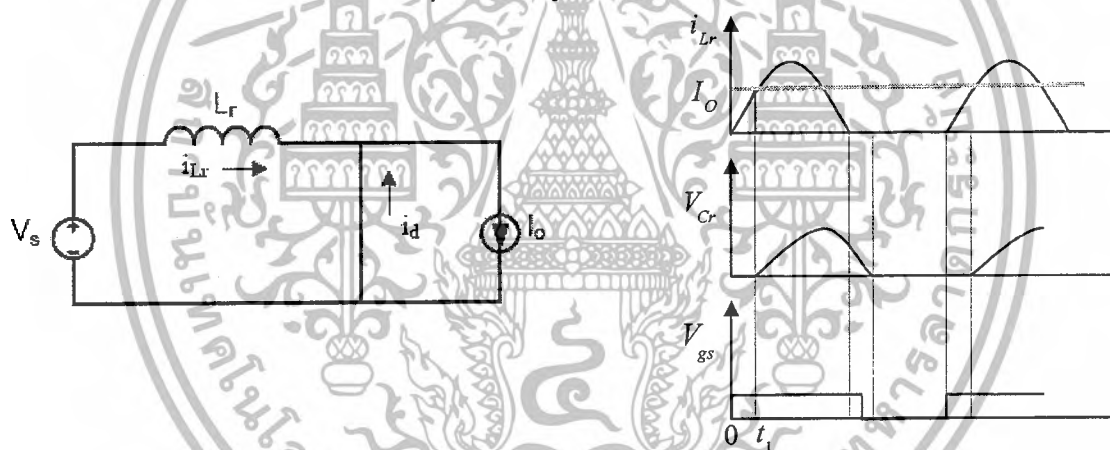
$$\text{Frequency of oscillation} \quad \omega_0 = \frac{1}{\sqrt{L_r C_r}} \quad (2.2)$$

$$\text{Resonant frequency} \quad f_r = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_r C_r}} \quad (2.3)$$

$$\text{Switching frequency} \quad f_s = \frac{1}{T} \quad (2.4)$$

การทำงานในโหมด 1

การทำงานของวงจรคอนเวอร์เตอร์แบบเรโซแนนซ์สวิตชิงขณะกระแสไฟฟ้าเป็นศูนย์ ช่วงเวลา $0 < t < t_1$ ในช่วงแรกไดโอดยังถูก Forward Bias อยู่และเมื่อสวิตช์ นำกระแสไฟฟ้า ที่ เวลา $t_1 = 0$ จะทำให้มีกระแสไฟฟ้าในตัวเหนี่ยวนำ L_r เพิ่มขึ้น เมื่อแรงดันไฟฟ้า V_s ตกคร่อม (L_r) แต่แรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อมตัวเก็บประจุจะเท่ากับศูนย์



รูปที่ 2.3 วงจรสมมูลและรูปสัญญาณช่วงเวลา $0 < t < t_1$

แรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อมตัวเหนี่ยวนำ มีค่าเท่ากับ

$$V_{Lr} = L_r \frac{di_{Lr}}{dt} \quad (2.5)$$

จากวงจรจะเห็นได้ว่า แรงดันไฟฟ้า $V_{Lr} = V_s$ และเมื่อมีแรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อมตัวเหนี่ยวนำจะทำให้มีกระแสไฟฟ้าไหลในตัวเหนี่ยวนำ ซึ่งหาค่ากระแสไฟฟ้าที่ไหลในตัวเหนี่ยวนำได้จากสมการ

$$i_{Lr}(t) = \frac{1}{L_r} \int_0^t V_s dt$$

$$i_{Lr}(t) = \frac{V_s}{L_r} t \quad (2.6)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

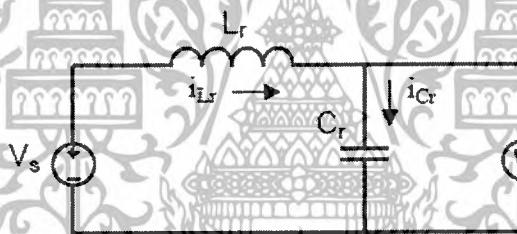
ในช่วงเวลาการทำงานที่เวลา $t = t_1$ กระแสไฟฟ้า i_{Lr} จะเพิ่มขึ้นเท่ากับค่ากระแสไฟฟ้า I_O มีผลทำให้ไดโอดหยุดนำกระแสไฟฟ้าโดยช่วงเวลา t_1 หาได้จาก

$$t = t_1 ; i_{Lr} = I_O$$

$$\therefore t_1 = \frac{I_O L_r}{V_S} \quad (2.7)$$

การทำงานในโหมด 2

การทำงานของวงจรคอนเวอร์เตอร์แบบเรโซแนนท์สวิตช์ซึ่งขณะกระแสไฟฟ้าเป็นศูนย์ ช่วงเวลา $t_1 < t < t_2$ เมื่อสวิตช์นำกระแสไฟฟ้านำให้กระแสไฟฟ้าไหลในตัวเหนี่ยวนำ i_{Lr} เพิ่มขึ้นเรื่อยๆจนเท่ากับค่ากระแสไฟฟ้า I_O แล้ว I_d ก็จะลดลงเรื่อยๆจนไม่มีกระแสไหลผ่านทำให้ไดโอดถูก Reverse Bias และ ที่เวลา t_1 จึงจะเริ่มเกิดการ Oscillation ขึ้น ของ C_r, L_r



รูปที่ 2.4 วงจรสมมูลและรูปสัญญาณช่วงเวลาที่ $t_1 < t < t_2$

ดังนั้น แรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อมตัวเก็บประจุ C_r จะได้ดังสมการ

$$V_{cr}(t) = V_S - V_S \cos \omega_0 t$$

$$V_{cr}(t) = V_S [1 - \cos \omega_0 (t - t_1)] \quad (2.8)$$

แรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อมตัวเก็บประจุสูงสุด

$$V_{cr,max} = 2V_S$$

กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำ C_r หาได้จากสมการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$i_{Lr} = I_o + \frac{V_s}{Z_o} \sin \omega_0 (t - t_1) \quad (2.9)$$

พิจารณาเมื่อค่ากระแสไฟฟ้า i_{Lr} เมื่อจะเริ่มเข้าสู่ศูนย์ที่ช่วงเวลา $t = t_2$ จะได้ดังสมการ

$$0 = I_o + \frac{V_s}{Z_o} \sin \omega_0 (t_2 - t_1)$$

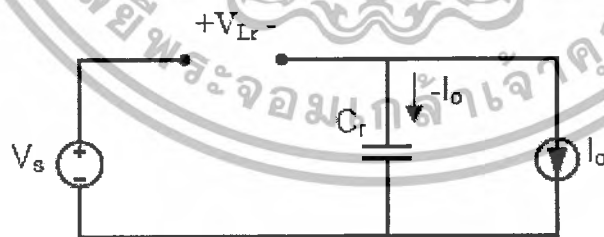
ช่วงเวลาของการออกลีลเลต

$$t_2 - t_1 = \frac{1}{\omega_0} \left[\sin^{-1} \frac{I_o Z_o}{V_s} + \pi \right] \quad (2.10)$$

$$= \frac{1}{\omega_0} \left[\sin^{-1} \frac{I_o Z_o}{V_s} \right]$$

การทำงานในโหมด 3

การทำงานที่ ช่วงเวลา $t_2 < t < t_3$ หลังจากทีกระแสไฟฟ้าในตัวเหนี่ยวนำ ลดลงเป็น 0 ที่ช่วงเวลา t_2 จึงทำให้กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านสวิตช์เป็นศูนย์ด้วยซึ่งจะทำให้ไม่มีกำลังไฟฟ้าสูญเสียเกิดขึ้นขณะสวิตช์ และไดโอดยังถูก Reverse Bias อยู่เพราะ $V_{Cr} > 0$ ดังนั้นกระแสไฟฟ้าในตัวเก็บประจุจึงเป็น $-I_o$ และแรงดันไฟฟ้าตกคร่อมตัวเก็บประจุจะลดลงอย่างเป็นเชิงเส้น โดยมีความสัมพันธ์ คือ



รูปที่ 2.5 วงจรสมมูลและรูปสัญญาณช่วงเวลา $t_2 < t < t_3$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สมการของแรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อมตัวเก็บประจุในช่วงเวลา $t_2 - t_3$ จะได้ดังสมการ

$$\begin{aligned} V_{Cr} &= \frac{1}{C_r} \int -I_0 dt + V_{Cr}(t_2) \\ &= -\frac{I_0}{C_r}(t-t_2) + V_{Cr}(t_2) \end{aligned} \quad (2.11)$$

โดย $V_{Cr}(t_2)$ หาได้จากการแทนค่า $t=t_2$ ลงในสมการที่ (2.11)

$$V_{Cr}(t_2) = V_S [1 - \cos\omega_0(t_2 - t_1)] \quad (2.12)$$

แทนค่าสมการที่ (2.12) ลงในสมการที่ (2.11)

$$V_{Cr} = -\frac{I_0}{C_r}(t-t_2) + V_S [1 - \cos\omega_0(t_2 - t_1)] \quad (2.13)$$

เมื่อพิจารณาที่แรงดันไฟฟ้าตกคร่อมของตัวเก็บจุ V_{Cr} จะลดลงเข้าสู่ศูนย์เมื่อ $t=t_3$ ซึ่งค่า $i_{Lr} = 0$ จะได้

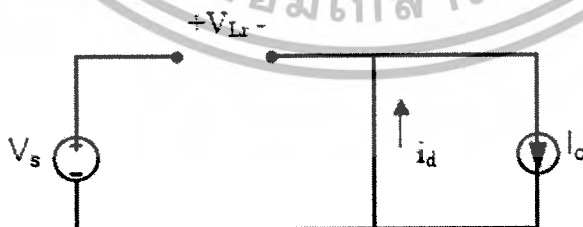
$$0 = -\frac{I_0}{C_r}(t_3 - t_2) + V_S [1 - \cos\omega_0(t_2 - t_1)]$$

ช่วงเวลานี้จะหาได้จากสมการ

$$t_3 - t_2 = \frac{C_r V_S [1 - \cos\omega_0(t_2 - t_1)]}{I_0} \quad (2.14)$$

การทำงานในโหมด 4

ในช่วงเวลานี้กระแสไฟฟ้าในตัวเหนี่ยวนำจะมีค่าเป็นศูนย์และแรงดันไฟฟ้าในตัวเก็บประจุมีค่าเท่ากับ 0 หลังจากนั้นไดโอดจะกลับมานำกระแสไฟฟ้าอีกครั้ง โดยจะมีค่ากระแสไฟฟ้าเท่ากับ I_0 และถ้าสวิตช์นำกระแสไฟฟ้าจะทำให้การทำงานของวงจรกลับมาทำงานใน Mode1 ใหม่



รูปที่ 2.6 วงจรสมมูลช่วงเวลา $t_3 < t < T$

$$i_{Lr} = 0 \quad ; \quad V_{Cr} = 0$$

ช่วงเวลาทั้งหมดใน หนึ่งคาบเวลาของการสวิตช์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ภายในเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$T - t_3 = T - t_1 - (t_2 - t_1) - (t_3 - t_2) \quad (2.15)$$

2.4 สภาวะการทำงานครั้งที่

โดยพิจารณาจากค่าแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุตโดยสามารถหาได้จากหลักสมมูลของพลังงาน คือ พลังงานที่จ่ายจากแหล่งจ่าย (W_S) เท่ากับพลังงานที่ดูดซับโดยโหลด (W_O) ในหนึ่งคาบเวลาของการสวิตช์ พลังงานที่จ่ายจากแหล่งจ่าย

$$W_S = \int_0^T p_S(t) dt = \int_0^T i_{Lr}(t) V_S(t) dt \quad (2.16)$$

$$= V_S \left(\int_0^{t_1} \frac{V_S(t)}{L_r} dt \right) + \int_{t_1}^{t_2} \left[I_O + \frac{V_S}{Z_O} \sin \omega_0(t-t_1) \right] dt$$

$$W_S = V_S \left[\frac{(I_O)(t_1)}{2} + I_O(t_2-t_1) + V_S C_r [1 - \cos \omega_0(t_2-t_1)] \right]$$

พลังงานที่ดูดซับโดยโหลด

$$W_O = \int_0^T p_O(t) dt = \int_0^T v_O(t) i_O(t) dt = V_O I_O T = \frac{V_O I_O}{f_s} \quad (2.17)$$

เมื่อกำหนดให้ f_s คือความถี่สวิตช์และจากหลักสมมูลของพลังงาน คือ พลังงานที่จ่ายจากแหล่งจ่าย (W_S) = พลังงานที่ดูดซับโดยโหลด (W_O)

$$V_O = V_S f_s \left[\frac{t_1}{2} + (t_2-t_1) + \frac{V_S C_r}{I_O} [1 - \cos \omega_0(t_2-t_1)] \right]$$

จากช่วงเวลาการทำงานในสมการที่(2.14) ของ $t_3-t_2 = \frac{C_r V_S [1 - \cos \omega_0(t_2-t_1)]}{I_O}$ ดังนั้นได้สมการแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุต

$$V_O = V_S f_s \left[\frac{t_1}{2} + (t_2-t_1) + (t_3-t_2) \right] \quad (2.18)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากสมการแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุตนำมาพิจารณาเพื่อการออกแบบสวิตช์ซึ่งขณะกระแสไฟฟ้าเป็นศูนย์โดยสมการแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุตเป็นฟังก์ชันของความถี่การสวิตช์ เมื่อเพิ่มความถี่การสวิตช์มากขึ้นแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุตก็จะมากขึ้นคาบของการสวิตช์จะต้องมากกว่า t_3 และแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุตจะค่าน้อยกว่าแรงดันที่แหล่งจ่ายเช่นเดียวกับวงจรบัคคอนเวอร์เตอร์ นอกจากนี้ช่วงเวลา t_1, t_2, t_3 จะเป็นฟังก์ชันของกระแสไฟฟ้าที่โหลด ดังนั้นแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุตก็จะขึ้นอยู่กับกระแสโหลดด้วยเช่นกัน

ดังนั้นเมื่อมีการปรับเปลี่ยนโหลด ความถี่ของการสวิตช์จะต้องปรับเปลี่ยนด้วย เพื่อรักษาระดับแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุตคงที่ ซึ่งมาพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุต กับความถี่การสวิตช์

เมื่อกำหนดให้ค่าพารามิเตอร์

$$M = \frac{V_O}{V_S} \quad (2.19)$$

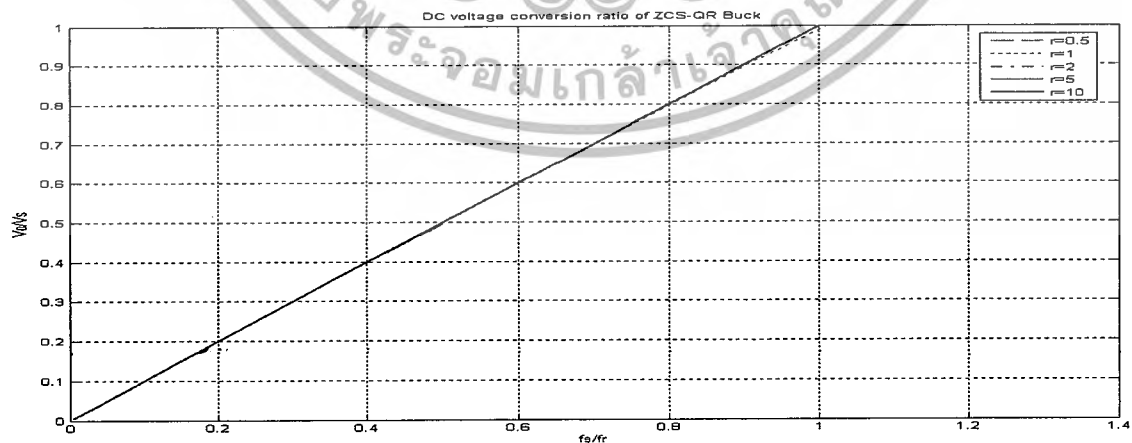
$$r = \frac{R_L}{Z_O} \quad (2.20)$$

แทนค่าพารามิเตอร์ลงในสมการ แรงดันไฟฟ้าเอาต์พุต จะได้สมการ

$$\alpha = 2\pi - \sin^{-1}\left(\frac{M}{r}\right) \quad (2.21)$$

$$M = \frac{f_s}{2\pi f_r} \left[\frac{M}{2r} + \alpha + \frac{r}{M} [1 - \cos(\alpha)] \right] \quad (2.22)$$

จากสมการอัตราส่วนของแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุตต่อแรงดันไฟฟ้าอินพุตสามารถแสดงเป็นกราฟความสัมพันธ์ได้ดังนี้



รูปที่ 2.7 ความสัมพันธ์ระหว่าง $\frac{V_O}{V_S}$ และ $\frac{f_s}{f_r}$ ที่ค่า r ต่างๆ
 เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับบริษัทซึ่งมีลิขสิทธิ์ในเอกสารนี้ ห้ามเผยแพร่หรือใช้โดยไม่ได้รับอนุญาต
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เงื่อนไขการเกิดสวิตช์ที่กระแสไฟฟ้าเป็นศูนย์ คือ กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำ L , ต้องมากกว่าหรือเท่ากับกระแสไฟฟ้าเอาต์พุต

$$\frac{V_s}{Z_o} \geq \frac{V_o}{R_L} \quad (2.23)$$

ดังนั้นจึงได้เงื่อนไขว่าถ้าความต้านทาน R_L และแรงดันไฟฟ้าอินพุต V_s มีค่าน้อยที่สุดเท่าไรที่ยังทำให้สมการที่ (2.23) เป็นจริง นั่นคือ เมื่อ แรงดันไฟฟ้าอินพุตมีค่าต่ำสุด กระแสไฟฟ้าเอาต์พุตมีค่าสูงสุด (ความต้านทาน R_L มีค่าต่ำสุด) สมการที่ (2.23) ยังต้องเป็นจริง พิจารณาเงื่อนไขจะได้ว่า

ดังนั้นจะได้

$$\frac{V_s \min}{Z_o} = I_o \max$$

$$Z_o = \frac{V_s \min}{V_o} R_L \min$$

$$Z_o = \frac{R_L \min}{M \max}$$

โดยที่

$$M \max = \frac{V_o}{V_s \min} \quad (2.24)$$

Z_o ที่ได้จากสมการที่(2.24)จะทำให้เกิดการสวิตช์ที่กระแสเป็นศูนย์ตลอดย่านความต้านทาน R_L และแรงดันไฟฟ้าอินพุต V_s

การหาความถี่เรโซแนนซ์เป็นขั้นตอนต่อไปหลังจากเราทราบค่าของ Z_o แล้ว ซึ่งในการหาความถี่เรโซแนนซ์สามารถพิจารณาได้จากสมการที่ (2.21)

$$M = \frac{f_s}{2\pi f_r} \left[\frac{M}{2r} + \alpha + \frac{r}{M} [1 - \cos(\alpha)] \right]$$

ทำการจัดรูปใหม่จะได้

$$\frac{f_s}{f_r} = \frac{2\pi M}{\left[\frac{M}{2r} + \alpha + \frac{r}{M} [1 - \cos(\alpha)] \right]} \quad (2.25)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความถี่ $f_{s,max}$ จะเกิดที่ $V_s = V_{s,min}$ และ $R_L = R_{L,min}$ ซึ่งสามารถพิจารณาได้จากสมการที่ (2.25)

$$\frac{f_{s,max}}{f_r} = \frac{4\pi M_{max}}{3(\pi+1)} \quad (2.26)$$

ความถี่ $f_{s,min}$ จะเกิดที่ $V_s = V_{s,max}$ และ $R_L = R_{L,max}$ และจะได้สมการ

$$\frac{f_{s,min}}{f_r} = \frac{2\pi M_{min}}{\left[\alpha_{min} + \frac{M_{min} R_{Lmin}}{2M_{max} R_{Lmax}} + \frac{M_{max} R_{Lmax}}{M_{min} R_{Lmin}} (1 - \cos(\alpha_{min})) \right]} \quad (2.27)$$

เมื่อกำหนดค่า f_r ได้จากสมการที่ (2.27) ดังนั้นจะสามารถคำนวณค่า L_r และ C_r ได้จากสมการที่ (2.28) และสมการที่ (2.29)

$$L_r = \left(\frac{Z_o}{2\pi f_r} \right) \quad (2.28)$$

$$C_r = \left(\frac{1}{2\pi f_r Z_o} \right) \quad (2.29)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

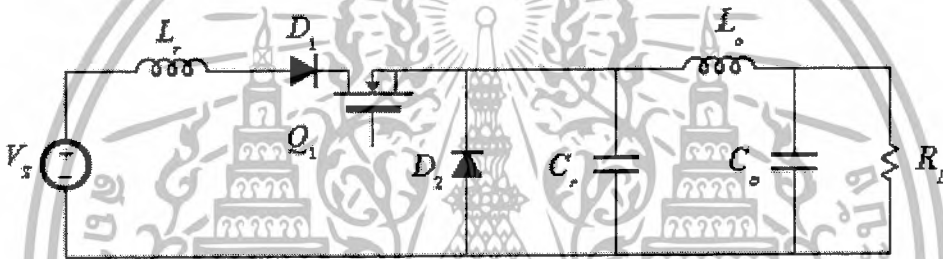
การออกแบบสร้าง

3.1 บทนำ

ในส่วนของบทนี้จะกล่าวถึงการคำนวณการออกแบบและการสร้างวงจรซึ่งสำหรับวงจรคอนเวอร์เตอร์แบบเรโซแนนท์สวิตชิงซึ่งขณะกระแสไฟฟ้าเป็นศูนย์นี้จะมีการคำนวณออกแบบและการสร้างวงจรในหลายส่วนดังนั้นจึงแยกออกเป็นส่วนได้ดังนี้

3.2 การออกแบบวงจร

ในการออกแบบจะนำ ค่างค์ประกอบของวงจรบ๊ิคอนเวอร์เตอร์มาทำการคำนวณเพื่อหา ส่วนของชุดเรโซแนนท์สวิตชิงที่ทำให้กระแสเป็นศูนย์โดยมีรายละเอียดของวงจรบ๊ิคอนเวอร์เตอร์ ดังนี้



รูปที่ 3.1 วงจรเรโซแนนท์คอนเวอร์เตอร์แบบสวิตชิงกระแสเป็นศูนย์

กำหนดให้

$$V_s = 20-25V$$

$$V_o = 5V$$

$$L_o = 55 \mu H$$

$$C_o = 200 \mu H$$

$$f_s = 100 kHz$$

$$R_L = 1-5 \Omega$$

คำนวณหาค่า M_{max} และ M_{min} ได้จากสมการที่ (2.19)

$$M_{max} = \frac{V_o}{V_{s,min}} = \frac{5}{20} = 0.25$$

$$M_{min} = \frac{V_o}{V_{s,max}} = \frac{5}{25} = 0.2$$

จากนั้นคำนวณหาค่า Z_o และ α_{min} เพื่อที่จะนำค่าที่ได้แทนลงในสมการความถี่เรโซแนนท์สมการที่(2.27)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำนวณหาค่า α_{min}

$$\alpha_{min} = 2\pi - \sin^{-1} \left(\frac{M_{min} R_{Lmin}}{M_{max} R_{Lmax}} \right)$$

$$\alpha_{min} = 6.122$$

ที่ความถี่ $f_{s,min} = 100 \text{ kHz}$ ทำการหาค่า f_r จากสมการที่ (2.27)

$$\frac{f_{s,min}}{f_r} = \frac{2\pi M_{min}}{\left[\alpha_{min} + \frac{M_{min} R_{Lmin}}{2M_{max} R_{Lmax}} + \frac{M_{max} R_{Lmax}}{M_{min} R_{Lmin}} (1 - \cos(\alpha_{min})) \right]}$$

นำค่าที่ได้ในข้างต้นแทนลงในสมการจะได้

$$\frac{100 \times (10^3)}{f_r} = \frac{2\pi (0.2)}{\left[\left(6.12 + \frac{(0.2)(0.1)}{2(0.25)(5)} \right) + \left(\frac{(0.25)(5)}{(0.2)(5)} \right) (1 - \cos 6.122) \right]}$$

$$f_r = 500 \text{ Hz}$$

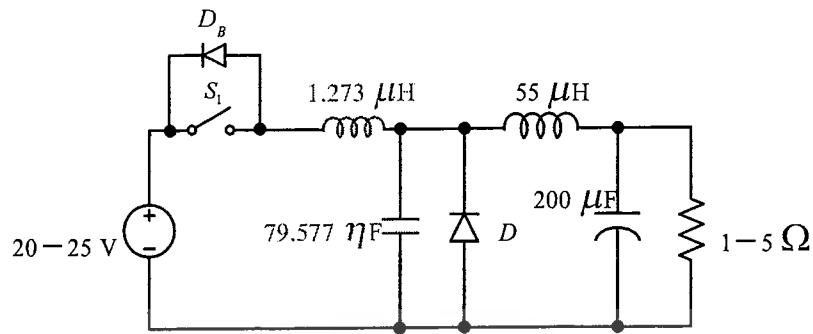
เมื่อได้ค่าความถี่ f_r สามารถคำนวณหาค่าความถี่ $f_{s,max}$ ได้จากสมการที่ (2.27)

$$f_{s,max} = 126 \text{ kHz}$$

และนำค่า f_r ไปแทนลงในสมการที่ (2.28) และ (2.29) เพื่อที่จะคำนวณหาค่า L_r, C_r จะได้

$$C_r = \left(\frac{I}{2\pi f_r Z_0} \right) = 79.577 \text{ nF}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



วงจรบัคคอนเวอร์เตอร์แบบสวิตช์ที่กระแสไฟฟ้าศูนย์ โมดเต็มคลื่น

คำนวณหาช่วงเวลาต่างๆ

ในวงจรเรโซแนนท์ขณะกระแสเป็นศูนย์ (ZCS) เราจะทำให้กระแสไฟฟ้าขณะสวิตช์เป็นศูนย์ ดังนั้นเราจึงต้องคำนวณหาช่วงเวลาที่เหมาะสมขณะที่กระแสไฟฟาลดลงมาเป็นศูนย์ หากเราเลือกช่วงเวลาที่ไม่เหมาะสมจะทำให้เกิดการสูญเสียขณะสวิตช์ได้

จากสมการที่ (2.2) $\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{L_r C_r}}$; $L_r = 1.273 \mu\text{H}$ $C_r = 79.577 \mu\text{F}$

