

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

ควอซีเรโซแนนท์บัคคอนเวอร์เตอร์แบบสวิตช์ที่กระแสไฟฟ้าเป็นศูนย์

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



นาย ชลนธิ พวงไธสง
นาย มนตรี โปธิวัฒน์

รฟ.
๕๑๑๔๑
๒๕๔๙

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน..... 72183
วัน,เดือน,ปี...1.2...ค.ย... 2550

b. 117 b4491
i.....

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมระบบควบคุม
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2549

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาานิพนธ์ปีการศึกษา 2549

ภาควิชาวิศวกรรมระบบควบคุม

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

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

ผู้จัดทำ นาย ชลนระธิ พวงไรสง 47015276

นาย มนตรี โพธิวัฒน์ 47015297



.....อาจารย์ที่ปรึกษา
(ดร.ชนินทร์ บุญลักษณ์)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ควอซีเรโซแนนท์บัคคอนเวอร์เตอร์แบบสวิตช์ที่กระแสไฟฟ้าเป็นศูนย์

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

โดย

นาย ชลนระธิ พวงไธสง 47015276

นาย มนตรี โพธิวัฒน์ 47015297

อาจารย์ที่ปรึกษา

ดร.ชรินทร์ บุญลักษณานุสรณ์

บทคัดย่อ

วิทยานิพนธ์เล่มนี้ได้นำเสนอการวิเคราะห์ และการออกแบบวงจรควอซีเรโซแนนท์ บัคคอนเวอร์เตอร์แบบสวิตช์ที่กระแสไฟฟ้าเป็นศูนย์ สมการที่ได้จากการวิเคราะห์สามารถนำมาใช้ในการออกแบบวงจร โดยแสดงตัวอย่างการออกแบบวงจรควอซีเรโซแนนท์บัคคอนเวอร์เตอร์ แบบสวิตช์ที่กระแสไฟฟ้าเป็นศูนย์และแสดงผลการทดลองที่สอดคล้องกับทฤษฎีที่ออกแบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ZERO - CURRENT SWITCHED QUASI-RESONANT BUCK CONVERTER

By

Mr. Cholatee Puangthaisong

Mr. Montri Potiwut

Advisor

Dr. Chanin Bunlaksananusorn

Academic Year 2006

ABSTRACT

In this thesis, analysis and design of a Zero-Current-Switched (ZCS) Quasi-Resonant (QR) buck converter 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 อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญาบัตรฉบับนี้สามารถสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี เพราะได้รับความเมตตาเป็นอย่างสูงจาก ดร.ชรินทร์ บุญลักษณานุสรณ์ ซึ่งเป็น อาจารย์ ผู้ควบคุมปริญญาบัตร สำหรับคำแนะนำ ข้อคิดเห็นและ ให้ความกรุณาเอื้อเฟื้ออุปถัมภ์ในการทดลอง และความช่วยเหลืออื่นๆ แก่คณะผู้จัดทำ

ขอขอบคุณ ดร.นนทวัฒน์ จุลเดชะสำหรับคำแนะนำและคำวิจารณ์ที่เป็นประโยชน์ต่อ งานวิจัยนี้เป็นอย่างดี

ขอขอบคุณ พี่ ป.โท ทุกคน สำหรับคำแนะนำและแนวทางในการแก้ไขปัญหาโดยเฉพาะอย่างยิ่งเกี่ยวกับการใช้อุปกรณ์และเครื่องมือวัดในห้องปฏิบัติการ

ขอขอบคุณเพื่อนๆทุกคนสำหรับความช่วยเหลือต่างๆและให้กำลังใจตลอดมา

สุดท้ายนี้ขอขอบคุณครอบครัวของผู้วิจัยสำหรับการสนับสนุนและการส่งเสริมในทุกๆ ด้าน จนปริญญาบัตรนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี คุณค่าและประโยชน์อันพึงมีจากวิทยานิพนธ์นี้ขอ มอบแด่ผู้มีพระคุณทุกท่าน

คณะผู้จัดทำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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 หลักการทำงาน.....	3
2.4 สถานะการทำงานคงที่.....	8
2.5 พิจารณาการทำงานในสถานะแรงดันไฟฟ้าและ โหลดเปลี่ยนแปลง.....	10
บทที่ 3 การออกแบบสร้างวงจร.....	12
3.1 บทนำ.....	12
3.2 การออกแบบวงจร.....	12
3.3 การออกแบบตัวควบคุมและวงจรขับเคลื่อนของมอสเฟตกำลัง.....	16
3.3.1 Error amplifier(E/A).....	16
3.3.2 Voltage Control Oscillator.....	17
3.3.3 one short timing generator and Zero wave crossing detection comparator.....	17

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.3.4 Under voltage lockout (UVLO) and 5V bias generator.....	18
3.3.5 Steering Logic to output driver.....	18
3.3.6 รายละเอียดอื่นๆของแต่ละขา.....	18
3.3.7 การออกแบบตัวควบคุม.....	19
3.4 การออกแบบสร้างวงจรจับเกตของมอสเฟตกำลัง.....	21
3.5 การออกแบบสร้างวงจรถูกกำลัง.....	23
3.5.1 การเลือกใช้มอสเฟตกำลังและไดโอดกำลัง.....	24
3.6 การออกแบบตัวเหนี่ยวนำด้วยวิธีผลคูณพื้นที่สำหรับแกนเฟอร์ไรต์.....	24
3.6.1 ขั้นตอนในการออกแบบตัวเหนี่ยวนำ.....	24
3.7 การออกแบบตัวเหนี่ยวนำที่ใช้ในวงจรคอนเวอร์เตอร์ แบบเรโซแนนท์สวิตชิงขณะกระแสไฟฟ้าเป็นศูนย์.....	28
3.8 การเลือกใช้ตัวเก็บประจุไฟฟ้า.....	32
บทที่ 4 การทดลองและผลการทดลอง.....	33
4.1 บทนำ.....	33
4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันกับความถี่ด้วยโปรแกรม Matlab.....	33
4.3 ผลการจำลองแบบวงจรเรโซแนนท์คอนเวอร์เตอร์ (ZCS).....	34
4.4 การทดลองและผลการทดลองวงจรต้นแบบ.....	38
4.4.1 การทดลองวงจรคอนเวอร์เตอร์แบบเรโซแนนท์สวิตชิง ขณะกระแสไฟฟ้าเป็นศูนย์แบบวงเปิด.....	38
4.4.1.1 การทดสอบการรักษาระดับแรงดันเอาต์พุต.....	38
4.4.1.2 การตรวจสอบช่วงเวลาการทำงานของวงจร.....	40
4.4.2 การทดลองวงจรคอนเวอร์เตอร์แบบเรโซแนนท์สวิตชิง ขณะกระแสไฟฟ้าเป็นศูนย์แบบวงปิด.....	42
4.4.2.1 การทดสอบการรักษาระดับแรงดันเอาต์พุต.....	42
4.4.2.2 การตรวจสอบช่วงเวลาการทำงานของวงจร.....	44
4.4.2.3 การทดสอบการตอบสนองของแรงดันเอาต์พุต ของวงจรเรโซแนนท์คอนเวอร์เตอร์.....	46