$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{(1.273)(10^{-6})(79.577)(10^{-6})}}$$

$$= (3.14)^6 \text{ rad/s}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.1 แสดงค่าช่วงเวลาต่างๆ ที่แรงดันไฟฟ้าอินพุต $V_S = 25 \text{ V}$

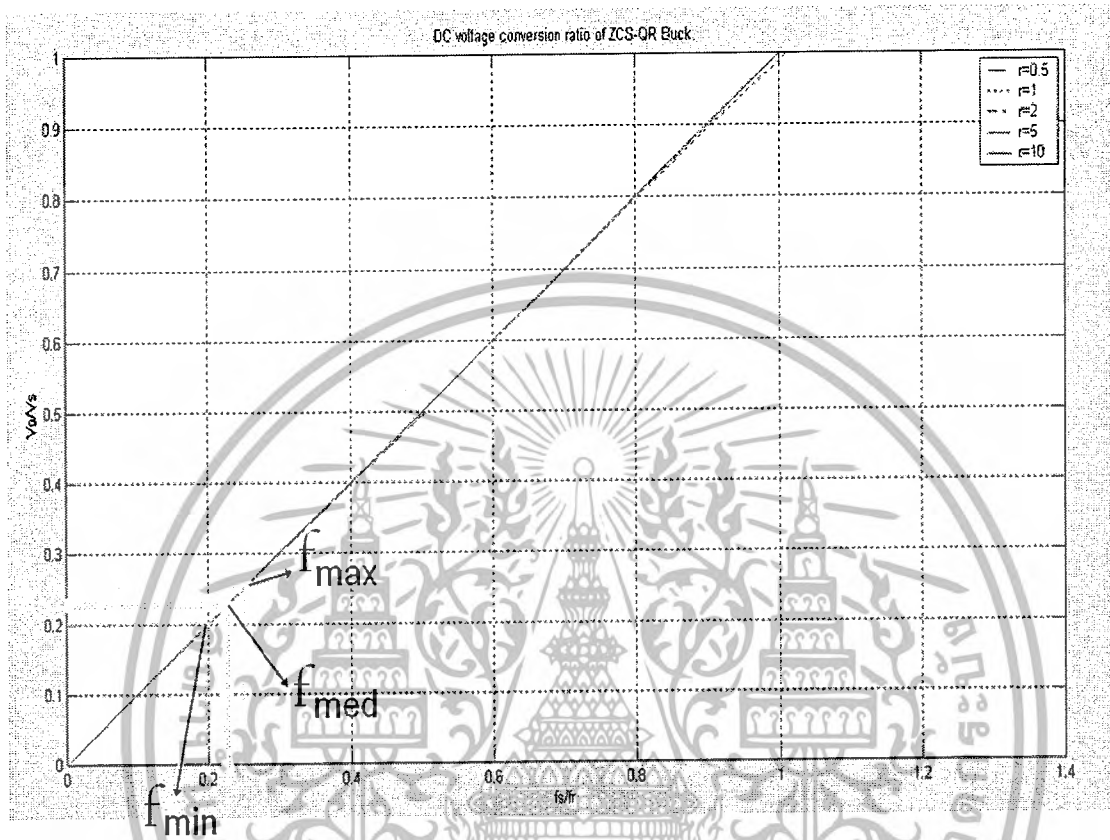
V_S	ช่วงเวลา	สูตรที่ใช้คำนวณ	$I_O = 1 \text{ A}$	$I_O = 3 \text{ A}$	$I_O = 5 \text{ A}$
25	t_{01}	$\frac{I_O L_r}{V_S}$	$0.051 \mu\text{s}$	$0.153 \mu\text{s}$	$0.255 \mu\text{s}$
	t_{12}	$\frac{1}{\omega_0} \left[\sin^{-1} \left(\frac{I_O Z_O}{V_S} \right) + \pi \right]$	$0.949 \mu\text{s}$	$0.841 \mu\text{s}$	$0.705 \mu\text{s}$
	t_{23}	$\frac{C_r V_S}{I_O} [1 - \cos \omega_0 (t_2 - t_1)]$	$3.953 \mu\text{s}$	$1.318 \mu\text{s}$	$0.791 \mu\text{s}$

ตารางที่ 3.2 แสดงค่าช่วงเวลาต่างๆ ที่แรงดันไฟฟ้าอินพุต $V_S = 20 \text{ V}$

V_S	ช่วงเวลา	สูตรที่ใช้คำนวณ	$I_O = 1 \text{ A}$	$I_O = 3 \text{ A}$	$I_O = 5 \text{ A}$
20	t_{01}	$\frac{I_O L_r}{V_S}$	$0.064 \mu\text{s}$	$0.191 \mu\text{s}$	$0.318 \mu\text{s}$
	t_{12}	$\frac{1}{\omega_0} \left[\sin^{-1} \left(\frac{I_O Z_O}{V_S} \right) + \pi \right]$	$1.063 \mu\text{s}$	$1.204 \mu\text{s}$	$1.498 \mu\text{s}$
	t_{23}	$\frac{C_r V_S}{I_O} [1 - \cos \omega_0 (t_2 - t_1)]$	$3.154 \mu\text{s}$	$0.956 \mu\text{s}$	$0.107 \mu\text{s}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นำค่าที่จากการคำนวณมาเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่าง V_o/V_s และ f_s/f_r

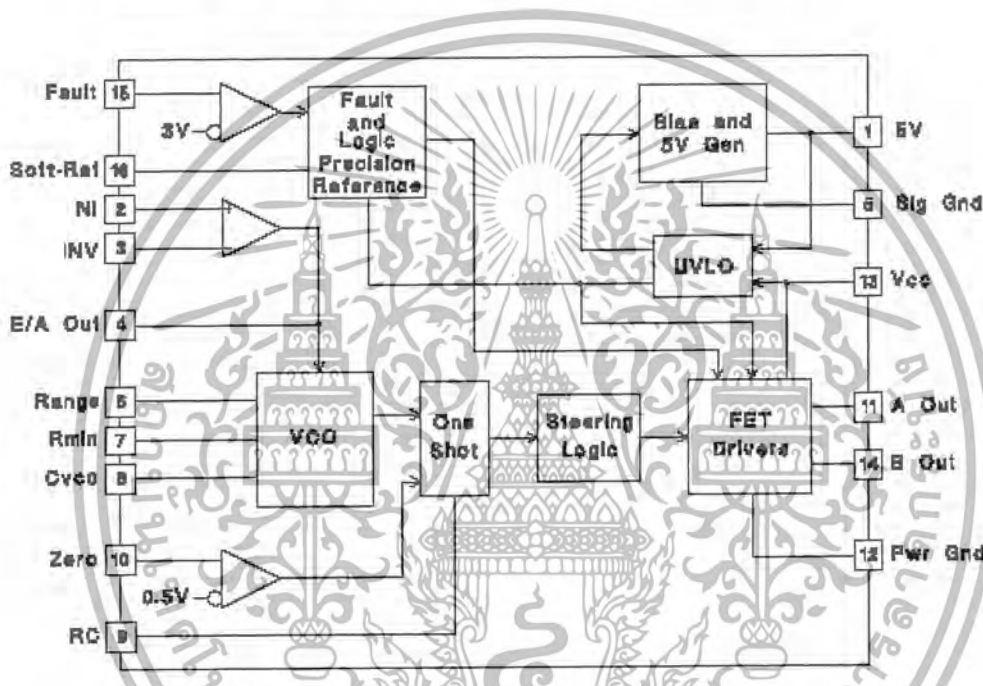


รูปที่ 3.2 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้ากับความถี่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 การออกแบบตัวควบคุมและวงจรขับเคลื่อนของมอเตอร์กำลัง

วงจรคอนเวอร์เตอร์แบบเรโซแนนซ์สวิตชิงขณะกระแสไฟฟ้าเป็นศูนย์กลางคือช่วงเวลาของการทำงานของวงจรสวิตชิงจะทำงานในช่วงเวลาการทำงาน t_{on} ซึ่งจากที่ได้ออกแบบไว้ก็จะกำหนดให้ t_{on} คงที่ โดยทำการแปลค่าความถี่เพื่อรักษาแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุต จึงเลือกใช้ตัวควบคุม UC2866 สามารถควบคุมวงจรเรโซแนนซ์คอนเวอร์เตอร์ ZCSสามารถกำหนดช่วงเวลาการทำงาน t_{on} โดยโครงสร้างการทำงานของตัวควบคุม UC2866 จะประกอบไปด้วย



รูปที่ 3.3 โครงสร้างการทำงานตัวควบคุม

3.3.1 Error amplifier(E/A)

ฟังก์ชันของ Error Amplifier(E/A)ที่ใช้ในการควบคุมระบบเพื่อรักษาระดับแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุต ซึ่งแตกต่างจากการทำงานของ IC PWMทั่วไปตรงที่ผลต่างของแรงดันไฟฟ้าที่ได้นั้น แทนที่จะไปปรับความกว้างของพัลส์เพื่อรักษาระดับแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุตแต่จะไปปรับความถี่ของพัลส์แทน

3.3.2 Voltage Controlled Oscillator(VCO)

ฟังก์ชัน Voltage Controlled Oscillator(VCO)ทำหน้าที่ผลิตความถี่ตามที่ต้องการโดยค่าความถี่ที่ผลิตได้จะเปลี่ยนแปลงแรงดันไฟฟ้าที่ป้อนเข้ามาควบคุม โดยแรงดันไฟฟ้าที่ใช้ในการควบคุมความถี่จะมาจากการเปรียบเทียบความถี่ที่ต้องการกับฐานอ้างอิงโดยสัมพันธ์กับฟังก์ชันของ Error Amplifier(E/A)ซึ่งเอาท์พุทของ (E/A)ไปควบคุมแรงดันไฟฟ้า(VCO)ผ่านกระแสไฟฟ้า Irange โดยแรงดันไฟฟ้า(VCO)มีอินพุทจากความต้านทาน 2 ตัว R_{min} , R_{range} และตัวเก็บประจุ C_{vco} นอกจากนั้นความถี่ของพัลส์ สูงสุด-ต่ำสุดสามารถกำหนดผ่านฟังก์ชัน R_{range} , R_{min} , C_{vco} สามารถหาความถี่ได้ตามสมการ

$$F_{vco\ min} = \frac{3.6}{R_{min} C_{vco}} \quad (3.1)$$

$$F_{vco\ max} = \frac{3.6}{(R_{min} // R_{range}) C_{vco}} \quad (3.2)$$

3.3.3 One shot timing generator and Zero wave crossing detection comparator

ฟังก์ชัน One shot ถูกนำมาใช้เพื่อกำหนดความกว้างของพัลส์สูงสุดโดยหา RC โดยสัญญาณพัลส์จาก One shot จะถูกนำมาปรับความกว้างของพัลส์อีกครั้งโดยเปรียบเทียบกับสัญญาณจากฟังก์ชัน Zero detection comparator (สัญญาณจากกระแสไฟฟ้าของตัวเหนี่ยวนำ L_r และแรงดันไฟฟ้าตัวเก็บประจุ C_r) ซึ่งฟังก์ชันสามารถที่จะทำให้การสวิตช์ที่กระแสไฟฟ้าเป็นศูนย์หรือแรงดันไฟฟ้าเป็นศูนย์จริงๆง่ายขึ้นตลอดย่าน line load และ temperature ที่มีการเปลี่ยนแปลงได้ และยังเหมาะสมกับอุปกรณ์เรโซแนนซ์ที่มีการแปรผันได้และ ความกว้างของพัลส์สามารถได้จากสมการ

$$T_{max} = RC \quad (3.3)$$

$$T_{min} = 0.3 T_{max} \quad (3.4)$$

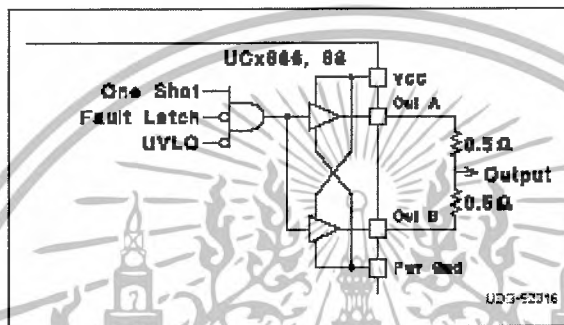
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.4 Under voltage lockout(UVLO) and 5 V bias generator

ฟังก์ชัน (UVLO)การควบคุมการทำงานของไอซี เพื่อป้องกันความผิดปกติการทำงาน
ของไอซีขณะเริ่มใช้งานไอซี นั่นคือถ้าแรงดันไฟฟ้าที่ป้อนให้ตัวไอซีมีค่ามากกว่า UVLO threshold
แล้วฟังก์ชัน 5 V bias generator จะถูก Enable เพื่อทำให้วงจรอื่นๆ ภายในของตัวไอซีทำงาน ได้โดย
ที่ตัว

3.3.5 Steering logic to output driver

เป็นวงจรรวมสัญญาณที่มาใช้ในการขับขาเกทของเพาเวอร์มอสเฟต



รูปที่ 3.4 การต่อใช้งานของเอาต์พุต

3.3.6 รายละเอียดอื่นๆของแต่ละขา

ขา 5 vPin ควรต่อ Bypass ไปที่ Signal Ground ด้วยตัวเก็บประจุ 0.1 μF โดยตัวเก็บประจุนี้ควรมี
ค่าESR และ ESL ต่ำSelf-Ref Pin จะบริการ 3 ฟังก์ชันได้แก่ System Reference, Restart Delay
Soft-Start โดย Self-Ref pin นี้ควรใช้เป็น Input Referent ให้กับE/A จำทำให้ลด Overshoot ได้ใน
การ Control ZCS,ZVS สำหรับ Pin นี้ใช้ Bypass Capacitor อย่างน้อย 0.1 μF ซึ่งจะทำให้ได้เวลา
ในการเกิด Soft Start ที่ ms

ส่วน Restart Delay จำทำให้เกิดรีเซ็ตหากเกิด Fault ขึ้นในระบบ โดยช่วงเวลาในการ
ชาร์จ จะเป็นอัตราส่วน 19:1 (Restart Time:Soft Start)

สูตรที่ใช้คือ

$$T_{soft\ start} = C_{sr} \times 10k\Omega \tag{3.5}$$

$$T_{restart} = C_{sr} \times \tag{3.6}$$

แต่ถ้าต้องการเวลาที่ Restart Delay สั้นลงเท่านี้ สามารถใช้ 20 kΩ ต่อเพิ่มเข้าไปที่ขา Soft Ref ลง
กราวด์ แต่จะได้สมการเปลี่ยนไป

$$T_{restart} = R_{sr} \times C_{sr} \times \ln \left[\frac{(0.48mA \times R_{sr}) - 0.2}{(0.48mA + R_{sr}) - 5} \right] \tag{3.7}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.7 การออกแบบตัวควบคุม

จากที่ได้คำนวณออกแบบช่วงเวลาการทำงานของวงจรถอนเวอร์เตอร์แบบเรโซแนนท์ สวิตชิงขณะกระแสไฟฟ้าเป็นศูนย์โดยให้ค่าช่วงเวลาการทำงานของ $t_{on}=2.6 \mu s$ และความถี่ต่ำสุด $f_{s,min}=70 \text{ kHz}$ ความถี่สูงสุด $f_{s,max}=150 \text{ kHz}$ สามารถคำนวณได้ดังนี้ จากสมการที่(3.4)ของ One shot ต้องการความกว้างของพัลส์ $t_{on}=2.6 \mu s$

$$T_{min} = 0.3 T_{max}$$

$$2.6 \mu s = 0.3 T_{max}$$

$$T_{max} = \frac{2.6 \mu s}{0.3} = 8.667$$

จากสมการที่(3.3)เลือกค่าตัวเก็บประจุ $C=360$ ไมโครฟารัด ดังนั้น

$$T_{max} = RC$$

$$R = \frac{2.33 \times 10^{-6}}{4.5 \times 10^{-9}} = 8 \text{ k}\Omega$$

จากสมการ Voltage Controlled Oscillator(VCO)ความถี่ของพัลส์ สูงสุด-ต่ำสุดสามารถกำหนดผ่านฟังก์ชัน โดยที่ความถี่ต่ำสุด $f_{s,min}=70 \text{ kHz}$ ความถี่สูงสุด $f_{s,max}=150 \text{ kHz}$ สามารถคำนวณได้สมการที่(3.1)จะได้

$$F_{vco\ min} = \frac{3.6}{R_{min} C_{vco}}$$

ที่ความถี่ต่ำสุด $f_{s,min}=70 \text{ kHz}$ กำหนดให้ $R=8 \text{ k}\Omega$ จะได้

$$C_{vco} = \frac{3.6}{8 \times 10^3 \times 70 \times 10^3} = 4.5 \text{ nF}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

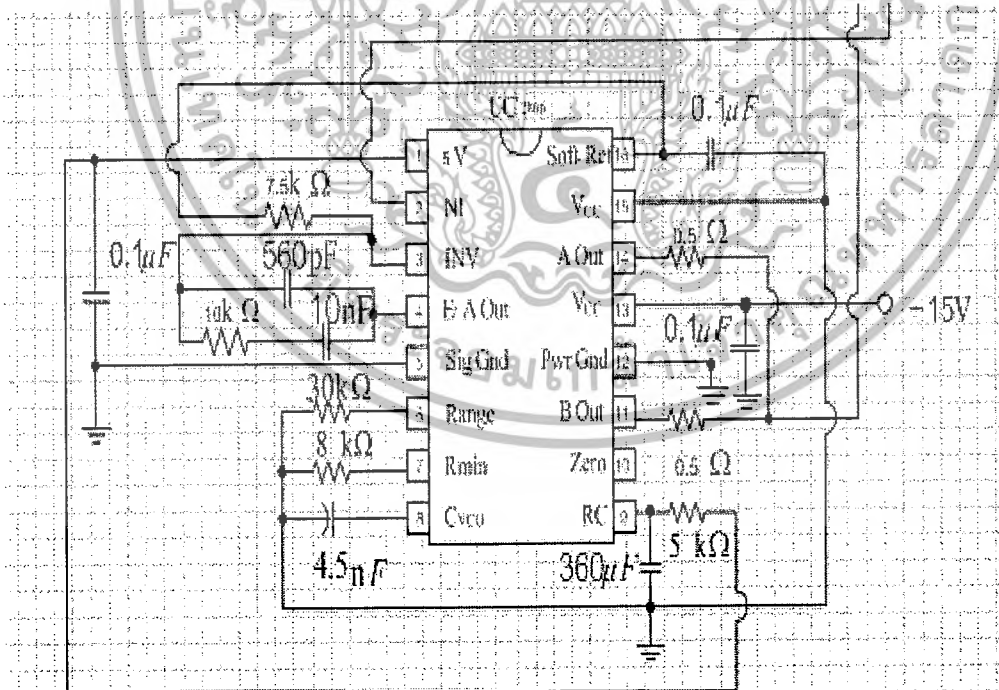
จากสมการที่(3.2)ที่ความถี่สูงสุด $F_{vco_{max}} = 150 \text{ kHz}$ กำหนดให้ R_{range} จะได้

$$F_{vco_{max}} = \frac{3.6}{(R_{min} // R_{range}) C_{vco}}$$

$$(R_{min} // R_{range}) = \frac{3.6}{C_{vco} F_{vco_{max}}}$$

$$R_{range} = 9.98 \text{ k}\Omega$$

จากนั้นจะได้ชุดควบคุมที่ทำงานในช่วงเวลา $t_{on} = 2.6 \mu\text{s}$ และสามารถผลิตความถี่ 100kHz - 318kHz นำไปควบคุมการทำงานของสวิตช์วงจรคอนเวอร์เตอร์แบบเรโซแนนซ์สวิตช์ซึ่งขณะกระแสไฟฟ้าเป็นศูนย์ ดังแสดงในรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.5 แสดงการต่อวงจรควบคุม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4 การออกแบบสร้างวงจรขับเคลื่อนของมอเตอร์กำลัง

ในการขับเคลื่อนของมอเตอร์กำลัง สำหรับวงจรคอนเวอร์เตอร์แบบเรโซแนนซ์สวิตชิ่งขณะกระแสไฟฟ้าเป็นศูนย์ จำเป็นต้องสร้างวงจรขับเคลื่อนที่มีการแยกกันทางไฟฟ้าระหว่างวงจรควบคุมกับวงจรกำลัง โดยใช้วงจรขับเคลื่อนที่เลือกเป็นแบบใช้หม้อแปลงไฟฟ้า

การออกแบบหม้อแปลงไฟฟ้าโดยมีเงื่อนไขดังนี้ ที่ความถี่การสวิตช์ต่ำสุด 100 kHz แรงดันไฟฟ้าสูงสุดด้านปฐมภูมิ 15 V $D_{max} = 0.25$ และ $B_{max} = 0.2$ T ในการออกแบบสร้างหม้อแปลงไฟฟ้าง่ายๆสามารถใช้แกนขนาดเล็กได้เนื่องจากการส่งผ่านกำลังไฟฟ้าจำนวนน้อยจึงเลือกแกนเฟอร์ไรต์แบบ EI-19 ($A_C = 23.3 \text{ mm}^2$ $A_W = 51.7 \text{ mm}^2$ $A_P = 1204.61 \text{ mm}^4$) ดังนั้นสามารถคำนวณหาจำนวนรอบของขดลวดปฐมภูมิของหม้อแปลงไฟฟ้าได้จากสมการ

$$N_p = \frac{V_{pir} \cdot pk \cdot D_{max}}{A_C B_{max} f_s} \quad (3.8)$$

โดยที่

N_p

คือ จำนวนรอบของขดลวดปฐมภูมิของหม้อแปลงไฟฟ้า

$V_{pir} \cdot pk$

คือ แรงดันด้านสูงสุดด้านปฐมภูมิ

แทนค่าต่างๆลงในสมการจะได้

$$N_p = \frac{(15)(0.25)}{(23.3)(0.2)(100 \times 10^3)} \quad (3.9)$$

$$= 9 \text{ รอบ}$$

และเลือกจำนวนของขดลวดทุติยภูมิ (N_s) เท่ากับขดลวดปฐมภูมิ คือ $N_p = N_s = 9$ รอบ โดยเลือกขดลวดทองแดงที่ใช้พัน คือ AWG30 ($a_{30} = 0.05067 \text{ mm}^2$ $\phi_{30} = 0.294 \text{ mm}$)

ตัวเก็บประจุไฟฟ้าทางด้านปฐมภูมิ C_p ป้องกันกระแสไฟฟ้าดีซีที่ไหลผ่านหม้อแปลงไฟฟ้า เนื่องจากแรงดันไฟฟ้าอินพุทของวงจรขับเคลื่อนของมอเตอร์กำลัง(แรงดันไฟฟ้าเอาต์พุทของตัวควบคุม UC 2866) เป็นสัญญาณพัลส์ที่มีระดับอ้างอิงเป็นศูนย์ความจุไฟฟ้าของตัวเก็บประจุไฟฟ้า C_p ต้องเลือกค่าที่ทำให้ความถี่เรโซแนนซ์แบบอนุกรม เนื่องจากตัวเก็บประจุไฟฟ้า C_p และ

ตัวเหนี่ยวนำทางด้านปฐมภูมิของหม้อแปลงไฟฟ้า L_p น้อยกว่าความถี่ในการสวิตช์อย่างเพียงพอ เมื่อเลือกความถี่เรโซแนนซ์เป็น 0.1 เท่าของความถี่ในการสวิตช์ค่าความจุไฟฟ้าของตัวเก็บประจุไฟฟ้า C_p

$$C_p = \frac{100}{4\pi^2 f^2 L_p} \tag{3.10}$$

โดยที่

C_p คือ ความจุไฟฟ้าของตัวเก็บประจุไฟฟ้า

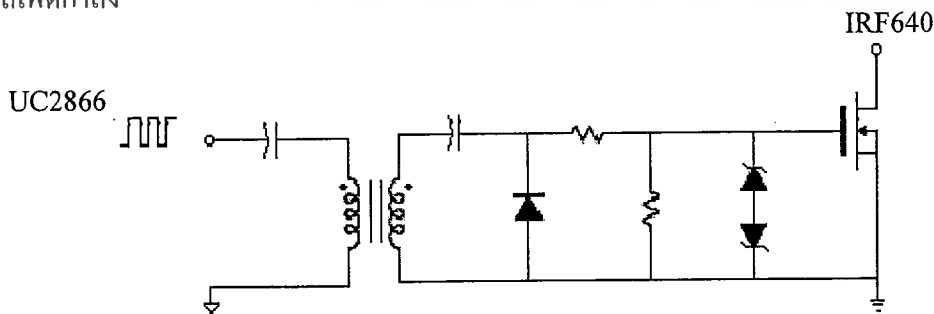
L_p คือ ความเหนี่ยวนำของตัวเหนี่ยวนำ

ตัวเก็บประจุไฟฟ้าทางด้านทุติยภูมิ C_s ไดโอดเรียงกระแส D_1 ตัวต้านทาน R_g และ R_{gs} ต่อกันเป็นวงจรแคมป์ (Clamping circuit) ชนิดที่แรงดันตกคร่อมไดโอด D_1 เป็นสัญญาณพัลส์บวกที่มีระดับอ้างอิงเป็นศูนย์ ค่าคงตัวเวลาของวงจรแคมป์ต้องมากกว่าคาบเวลาในการสวิตช์อย่างเพียงพอ เพื่อรักษาให้ขนาดของแรงดันตกคร่อมตัวเก็บประจุไฟฟ้า C_s คงที่ เมื่อเลือกค่าคงตัวเวลาของวงจรแคมป์ไม่น้อยกว่า 10 เท่าของคาบเวลาของการสวิตช์ ค่าความจุไฟฟ้าของตัวเก็บประจุไฟฟ้า C_s คำนวณได้จากสมการ

$$C_s \geq \frac{10T_s}{R_g + R_{gs}} \tag{3.11}$$

ตัวต้านทาน R_g ต่อเพื่อป้องกันการออสซิลเลตปรสิติก (parasitic oscillate) ที่ค่าความถี่ในการออสซิลเลตมีค่าสูงมาก การออสซิลเลตสามารถเกิดขึ้นได้จากตัวเก็บประจุไฟฟ้าเกต-ซอร์สและตัวเหนี่ยวนำปรสิติกที่เกิดจากความยาวของสายนำสัญญาณในวงจรจับเกต นอกจากนี้ค่าความต้านทานของตัวต้านทาน R_g ยังใช้กำหนดช่วงเวลาขึ้น (rise time) ของแรงดันเกต-ซอร์สขึ้นทำให้

มอสเฟตกำลังทำการสวิตช์ด้วยความเร็วสูง ตัวต้านทาน R_{gs} ต่อเพื่อเป็นเส้นทางนำประจุไฟฟ้าออกจากเกตขณะมอสเฟตกำลังหยุดนำกระแส ซีเนอร์ไดโอด D_z ต่อแบบอาโนดร่วมเพื่อจำกัดขนาดของแรงดันสไปก์ (spike) ที่ตกคร่อมเกต-ซอร์สไม่ให้เกินพิคคแรงดันเกต-ซอร์สของมอสเฟตกำลัง

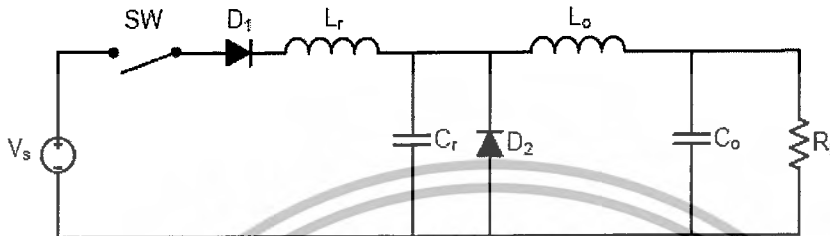


รูปที่ 3.6 วงจรจับเกตของมอสเฟตกำลัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5 การออกแบบสร้างวงจรภาคกำลัง

สำหรับวงจรภาคกำลังอุปกรณ์จะประกอบไปด้วย มอสเฟตกำลัง (Q_1) ตัวเหนี่ยวนำเรโซแนนท์ (L_r) ไดโอดกำลัง (D_1) และ (D_2) ตัวเก็บประจุไฟฟ้าเรโซแนนท์ (C_r) ตัวเหนี่ยวนำเอาต์พุต (L_o) และตัวเก็บประจุไฟฟ้าเอาต์พุต (C_o) ซึ่งแสดงดังรูปที่ (3.7)



รูปที่ 3.7 วงจรภาคกำลังของวงจรคอนเวอร์เตอร์แบบเรโซแนนท์สวิตช์ซึ่งขณะกระแสเป็นศูนย์

3.5.1 การเลือกใช้มอสเฟตกำลังและไดโอดกำลัง

ในการจะเลือกใช้มอสเฟตกำลังและไดโอดกำลังว่าจะใช้เบอร์อะไรจะต้องทราบค่าพารามิเตอร์ของตัวอุปกรณ์ก่อนว่ามีการทำงานอย่างไร และสามารถทนแรงดันไฟฟ้าเฉลี่ยเท่าไรและจะต้องเลือกให้ค่านี้นสูงกว่าค่าที่ได้ออกแบบไว้

ค่าแรงดันเดรน-ซอร์สสูงสุดของมอสเฟตกำลังและค่าแรงดันย้อนกลับสูงสุดของไดโอดกำลังมีค่าเท่ากับแรงดันอินพุตสูงสุด คือ 25 V ค่ากระแสเดรนเฉลี่ยของมอสเฟตกำลังและค่ากระแสไปหน้าเฉลี่ยของไดโอดกำลังคำนวณได้จากสมการที่ (3.12) และสมการที่ (3.13) ตามลำดับ

$$I_{d.av} = \frac{1}{2} \frac{(I_{L,max} + I_{L,min}) D_{max} T_S}{T_S} \quad (3.12)$$

$$I_{f.av} = \frac{1}{2} \frac{(I_{L,max} + I_{L,min})(1 - D_{min}) T_S}{T_S} \quad (3.13)$$

เมื่อ

$$I_{Lmin} = I_{L,av} - \frac{\Delta I_L}{2}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยที่

$I_{d,av}$ คือ กระแสเดรนเฉลี่ยของมอสเฟตกำลัง

$I_{f,av}$ คือ กระแสไปหน้าเฉลี่ยของไดโอดกำลัง

$I_{L,min}$ คือ กระแสต่ำสุดของตัวเหนี่ยวนำ

D_{max} คือ ดิวตีไซเคิลสูงสุด

จากข้อกำหนดในการออกแบบตัวเหนี่ยวนำ L จะได้ $I_{L,min} = 4.75 \text{ A}$ และดิวิตีไซเคิลจะมีค่าสูงสุดเมื่อแรงดันอินพุตมีค่าต่ำสุด จะได้ $D_{max} = 5/25 = 0.25$ จำนวนกระแสเดรนเฉลี่ยของมอสเฟตกำลังและกระแสไปหน้าเฉลี่ยของไดโอดกำลังด้วยสมการที่ (3.12) และสมการที่ (3.13) ได้ 1.25A และ 3.75 A ตามลำดับ พิกัดแรงดันและกระแสอุปกรณ์ที่เลือกใช้ต้องมีค่าสูงกว่าค่าที่คำนวณได้จึงเลือกมอสเฟตกำลังเบอร์ IRFZ34N ซึ่งมีพิกัดแรงดันเดรน-ซอร์สสูงสุด 55 V และกระแสเดรนเฉลี่ย 26 A และเลือกไดโอดกำลังชนิดซอดต์กีเบอร์ STTH3003CW ซึ่งมีพิกัดแรงดันสูงสุด 300 V และกระแสไปหน้าเฉลี่ย 30 A

3.6 การออกแบบตัวเหนี่ยวนำด้วยวิธีผลคูณพื้นที่สำหรับแกนเฟอร์ไรต์

สำหรับการออกแบบตัวเหนี่ยวนำ L จะต้องคำนึงถึงกระแสไหลดด้วย เส้นแรงแม่เหล็กในแกนแม่เหล็กจะขึ้นอยู่กับกระแสไหลด เมื่อกระแสไหลดที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำมีค่าเพิ่มขึ้นก็อาจจะมีผลทำให้แกนแม่เหล็กเกิดการอิ่มตัวได้ และเมื่อแกนแม่เหล็กเกิดการอิ่มตัวก็จะทำให้ค่าความเหนี่ยวนำในแกนแม่เหล็กมีค่าลดลง ดังนั้นในการออกแบบตัวเหนี่ยวนำจำเป็นจะต้องระบุค่ากระแสสูงสุดเพื่อสามารถทำการออกแบบเลือกแกนแม่เหล็กที่จะไม่เกิดการอิ่มตัวได้และด้วยสาเหตุดังกล่าวทำให้ในกรณีที่กระแสไหลดมีค่าสูงๆขนาดของแกนแม่เหล็กก็จะมีขนาดใหญ่มากขึ้นด้วย ขนาดของแกนแม่เหล็กสามารถมีขนาดลดลงได้ด้วยการเพิ่มช่องอากาศ (air gap) ที่เหมาะสมในแกนแม่เหล็ก

3.6.1 ขั้นตอนในการออกแบบตัวเหนี่ยวนำ

1) กำหนดพารามิเตอร์ความเหนี่ยวนำ

ค่าความเหนี่ยวนำที่ใช้ในการคำนวณจะได้จากตัวเหนี่ยวนำที่ได้ออกแบบไว้ในหัวข้อที่ผ่านมาซึ่งจะมีตัวเหนี่ยวนำสองตัวคือในส่วนของตัวเหนี่ยวนำเรโซแนนท์ (L_r) และตัวเหนี่ยวนำของบั๊ก (L_o) ซึ่งเป็นตัวเหนี่ยวนำเอาต์พุต ค่าของตัวเหนี่ยวนำทั้งสองมีค่าดังนี้

$$L_r = 1.273 \mu\text{H}$$

$$L_o = 55 \mu\text{H}$$

2) ผลคูณพื้นที่ (A_p)

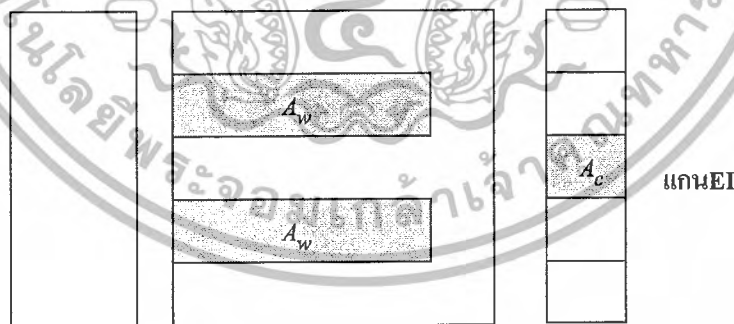
โดยทั่วไปแล้วในการออกแบบตัวเหนี่ยวนำจะนิยมใช้วิธีผลคูณพื้นที่ (Area product) นิยามได้ด้วยสมการ

$$A_p = \text{area product} = \text{core cross section } (A_c) \times \text{window area } (A_w) \quad (3.14)$$

เมื่อ A_c หมายถึง พื้นที่หน้าตัดของแกน (core area)

A_w หมายถึง พื้นที่ภายในกรอบว่างของแกน (window area)

เมื่อนิยามของ A_c และ A_w ได้แสดงไว้ดังรูปที่ (3.8)



รูปที่ 3.8 ตัวอย่างนิยามของ A_c และ A_w สำหรับแกนแม่เหล็กแบบ EI

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พลังงานที่สะสมอยู่ในตัวเหนี่ยวนำจะมีค่าเท่ากับ

$$E = \frac{1}{2} LI_m^2 \quad (3.15)$$

โดยที่ E หมายถึง พลังงานที่สะสมในตัวเหนี่ยวนำ (joules)

L หมายถึง ค่าความเหนี่ยวนำ (H)

I_m หมายถึง กระแสยอดของวงจร (A)

โดยพื้นที่ในการพันขดลวดจะต้องเหมาะสมกับจำนวนรอบ (N) และพื้นที่หน้าตัดของขดลวด (a) ดังนี้

$$K_w A_w = N \cdot a \quad (3.16)$$

K_w คือ ค่าตัวประกอบการใช้ประโยชน์พื้นที่ที่ใช้บรรจุขดลวด

K_C คือ อัตราส่วนระหว่างกระแสสูงสุดกับกระแสอาร์เอ็มเอสของตัวเหนี่ยวนำ (crest factor)

แทนค่า $a = \frac{I}{J}$ ลงในสมการที่ (3.16) จะได้

$$K_w A_w = N \cdot \frac{I}{J}$$

เนื่องจากนิยาม crest factor: K_C จะได้ว่า

$$K_C = \frac{I_m}{I}$$

I_m หมายถึง ค่ากระแสยอด (A)

I หมายถึง ค่ารากของกำลังสองเฉลี่ยของกระแส (A)

แทนค่า $I = \frac{I_m}{K_C}$ ลงในสมการข้างต้นจะได้

$$K_w K_C A_w J = N \cdot I_m \quad (3.17)$$

$$LI_m = N A_C B_m \quad (3.18)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แทนค่าสมการที่ (3.18) ลงในสมการที่ (3.15) จะได้

$$E = \frac{1}{2} NI_m A_C B_m \quad (3.19)$$

แทนค่า I_m ในสมการที่ (3.18) ลงในสมการที่ (3.16) จะได้

$$A_P = A_w A_C = \frac{2E}{K_w K_C J B_m} \quad (3.20)$$

และเนื่องจากตัวเหนี่ยวนำมีขดลวดแค่หนึ่งชุด เพราะฉะนั้น K_w จะเลือกให้มีค่าเท่ากับ 0.6 สำหรับแกนแม่เหล็กจะต้องทำการเลือกโดยให้ A_P ที่แสดงในภาคผนวกที่ 2 มีค่ามากกว่าค่าที่ได้จากสมการที่ (3.20)

3) จำนวนรอบในการพันตัวเหนี่ยวนำ

จำนวนรอบในการพันตัวเหนี่ยวนำจะสามารถหาได้จาก

$$N = \frac{LI_m}{A_C B_m} \quad (3.21)$$

4) ขนาดของขดลวดตัวนำ

พื้นที่หน้าตัดของขดลวดตัวนำสามารถคำนวณหาได้จากสมการ

$$a = \frac{I}{J} \quad (3.22)$$

โดยที่

J คือ ความหนาแน่นกระแสในเส้นลวดทองแดง

I คือ กระแสไหล

สำหรับขดลวดตัวนำจะต้องทำการเลือกโดยให้พื้นที่หน้าตัด (a) ที่แสดงในภาคผนวกที่ 2 มีค่ามากกว่าค่าที่ได้จากการคำนวณ

5) ช่องอากาศ

สามารถหาได้จากสมการที่ (3.23) โดยที่ $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}$

$$l_g = \frac{\mu_0 N^2 A_C}{L} \quad (3.23)$$

ในการคำนวณเพื่อหาระยะห่างของช่องอากาศจะทำการสมมติค่า N และ B_m ซึ่งจะไม่เท่ากับค่าที่เป็นจริงของ B_m ในแกนแม่เหล็ก ทำให้ช่องอากาศที่คำนวณได้อาจจะไม่เที่ยงตรง ดังนั้นในทางปฏิบัติ ค่าความเหนี่ยวนำที่ต้องการ อาจจะต้องมีการปรับแต่งด้วยการปรับระยะช่องอากาศ

3.7 การออกแบบตัวเหนี่ยวนำที่ใช้ในวงจรคอนเวอร์เตอร์แบบเรโซแนนท์สวิตชิงขณะกระแสเป็นศูนย์

ค่าความเหนี่ยวนำที่ใช้ในวงจรคอนเวอร์เตอร์แบบเรโซแนนท์สวิตชิงขณะกระแสเป็นศูนย์ ที่ได้ออกแบบไว้มีอยู่สองค่าด้วยกันคือ

$$L_r = 1.273 \mu\text{H}$$

$$L_o = 55 \mu\text{H}$$

ในการคำนวณจะใช้สมการที่ได้กล่าวไว้ในข้างต้น ลำดับขั้นตอนในการคำนวณมีดังนี้โดยกำหนดให้ค่าระลอกคลื่นของกระแสในตัวเหนี่ยวนำ $\Delta I = 10\%$ ของกระแสโหลด

วิธีการคำนวณ

ตัวเหนี่ยวนำที่ใช้ในการคำนวณ

$$L_o = 55 \mu\text{H} \quad \text{ตัวเหนี่ยวนำเอาต์พุต}$$

คำนวณหาผลคูณพื้นที่ (A_p)

เริ่มจากการคำนวณพลังงานสะสมจากสมการที่ (3.15)

$$E = \frac{1}{2} LI_m^2$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดย

$$I_m = I_o + \frac{\Delta I}{2}$$

แทนค่าต่างๆลงในสมการจะได้

$$E = 0.75 \times 10^{-3} \text{ จูล}$$

แทนค่า $B_m = 0.2$ เทสลา, $J = 3\text{A/mm}^2 = 3 \times 10^6 \text{ A/m}^2$, $K_C = 0.6$, $K_W = 1$ จะได้

$$A_P = A_w A_C = \frac{2E}{K_w K_C J B_m}$$

$$A_P = 4210 \text{ mm}^4$$

เลือกขนาดแกนแม่เหล็กจากภาคผนวกที่ 2 โดยเลือกค่าให้มากกว่าค่าที่ได้จากการคำนวณ
จะได้แกนแม่เหล็กเบอร์ EER 34/35 ($A_P = 17220.8 \text{ mm}^4$, $A_C = 91.6 \text{ mm}^2$, $A_w = 188 \text{ mm}^2$)

คำนวณหาจำนวนรอบในการพันตัวเหนี่ยวนำ

$$N = \frac{L I_m}{A_C B_m}$$

แทนค่าพารามิเตอร์ต่างๆจะได้ $N = 16$ รอบ (ให้เลือกจำนวนเต็มโดยการปัดเศษขึ้น)

คำนวณหาขนาดของขดลวดตัวนำ

กำหนดให้ค่า $J = 3\text{A/mm}^2 = 3 \times 10^6 \text{ A/m}^2$ จะได้

$$a = \frac{I}{J} \text{ โดยที่ } I = I_o$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แทนค่าพารามิเตอร์ต่างๆจะได้ $a = 1.6666 \text{ mm}^2$

ขดลวดตัวนำจะต้องทำการเลือกโดยให้พื้นที่หน้าตัด (a) ที่แสดงในภาคผนวกที่ 2 มีค่ามากกว่าค่าที่ได้จากการคำนวณ ดังนั้นจึงทำการเลือก AWG 20 ($a = 1.6666 \text{ mm}^2$) 4 เส้นพันพร้อมกัน

ตรวจสอบ

การตรวจสอบสามารถทำได้โดยการแทนค่าพื้นที่หน้าตัด จำนวนรอบค่า A_w ของแกนแม่เหล็กที่เลือกใช้ จริกลงในสมการ

$$A_w K_w > a.N$$

$$A_w K_w = 158 \times 0.6 = 94.80 \text{ mm}^2$$

$$a.N = 2.076 \times 17 = 35.29 \text{ mm}^2$$

จะเห็นได้ว่าเป็นไปตามเงื่อนไข ซึ่งหมายถึงสามารถพันขดลวดลงพื้นที่หน้าตัด (window area) ของแกนแม่เหล็กที่เลือกไว้ได้พอดี

ช่องอากาศ

$$l_g = \frac{\mu_0 N^2 A_C}{L} \quad \text{โดยที่ } \mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{ H/m}$$

แทนค่าพารามิเตอร์ต่างๆจะได้

$$l_g = 0.53 \text{ mm}^2$$

ในส่วน of ตัวเหนี่ยวนำเรโซแนนซ์นั้นการออกแบบก็จะเหมือนกับตัวเหนี่ยวนำทางด้านเอาต์พุตซึ่งมีลำดับขั้นตอนดังต่อไปนี้

วิธีการคำนวณ

ตัวเหนี่ยวนำที่ใช้ในการคำนวณ

$$L_p = 1.273 \mu\text{H} : \text{ ตัวเหนี่ยวนำเรโซแนนซ์}$$

คำนวณหาผลคูณพื้นที่ (A_p)

เริ่มจากการคำนวณพลังงานสะสมจากสมการที่ (3.15)

$$E = \frac{1}{2} L I_m^2$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดย

$$I_m = I_O + \frac{\Delta I}{2}$$

แทนค่าต่างๆลงในสมการจะได้

$$E = 6.97 \times 10^{-6} \text{ จูล}$$

แทนค่า $B_m = 0.2$ เทสลา, $J = 3 \text{ A/mm}^2 = 3 \times 10^6 \text{ A/m}^2$, $K_C = 0.6$, $K_W = 1$ จะได้

$$A_P = A_W A_C = \frac{2E}{K_W K_C J B_m}$$

$$A_P = 38.74 \text{ mm}^4$$

เลือกขนาดแกนแม่เหล็กจากภาคผนวกที่ 1 โดยเลือกค่าให้มากกว่าค่าที่ได้จากการคำนวณ
จะได้แกนแม่เหล็กเบอร์ EI-16 ($A_P = 799.68 \text{ mm}^4$, $A_C = 19.6 \text{ mm}^2$, $A_W = 40.8 \text{ mm}^2$)

คำนวณหาจำนวนรอบในการพันตัวเหนี่ยวนำ

$$N = \frac{L I_m}{A_C B_m}$$

แทนค่าพารามิเตอร์ต่างๆจะได้ $N = 1$ รอบ (ให้เลือกจำนวนเต็ม โดยการปัดเศษขึ้น)

คำนวณหาขนาดของขดลวดตัวนำ

กำหนดให้ค่า $J = 3 \text{ A/mm}^2 = 3 \times 10^6 \text{ A/m}^2$ จะได้

$$a = \frac{I}{J} \text{ โดยที่ } I = I_O$$

แทนค่าพารามิเตอร์ต่างๆจะได้ $a = 1.6666 \text{ mm}^2$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขดลวดตัวนำจะต้องทำการเลือกโดยให้พื้นที่หน้าตัด (a) ที่แสดงในภาคผนวกที่ 2 มีค่ามากกว่าค่าที่ได้จากการคำนวณ ดังนั้นจึงทำการเลือก AWG 23 ($a = 0.259\text{mm}^2$) 7 เส้นพันพร้อมกัน จะทำให้ตอนพันขดลวดง่ายขึ้นเพราะลวดทองแดงจะนุ่มมือ

ตรวจสอบ

การตรวจสอบสามารถทำได้โดยการแทนค่าพื้นที่หน้าตัด จำนวนรอบค่า A_w ของแกนแม่เหล็กที่เลือกใช้จริงลงในสมการ

$$A_w K_w > a.N$$

$$A_w K_w = 40.8 \times 0.6 = 24.48 \text{ mm}^2$$

$$a.N = 1.813 \times 1 = 1.813 \text{ mm}^2$$

จะเห็นได้ว่าเป็นไปตามเงื่อนไข ซึ่งหมายถึงสามารถพันขดลวดลงพื้นที่หน้าต่าง (window area) ของแกนแม่เหล็กที่เลือกไว้ได้พอดี

ช่องอากาศ

$$l_g = \frac{\mu_0 N^2 A_c}{L} \quad \text{โดยที่ } \mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{ H/m}$$

แทนค่าพารามิเตอร์ต่างๆจะได้

$$l_g = 0.10 \text{ mm}^2$$

3.8 การเลือกใช้ตัวเก็บประจุ

ตัวเก็บประจุที่ใช้ในวงจรเรโซแนนซ์คอนเวอร์เตอร์สวิตซ์ซึ่งขณะกระแสเป็นศูนย์ ที่ได้ ออกแบบไว้ในบทที่ผ่านมามีอยู่ด้วยกันสองตัวคือ ตัวที่เป็นตัวเก็บประจุเรโซแนนซ์ ($C_r = 0.032 \mu\text{F}$) และตัวเก็บประจุที่อยู่ในส่วนของวงจรบัคหรือตัวเก็บประจุเอาต์พุต ($C_o = 200 \mu\text{F}$) ในการเลือกใช้ตัวเก็บประจุ (C_r) พิจารณาจากสมการที่ (2.8)

$$V_{Cr}(t) = V_s [1 - \cos \omega_0 (t - t_1)]$$

$$V_{Cr,max} = 2V_s$$

จากสมการจะเห็นได้ว่าแรงดันไฟฟ้าที่ตัวเก็บประจุ (C_r) จะเป็นสองเท่าของแหล่งจ่ายซึ่งแหล่งจ่ายสูงสุดคือ $V_{s,max} = 25 \text{ V}$ ดังนั้นจึงเลือกใช้ตัวเก็บประจุไฟฟ้าชนิดโมราที่มีค่าความจุไฟฟ้า 33 nF สามารถทนแรงดันไฟฟ้าสูงสุดได้ 100 V

ส่วนตัวเก็บประจุไฟฟ้าทางด้านเอาต์พุต (C_o) พิจารณาจากแรงดันทางด้านเอาต์พุตที่มีแรงดัน $V_o = 5 \text{ V}$ จึงเลือกใช้ตัวเก็บประจุแบบมีขั้วชนิด อิเล็กโทรไลต์ที่มีค่าความจุ $100 \mu\text{F}$ สามารถทนแรงดันสูงสุดได้ 50 V สองตัวต่อขนานกัน

บทที่ 4

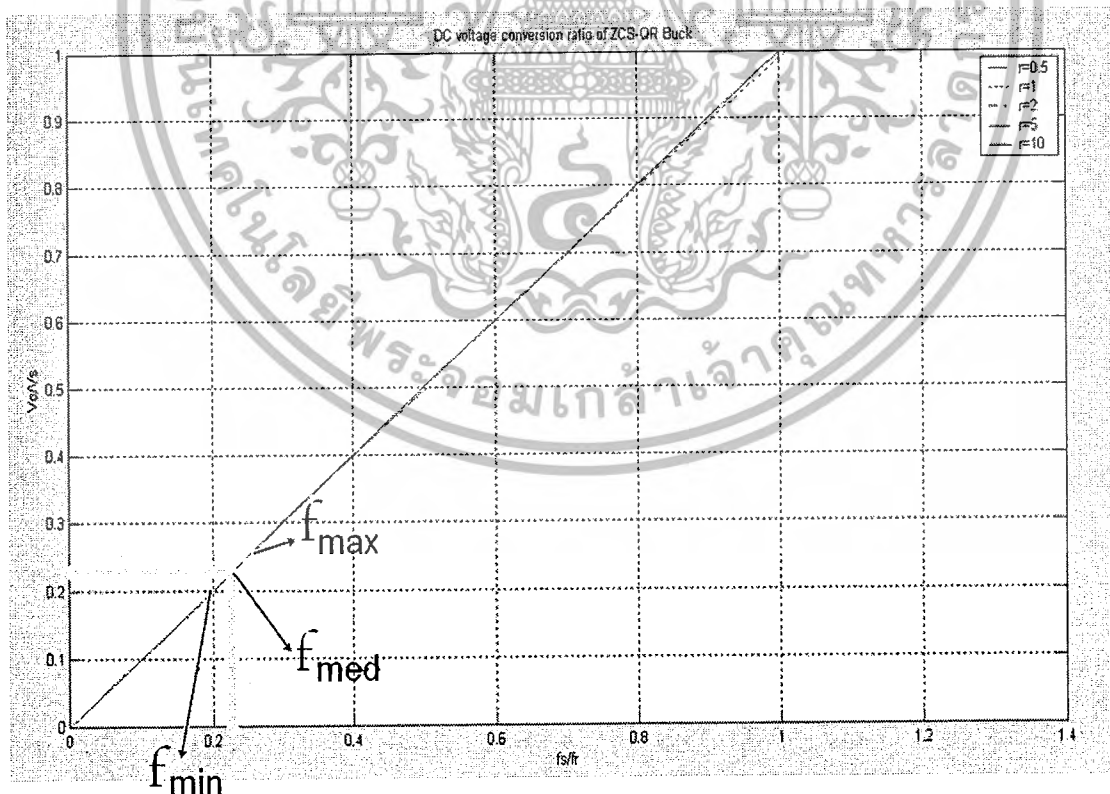
การทดลองและผลการทดลอง

4.1 บทนำ

วงจร ZCS Quasi-Resonant Buck Converter ต้นแบบที่ได้ออกแบบไว้ในบทที่ผ่านมาได้นำมาทดลองเพื่อทดสอบความสามารถในการรักษาระดับแรงดันเอาต์พุตและค่าที่ได้จากการทดลองจะนำมาเปรียบเทียบกับผลที่ได้จากการจำลองแบบว่าผลที่ได้จะสอดคล้องกันหรือไม่โดยมีลำดับขั้นตอนดังต่อไปนี้