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

4.4.3 การทดสอบประสิทธิภาพของวงจรเรโซแนนท์คอนเวอร์เตอร์.....	48
4.4.4 รีปเปิลของแรงดันเอาต์พุตของวงจรเรโซแนนท์บีก์คอนเวอร์เตอร์ สวิตชิงขณะกระแสเป็นศูนย์.....	51
บทที่ 5 บทวิจารณ์และสรุป.....	52
5.1 ปัญหาและแนวทางแก้ไข.....	52
5.2 แนวทางในการพัฒนา.....	52
5.3 บทสรุป.....	53
เอกสารอ้างอิง.....	54
ภาคผนวก ก. DATASHEET	55
ภาคผนวก ข. ตารางแกนเฟอร์ไรต์.....	80
ภาคผนวก ค. ตารางขนาดลวดตัวนำ.....	85
ภาคผนวก ง. วงจรรวม.....	88

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 แสดงลักษณะ โครงสร้างของการสวิตช์แบบ ZCS.....	2
3.1 แสดงค่าช่วงเวลาต่าง ๆ ที่แรงดันไฟฟ้าอินพุต $V_s = 25\text{ V}$	14
3.2 แสดงค่าช่วงเวลาต่าง ๆ ที่แรงดันไฟฟ้าอินพุต $V_s = 20\text{ V}$	15
4.1 ผลของกระแสไฟฟ้าที่ตัวเหนี่ยวนำ L_r กับแรงดันไฟฟ้าที่ตัวเก็บประจุไฟฟ้า C_r	36
4.2 ผลของแรงดันเอาต์พุตและความถี่เมื่อโหลดเปลี่ยนแปลง.....	36
4.3 การทำงานของวงจรในช่วงเวลาต่างๆ.....	37
4.4 ผลการวัดค่าของแรงดันเอาต์พุตและความถี่เมื่อ โหลดเปลี่ยนแปลงแบบวงเปิด.....	40
4.5 ผลการวัดค่าช่วงเวลาการทำงานของวงจรแบบวงเปิด.....	41
4.6 ผลการวัดค่าของแรงดันเอาต์พุตและความถี่เมื่อ โหลดเปลี่ยนแปลงแบบวงปิด.....	44
4.7 ผลการวัดค่าช่วงเวลาการทำงานของวงจรแบบวงปิด.....	46
4.8 ประสิทธิภาพของวงจรเรโซแนนท์คอนเวอร์เตอร์สวิตชิงขณะกระแสเป็นศูนย์.....	50
4.9 ประสิทธิภาพของวงจรบักคอนเวอร์เตอร์.....	50

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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
2.8 รูปสัญญาณแสดงเกิดการสวิตชิงกระแสไฟฟ้าศูนย์.....	10
3.1 วงจรเรโซแนนท์คอนเวอร์เตอร์แบบสวิตชิงกระแสเป็นศูนย์.....	12
3.2 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้ากับความถี่.....	15
3.3 โครงสร้างการทำงานตัวควบคุม.....	16
3.4 การต่อใช้งานของเอาต์พุต.....	18
3.5 แสดงการต่อวงจรควบคุม.....	20
3.6 วงจรขับเคลื่อนของมอเตอร์กำลัง.....	22
3.7 วงจรภาคกำลังของวงจรคอนเวอร์เตอร์แบบเรโซแนนท์ สวิตชิงขณะกระแสเป็นศูนย์.....	23
3.8 ตัวอย่างนิยามของ A_c และ A_w สำหรับแกนแม่เหล็กแบบ EI.....	25
4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุตกับความถี่.....	33
4.2 วงจรสมมูลที่เสมือนมีแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงที่โหลด.....	33
4.3 ผลการจำลองที่ $f_{s,min} = 100kHz, V_s = 25V, I_o = 1A$	33
4.4 ผลการจำลองแบบที่ $f_{s,max} = 318kHz, V_s = 20V, I_o = 5A$	33
4.5 วงจรที่ได้จากการออกแบบ.....	35
4.6 ผลการจำลองแบบที่ $f_{s,min} = 100kHz, V_s = 25V, R_L = 5\Omega$	35
4.7 ผลการจำลองแบบที่ $f_{s,max} = 318kHz, V_s = 20V, R_L = 1\Omega$	37
4.8 แสดงช่วงเวลาการทำงานของวงจรที่ $f_{s,min} = 100kHz, V_s = 25V, I_o = 1A$	36