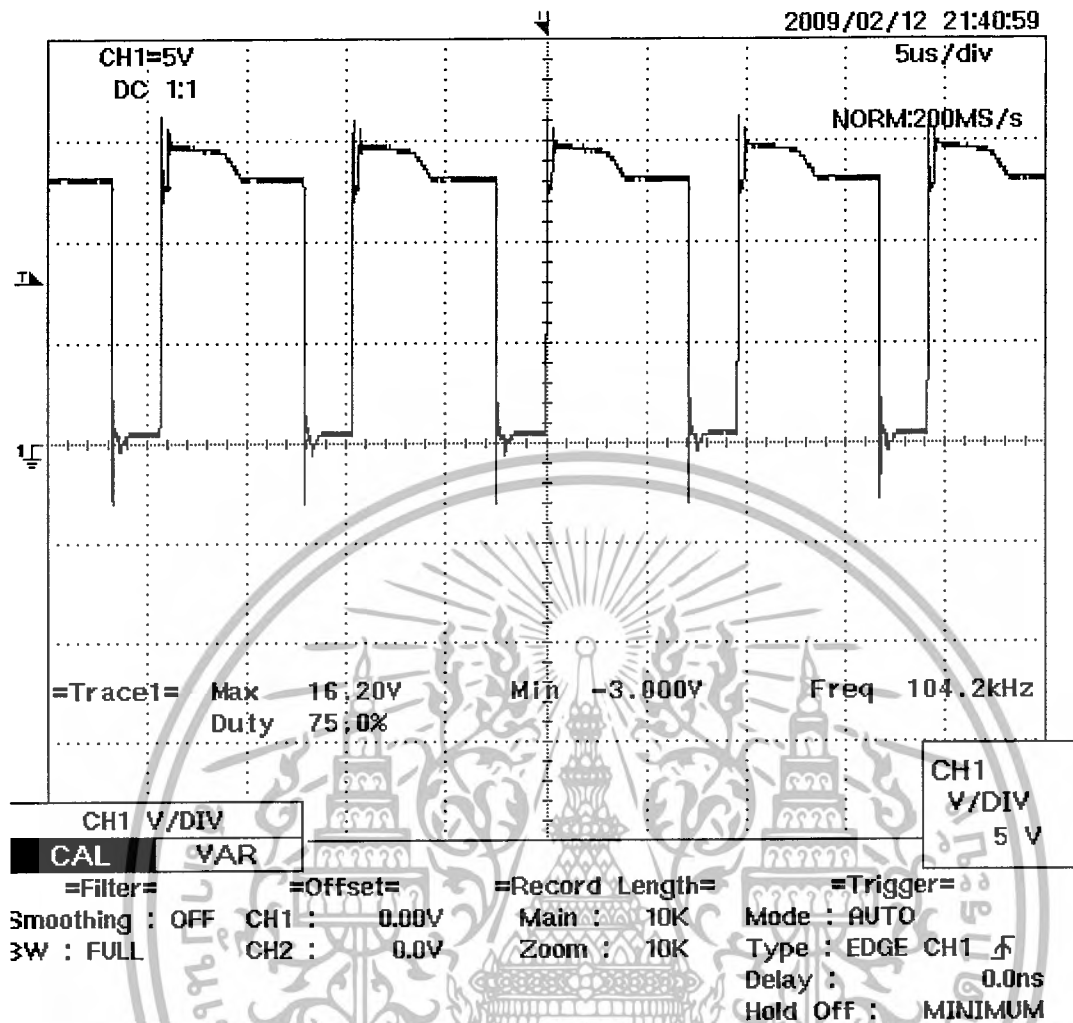
4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันกับความถี่ด้วยโปรแกรม Matlab

จากความสัมพันธ์ระหว่าง V_o/V_s และ f_s/f_r ซึ่งจากที่ได้ออกแบบไว้คือรักษาแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุตให้คงที่โดยทำการแปลค่าความถี่ ตามที่ได้ออกแบบไว้ที่ความถี่สูงสุด $f_{s,max} = 126 \text{ kHz}$, $R_{Lmin} = 1 \Omega$ และ $V_{s,min} = 20 \text{ V}$ ในกรณีที่ความถี่ต่ำ $f_{s,min} = 100 \text{ kHz}$, $R_{Lmax} = 5 \Omega$ และ $V_{s,max} = 25 \text{ V}$ แสดงได้ดังรูปที่ (4.1)



รูปที่ 4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุตกับความถี่

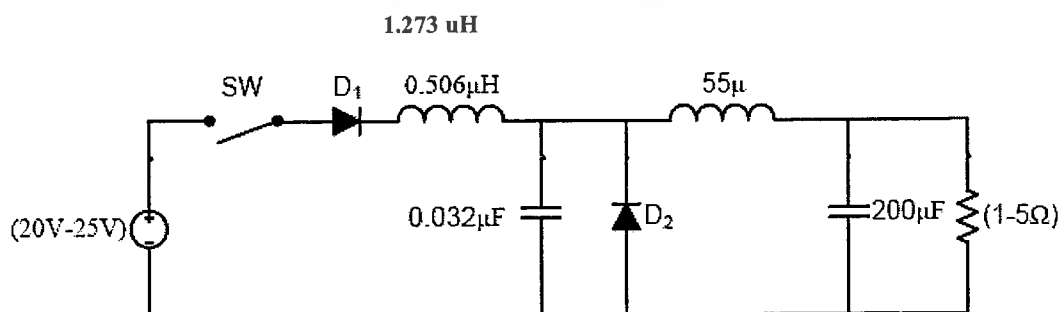
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



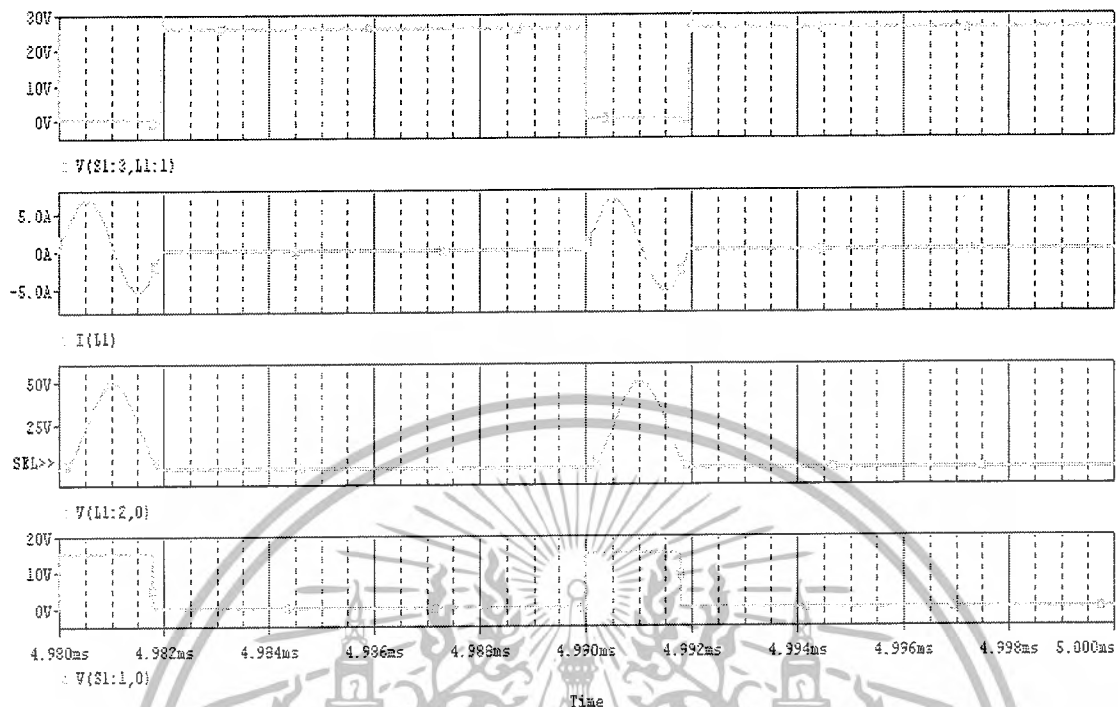
รูปที่ 4.2 รูปสัญญาณออกจากวงจรควบคุม IC

4.3 ผลของการจำลองแบบวงจรโซ่เนนที่คอนเวอร์เตอร์ (ZCS)

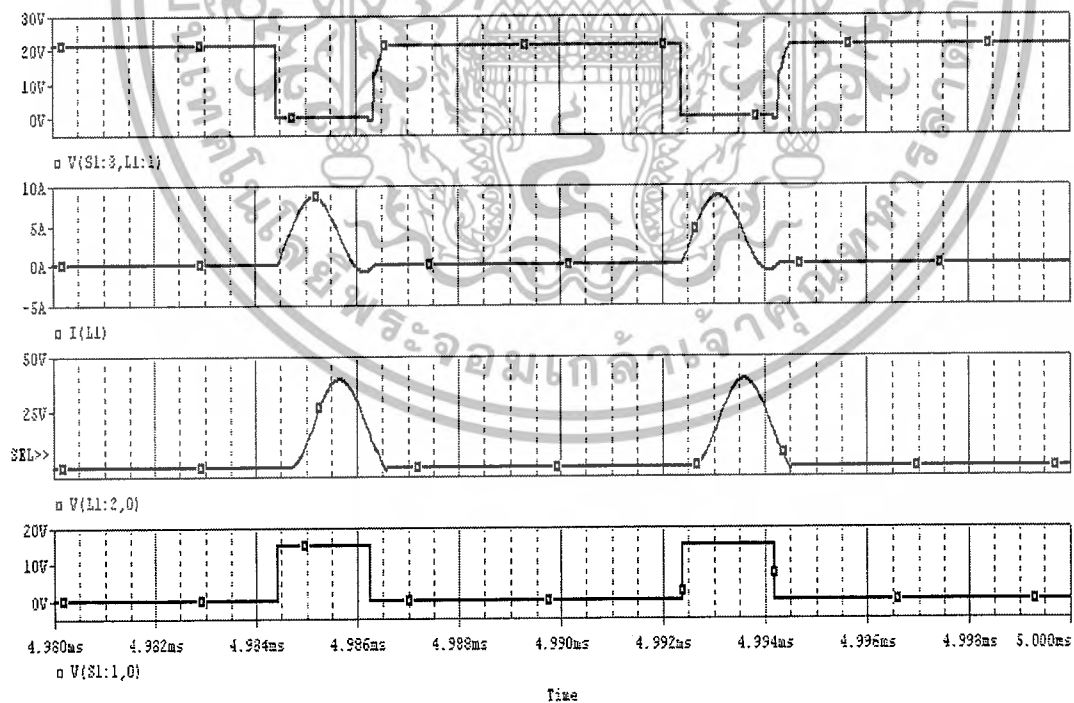
ในการจำลองการทำงานวงจรโซ่เนนที่คอนเวอร์เตอร์ (ZCS) ที่ประกอบวงจรบัคคอนเวอร์เตอร์โดยใช้โปรแกรม Pspice แสดงค่าของ V_{gs} ที่ใช้ขับสวิตช์ ค่ากระแส i_{Lr} และแรงดันตกคร่อม V_{Cr}



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับรูปที่ 4.3 วงจรที่ได้จากการออกแบบ ม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.4 ผลการจำลองแบบที่ $f_{s,min} = 100\text{kHz}$ $V_s = 25\text{V}$



รูปที่ 4.5 ผลการจำลองแบบที่ $f_{s,max} = 126\text{kHz}$ $V_s = 20\text{V}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการจำลองแบบการทำงานด้วยโปรแกรม Pspice ของวงจรโซแนนท์คอนเวอร์เตอร์ทั้งสองกรณีสามารถนำผลที่ได้มาแสดงเปรียบเทียบในตาราง

ตารางที่ 4.1 ผลของแรงดันเอาต์พุตและความถี่เมื่อโหลดเปลี่ยนแปลง

โหลด	V_o (V)	V_i (V)	ความถี่ (kHz)
2A	5	22	106.8
3A	5	23	106.4
4A	5	24	105.5
4A	5	25	105.0
5A	5	25	112.1

จากผลการซิมูเลชันจะเห็นได้ว่ากระแสที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำ L_r มีค่าเป็นศูนย์ ทั้งขณะสวิตช์นำกระแสและขณะสวิตช์ไม่นำกระแส นั่นคือไม่เกิดการสูญเสียขณะสวิตช์ โดยที่ในแต่ละกรณีที่ได้ทำการซิมูเลชันต่างให้แรงดันเอาต์พุตออกมาเท่ากับ 5 V ตามเงื่อนไขที่ตั้งไว้ทุกกรณี

4.4 การทดลองวงจรคอนเวอร์เตอร์แบบโร้ทซิงค์ขณะกระแสไฟฟ้าเป็นศูนย์แบบวงปิด

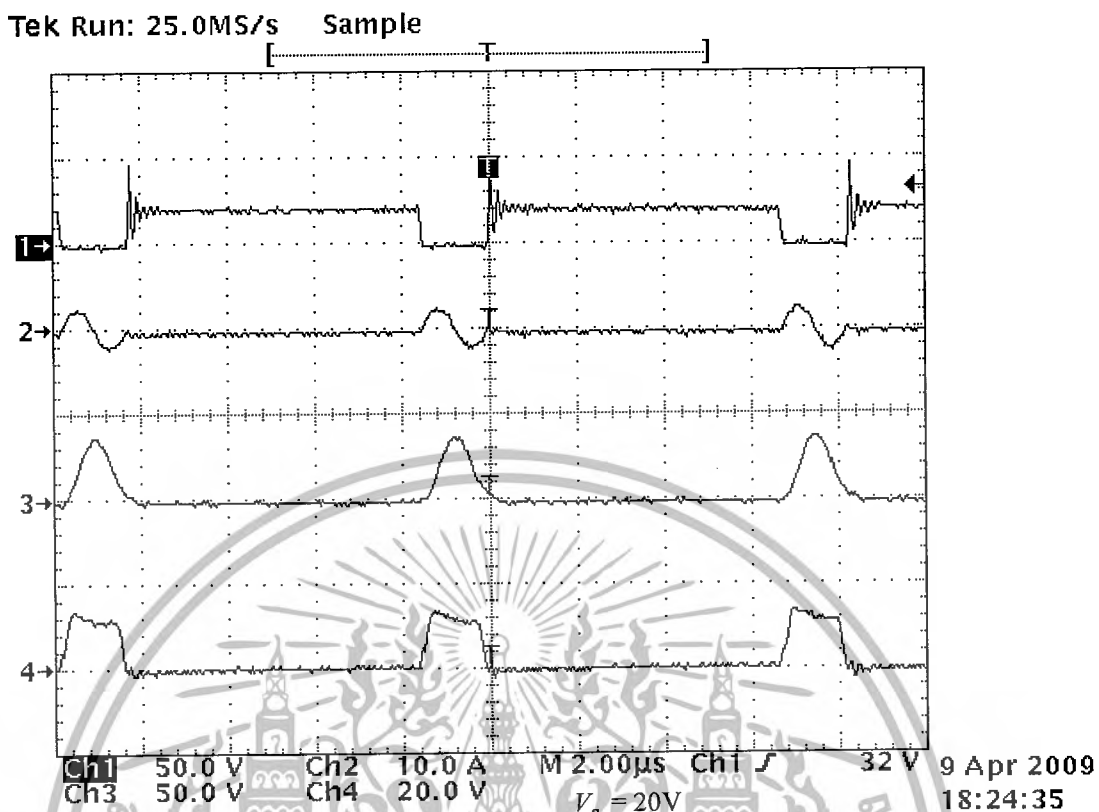
การทดสอบการรักษาระดับแรงดันเอาต์พุต

วิธีการทดลอง

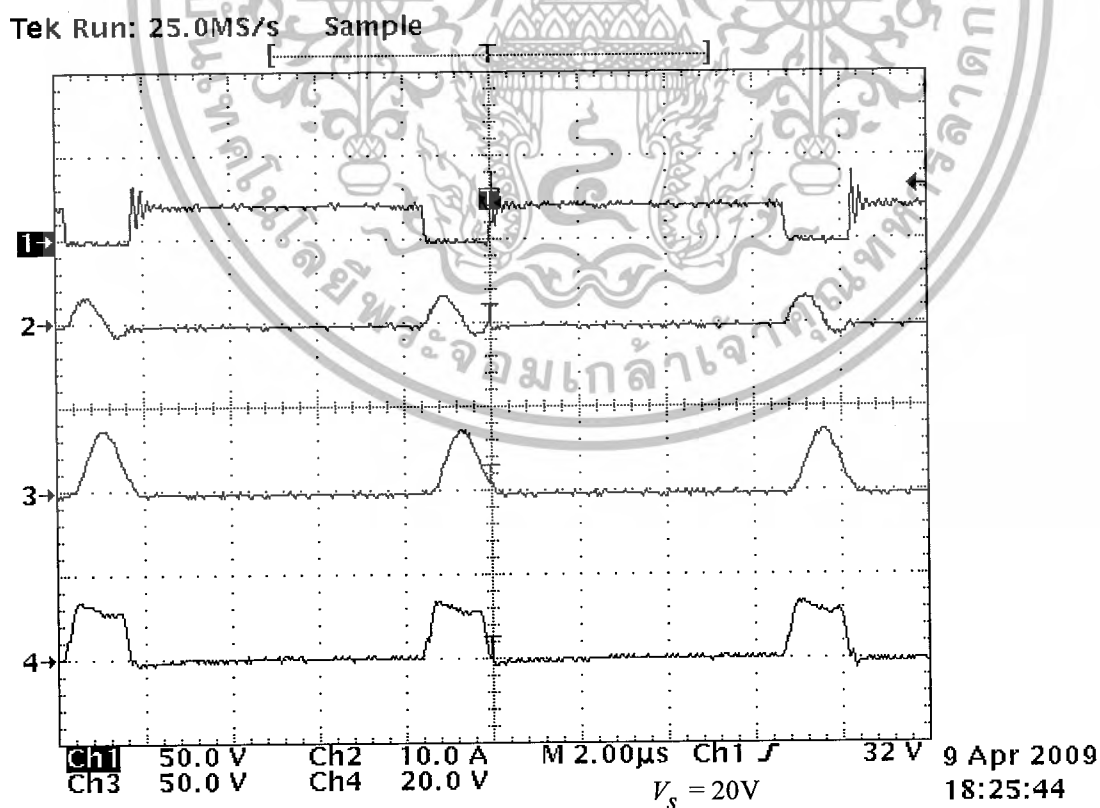
1. จัดชุดทดลองดังรูปที่ (4.16)
2. จ่ายแรงดันไฟฟ้า 20 V จาก DC Power Supply รุ่น APS-1 ให้กับวงจรควบคุม
3. จ่ายแรงดันไฟฟ้า 20 V จาก DC Power Supply รุ่น PAD35-10L ให้กับวงจรภาคกำลัง
4. บันทึกค่าแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุตจาก Digital Multimeter และความถี่จาก Digital Oscilloscope ที่กระแสเอาต์พุต 1A-5A ตามลำดับ
5. จ่ายแรงดันไฟฟ้า 25 V จาก DC Power Supply รุ่น PAD35-10L ให้กับวงจรภาคกำลังแล้วทำการทดลองตามข้อที่ 4 และ ข้อที่ 5



รูปที่ 4.6 การจัดชุดทดลองสำหรับทดสอบการรักษาระดับแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุต



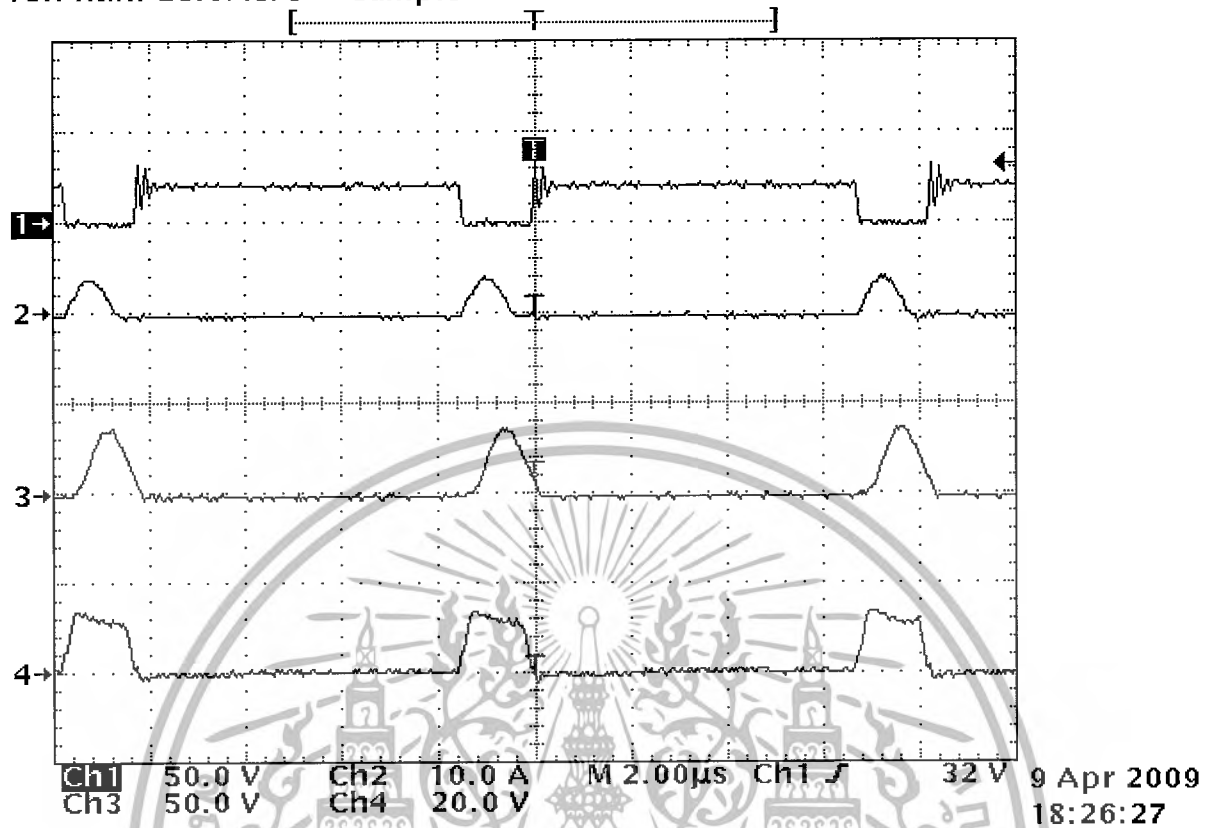
รูปที่ 4.17 ผลการทดลองของ $V_{GS}, V_{DS}, V_{Cr}, I_{Lr}$ ที่ $I_o = 1A$ $V_o = 3.376v$ $f_s = 117.88kHz$



รูปที่ 4.18 ผลการทดลองของ $V_{GS}, V_{DS}, V_{Cr}, I_{Lr}$ ที่ $I_o = 3A$ $V_o = 3.176v$ $f_s = 117.51kHz$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

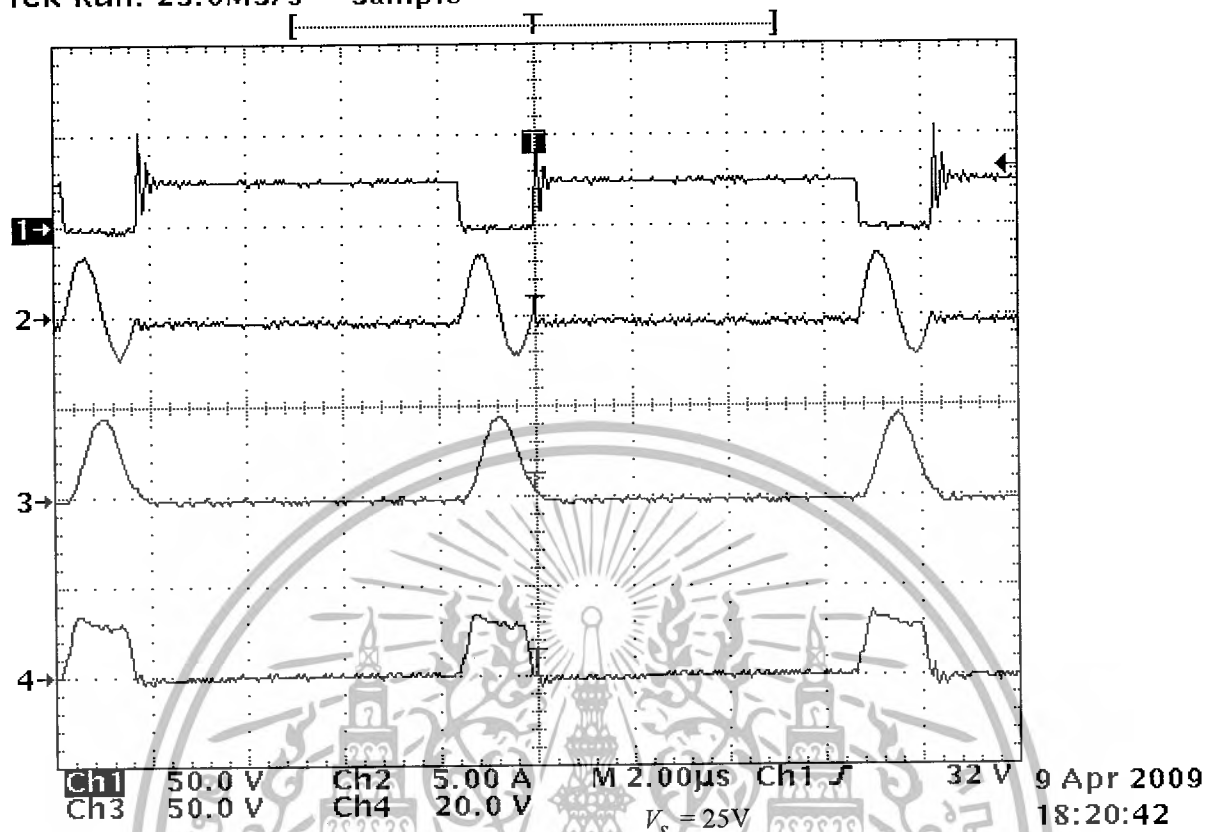
Tek Run: 25.0MS/s Sample



รูปที่ 4.19 ผลการทดลองของ V_{GS} , V_{DS} , V_{Cr} , I_{Lr} ที่ $V_S = 20V$, $I_o = 5A$
 $V_o = 3.006v$ $f_s = 117.46kHz$