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.9 แสดงช่วงเวลาการทำงานของวงจรที่ $f_{s,max} = 318kHz, V_S = 20V, I_O = 5A$	37
4.10 การจัดชุดทดลองสำหรับทดสอบการรักษาระดับแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุต.....	38
4.11 ที่แรงดันอินพุต 20 V กระแสโหลด 5A ช่องสัญญาณที่ 1 ค่าของกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำ (L_r) ช่องสัญญาณที่ 2 ค่าของแรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อมตัวเก็บประจุ (C_r).....	39
4.12 ที่แรงดันอินพุต 25 V กระแสโหลด 1A ช่องสัญญาณที่ 1 ค่าของกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำ (L_r) ช่องสัญญาณที่ 2 ค่าของแรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อมตัวเก็บประจุ (C_r).....	39
4.13 การจัดชุดทดลองสำหรับตรวจสอบช่วงเวลาการทำงานของวงจร.....	40
4.14 แสดงช่วงเวลาการทำงานของวงจรที่แรงดันอินพุต 20 V กระแสไฟฟ้าที่โหลด 5A.....	41
4.15 แสดงช่วงเวลาการทำงานของวงจรที่แรงดันอินพุต 25 V กระแสไฟฟ้าที่โหลด 1A.....	41
4.16 การจัดชุดทดลองสำหรับทดสอบการรักษาระดับแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุต.....	42
4.17 ผลการทดลองของ $V_{GS}, V_{DS}, V_{Cr}, I_{Lr}$ ที่ $f_{s,max}, v_{s,min}, R_{L,min}$	43
4.18 ผลการทดลองของ $V_{GS}, V_{DS}, V_{Cr}, I_{Lr}$ ที่ $f_{s,min}, v_{s,max}, R_{L,max}$	43
4.19 การจัดชุดทดลองสำหรับตรวจสอบช่วงเวลาการทำงานของวงจร.....	44
4.20 แสดงช่วงเวลาการทำงานของวงจรที่แรงดันอินพุต 20 V กระแสไฟฟ้าที่โหลด 5A.....	45
4.21 แสดงช่วงเวลาการทำงานของวงจรที่แรงดันอินพุต 25 V กระแสไฟฟ้าที่โหลด 1A.....	45
4.22 การจัดชุดทดลองสำหรับทดสอบการตอบสนองของแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุต.....	46
4.23 ผลตอบสนองทางด้านเอาต์พุตของวงจรเรโซแนนท์คอนเวอร์เตอร์ที่แรงดันอินพุต 20 V เมื่อกระแสเอาต์พุตเปลี่ยนแปลงอย่างฉับพลันจาก 1 A ไปเป็น 3 A.....	47
4.24 ผลตอบสนองทางด้านเอาต์พุตของวงจรเรโซแนนท์คอนเวอร์เตอร์ที่แรงดันอินพุต 20 V เมื่อกระแสเอาต์พุตเปลี่ยนแปลงอย่างฉับพลันจาก 1 A ไปเป็น 5 A.....	47
4.25 ผลตอบสนองทางด้านเอาต์พุตของวงจรเรโซแนนท์คอนเวอร์เตอร์ที่แรงดันอินพุต 25 V เมื่อกระแสเอาต์พุตเปลี่ยนแปลงอย่างฉับพลันจาก 1 A ไปเป็น 3 A.....	48
4.26 ผลตอบสนองทางด้านเอาต์พุตของวงจรเรโซแนนท์คอนเวอร์เตอร์ที่แรงดันอินพุต 25 V เมื่อกระแสเอาต์พุตเปลี่ยนแปลงอย่างฉับพลันจาก 1 A ไปเป็น 5 A.....	48

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.27 การจัดชุดทดลองทดสอบประสิทธิภาพของวงจรเรโซแนนท์คอนเวอร์เตอร์.....	49
4.28 การจัดชุดทดลองวัดแรงดันไฟฟ้ารีปเปิลเอาต์พุตของวงจรเรโซแนนท์คอนเวอร์เตอร์.....	51
4.29 รีปเปิลของแรงดันเอาต์พุตของวงจรเรโซแนนท์บัคคอนเวอร์เตอร์สวิตซิ่ง ขณะ กระแสไฟฟ้าเป็นศูนย์ที่แรงดันอินพุต 25 V กระแสเอาต์พุต 1A.....	52
4.30 รีปเปิลของแรงดันเอาต์พุตของวงจรเรโซแนนท์บัคคอนเวอร์เตอร์สวิตซิ่ง ขณะ กระแสไฟฟ้าเป็นศูนย์ที่แรงดันอินพุต 20 V กระแสเอาต์พุต 5A.....	52



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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	คิวตี้ไซเคิลที่สภาวะคงตัว
D_1	ไดโอดเรียงกระแส
D_{max}	คิวตี้ไซเคิลสูงสุด
D_{min}	คิวตี้ไซเคิลต่ำสุด
D_z	ซีเนอร์ไดโอด
E	พลังงานที่สะสมในตัวเหนี่ยวนำ
f_r	ความถี่เรโซแนนท์
f_s	ความถี่ในการสวิตช์
F	ฟารัด
H	เฮนรี่
H_z	เฮิร์ตซ์
$I_{d,av}$	กระแสเดรนเฉลี่ยของมอสเฟตกำลัง
$I_{f,av}$	กระแสไปหน้าเฉลี่ยของไดโอดกำลัง
$I_{L,av}$	กระแสเฉลี่ยของตัวเหนี่ยวนำ
$I_{L,max}$	กระแสสูงสุดของตัวเหนี่ยวนำ
$I_{L,min}$	กระแสต่ำสุดของตัวเหนี่ยวนำ
I_o	กระแสเอาต์พุต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รายการคำย่อและสัญลักษณ์ (ต่อ)

ΔI_L	ริบเปิดของกระแสตัวเหนี่ยวนำ
J	จูล
J	ความหนาแน่นกระแสในเส้นลวดทองแดง
k	กิโล
k_c	อัตราส่วนระหว่างกระแสสูงสุดกับกระแสอาร์เอ็มเอสของตัวเหนี่ยวนำ
k_w	ค่าตัวประกอบการใช้ประโยชน์พื้นที่ที่ใช้บรรจุลวด
l_g	ความยาวของช่องอากาศ
L_0	ความเหนี่ยวนำของตัวเหนี่ยวนำ L_0
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
V_0	แรงดันเอาต์พุต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รายการคำย่อและสัญลักษณ์ (ต่อ)

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



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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 อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีของวงจรคอนเวอร์เตอร์แบบเรโซแนนท์สวิตชิงขณะ กระแสไฟฟ้าเป็นศูนย์