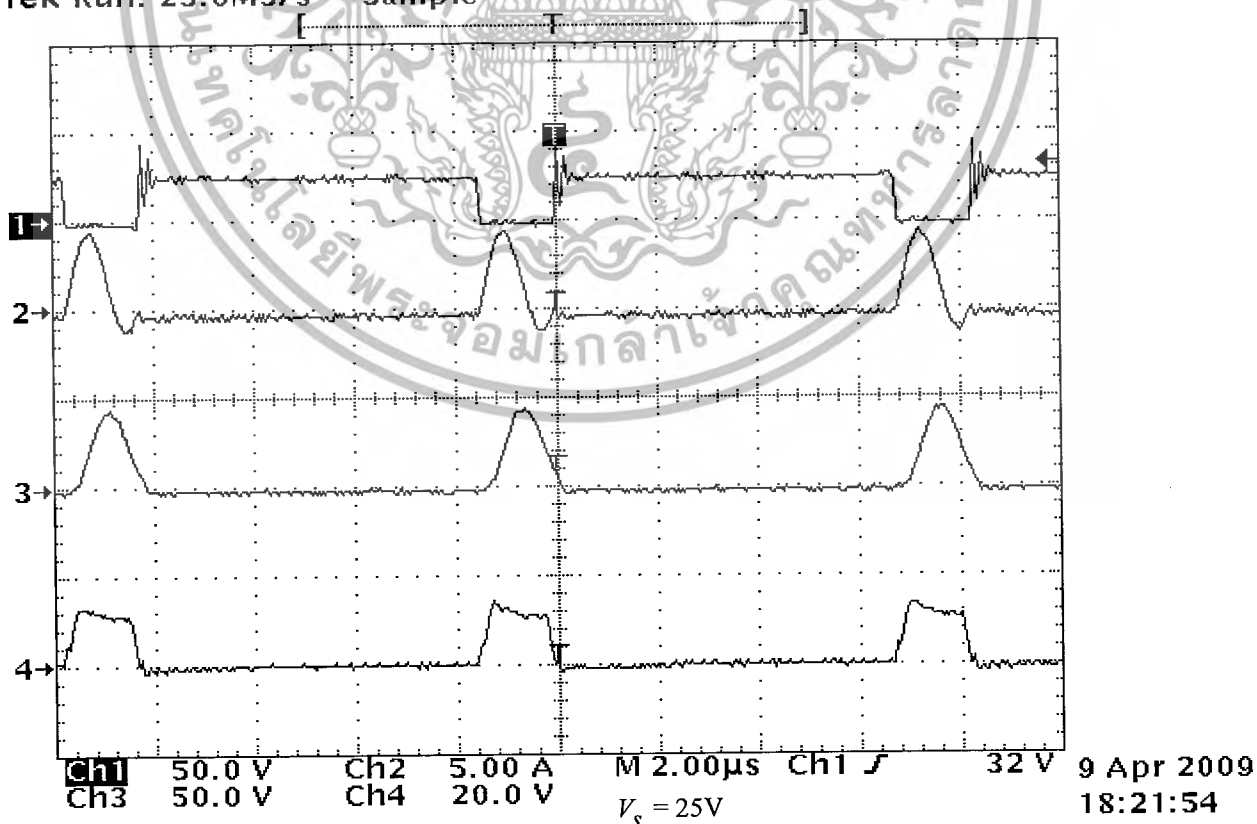
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Tek Run: 25.0MS/s Sample

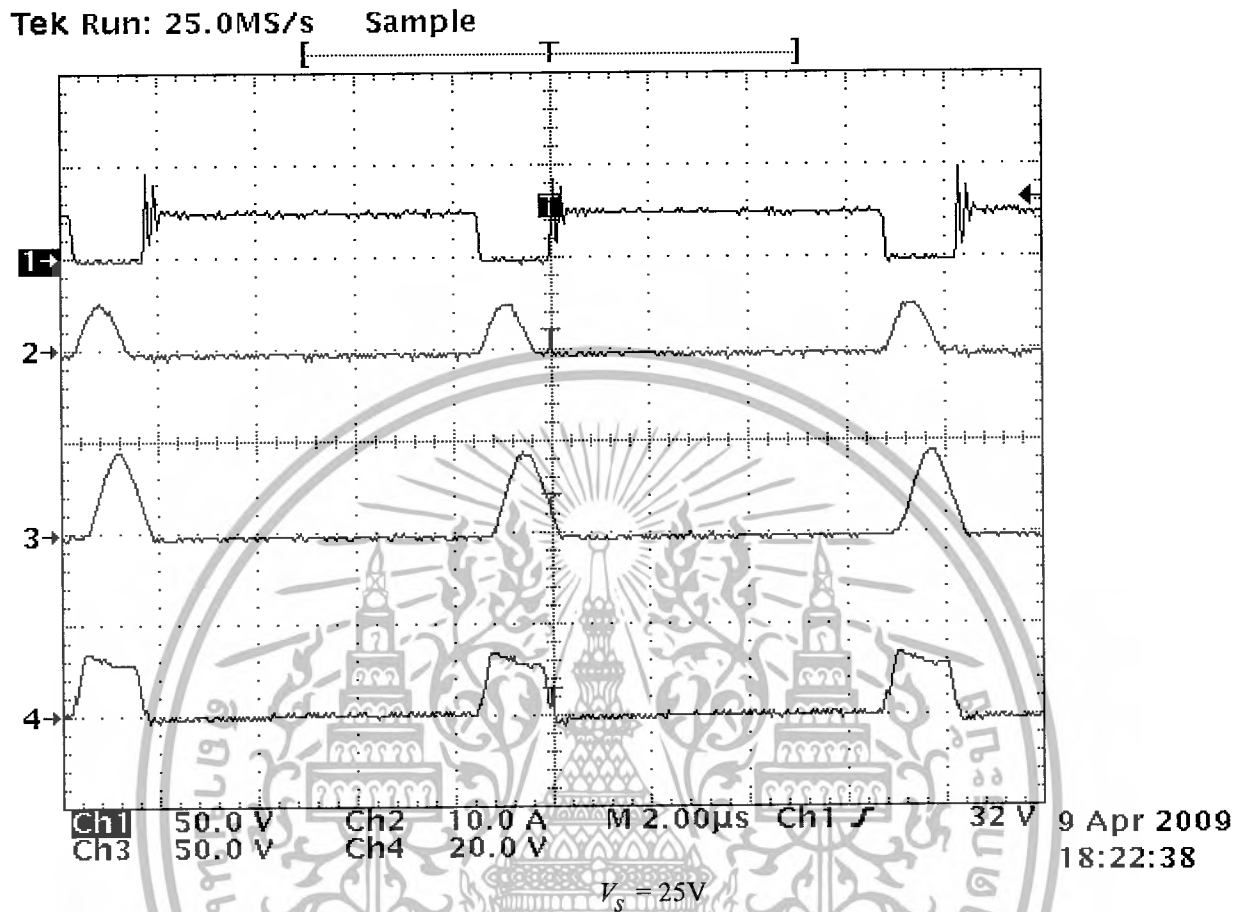


รูปที่ 4.20 ผลการทดลองของ $V_{GS}, V_{DS}, V_{Cr}, I_{Lr}$ ที่ $I_o = 1A, V_o = 4.309v, f_s = 117.58kHz$

Tek Run: 25.0MS/s Sample



เอกสารนี้เป็นรูปที่ 4.20 ผลการทดลองของ $V_{GS}, V_{DS}, V_{Cr}, I_{Lr}$ ที่ $I_o = 3A, V_o = 4.064v, f_s = 118 kHz$
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.20 ผลการทดลองของ $V_{GS}, V_{DS}, V_{Cr}, I_{Lr}$ ที่ $I_o = 5A, V_o = 3.850v, f_s = 117.46kHz$

ตารางที่ 4.2 ผลการวัดค่าแรงดันเอาต์พุตของวงจรที่กระแสโหลดและแรงดันอินพุตค่าต่างๆ

V_{in} (V)	V_o (V)	
	$I_o = 2A$	$I_o = 4A$
20	3.260	3.089
25	4.149	3.927

ตารางที่ 4.3 ผลการวัดค่าความถี่สวิตช์ของวงจรที่กระแสโหลดและแรงดันอินพุตค่าต่างๆ

V_{in} (V)	f_s (kHz)	
	$I_o = 2A$	$I_o = 4A$
20	117.58	117.90
25	117.77	117.79

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

บทวิจารณ์และสรุป

ในบทนี้เราจะกล่าวถึงปัญหาต่างๆที่พบในปริยญาณิพนธ์ รวมทั้งวิธีการและแนวทางในการแก้ไขปัญหา และสรุปผลปริยญาณิพนธ์ที่ได้ทำขึ้น

5.1 ปัญหาและแนวทางแก้ไข

5.1.1 จากความไม่เป็นอุดมคติ ของอุปกรณ์ในวงจร เช่น พารามิเตอร์ค่า R ที่แฝงอยู่ใน L หรือ C ทำให้เกิดแรงดันไฟฟ้าตกคร่อม ส่งผลทำให้เกิดค่ากำลังไฟฟ้าสูญเสียได้

5.1.2 วงจรไม่สามารถทำงานได้ตามต้องการ เนื่องจากไม่ได้ออกแบบ คอนเวอร์เตอร์ เพื่อค่ากำลังสูญเสียไว้ ซึ่งการออกแบบวงจร ต้องกำหนดประสิทธิภาพของวงจรไว้ รวมทั้งการออกแบบและการเลือกใช้อุปกรณ์ จำเป็นต้องกำหนดให้การสูญเสียในแต่ละตัวอุปกรณ์มีค่ากำลังสูญเสียไม่เกินกำหนด เช่นการออกแบบตัวเหนี่ยวนำ และการเลือกใช้อิเหนี่ยวนำ

5.1.3 ปัญหาจากสัญญาณรบกวน ทำให้วงจรทำงานเพี้ยนไป

5.1.4 การออกแบบลายวงจร(PCB) การวาง ตำแหน่ง ตัวอุปกรณ์ มีผลทำให้เกิดกำลังไฟฟ้าสูญเสีย ตำแหน่งจุดวัดแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุต เส้นลายวงจรที่เชื่อมต่อกับจุดวัด ต้องมีขนาดใหญ่และสั้นที่สุด เพราะจะช่วยลดค่ากำลังไฟฟ้าสูญเสียที่เกิดขึ้นได้

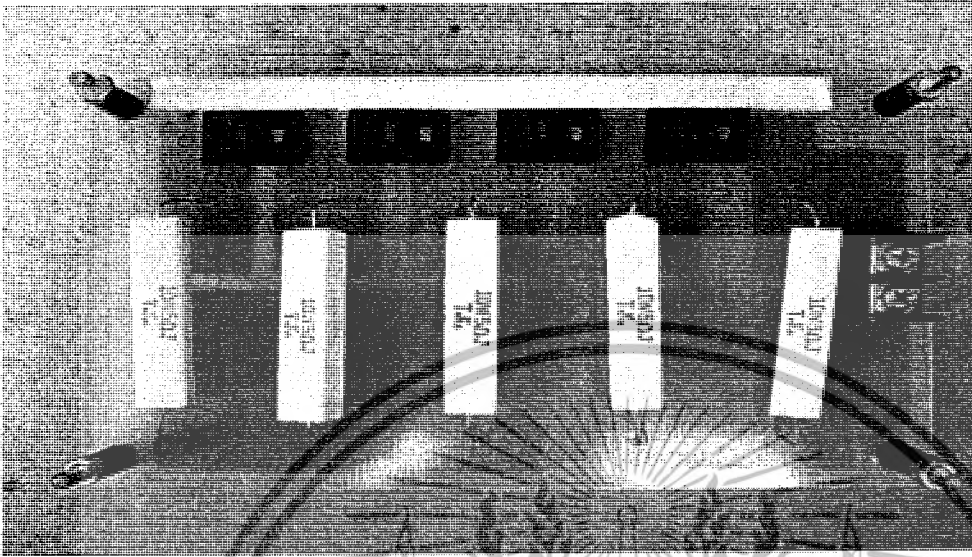
5.2 แนวทางการพัฒนา

วงจรเรโซแนนซ์ คอนเวอร์เตอร์ที่ได้นั้นประสิทธิภาพของวงจรต้องสูง จะขึ้นอยู่กับการใช้เทคนิคของการ เรโซแนนซ์ ซึ่งมีส่วนประกอบคือ ค่าตัวเหนี่ยวนำและตัวเก็บประจุ ซึ่งผลของค่าความต้านทานแฝงที่อยู่ในตัวเหนี่ยวนำและตัวเก็บประจุ ค่าความเหนี่ยวนำแฝงและความจุแฝงที่อยู่ในวงจรจะมีผลต่อการทำงานของวงจรเป็นอย่างยิ่ง นอกจากนี้ วิธีการพันลวดเส้นขนานในอุปกรณ์แม่เหล็ก ซึ่งจะทำให้เกิดการลดลงของค่า ความต้านทานที่แฝงอยู่ได้ และการลดลงของการสูญเสียที่อุปกรณ์แม่เหล็ก

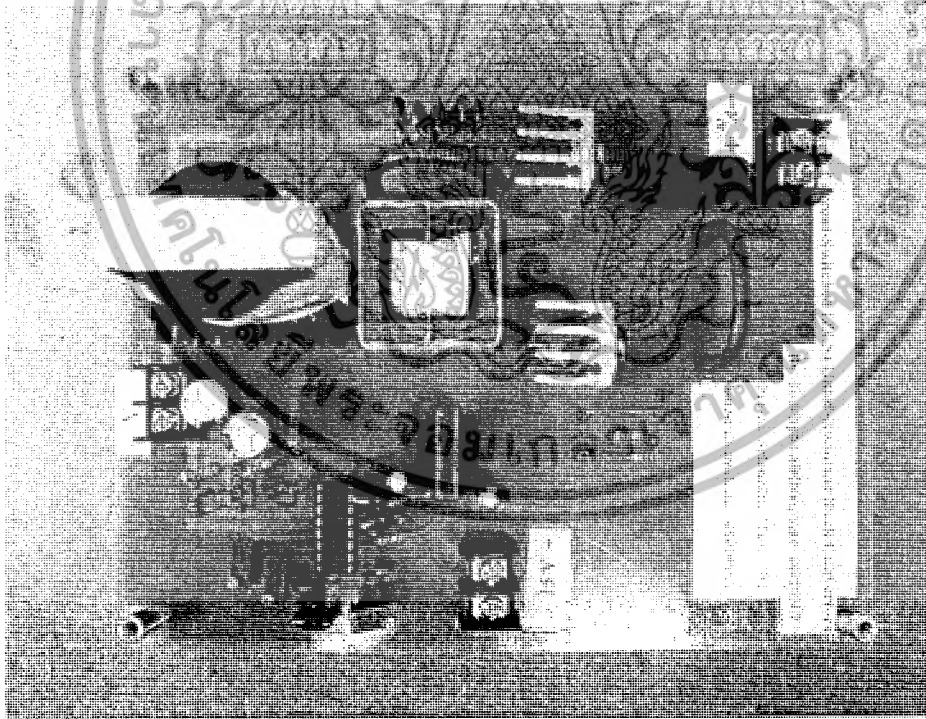
5.3 บทสรุป

ในปริยญาณิพนธ์ฉบับนี้ นำเสนอการวิเคราะห์และการออกแบบวงจรควอซีเรโซแนนซ์ที่คอนเวอร์เตอร์แบบสวิตชิงที่กระแสไฟฟ้าเป็นศูนย์ โดยแสดงการวิเคราะห์การทำงานของวงจรสมการออกแบบ ขั้นตอนในการออกแบบ ผลการจำลองแบบสามารถยืนยันได้ว่าวงจรที่ได้ ออกแบบไว้สามารถทำงานได้จริงตามทฤษฎี และผลการทดลองยังยืนยันได้ว่า วงจรทำงานแบบเรโซแนนซ์สวิตชิงที่กระแสไฟฟ้าเป็นศูนย์ตลอดช่วงการทำงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

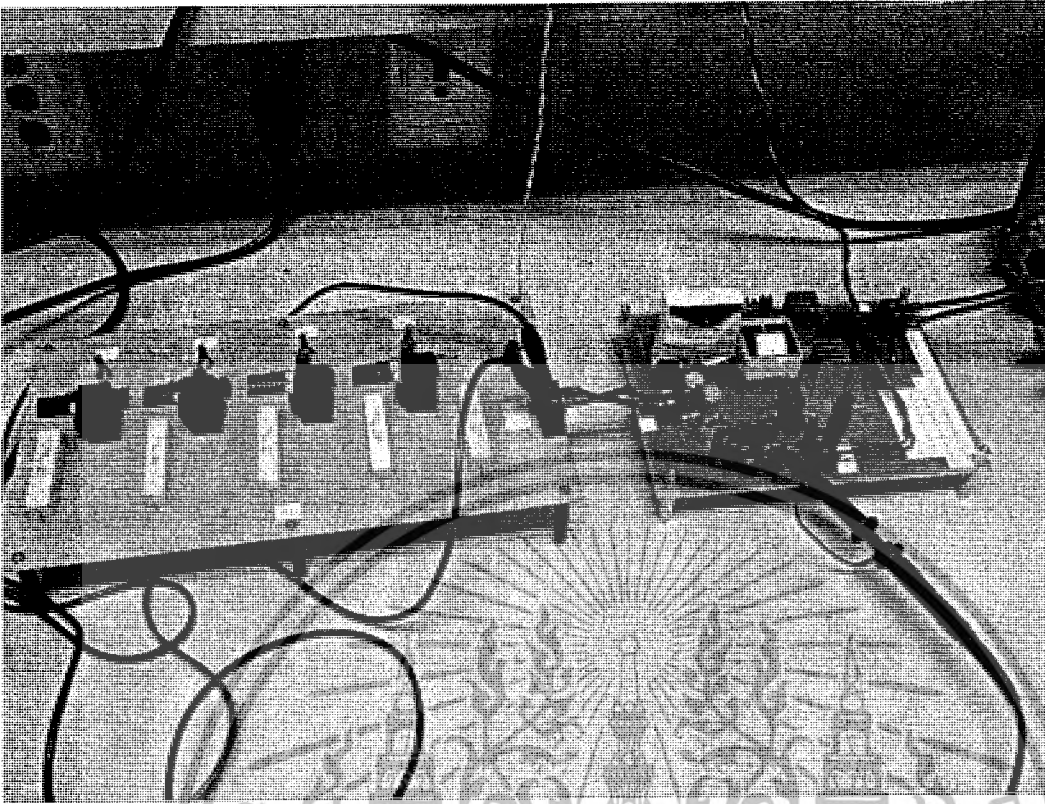


รูปที่ 5.1 วงจรหลอด



รูปที่ 5.2 วงจร (ZCS)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.3 วงจร (ZCS) ต่อเข้ากับ วงจรโหลด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

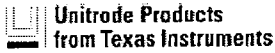
- [1] วีระเชษฐ ชันเงิน, วุฒิพล ชาราธิ์เศรษฐ์. อิเล็กทรอนิกส์กำลัง. พิมพ์ครั้งที่ 4 : กรุงเทพฯ. ห้างหุ้นส่วนจำกัด วิ.เจ. พรินติ้ง. พ.ศ. 2549.
- [2] Daniel W. Hart, **Introduction to Power Electronics**. Upper Saddle River, NJ : Prentice-Hall International, c1997.
- [3] Freed C. Lee, “High Frequency Quasi-Resonant Converter Technology”, Proc. IEEE, vol. 76, no.4, April 1988.
- [4] H. W. Whittington, B.W. Flynn. **Switched Mode Power Supplies: Design and Construction**. Research Studies Press LTD.Inc.1992.
- [5] K H, Liu and F. C. Lee, “Resonant switches –A unified approach to improve performances of switching converter,” in Proc. IEEE Int. Telecomm.Energy Conf.,1984,pp.334-341.
- [6] กัญติชา กิตติพิรชล “การออกแบบวงจรควบคุมของแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้าแบบสวิตซ์” วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมระบบควบคุม บัณฑิตวิทยาลัย สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง 2547.
- [7] L. Umanand, S. R. Bhat. **Design of Magnetic Components for Switched Mode Power Converter**. Wiley Eastern Limited. 1992.

ภาคผนวก ก

DATASHEET UC2866N



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



application INFO available UC1861-1868 UC2861-2868 UC3861-3868

Resonant-Mode Power Supply Controllers

FEATURES

- Controls Zero Current Switched (ZCS) or Zero Voltage Switched (ZVS) Quasi-Resonant Converters
- Zero-Crossing Terminated One-Shot Timer
- Precision 1%, Soft-Started 5V Reference
- Programmable Restart Delay Following Fault
- Voltage-Controlled Oscillator (VCO) with Programmable Minimum and Maximum Frequencies from 10kHz to 1MHz
- Low Start-Up Current (150µA typical)
- Dual 1 Amp Peak FET Drivers
- UVLO Option for Off-Line or DC/DC Applications

DESCRIPTION

The UC1861-1868 family of ICs is optimized for the control of Zero Current Switched and Zero Voltage Switched quasi-resonant converters. Differences between members of this device family result from the various combinations of UVLO thresholds and output options. Additionally, the one-shot pulse steering logic is configured to program either on-time for ZCS systems (UC1865-1868), or off-time for ZVS applications (UC1861-1864).

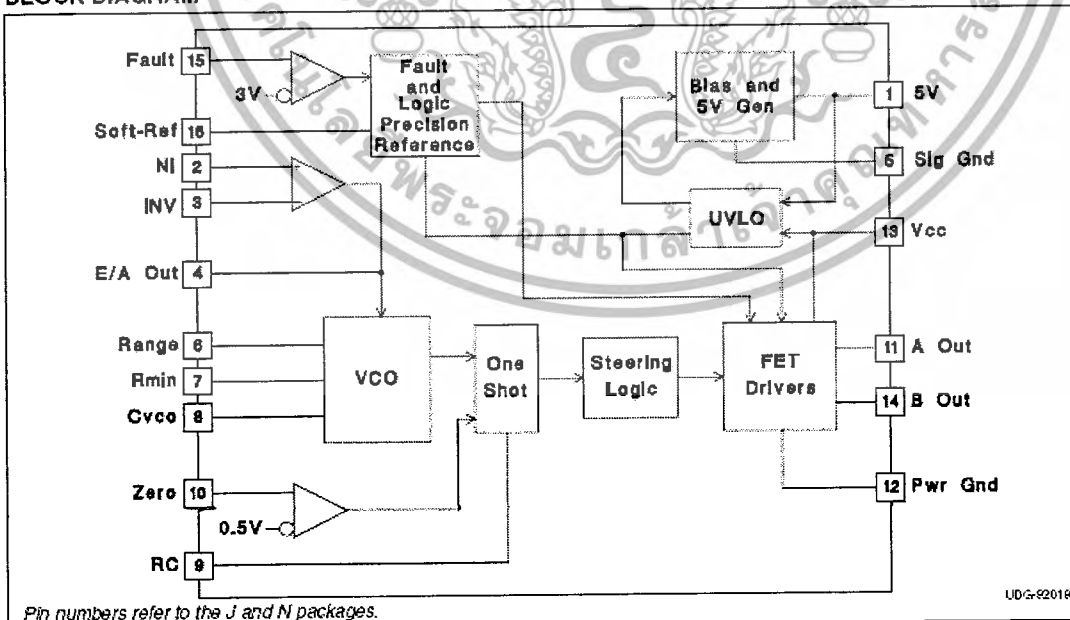
The primary control blocks implemented include an error amplifier to compensate the overall system loop and to drive a voltage controlled oscillator (VCO), featuring programmable minimum and maximum frequencies. Triggered by the VCO, the one-shot generates pulses of a programmed maximum width, which can be modulated by the Zero Detection comparator. This circuit facilitates "true" zero current or voltage switching over various line, load, and temperature changes, and is also able to accommodate the resonant components' initial tolerances.

Under-Voltage Lockout is incorporated to facilitate safe starts upon power-up. The supply current during the under-voltage lockout period is typically less than 150µA, and the outputs are actively forced to the low state.

(continued)

Device	1861	1862	1863	1864	1865	1866	1867	1868
UVLO	16.5/10.5	16.5/10.5	36014	36014	16.5/10.5	16.5/10.5	36014	36014
Outputs	Alternating	Parallel	Alternating	Parallel	Alternating	Parallel	Alternating	Parallel
"Fixed"	Off Time	Off Time	Off Time	Off Time	On Time	On Time	On Time	On Time

BLOCK DIAGRAM



SLUS289 - OCTOBER 1998

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

UC1861-1868
 UC2861-2868
 UC3861-3868

DESCRIPTION (cont.)

UVLO thresholds for the UC1861/62/65/66 are 16.5V (ON) and 10.5V (OFF), whereas the UC1863/64/67/68 thresholds are 8V (ON) and 7V (OFF). After V_{CC} exceeds the UVLO threshold, a 5V generator is enabled which provides bias for the internal circuits and up to 10mA for external usage.

A Fault comparator serves to detect fault conditions and set a latch while forcing the output drivers low. The Soft-Ref pin serves three functions: providing soft start, re-

start delay, and the internal system reference.

Each device features dual 1 Amp peak totem pole output drivers for direct interface to power MOSFETS. The outputs are programmed to alternate in the UC1861/63/65/67 devices. The UC1862/64/66/68 outputs operate in unison allowing a 2 Amp peak current.

ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

V _{CC}	22V
Output Current	
Source or Sink (Pins 11 & 14)	0.5A
DC Pulse (0.5µs)	1.5A
Power Ground Voltage	±0.2V
Inputs (Pins 2, 3, 10, & 15)	-0.4 to 7V
Error Amp Output Current	±2mA
Power Dissipation	1W
Junction Temperature (Operating)	150°C
Lead Temperature (Soldering, 10 seconds)	300°C

All voltages are with respect to signal ground and all currents are positive into the specified terminal. Pin numbers refer to the J and N packages. Consult Unired Integrated Circuits databook for information regarding thermal specifications and limitations of packages.