2.1 บทนำ

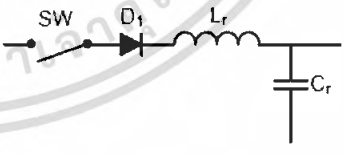
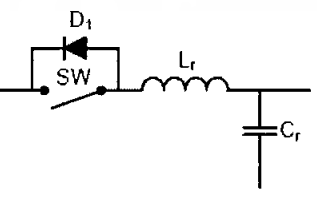
จากวงจรคอนเวอร์เตอร์ต้องการให้ทำงานที่ความถี่สูง เพราะจะช่วยลดขนาดของตัวเก็บประจุและตัวเหนี่ยวนำในระบบ แต่การทำงานที่ความถี่สูงจะทำให้เกิดสูญเสียที่สวิตช์ (Switching loss) ซึ่งวงจรเรโซแนนท์คอนเวอร์เตอร์สามารถช่วยลด Switching loss ได้ โดยที่การสวิตช์ของวงจรเรโซแนนท์คอนเวอร์เตอร์ที่ทำการศึกษาจะเกิดขึ้นเมื่อกระแสไฟฟ้ามีค่าเป็นศูนย์

2.2 ลักษณะโครงสร้างของการสวิตช์

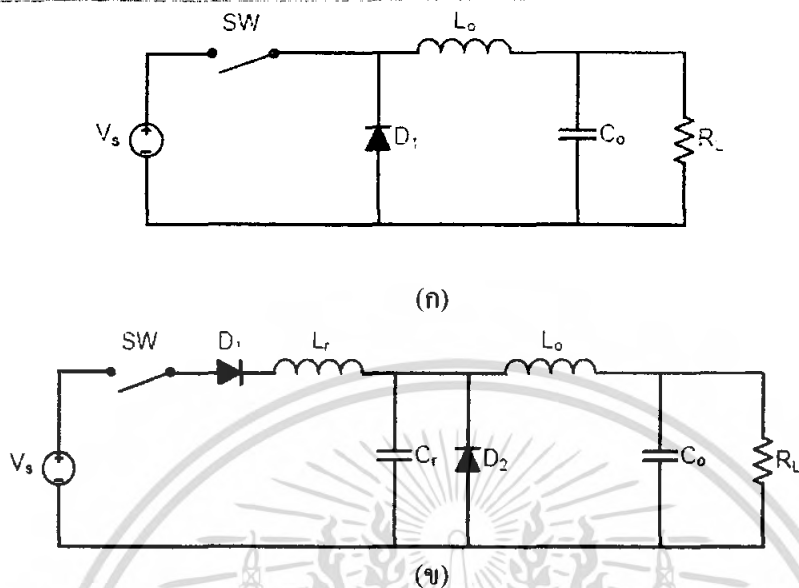
วงจรคอนเวอร์เตอร์แบบเรโซแนนท์สวิตชิงขณะกระแสไฟฟ้าเป็นศูนย์แบบ L-type สามารถจำแนกตามลักษณะของการสวิตช์ออกได้เป็น 2 แบบ ได้แก่

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	

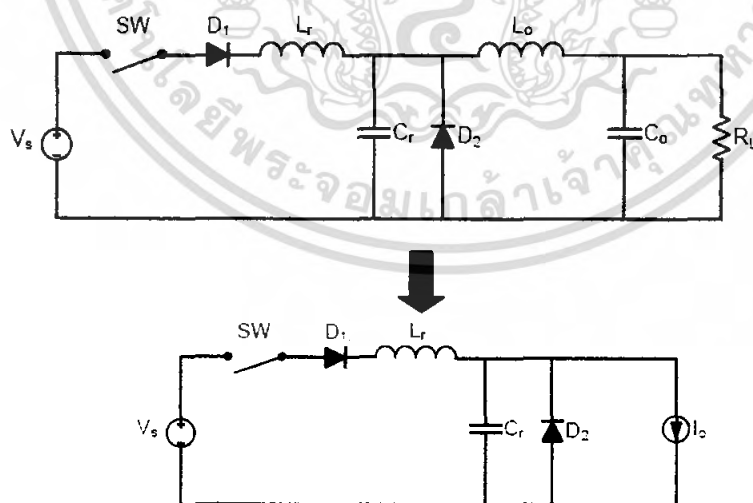
จากวงจรบัคคอนเวอร์เตอร์ถ้าทำงานที่ความถี่สูงจะทำให้เกิดการสูญเสียขณะสวิตช์มาก เพื่อลดการสูญเสียดังกล่าวจึงนำซุกสวิตช์ของ (ZCS) นำมาประกอบเข้ากับวงจรบัคคอนเวอร์เตอร์ แสดงดังรูปที่ (3)



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

2.3 หลักการทำงาน

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



รูปที่ 2.2 วงจรคอนเวอร์เตอร์แบบเรโซแนนท์สวิตช์ซึ่งขณะกระแสไฟฟ้าเป็นศูนย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยจะกำหนดค่าตัวแปรต่าง ๆ ดังนี้

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

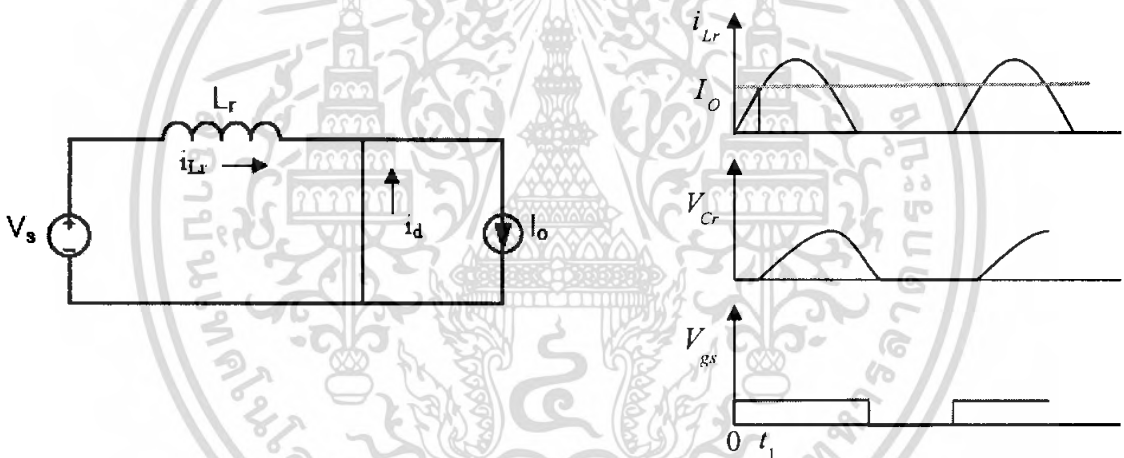
$$\text{Frequency of oscillation} \quad \omega_0 = \frac{1}{\sqrt{L_r C_r}} \quad (2.2)$$