CONNECTION DIAGRAMS

**PLCC-20 & LCC-20 (Top View)
 Q & L Package**

PACKAGE PIN FUNCTION	
FUNCTION	PIN
Soft Ref	1
5V	2
NI	3
INV	4
E/A Out	5
Sig Gnd	6
Range	7
Rmin	8
Cvcc	9
RC	10
Zero	11
NC	12
NC	13
A Out	14
Pwr Gnd	15
Pwr Gnd	16
Vcc	17
B Out	18
NC	19
Fault	20

**DIL-16, SOIC-16 (Top View)
 J or N, DW Packages**

5V	1	16	Soft-Ref
NI	2	15	Fault
INV	3	14	B Out
E/A Out	4	13	Vcc
Sig Gnd	5	12	Pwr Gnd
Range	6	11	A Out
Rmin	7	10	Zero
Cvcc	8	9	RC

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

UC1861-1868
UC2861-2868
UC3861-3868

ELECTRICAL CHARACTERISTICS Unless otherwise stated, all specifications apply for $-55^{\circ}\text{C} \leq T_A \leq 125^{\circ}\text{C}$ for the UC186x, $-25^{\circ}\text{C} \leq T_A \leq 85^{\circ}\text{C}$ for the UC286x, and $0^{\circ}\text{C} \leq T_A \leq 70^{\circ}\text{C}$ for the UC386x, $V_{CC} = 12\text{V}$, $C_{VCO} = 1\text{nF}$, $R_{\text{Range}} = 7.15\text{k}$, $R_{\text{MIN}} = 86.6\text{k}$, $C = 200\text{pF}$, $R = 4.02\text{k}$, and $C_{\text{SR}} = 0.1\mu\text{F}$. $T_A = T_J$.

PARAMETER	TEST CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS
5V Generator					
Output Voltage	$12\text{V} \leq V_{CC} \leq 20\text{V}$, $-10\text{mA} \leq I_o \leq 0\text{mA}$	4.8	5.0	5.2	V
Short Circuit Current	$V_o = 0\text{V}$	-150		-15	mA
Soft-Reference					
Restart Delay Current	$V = 2\text{V}$	10	20	35	μA
Soft Start Current	$V = 2\text{V}$	-650	-500	-350	μA
Reference Voltage	$T_J = 25^{\circ}\text{C}$, $I_o = 0\text{A}$	4.95	5.00	5.05	V
	$12\text{V} \leq V_{CC} \leq 20\text{V}$, $-200\mu\text{A} \leq I_o \leq 200\mu\text{A}$	4.85		5.15	V
Line Regulation	$12\text{V} \leq V_{CC} \leq 20\text{V}$		2	20	mV
Load Regulation	$-200\mu\text{A} \leq I_o \leq 200\mu\text{A}$		10	30	mV
Error Amplifier (Note 3)					
Input Offset Voltage	$V_{CM} = 5\text{V}$, $V_o = 2\text{V}$, $I_o = 0\text{A}$	-10		10	mV
Input Bias Current	$V_{CM} = 0\text{V}$	-2.0	-0.3		μA
Voltage Gain	$V_{CM} = 5\text{V}$, $0.5\text{V} \leq V_o \leq 3.7\text{V}$, $I_o = 0\text{A}$	70	100		dB
Power Supply Rejection Ratio	$V_{CM} = 5\text{V}$, $V_o = 2\text{V}$, $12\text{V} \leq V_{CC} \leq 20\text{V}$	70	100		dB
Error Amplifier (Note 3) (cont.)					
Common Mode Rejection Ratio	$0\text{V} \leq V_{CM} \leq 6\text{V}$, $V_o = 2\text{V}$	65	100		dB
V _{out} Low	$V_{ID} = -100\text{mV}$, $I_o = 200\mu\text{A}$		0.17	0.25	V
V _{out} High	$V_{ID} = 100\text{mV}$, $I_o = -200\mu\text{A}$	3.9	4.2		V
Unity Gain Bandwidth	(Note 4)	0.5	0.8		MHz
Voltage Controlled Oscillator					
Maximum Frequency	$V_{ID}(\text{Error Amp}) = 100\text{mV}$, $T_J = 25^{\circ}\text{C}$	450	500	550	kHz
	$V_{ID}(\text{Error Amp}) = 100\text{mV}$	425		575	kHz
Minimum Frequency	$V_{ID}(\text{Error Amp}) = -100\text{mV}$, $T_J = 25^{\circ}\text{C}$	45	50	55	kHz
	$V_{ID}(\text{Error Amp}) = -100\text{mV}$	42		58	kHz
One Shot					
Zero Comparator V _{th}		0.45	0.50	0.55	V
Propagation Delay	(Note 4)		120	200	ns
Maximum Pulse Width	$V_{ZERO} = 1\text{V}$	850	1000	1150	ns
Maximum to Minimum Pulse Width Ratio	$V_{ZERO} = 0\text{V}$ UCx861 – UCx864	2.5	4	5.5	
	$V_{ZERO} = 0\text{V}$ UCx865 – UCx868, -55°C to $+85^{\circ}\text{C}$	4	5.5	7	
	$V_{ZERO} = 0\text{V}$ UCx865 – UCx868, $+125^{\circ}\text{C}$	3.8	5.5	7	
Output Stage					
Rise and Fall Time	$C_{LOAD} = 1\text{nF}$ (Note 4)		25	45	ns
Output Low Saturation	$I_o = 20\text{mA}$		0.2	0.5	V
	$I_o = 200\text{mA}$		0.5	2.2	V
Output High Saturation	$I_o = -200\text{mA}$, down from V_{CC}		1.7	2.5	V
UVLO Low Saturation	$I_o = 20\text{mA}$		0.8	1.5	V
Fault Comparator					
Fault Comparator V _{th}		2.85	3.00	3.15	V
Delay to Output	(Note 4) (Note 5)		100	200	ns

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

UC1861-1868
UC2861-2868
UC3861-3868

ELECTRICAL CHARACTERISTICS Unless otherwise stated, all specifications apply for $-55^{\circ}\text{C} \leq T_A \leq 125^{\circ}\text{C}$ for the UC186x, $-25^{\circ}\text{C} \leq T_A \leq 85^{\circ}\text{C}$ for the UC286x, and $0^{\circ}\text{C} \leq T_A \leq 70^{\circ}\text{C}$ for the UC386x, $V_{\text{CC}}=12\text{V}$, $C_{\text{VCC}}=1\text{nF}$, $\text{Range}=7.15\text{k}$, $R_{\text{MIN}}=86.6\text{k}$, $C=200\text{pF}$, $R=4.02\text{k}$, and $C_{\text{SR}}=0.1\mu\text{F}$. $T_A=T_J$.

PARAMETER	TEST CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS
UVLO					
Vcc Turn-on Threshold	UCx861, UCx862, UCx865, UCx866	15	16.5	18	V
	UCx863, UCx864, UCx867, UCx868	7	8.0	9	V
Vcc Turn-off Threshold	UCx861, UCx862, UCx865, UCx866	9.5	10.5	11.5	V
	UCx863, UCx864, UCx867, UCx868	6	7.0	8	V
Icc Start	$V_{\text{CC}} = V_{\text{CC(ON)}} - 0.3\text{V}$		150	300	μA
Icc Run	$V_{\text{ID}} = 100\text{mV}$		25	32	mA

Note 1: Currents are defined as positive into the pin.

Note 2: Pulse measurement techniques are used to insure that $T_J = T_A$.

Note 3: $V_{\text{ID}} = V(\text{NI}) - V(\text{INV})$.

Note 4: This parameter is not 100% tested in production but guaranteed by design.

Note 5: $V_i = 0$ to 4V $t_r(V_i) \approx 10\text{ns}$ $t_{pd} = t(V_o = 6\text{V}) - t(V_i = 3\text{V})$

APPLICATION INFORMATION

UVLO & 5V GENERATOR (See Figure 1): When power is applied to the chip and V_{CC} is less than the upper UVLO threshold, I_{CC} will be less than $300\mu\text{A}$, the 5V generator will be off, and the outputs will be actively held low.

When V_{CC} exceeds the upper UVLO threshold, the 5V generator turns on. Until the 5V pin exceeds 4.9V, the outputs will still remain low.

The 5V pin should be bypassed to signal ground with a $0.1\mu\text{F}$ capacitor. The capacitor should have low equivalent series resistance and inductance.

FAULT AND SOFT-REFERENCE (See Figure 1): The Soft-Ref pin serves three functions: system reference, restart delay, and soft-start. Designed to source or sink $200\mu\text{A}$, this pin should be used as the input reference for the error amplifier circuit. This pin requires a bypass capacitor of at least $0.1\mu\text{F}$. This yields a minimum soft-start time of 1ms.

Under-Voltage Lockout sets both the fault and restart delay latches. This holds the outputs low and discharges the Soft-Ref pin. After UVLO, the fault latch is reset by the low voltage on the Soft-Ref pin. The reset fault latch resets the delay latch and Soft-Ref charges via the 0.5mA current source.

The fault pin is input to a high speed comparator with a threshold of 3V. In the event of a detected fault, the fault latch is set and the outputs are driven low. If Soft-Ref is above 4V, the delay latch is set. Restart delay is timed as Soft-Ref is discharged by $20\mu\text{A}$. When Soft-Ref is fully discharged, the fault latch is reset if the fault input signal is low. The Fault pin can be used as a system shutdown pin.

If a fault is detected during soft-start, the fault latch is set and the outputs are driven low. The delay latch will remain reset until Soft-Ref charges to 4V. This sets the delay latch, and restart delay is timed. Note that restart delay for a single fault event is longer than for recurring faults since Soft-Ref must be discharged from 5V instead of 4V.

The restart delay to soft-start time ratio is 24:1 for a fault occurring during normal operation and 19:1 for faults occurring during soft-start. Shorter ratios can be programmed down to a limit of approximately 3:1 by the addition of a $20\text{k}\Omega$ or larger resistor from Soft-Ref to ground.

A $100\text{k}\Omega$ resistor from Soft-Ref to 5V will have the effect of permanent shut down after a fault since the internal $20\mu\text{A}$ current source can't pull Soft-Ref low. This feature can be used to require recycling V_{CC} after a fault. Care must be taken to insure Soft-Ref is indeed low at start up, or the fault latch will never be reset.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

UC1861-1868
 UC2861-2868
 UC3861-3868

APPLICATION INFORMATION

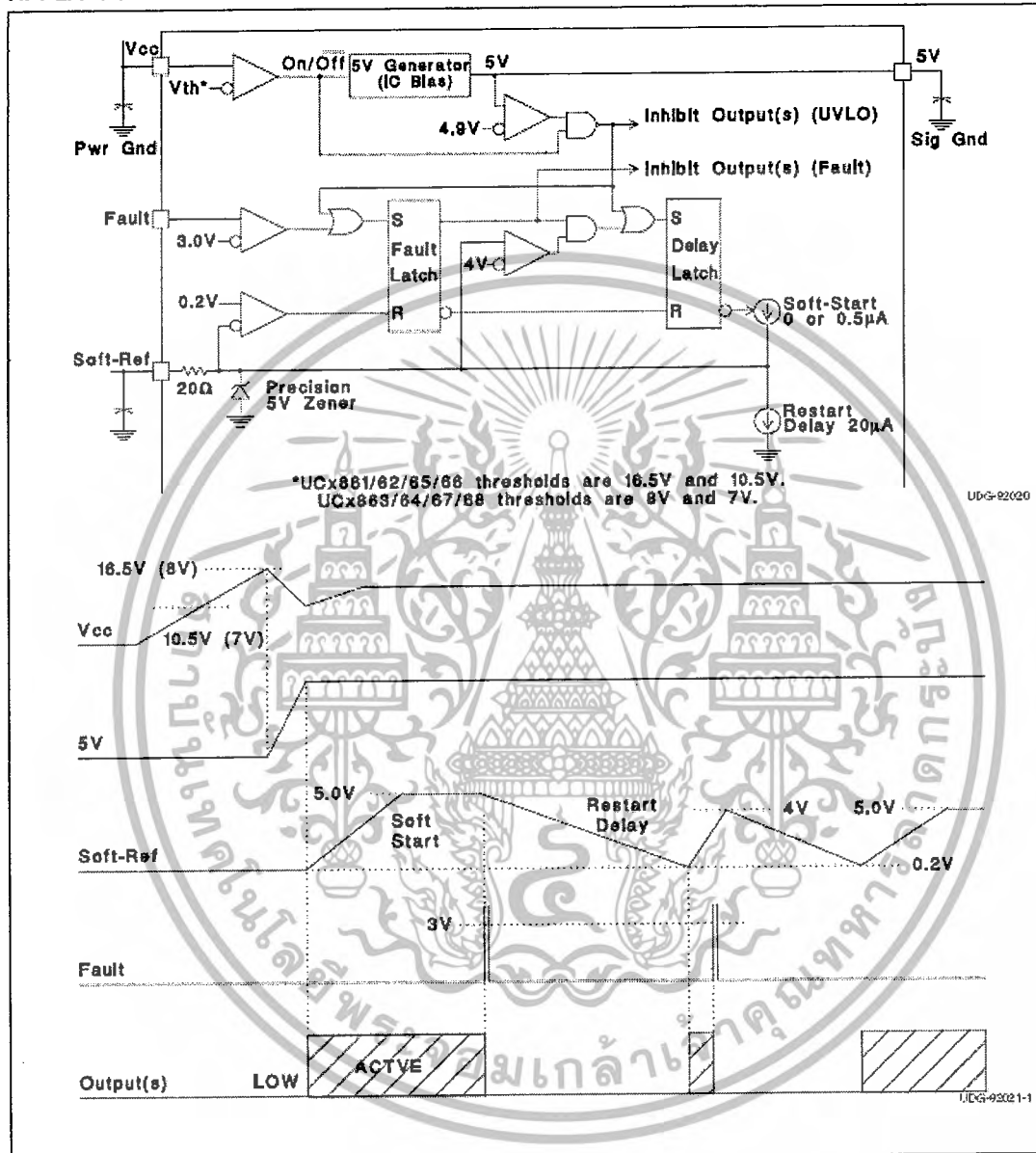


Figure 1. UVLO, 5V, fault and soft-ref.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

UC1861-1868
UC2861-2868
UC3861-3868

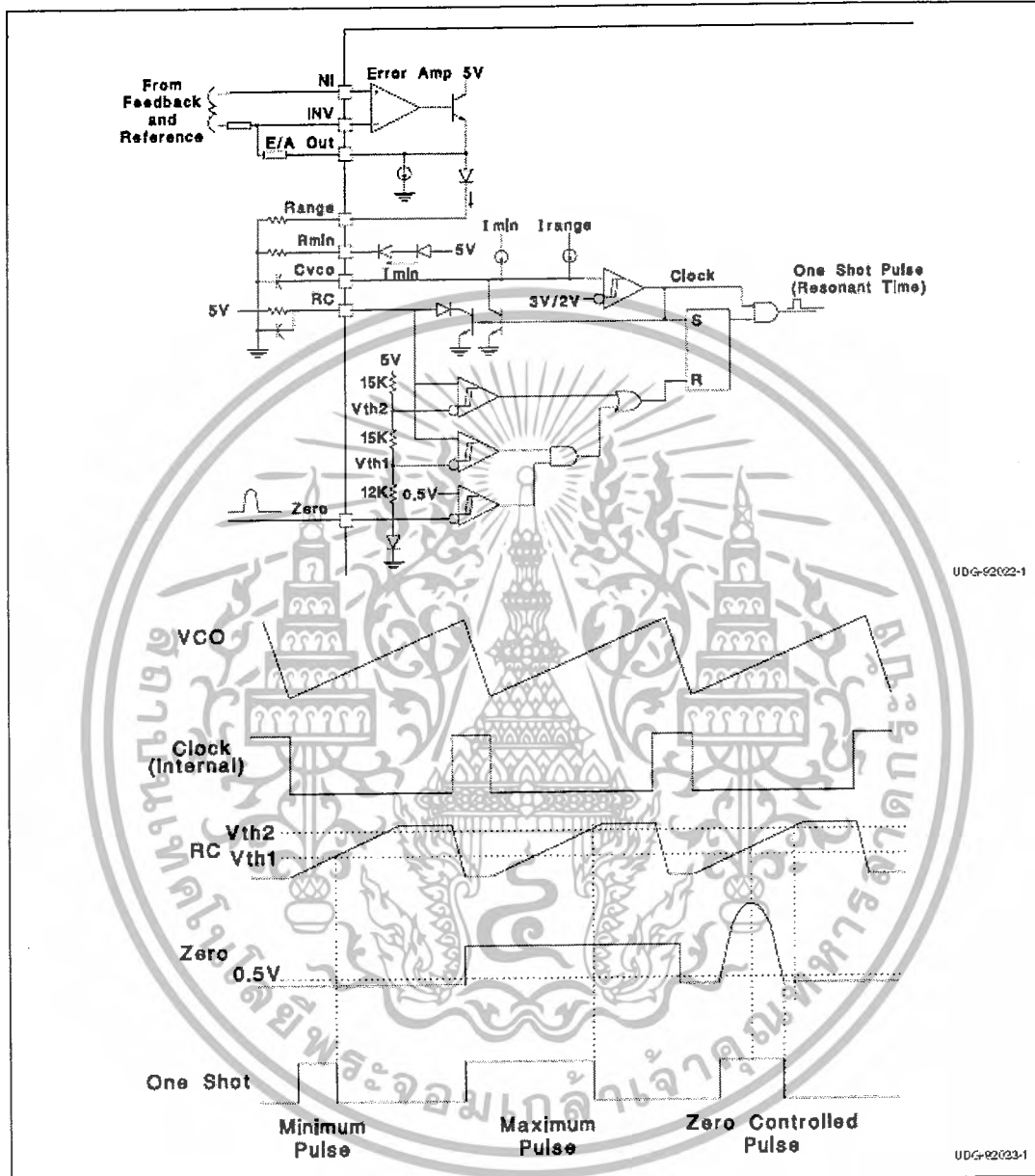


Figure 2. Error Amp, Voltage Controlled Oscillator, and One Shot

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

UC1861-1868
 UC2861-2868
 UC3861-3868

APPLICATION INFORMATION

Minimum oscillator frequency is set by R_{min} and C_{vco}. The minimum frequency is approximately given by the equation:

$$F_{MIN} \approx \frac{4.3}{R_{MIN} \cdot C_{VCO}}$$

Maximum oscillator frequency is set by R_{min}, Range & C_{vco}. The maximum frequency is approximately given by the equation:

$$F_{MAX} \approx \frac{3.3}{(R_{MIN} // Range) \cdot C_{VCO}}$$

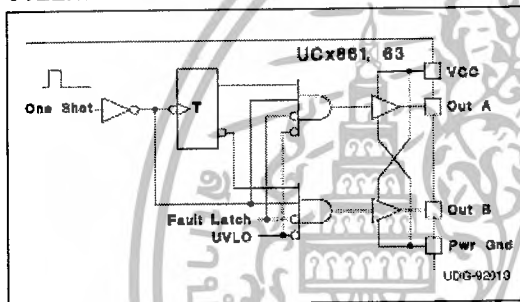
The Error Amplifier directly controls the oscillator frequency. E/A output low corresponds to minimum frequency and output high corresponds to maximum frequency. At the end of each oscillator cycle, the RC pin is discharged to one diode drop above ground. At the beginning of the oscillator cycle, V(RC) is less than V_{th1} and so the output of the zero detect comparator is ignored. After V(RC) exceeds V_{th1}, the one shot pulse will be terminated as soon as the zero pin falls below 0.5V or V(RC) exceeds V_{th2}. The minimum one shot pulse width is approximately given by the equation:

$$T_{pw(min)} \approx 0.3 R C$$

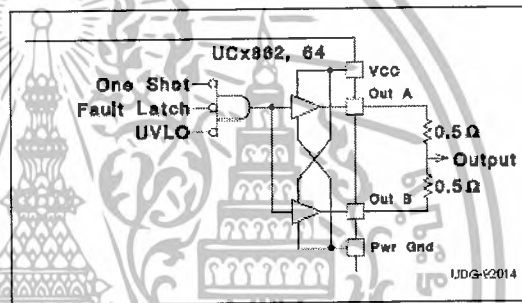
The maximum pulse width is approximately given by:

$$T_{pw(max)} \approx 1.2 R C$$

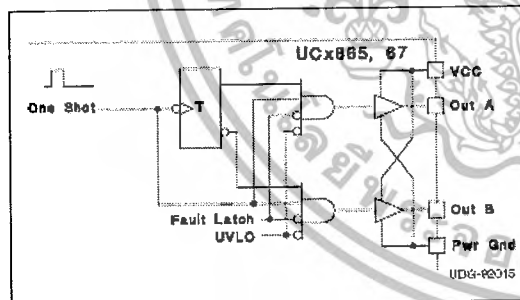
STEERING LOGIC



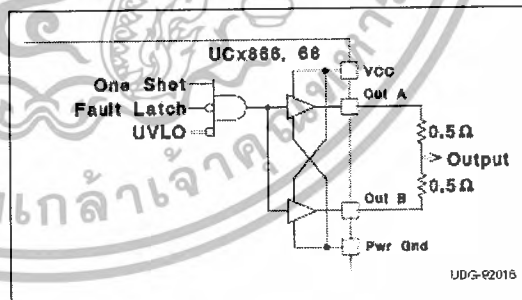
The steering logic is configured on the UC1861,63 to result in dual non-overlapping square waves at outputs A & B. This is suited to drive dual switch ZVS systems.



The steering logic is configured on the UC1862,64 to result in inverted pulse trains occurring identically at both output pins. This is suited to drive single switch ZVS systems. Both outputs are available to drive the same MOSFET gate. It is advisable to join the pins with 0.5 ohm resistors.



The steering logic is configured on the UC1865,67 to result in alternating pulse trains at outputs A & B. This is suited to drive dual switch ZCS systems.



The steering logic is configured on the UC1866,68 to result in non-inverted pulse trains occurring identically at both output pins. This is suited to drive single switch ZCS systems. Both outputs are available to drive the same MOSFET gate. It is advisable to join the pins with 0.5 ohm resistors.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

UC1861-1868
 UC2861-2868
 UC3861-3868

APPLICATION INFORMATION (cont.)

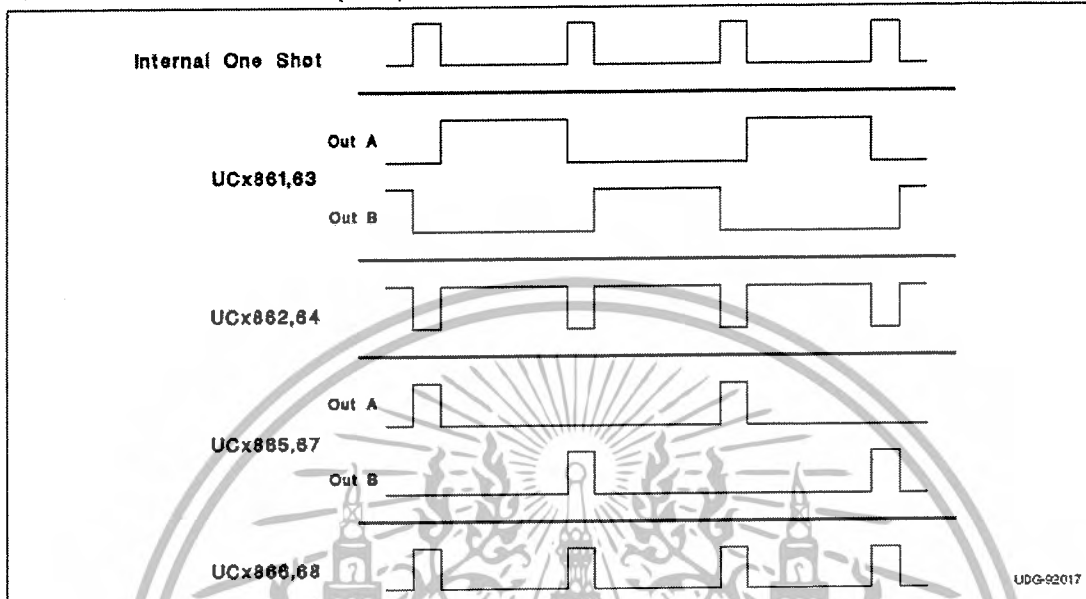


Figure 3. Current waveforms.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข

ตารางแกนเฟอไรต์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

EE CORES

Shape code	Magnetic parameter				Center leg area A _c (mm ²)	Minimum cross-sectional area A _{min} (mm ²)	Window area A _w (mm ²)	Aperture factor-1	Turns (pages)	Bobbin (pages)	
	C ₁ (mm ²)	A ₁ (mm ²)	A ₂ (mm ²)	V ₁ (mm ³)							
EE12/113	1.4257	12.4	29.7	367	72.6	12.1	L	25.3	1.93	---	---
EE12/128	1.1934	25.1	30.0	792	24.9	21.9	B	25.6	1.70	47	---
EE18/148	1.8667	13.9	38.2	653	18.2	18.2	C	42.0	1.70	48	59
EE18/168	1.7168	23.1	39.0	815	22.8	22.8	C	53.7	1.50	49	---
EE18/16Z	1.7275	22.7	40.1	902	22.7	22.7	LHC	55.3	1.40	---	---
EE22/20	1.6664	26.1	51.2	1363	24.4	24.4	C	102	11.8	---	---
EE25/19A	1.2287	39.8	49.2	1964	41.1	39.1	B	85.5	2.02	---	---
EE25/19Z	1.1870	49.2	49.2	1940	40.3	40.0	B	81.0	1.93	50	---
EE25/20	1.1641	42.6	49.3	2100	41.0	41.0	C	81.5	1.93	---	---
EE30/26K	0.52756	116	57.9	6300	114	127	L	79.8	32.2	51	56
EE30/30	1.1838	57.1	68.1	3790	47.6	47.6	C	134	20.7	52	---
EE34/28A	0.85153	82.1	69.9	5793	85.9	79.7	B	164	23.9	---	---
EE40/34B	0.54381	142	77.5	11000	131	131	C	187	57.0	53	---
EE40/34C	0.60761	177	77.4	5800	114	114	C	178	22.5	54	60
EE40/35A	0.52926	140	78.1	11800	126	126	L	110	58.8	---	---
EE40/44	0.66917	145	97.2	14100	137	137	C	243	71.7	---	---
EE42/43-12W	0.54243	180	97.8	17800	180	180	BC	278	60.0	55	---
EE42/43-30W	0.41512	236	97.8	20000	225	225	BC	278	114	56	---
EE47/34	0.47760	186	78.7	13200	189	150	C	171	65.0	---	---
EE47/35A	0.36924	213	85.5	20800	243	229	B	206	106	---	---
EE50/42K	0.42677	226	90.3	21700	213	213	C	261	133	57	60
EE56/35A	0.34380	353	124	43700	253	252	C	450	218	58	---
EE56/47A	0.31597	339	107	36400	253	329	B	282	168	---	---
EE56/70	0.49127	337	185	69700	292	252	L	1480	264	---	---