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

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

การทำงานในโหมด 1

การทำงานของวงจรคอนเวอร์เตอร์แบบเรโซแนนท์สวิตชิงขณะกระแสไฟฟ้าเป็นศูนย์ ช่วงเวลา $0 < t < t_1$ ในช่วงแรกไดโอดยังถูก Forward Bias อยู่และเมื่อสวิตช์นำกระแสไฟฟ้า ที่เวลา $t_1 = 0$ จะทำให้มีกระแสไฟฟ้าในตัวเหนี่ยวนำ L_r เพิ่มขึ้น เมื่อแรงดันไฟฟ้า V_s ตกคร่อม (L_r) แต่แรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อมตัวเก็บประจุจะเท่ากับศูนย์



รูปที่ 2.3 วงจรสมมูลและรูปสัญญาณช่วงเวลา $0 < t < t_1$

แรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อมตัวเหนี่ยวนำ มีค่าเท่ากับ

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

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

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

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

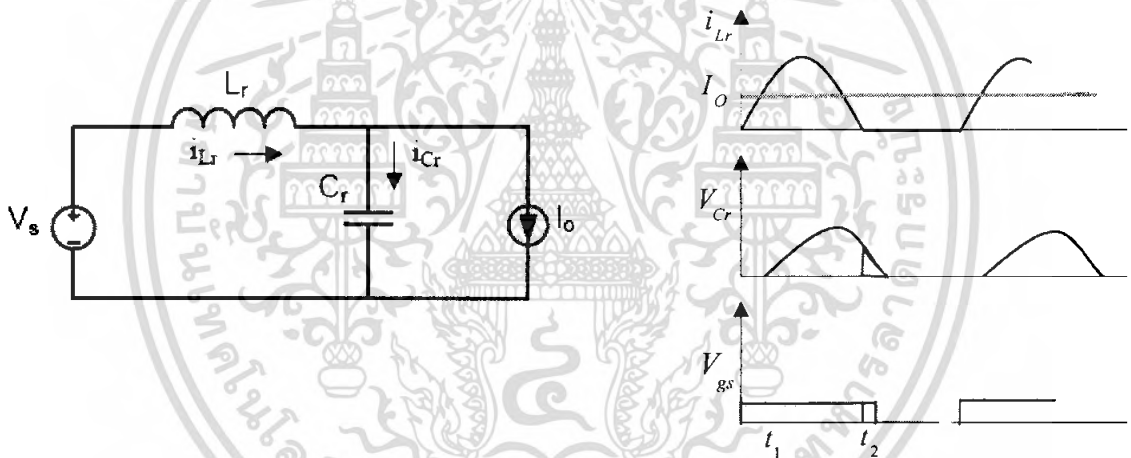
ในช่วงเวลาการทำงานที่เวลา $t = t_1$ กระแสไฟฟ้า i_{Lr} จะเพิ่มขึ้นเท่ากับค่ากระแสไฟฟ้า I_O มีผลทำให้ไดโอดหยุดนำกระแสไฟฟ้าโดยช่วงเวลา t_1 หาได้จาก

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

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

การทำงานในโหมด 2

การทำงานของวงจรคอนเวอร์เตอร์แบบเรโซแนนซ์สวิตช์ซึ่งขณะกระแสไฟฟ้าเป็นศูนย์ ช่วงเวลา $t_1 < t < t_2$ เมื่อสวิตช์นำกระแสไฟฟ้านำกระแสไฟฟ้าไหลในตัวเหนี่ยวนำ 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 วงจรสมมูลและรูปสัญญาณช่วงเวลา $t_1 < t < t_2$

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

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำ C_r หาได้จากสมการ

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

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

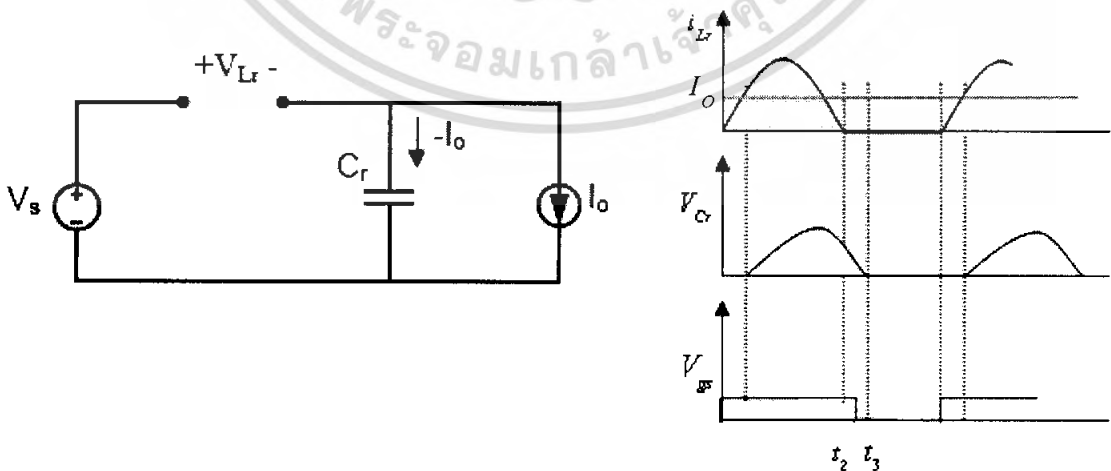
$$0 = I_o + \frac{V_s}{Z_o} \sin \omega_0 (t_2 - t_1)$$

ช่วงเวลาของการออสซิลเลต

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

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 อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สมการของแรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อมตัวเก็บประจุในช่วงเวลา $t_2 - t_3$ จะได้ดังสมการ

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

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)

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

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

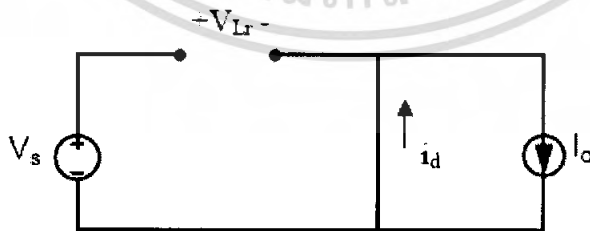
$$0 = -\frac{I_o}{C_r}(t_3 - t_2) + V_S [1 - \cos\omega_0(t_2 - t_1)]$$

ช่วงเวลานี้จะหาได้จากสมการ

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

การทำงานในโหมด 4

ในช่วงเวลานี้กระแสไฟฟ้าในตัวเหนี่ยวนำจะมีค่าเป็นศูนย์และแรงดันไฟฟ้าในตัวเก็บประจุจะมีค่าเท่ากับ 0 หลังจากนั้นไดโอดจะกลับมานำกระแสไฟฟ้าอีกครั้ง โดยจะมีค่ากระแสไฟฟ้าเท่ากับ I_o และถ้าสวิตช์นำกระแสไฟฟ้าจะทำให้การทำงานของวงจรกลับมาทำงานใน Mode1 ใหม่



รูปที่ 2.6 วงจรสมมูลช่วงเวลา $t_3 < t < T$

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

ช่วงเวลาทั้งหมดใน หนึ่งคาบเวลาของการสวิตช์

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4 สภาวะการทำงานคงที่

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 คือความถี่สวิตช์ซึ่งได้จากหลักสมมูลของพลังงาน 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 อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากสมการแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุตนำมาพิจารณาเพื่อการออกแบบสวิตซ์ซึ่งกระแสไฟฟ้าเป็นศูนย์โดยสมการแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุตเป็นฟังก์ชันของความถี่การสวิตซ์ เมื่อเพิ่มความถี่การสวิตซ์มากขึ้นแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุตก็จะมากขึ้นคาบของการสวิตซ์จะต้องมากกว่า t_3 และแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุตจะค่าน้อยกว่าแรงดันที่แหล่งจ่ายเช่นเดียวกับวงจรบ็ีกคอนเวอร์เตอร์ นอกจากนั้นช่วงเวลา t_1, t_2, t_3 จะเป็นฟังก์ชันของกระแสไฟฟ้าที่โหลด ดังนั้นแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุตก็จะขึ้นอยู่กับกระแสโหลดด้วยเช่นกัน

ดังนั้นเมื่อมีการปรับเปลี่ยนโหลด ความถี่ของการสวิตซ์จะต้องปรับเปลี่ยนด้วย เพื่อรักษาระดับแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุตคงที่ ซึ่งมาพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุตกับความถี่การสวิตซ์

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

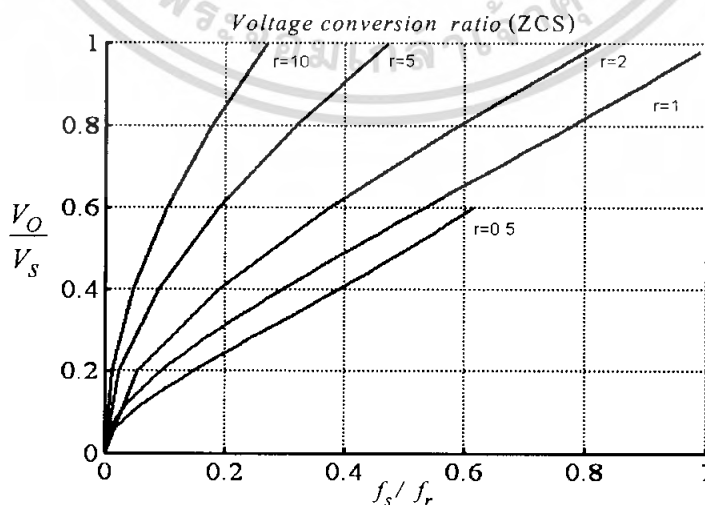
$$r = \frac{R_L}{Z_O} \quad (2.20)$$

แทนค่าพารามิเตอร์ลงในสมการ แรงดันไฟฟ้าเอาต์พุต จะได้สมการ

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

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

จากสมการอัตราส่วนของแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุตต่อแรงดันไฟฟ้าอินพุตสามารถแสดงเป็นกราฟความสัมพันธ์ได้ดังนี้



รูปที่ 2.7 ความสัมพันธ์ระหว่าง $\frac{V_O}{V_S}$ และ $\frac{f_s}{f_r}$ ที่ค่า r ต่างๆ

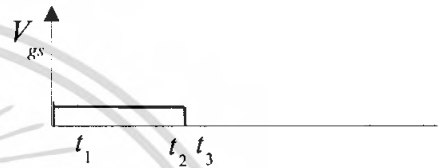
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5 พิจารณาการทำงานในสถานะแรงดันไฟฟ้าอินพุตและโหลดเปลี่ยนแปลง

เพื่อศึกษาหาความสัมพันธ์ ระหว่างแรงดันไฟฟ้าด้านเข้า กับค่าความต้านทานด้านออก เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงเกิดขึ้นในวงจร ว่ามีผลกระทบอะไรเกิดขึ้นกับวงจรบ้างและควรจะแก้ไขอย่างไรโดยพิจารณาจากสมการที่ (2.9) มาพิจารณาเงื่อนไขในการออกแบบการออกแบบเพื่อให้เกิดการสวิตช์ที่กระแสไฟฟ้าที่ศูนย์จริงๆ