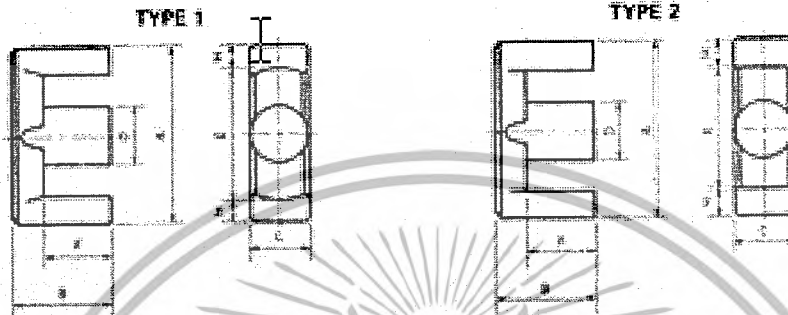
Note: Minimum cross-sectional area B: Back area C: Center leg area L: Side leg area

ตารางที่ ข.1 ข้อมูลต่างๆ ของแกนเฟอร์ไรต์แบบ EE

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Summary

EEA CORE

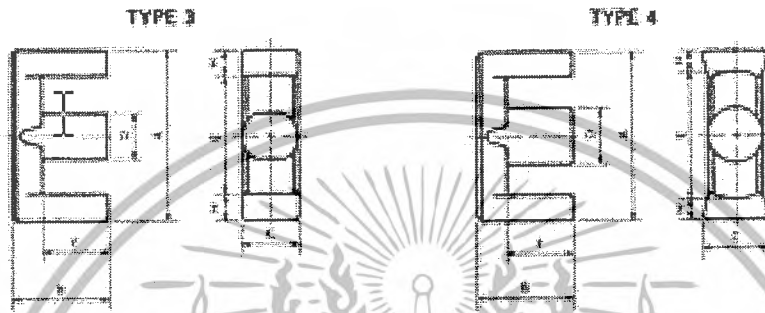


Shape code	Type	Dimensions (mm)						General standard
		A	B	C	D	E	F	
EEER24/25	1	23±0.20	229±0.10	305±0.15	335±0.15	7.7	3.2±0.12	0.70
EEER11/05	1	10.0±0.20	74.8±0.10	5.90±0.10	4.10±0.15	5.7	1.8±0.10	1.00
EEER10/24	2	78.2±0.40	42.1±0.15	5.60±0.30	5.80±0.30	13.8	6.9±0.20	2.00
EEER20/30	2	26.7±0.40	70.3±0.20	7.70±0.30	7.20±0.30	19.6	12.6±0.20	1.10
EEER20/20	3	78.0±0.40	10.1±0.20	11.5±0.30	8.50±0.20	20.4	6.6±0.20	1.00
EEER22/24	1	58.8±0.50	78.0±0.20	11.4±0.20	9.9±0.20	21.7	12.0±0.20	1.40
EEER20/30	3	29.1±0.40	14.6±0.20	17.0±0.20	8.20±0.20	21.6	11.0±0.20	2.00
EEER20/20	1	78.0±0.40	15.0±0.20	8.50±0.20	8.60±0.20	23.0	11.0±0.20	3.00
EEER30/20	1	30.8±0.40	12.7±0.20	12.9±0.20	13.0±0.20	20.0	6.3±0.20	4.00
EEER30/30	3	22.0±0.20	16.7±0.20	13.0±0.20	16.9±0.20	23.4	12.0±0.20	4.00
EEER34/25	1	34.7±0.40	17.3±0.20	10.8±0.20	16.9±0.20	25.8	12.1±0.20	1.00
EEER35/40	1	35.9±0.50	20.7±0.20	11.3±0.20	17.3±0.20	25.6	14.7±0.20	4.40
EEER35/44	1	37.5±0.50	22.0±0.20	15.7±0.20	15.2±0.20	26.5	15.5±0.20	5.20
EEER30/40	1	39.7±0.30	19.8±0.20	17.5±0.20	12.5±0.20	29.2	14.6±0.40	4.00
EEER30/45	1	38.0±0.40	23.7±0.20	17.8±0.20	12.8±0.20	28.6	17.1±0.20	5.00
EEER40/45	1	40.0±0.70	23.4±0.20	15.0±0.20	13.2±0.20	28.8	15.4±0.20	5.20
EEER42/42	1	42.0±0.50	21.7±0.20	15.2±0.20	15.2±0.20	30.5	15.3±0.20	5.00
EEER42/43	1	42.2±0.50	21.8±0.20	14.7±0.20	14.7±0.20	30.4	16.0±0.40	5.50
EEER42/45	1	42.0±0.60	22.4±0.20	15.5±0.20	15.6±0.20	29.4	15.4±0.20	6.10
EEER42/49	1	42.0±0.50	24.7±0.20	19.5±0.40	17.3±0.20	31.2	15.3±0.20	4.50
EEER44/45	1	44.0±1.00	22.3±0.20	14.9±0.20	14.9±0.20	32.5	16.6±0.40	5.30
EEER45/20	2	44.0±0.50	18.2±0.20	15.2±0.20	15.7±0.20	31.6	13.1±0.20	6.00
EEER40/47	1	48.0±1.00	20.6±0.20	20.9±0.40	18.5±0.20	37.2	16.0±0.20	5.10
EEER43/40	1	48.7±1.10	24.7±0.20	18.4±0.20	16.4±0.20	36.1	18.1±0.40	5.80
EEER40/47	1	48.0±0.50	21.7±0.20	17.7±0.20	17.7±0.20	36.4	22.7±0.20	6.20
EEER50/37	1	53.5±1.00	14.3±0.20	17.9±0.40	17.9±0.40	39.8	11.1±0.20	6.40
EEER55/57	4	55.0±0.50	28.4±0.40	24.7±0.40	20.6±0.20	41.7	19.0±0.20	6.40
EEER60/45	2	60.0±0.50	32.5±0.40	25.6±0.50	24.0±0.50	53.2	21.0±0.20	10.0

ตารางที่ ข.2 ข้อมูลต่างๆ ของแกนเฟอร์ไรต์แบบ ETD

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

EER CORES



Shape code	Magnetic parameter				Center leg area A _c (mm ²)	Minimum cross-sectional area A _m (mm ²)	Window area A _w (mm ²)	Approx. weight (g/pc)	Test data (page)	Section (page)
	C _v (mm ²)	A _v (mm ²)	S _v (mm ²)	W _v (mm ²)						
EER0606	1.7278	7.88	63.8	170	8.24	107	H	7.28	2674	---
EER1106	1.7153	11.0	54.7	178	13.2	103	H	7.61	1.26	---
EER1304	1.8794	28.1	27.8	148	24.2	24.0	C	74.3	8.20	---
EER1608	1.6885	44.1	74.6	130	40.7	40.7	C	164	12.8	---
EER2008	0.14624	67.2	52.5	130	57.7	63.7	LR	61.2	21.9	---
EER2004	0.24200	65.8	78.3	130	77.2	77.0	C	168	32.4	---
EER2006	0.20267	65.8	67.5	130	66.1	66.7	LR	162	30.4	---
EER2002	0.22727	70.0	79.7	140	69.9	70.8	C	148	31.5	29
EER2005	0.41976	120	57.4	140	111	111	C	70.8	26.1	---
EER2003	0.40168	121	75.3	140	120	120	C	158	45.8	---
EER2408	0.21454	97.0	79.0	140	91.6	91.6	C	168	38.0	30
EER2504	0.41724	140	80.4	140	100	100	C	210	52.7	31
EER2504	0.29234	125	93.6	170	101	101	C	183	56.2	---
EER2608	0.74141	125	99.6	170	123	123	C	287	57.1	32
EER2606	0.79138	130	141	170	129	129	C	377	62.7	33
EER2605	0.80753	151	97.2	170	138	138	C	249	72.9	34
EER4202	0.52064	183	96.2	170	181	178	H	242	91.6	35
EER4203	0.57274	173	93.0	170	179	165	H	281	83.7	36
EER4205	0.48285	203	97.3	160	189	189	C	219	99.0	---
EER4204	0.46863	231	109	160	218	211	H	282	109	---
EER4405	0.10208	175	107	181	174	171	H	304	80.8	37
EER4408	0.51323	178	91.2	160	181	179	L	327	82.4	---
EER4404	0.20400	164	93.5	200	204	201	H	297	108	38
EER4004	0.50874	231	114	180	211	211	C	313	128	39
EER4002	0.55827	242	124	200	212	203	L	443	167	40
EER5002	0.25448	258	90.4	200	253	253	C	392	117	---
EER5001	0.26079	234	127	200	234	231	H	410	128	---
EER6005	0.21987	303	165	240	304	304	C	752	175	---

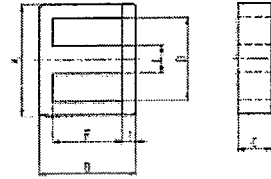
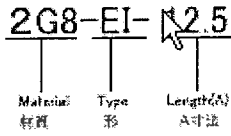
Note: Minimum cross-sectional area H: Back area C: Center leg area L: Side leg area

ตารางที่ ข.2(ต่อ) ข้อมูลต่างๆ ของแกนเฟอร์ไรต์แบบ ETD

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

EI Type Cores

Ordering Code 品名の構成



Dimensions and Effective Parameter 寸法及び磁心の実効定数

Core 磁心	Dimensional 寸法							Effective Parameter 磁心実効定数				Weight 重量(g)	Bolt 螺絲
	A	B	C	D	E	F	I	W ₁ (mm)	A ₁ (mm)	L ₁ (mm)	V ₁ (mm ³)		
EI-14	7.10±0.05 7.10±0.05	6.0±0.2	5.49±0.05 5.49±0.05	7.75±0.1	2.4±0.2	4.2±0.1	1.0±0.05	1.98	11.0	11.5	152.4	11.4	0.93
EI-12.5	12.0±0.3	9.0±0.4	8.0±0.2	6.0±0.3	3.0±0.2	3.0±0.1	1.0±0.05	1.37	16.4	21.1	356.0	14.3	1.3
EI-12.5S	12.2±0.25 12.35±0.25	8.95±0.3	8.0±0.2	6.0±0.3	2.9±0.2	3.0±0.1	1.0±0.05	2.43	8.7	21.5	185.6	16.7	1.2
EI-12.7	12.7±0.15 12.75±0.15	9.0±0.4	8.35±0.2 8.5±0.2	6.0±0.3	2.9±0.2	3.2±0.1	1.0±0.05	1.32	16.4	21.4	352.7	16.3	1.2
EI-12.5	12.5±0.2 12.6±0.2	9.1±0.4	8.0±0.2	6.2±0.2	2.5±0.1	3.0±0.1	1.0±0.05	1.35	16.7	21.4	352.9	17.0	1.3
EI-19	18.0±0.2	12.0±0.3	9.8±0.2	10.25±0.2	2.5±0.1	4.2±0.2	1.4±0.05	1.74	17.1	20.2	377.3	24.4	2.5
EI-19Z	18.0±0.1	11.7±0.4	9.7±0.2	9.4±0.3	4.1±0.2	3.0±0.1	1.3±0.05	2.15	12.8	26.1	315.3	16.8	3.4
EI-16	16.0±0.2	14.0±0.4	8.0±0.2	12.0±0.2	4.2±0.2	3.0±0.1	1.15±0.05	1.71	19.4	24.3	315.0	20.3	3.0
EI-18.5S	18.0±0.3	11.0±0.3	8.2±0.2	14.5±0.3	4.7±0.2	3.0±0.1	1.15±0.05	1.37	22.1	31.5	371.2	35.3	4.2
EI-18Z	18.0±0.4	16.0±0.2	8.2±0.2	14.6±0.3	4.7±0.2	3.0±0.1	1.15±0.05	1.32	22.1	32.4	352.2	35.5	4.2
EI-19	19.0±0.2	15.0±0.4	8.1±0.2	14.0±0.2	5.6±0.2	3.0±0.1	1.15±0.05	1.61	22.1	32.2	376.2	37.1	4.7
EI-22	22.0±0.4	18.0±0.4	8.0±0.2	14.0±0.5	6.0±0.2	3.0±0.1	1.05±0.05	1.07	33.5	20.7	1532	44.3	8.1
EI-22.5	22.0±0.2	18.0±0.4	8.15±0.2	15.75±0.2	5.15±0.2	3.0±0.1	1.15±0.05	1.55	33.5	42.1	1545	56.3	8.2
EI-25	25.0±0.4	20.0±0.4	8.55±0.3	16.4±0.2	6.55±0.3	3.0±0.1	1.15±0.05	1.33	42.2	43.4	2054	67.4	10.4
EI-25.1	25.0±0.4	18.0±0.4	8.0±0.2	19.3±0.3	6.5±0.25	3.0±0.1	1.15±0.05	1.74	41.3	47.6	1943	73.5	9.3
EI-25.4	25.4±0.4	19.25±0.3	8.55±0.25	19.0±0.2	8.45±0.3	3.0±0.1	1.15±0.05	1.44	40.4	48.5	1992	80.3	10.1

ตารางที่ ข.3 ข้อมูลต่างๆ ของแกนเฟอร์ไรต์แบบ EI

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

ตารางขนาดลวดตัวนำ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.1 ตารางขนาดลวดตัวนำ

เบอร์ AWG #	ขนาดเส้นผ่าน ศูนย์กลาง mm	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง เมื่อรวมฉนวน mm	พื้นที่หน้าตัดปกติ mm ²
44	0.0503	0.06604	0.00199
43	0.0564	0.07366	0.00250
42	0.0633	0.08128	0.00314
41	0.0711	0.09144	0.00397
40	0.0798	0.1041	0.00500
39	0.0897	0.1143	0.00631
38	0.1008	0.1295	0.00799
37	0.1130	0.1448	0.01003
36	0.1270	0.1626	0.0127
35	0.1422	0.1778	0.0159
34	0.1600	0.1981	0.0201
33	0.1803	0.2235	0.0255
32	0.2032	0.2489	0.0324
31	0.2261	0.2743	0.0401
30	0.2540	0.3048	0.0507
29	0.2870	0.3404	0.0647
28	0.3200	0.3759	0.0804
27	0.3607	0.4191	0.1022
26	0.4039	0.4699	0.128
25	0.4547	0.5232	0.162
24	0.5105	0.5817	0.205
23	0.5740	0.6502	0.259
22	0.6426	0.7214	0.324
21	0.7239	0.8052	0.412
20	0.8126	0.8966	0.519

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

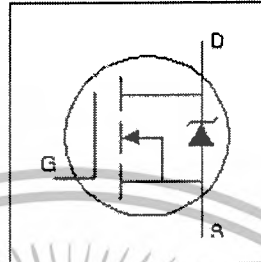
ตารางที่ ก.1 (ต่อ) ตารางขนาดลวดตัวนำ

เบอร์ AWG #	ขนาดเส้นผ่าน ศูนย์กลาง mm	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง เมื่อรวมฉนวน mm	พื้นที่หน้าตัดปกติ mm ²
19	0.9119	1.003	0.653
18	1.024	1.118	0.823
17	1.151	1.247	1.040
16	1.290	1.389	1.308
15	1.450	1.557	1.652
14	1.628	1.737	2.082
13	1.829	1.943	2.627
12	2.052	2.172	3.308
11	2.304	2.431	4.168
10	2.588	2.720	5.261

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

HEXFET® Power MOSFET

- Advanced Process Technology
- Dynamic dv/dt Rating
- 175°C Operating Temperature
- Fast Switching
- Fully Avalanche Rated



$$V_{DS} = 55V$$

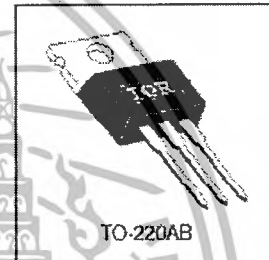
$$R_{DS(on)} = 0.040\Omega$$

$$I_D = 26A$$

Description

Fifth Generation HEXFETs from International Rectifier utilize advanced processing techniques to achieve the lowest possible on-resistance per silicon area. This benefit, combined with the fast switching speed and ruggedized device design that HEXFET Power MOSFETs are well known for, provides the designer with an extremely efficient device for use in a wide variety of applications.

The TO-220 package is universally preferred for all commercial-industrial applications at power dissipation levels to approximately 50 watts. The low thermal resistance and low package cost of the TO-220 contribute to its wide acceptance throughout the industry.


Absolute Maximum Ratings

	Parameter	Max.	Units
$I_D @ T_C = 25^\circ C$	Continuous Drain Current, $V_{GS} @ 10V$	26	A
$I_D @ T_C = 100^\circ C$	Continuous Drain Current, $V_{GS} @ 10V$	18	
I_{DM}	Pulsed Drain Current \ominus	100	
$P_D @ T_C = 25^\circ C$	Power Dissipation	56	W
	Linear Derating Factor	0.37	W/°C
V_{GS}	Gate-to-Source Voltage	± 20	V
E_{AS}	Single Pulse Avalanche Energy \ominus	110	mJ
I_{AR}	Avalanche Current \ominus	16	A
E_{AR}	Repetitive Avalanche Energy \ominus	5.6	mJ
dv/dt	Peak Diode Recovery dv/dt \ominus	4.6	V/ns
T_J	Operating Junction and	-55 to +175	°C
T_{STG}	Storage Temperature Range		
	Soldering Temperature, for 10 seconds	300 (1.6mm from case)	
	Mounting torque, 6-32 or M3 screw.	10 lbf·in (1.1N·m)	

Thermal Resistance

	Parameter	Min.	Typ.	Max.	Units
$R_{\theta JC}$	Junction-to-Case	—	—	2.7	°C/W
$R_{\theta CS}$	Case-to-Sink, Flat, Greased Surface	—	0.50	—	
$R_{\theta JA}$	Junction-to-Ambient	—	—	62	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

IRFZ34N

Electrical Characteristics @ $T_J = 25^\circ\text{C}$ (unless otherwise specified)

	Parameter	Min.	Typ.	Max.	Units	Conditions
$V_{(BR)DSS}$	Drain-to-Source Breakdown Voltage	55	—	—	V	$V_{GS} = 0V, I_D = 250\mu A$
$\Delta V_{(BR)DSS}/\Delta T_J$	Breakdown Voltage Temp. Coefficient	—	0.052	—	V/°C	Reference to $25^\circ\text{C}, I_D = 1mA$
$R_{DS(ON)}$	Static Drain-to-Source On-Resistance	—	—	0.040	Ω	$V_{GS} = 10V, I_D = 16A$ Ⓞ
$V_{GS(th)}$	Gate Threshold Voltage	2.0	—	4.0	V	$V_{DS} = V_{GS}, I_D = 250\mu A$
g_{fs}	Forward Transconductance	6.5	—	—	S	$V_{DS} = 25V, I_D = 16A$
I_{DSS}	Drain-to-Source Leakage Current	—	—	25	μA	$V_{DS} = 55V, V_{GS} = 0V$
		—	—	250		$V_{DS} = 44V, V_{GS} = 0V, T_J = 150^\circ\text{C}$
I_{GSS}	Gate-to-Source Forward Leakage	—	—	100	nA	$V_{GS} = 20V$
	Gate-to-Source Reverse Leakage	—	—	-100		$V_{GS} = -20V$
Q_g	Total Gate Charge	—	—	34		$I_D = 16A$
Q_{gs}	Gate-to-Source Charge	—	—	6.8	nC	$V_{DS} = 44V$
Q_{gd}	Gate-to-Drain ("Miller") Charge	—	—	14		$V_{GS} = 10V$, See Fig. 6 and 13 Ⓞ
$t_{d(on)}$	Turn-On Delay Time	—	7.0	—		$V_{DD} = 28V$
t_r	Rise Time	—	49	—	ns	$I_D = 16A$
$t_{d(off)}$	Turn-Off Delay Time	—	31	—		$R_G = 18\Omega$
t_f	Fall Time	—	40	—		$R_D = 1.8\Omega$, See Fig. 10 Ⓞ
L_D	Internal Drain Inductance	—	4.5	—	nH	Between lead, 6mm (0.25in.) front package and center of die contact
L_S	Internal Source Inductance	—	7.5	—		
C_{iss}	Input Capacitance	—	700	—		$V_{GS} = 0V$
C_{oss}	Output Capacitance	—	240	—	pF	$V_{DS} = 25V$
C_{rss}	Reverse Transfer Capacitance	—	100	—		$f = 1.0MHz$, See Fig. 5

Source-Drain Ratings and Characteristics

	Parameter	Min.	Typ.	Max.	Units	Conditions
I_S	Continuous Source Current (Body Diode)	—	—	26	A	MOSFET symbol showing the integral reverse p-n junction diode.
I_{SM}	Pulsed Source Current (Body Diode) Ⓞ	—	—	100		
V_{SD}	Diode Forward Voltage	—	—	1.6	V	$T_J = 25^\circ\text{C}, I_S = 16A, V_{GS} = 0V$ Ⓞ
t_{rr}	Reverse Recovery Time	—	57	86	ns	$T_J = 25^\circ\text{C}, I_F = 16A$
Q_{rr}	Reverse Recovery Charge	—	130	200	nC	$di/dt = 100A/\mu s$ Ⓞ
t_{on}	Forward Turn-On Time	Intrinsic turn-on time is negligible (turn-on is dominated by $L_S + L_D$)				

Notes:

- Ⓞ Repetitive rating; pulse width limited by max. junction temperature. (See fig. 11) Ⓞ $I_{SD} \leq 16A, di/dt \leq 420A/\mu s, V_{DD} \leq V_{(BR)DSS}, T_J \leq 175^\circ\text{C}$
- Ⓞ $V_{DD} = 25V, \text{starting } T_J = 25^\circ\text{C}, L = 610\mu H, R_G = 25\Omega, I_{AS} = 16A. \text{ (See Figure 12)}$ Ⓞ Pulse width $\leq 300\mu s$; duty cycle $\leq 2\%$.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



IRFZ34N

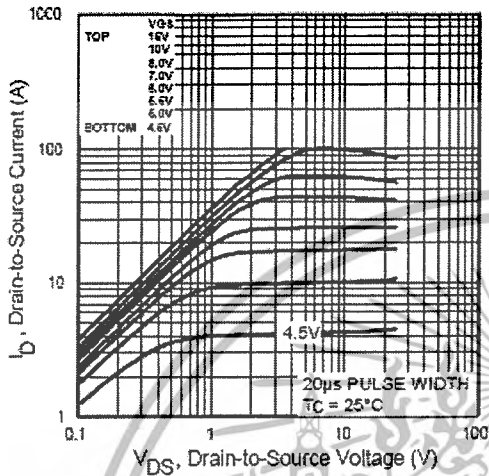


Fig 1. Typical Output Characteristics, $T_C = 25^\circ\text{C}$

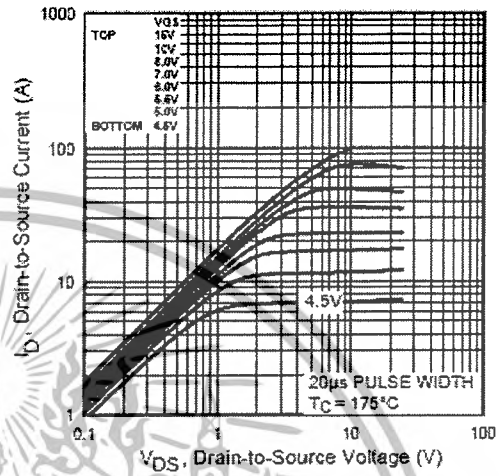


Fig 2. Typical Output Characteristics, $T_C = 175^\circ\text{C}$

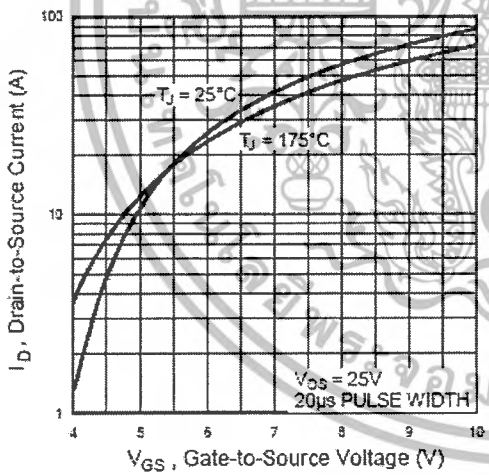


Fig 3. Typical Transfer Characteristics

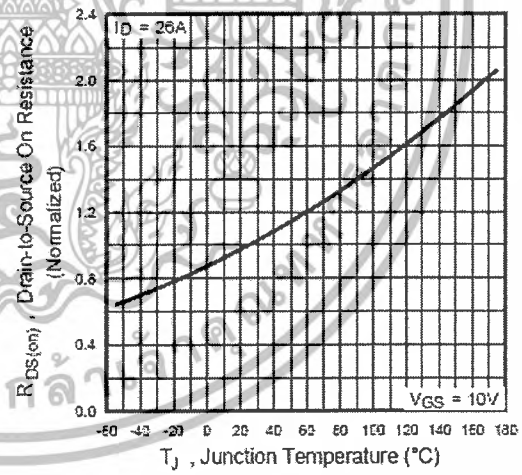
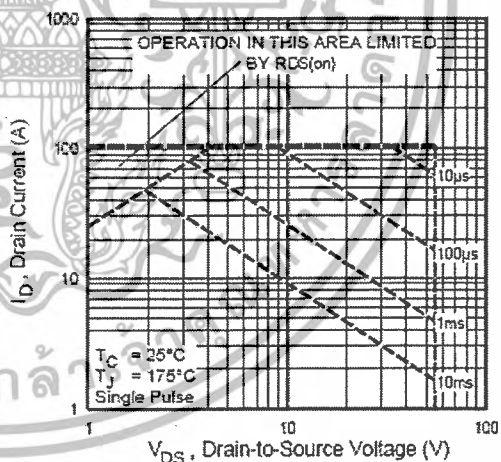
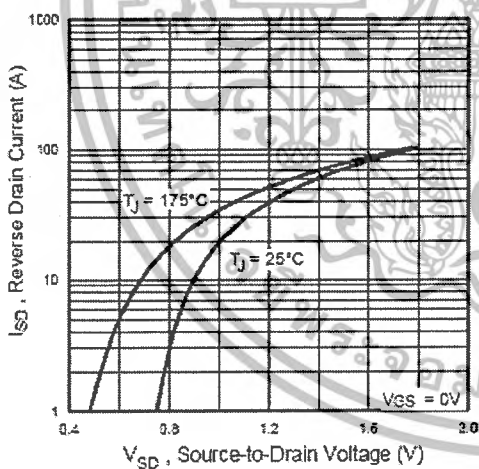
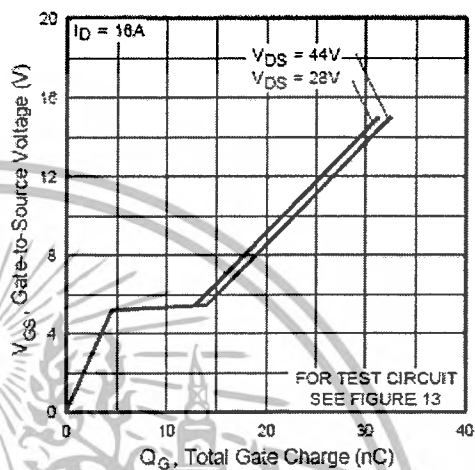
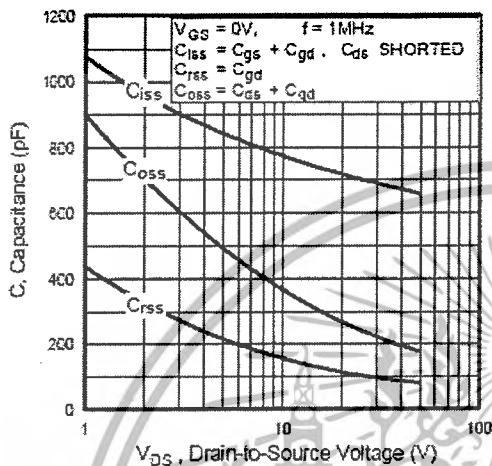