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

$$i_{Lr \text{ peak}} = I_o + \frac{V_s}{Z_o}$$



รูปที่ 2.8 รูปสัญญาณแสดงเกิดการสวิตช์กระแสไฟฟ้าศูนย์

เงื่อนไขการเกิดสวิตช์ที่กระแสไฟฟ้าเป็นศูนย์ คือ กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำ L_r 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

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

ดังนั้นจะได้

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

$$Z_o = \frac{R_L \min}{M \max} \quad (2.24)$$

โดยที่

$$M \max = \frac{V_o}{V_s \min}$$

Z_o ที่ได้จากสมการที่(2.24)จะทำให้เกิดการสวิตช์ที่กระแสเป็นศูนย์ตลอดย่านความถี่ความถี่ R_L และแรงดันไฟฟ้าอินพุต V_s

การหาความถี่เรโซแนนท์เป็นขั้นตอนต่อไปหลังจากเราทราบค่าของ Z_o แล้ว ซึ่งในการหาความถี่เรโซแนนท์สามารถพิจารณาได้จากสมการที่ (2.21)

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

ทำการจัดรูปใหม่จะได้

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

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

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

เมื่อคำนวณหาค่า f_r ได้จากสมการที่ (2.27) ดังนั้นจะสามารถคำนวณหาค่า L_r และ C_r ได้จากสมการที่ (2.28) และสมการที่ (2.29)

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และผู้สงวนลิขสิทธิ์เจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

บทที่ 3

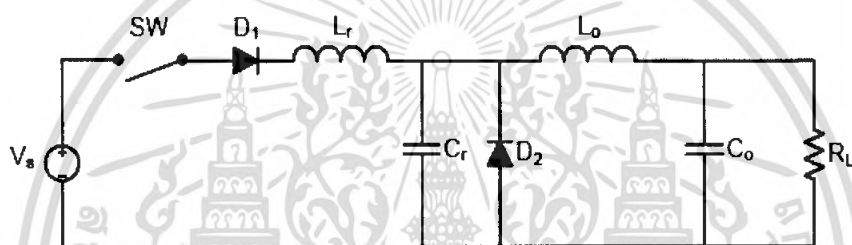
การออกแบบสร้างวงจร

3.1 บทนำ

ในส่วนของบทนี้จะกล่าวถึงการคำนวณการออกแบบและการสร้างวงจรซึ่งสำหรับวงจรคอนเวอร์เตอร์แบบเรโซแนนท์สวิตชิงขณะกระแสไฟฟ้าเป็นศูนย์กลางนี้จะมีการคำนวณออกแบบและการสร้างวงจรในหลายส่วนดังนั้นจึงแยกออกเป็นส่วนตัวได้ดังนี้

3.2 การออกแบบวงจร

ในการออกแบบจะนำค่าองค์ประกอบของวงจรบัคคอนเวอร์เตอร์มาทำการคำนวณเพื่อหาส่วนของชุดเรโซแนนท์สวิตชิงที่ทำให้กระแสเป็นศูนย์กลางโดยมีรายละเอียดของวงจรบัคคอนเวอร์เตอร์ดังนี้



รูปที่ 3.1 วงจรเรโซแนนท์คอนเวอร์เตอร์แบบสวิตชิงกระแสเป็นศูนย์กลาง

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)

$$Z_o = \frac{R_{Lmin}}{M_{max}} = \frac{5}{0.25} = 4\Omega$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานวิชาการ 0.25 นั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำนวณหาค่า α_{min}

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

$$= \pi + \sin^{-1} \left(\frac{(0.2)(1)}{(0.25)(5)} \right) = 3.302$$

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

$$\frac{100 \times (10^3)}{f_r} = \frac{2\pi(0.2)}{\left[\left(3.302 + \frac{(0.2)(0.1)}{2(0.25)(5)} \right) + \left(\frac{(0.25)(5)}{(0.2)(5)} \right) (1 - \cos(3.302)) \right]}$$

$$f_r = 1257420.818 \text{ Hz}$$

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

$$f_{s,max} = 318 \text{ kHz}$$

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

$$L_r = \left(\frac{Z_O}{2\pi f_r} \right) = \left(\frac{4}{(2\pi)(1257420.818 \text{ Hz})} \right) = 0.506 \mu\text{H}$$

$$C_r = \left(\frac{1}{2\pi f_r Z_O} \right) = \left(\frac{1}{(2\pi)(1257420.818 \text{ Hz})(4)} \right) = 0.032 \mu\text{F}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำนวณหาช่วงเวลาต่างๆ

ในวงจรเรโซแนนซ์ขณะกระแสเป็นศูนย์ (ZCS) เราจะทำให้กระแสไฟฟ้าขณะสวิตช์เป็นศูนย์ ดังนั้นเราจึงต้องคำนวณหาช่วงเวลาที่เหมาะสมขณะที่กระแสไฟฟ้าลดลงมาเป็นศูนย์ หากเราเลือกช่วงเวลาที่ไม่เหมาะสมจะทำให้เกิดการสูญเสียขณะสวิตช์ได้

จากสมการที่ (2.2)
$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{(L_r C_r)}} ; \quad L_r = 0.506 \mu\text{H} \quad C_r = 0.032 \mu\text{F}$$

$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{((0.506)(10^{-6})(0.032)(10^{-6}))}}$$

$$= (7.85)^6 \text{ rad/s}$$

จากสมการที่ (2.1)
$$Z_O = \sqrt{\frac{L_r}{C_r}} = \sqrt{\frac{(0.506)(10^{-6})}{(0.032)(10^{-6})}} = 4\Omega$$