Fig 4. Normalized On-Resistance Vs. Temperature

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

IRFZ34N



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



IRFZ34N

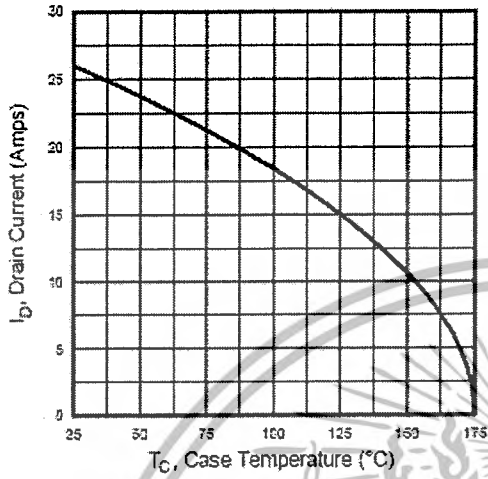


Fig 9. Maximum Drain Current Vs. Case Temperature

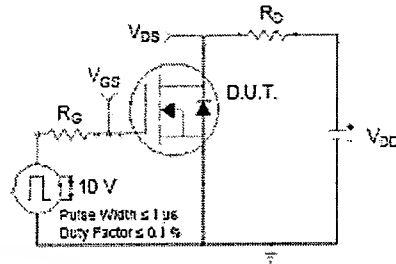


Fig 10a. Switching Time Test Circuit

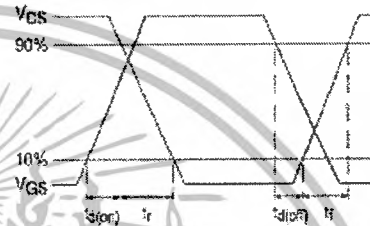


Fig 10b. Switching Time Waveforms

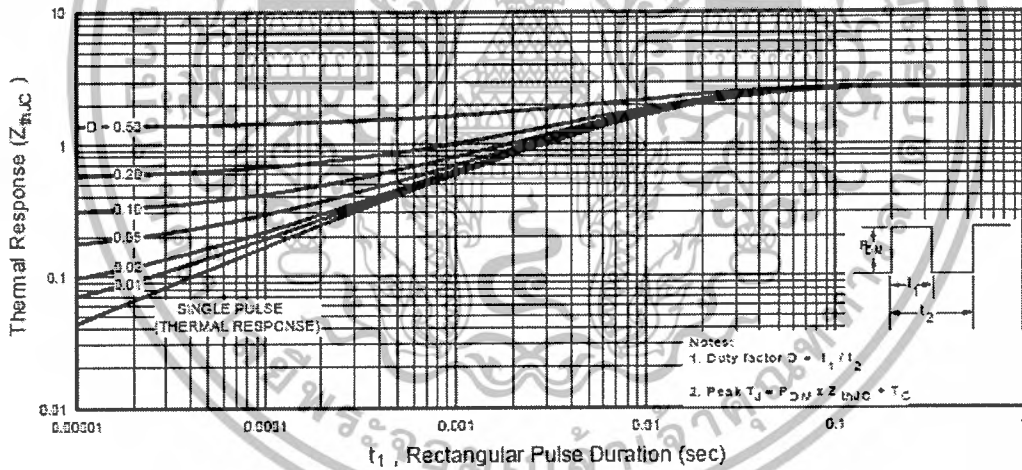


Fig 11. Maximum Effective Transient Thermal Impedance, Junction-to-Case

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

IRFZ34N

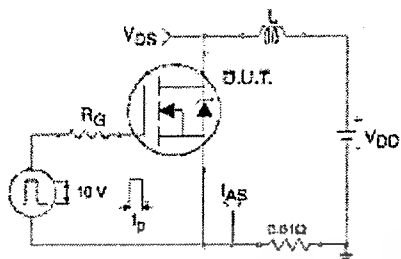


Fig 12a. Unclamped Inductive Test Circuit

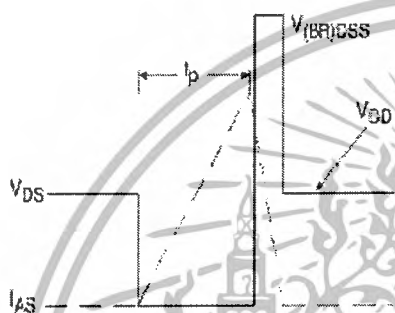


Fig 12b. Unclamped Inductive Waveforms

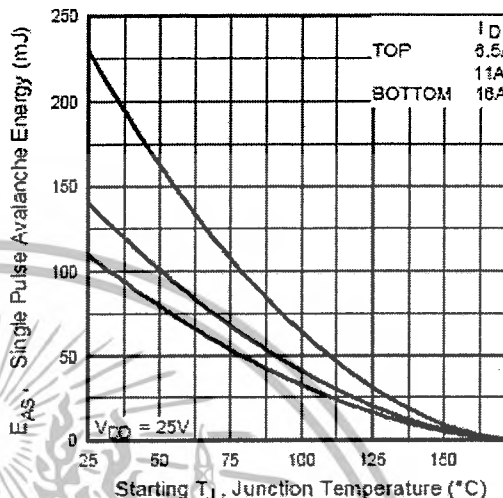


Fig 12c. Maximum Avalanche Energy Vs. Drain Current

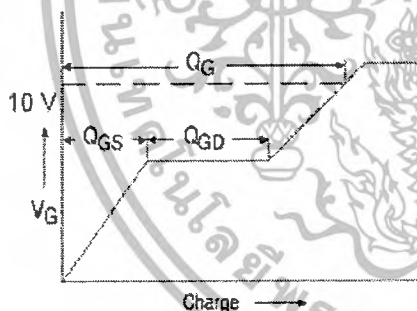


Fig 13a. Basic Gate Charge Waveform

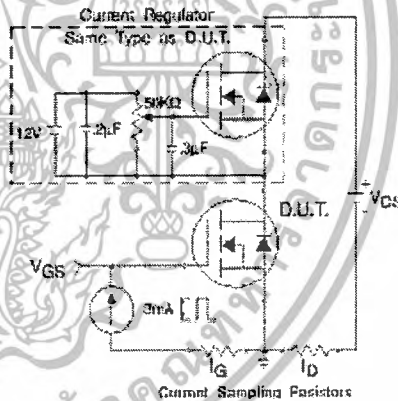


Fig 13b. Gate Charge Test Circuit

Appendix A: Figure 14, Peak Diode Recovery dv/dt Test Circuit

Appendix B: Package Outline Mechanical Drawing

Appendix C: Part Marking Information



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Appendix A

Peak Diode Recovery dv/dt Test Circuit

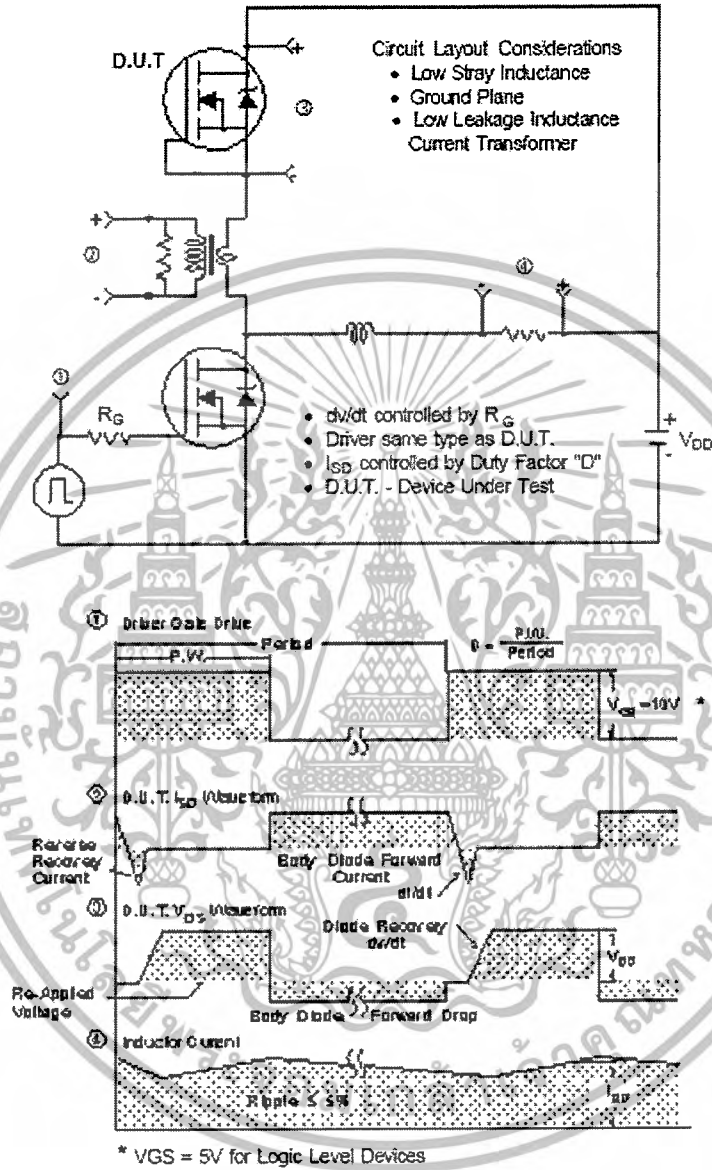


Fig 14. For N-Channel HEXFETS

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

IRFZ34N

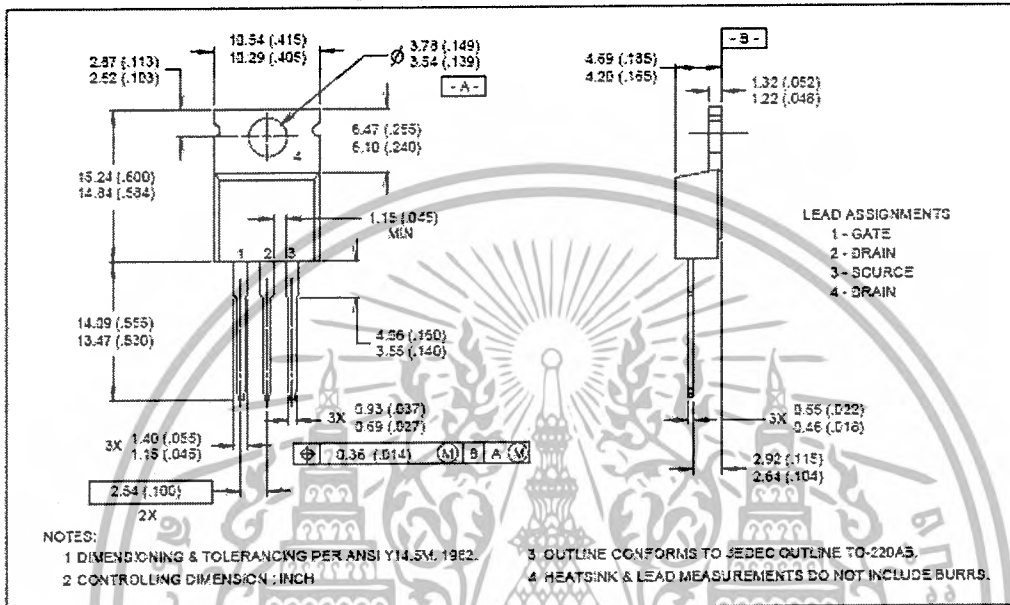


Package Outline

Appendix B

TO-220AB Outline

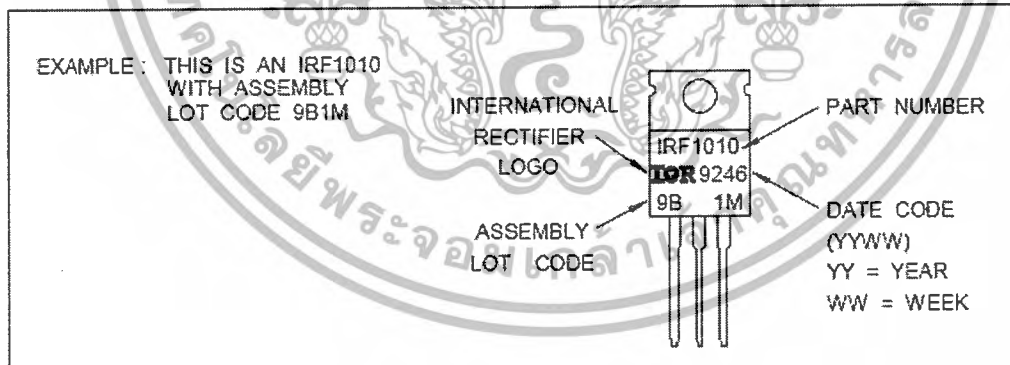
Dimensions are shown in millimeters (inches)



Part Marking Information

Appendix C

TO-220AB



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก จ

DATASHEET STTH3003CW



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

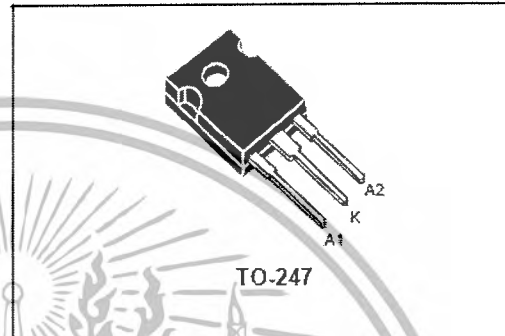


STTH3003CW

HIGH FREQUENCY SECONDARY RECTIFIER

MAJOR PRODUCT CHARACTERISTICS

$I_{F(AV)}$	2 x 15 A
V_{RRM}	300 V
T_j (max)	175 °C
V_F (max)	1 V
t_{rr} (max)	40 ns



FEATURES AND BENEFITS

- COMBINES HIGHEST RECOVERY AND REVERSE VOLTAGE PERFORMANCE
- ULTRA-FAST, SOFT AND NOISE-FREE RECOVERY

DESCRIPTION

Dual center tap Fast Recovery Epitaxial Diodes suited for Switch Mode Power Supply and high frequency DC to DC converters.

Packaged in TO-247 this device is intended for secondary rectification.

ABSOLUTE RATINGS (limiting values, per diode)

Symbol	Parameter		Value	Unit
V_{RRM}	Repetitive peak reverse voltage		300	V
$I_{F(RMS)}$	RMS forward current		30	A
$I_{F(AV)}$	Average forward current	$T_c = 135^\circ\text{C}$ $\delta = 0.5$	Per diode 15 Per device 30	A
I_{FSM}	Surge non repetitive forward current	$t_p = 10$ ms sinusoidal	140	A
I_{RSM}	Non repetitive peak reverse current	$t_p = 20$ μs square	7	A
T_{stg}	Storage temperature range		-65 +175	°C
T_j	Maximum operating junction temperature		+175	°C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

STTH3003CW

THERMAL RESISTANCES

Symbol	Parameter		Value	Unit
$R_{th(j-c)}$	Junction to case	Per diode	2.0	$^{\circ}\text{C/W}$
		Total	1.05	
$R_{th(c)}$		Coupling	0.1	

STATIC ELECTRICAL CHARACTERISTICS (per diode)

Symbol	Parameter	Tests conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit
I_R^*	Reverse leakage current	$V_R = 300\text{ V}$	$T_j = 25^{\circ}\text{C}$		40	μA
			$T_j = 125^{\circ}\text{C}$		400	
V_F^{**}	Forward voltage drop	$I_F = 15\text{ A}$	$T_j = 25^{\circ}\text{C}$		1.25	V
			$T_j = 125^{\circ}\text{C}$		0.85	

Pulse test : * $t_p = 5\text{ ms}$, $\delta < 2\%$

** $t_p = 380\text{ }\mu\text{s}$, $\delta < 2\%$

To evaluate the maximum conduction losses use the following equation :

$$P = 0.75 \times I_{F(AV)} + 0.017 I_F^2 (RMS)$$

RECOVERY CHARACTERISTICS

Symbol	Tests conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit
t_{rr}	$I_F = 0.5\text{ A}$ $I_{rr} = 0.25\text{ A}$ $I_R = 1\text{ A}$ $T_j = 25^{\circ}\text{C}$			30	ns
	$I_F = 1\text{ A}$ $di_F/dt = -50\text{ A}/\mu\text{s}$ $V_R = 30\text{ V}$			40	
t_{fr}	$I_F = 15\text{ A}$ $di_F/dt = 100\text{ A}/\mu\text{s}$ $T_j = 25^{\circ}\text{C}$			300	ns
V_{FR}	$V_{FR} = 1.1 \times V_F \text{ max.}$			3.5	V
S_{factor}	$V_{CC} = 200\text{ V}$ $I_F = 15\text{ A}$ $T_j = 125^{\circ}\text{C}$		0.3		-
I_{RM}	$di_F/dt = 200\text{ A}/\mu\text{s}$			8.5	A

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Fig. 1: Conduction losses versus average current (per diode).

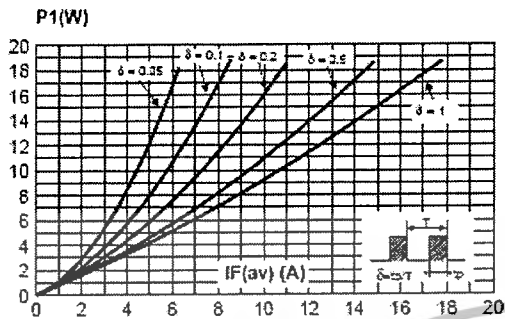


Fig. 2: Forward voltage drop versus forward current (maximum values, per diode).

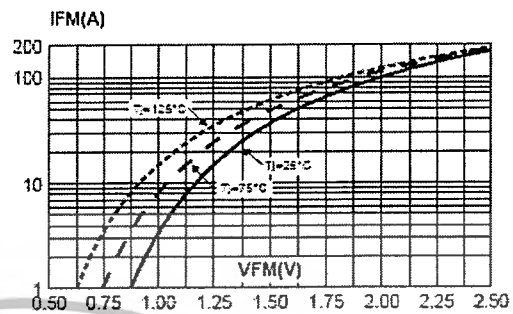


Fig. 3: Relative variation of thermal impedance junction to case versus pulse duration.

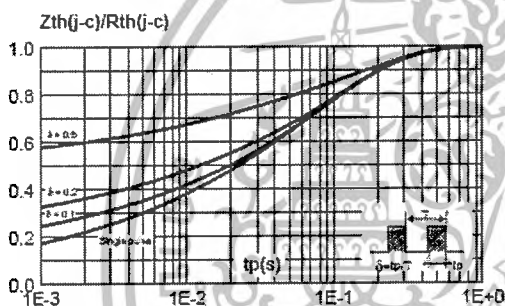


Fig. 4: Peak reverse recovery current versus di/dt (90% confidence, per diode).

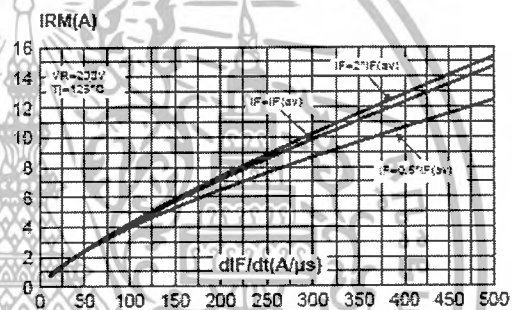


Fig. 5: Reverse recovery time versus di/dt (90% confidence, per diode).

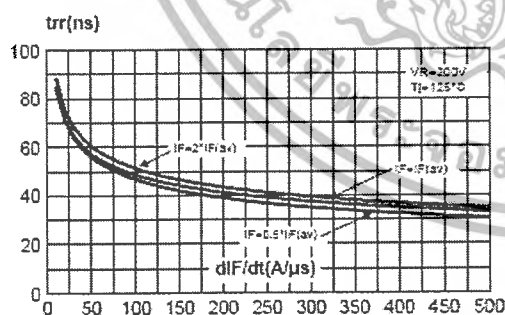
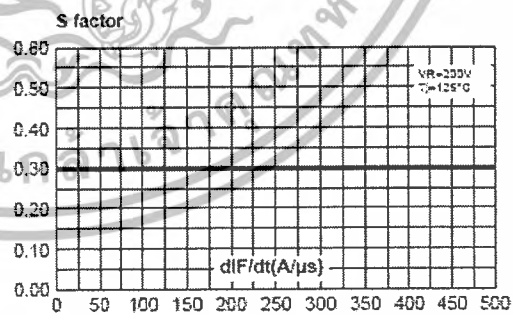


Fig. 6: Softness factor versus di/dt (typical values, per diode).



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

STTH3003CW

Fig. 7: Relative variation of dynamic parameters versus junction temperature (reference: $T_j = 125^\circ\text{C}$).

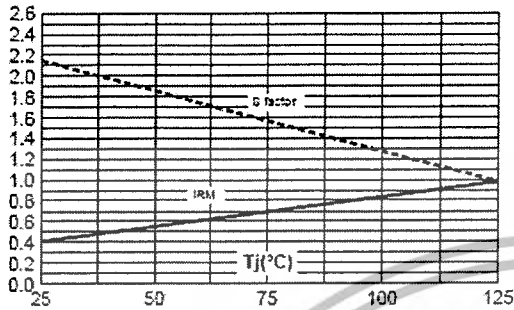


Fig. 8: Transient peak forward voltage versus dI_F/dt (90% confidence, per diode).

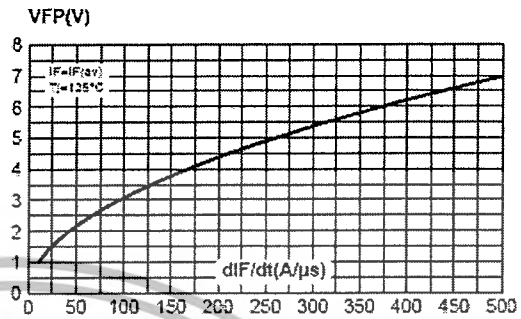
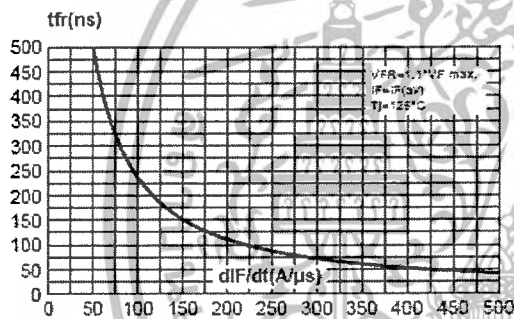
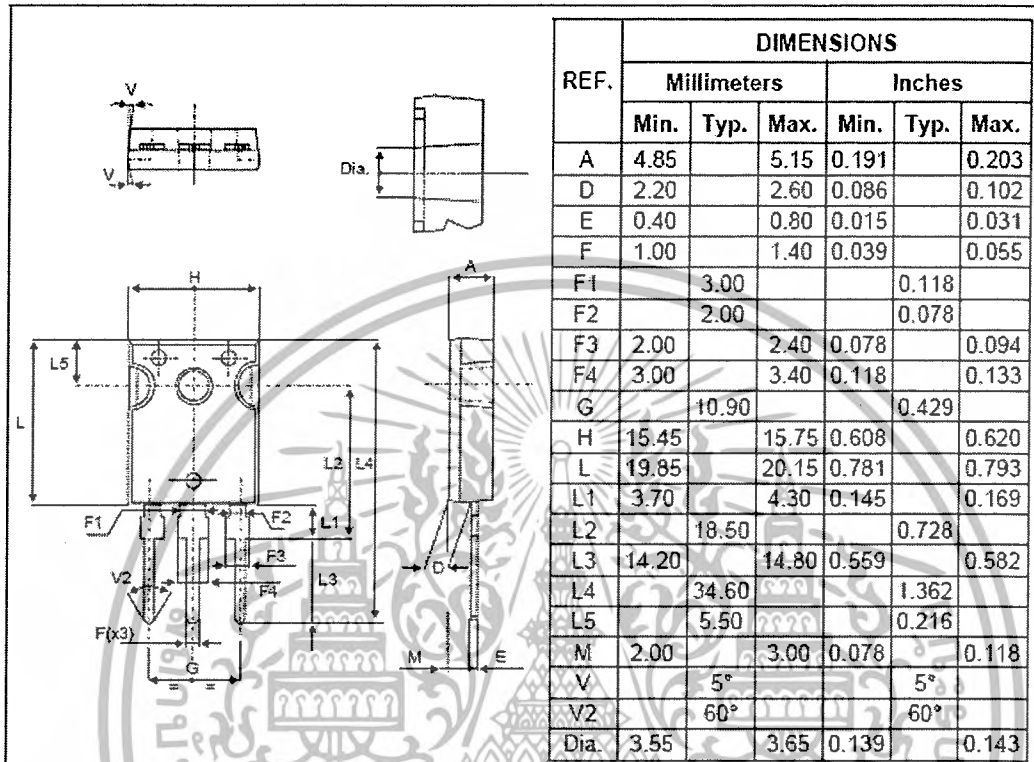


Fig. 9: Forward recovery time versus dI_F/dt (90% confidence, per diode).



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

STTH3003CW

PACKAGE MECHANICAL DATA
TO-247

Ordering code	Marking	Package	Weight	Base qty	Delivery mode
STTH3003CW	STTH3003CW	TO-247	4.36g	30	Tube

- Cooling method: by conduction (C)
- Recommended torque value: 0.8 N.m.
- Maximum torque value: 1.0 N.m.
- Epoxy meets UL 94.V0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้