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

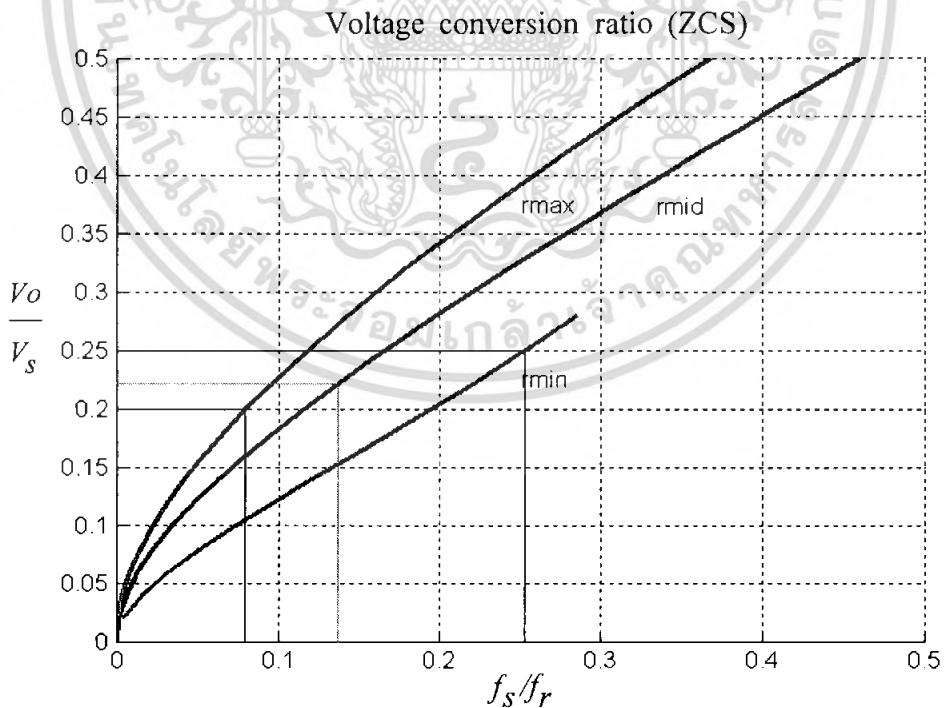
V_S	ช่วงเวลา	สูตรที่ใช้คำนวณ	$I_O = 1 \text{ A}$	$I_O = 3 \text{ A}$	$I_O = 5 \text{ A}$
25	f_s	$(2\pi M f_r) / \left[\alpha + \frac{r}{2M} + \frac{M}{r} (1 - \cos \alpha) \right]$	100.09 kHz	201.1 kHz	242.6 kHz
	t_{01}	$\frac{I_O L_r}{V_S}$	0.02 μs	0.06 μs	0.10 μs
	t_{12}	$\frac{1}{\omega_0} \left[\sin^{-1} \left(\frac{I_O Z_O}{V_S} \right) + \pi \right]$	0.420 μs	0.463 μs	0.52 μs
	t_{23}	$\frac{C_r V_S}{I_O} [1 - \cos \omega_0 (t_2 - t_1)]$	1.58 μs	0.501 μs	0.25 μs
	t_{34}	$T - t_{01} - t_{12} - t_{23}$	1.12 μs	4.95 μs	3.76 μs
	T	$1 / f_s$	10.10 μs	4.12 μs	4.97 μs
	t_{02}	$t_{01} + t_{12}$	0.44 μs	0.52 μs	0.62 μs

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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	f_s	$(2\pi M f_r) / \left[\left(\alpha + \frac{r}{2M} + \frac{M}{r} (1 - \cos \alpha) \right) \right]$	146.7 kHz	276.7 kHz	318 kHz
	t_{01}	$\frac{I_O L_r}{V_S}$	0.025 μs	0.07 μs	0.12 μs
	t_{12}	$\frac{1}{\omega_0} \left[\sin^{-1} \left(\frac{I_O Z_O}{V_S} \right) + \pi \right]$	0.425 μs	0.48 μs	0.58 μs
	t_{23}	$\frac{C_r V_S}{I_O} [1 - \cos \omega_0 (t_2 - t_1)]$	1.623 μs	0.38 μs	0.14 μs
	t_{34}	$T - t_{01} - t_{12} - t_{23}$	7.63 μs	3.44 μs	2.59 μs
	T	$1/f_s$	6.820 μs	3.61 μs	3.16 μs
	t_{02}	$t_{01} + t_{12}$	0.451 μs	0.56 μs	0.71 μs

นำค่าที่จากการคำนวณมาเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่าง V_O/V_S และ f_s/f_r

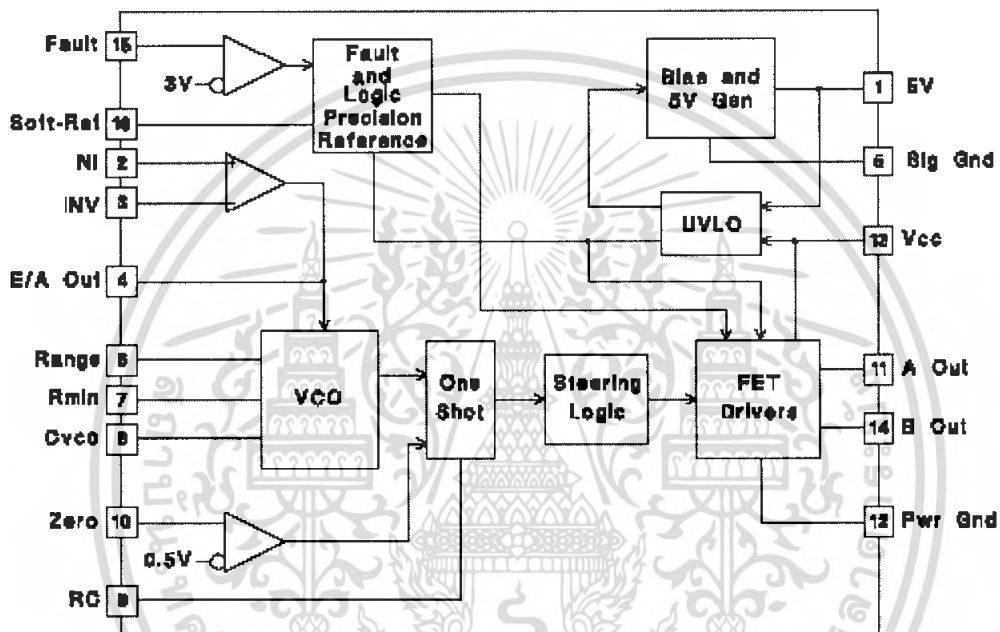


รูปที่ 3.2 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้ากับความถี่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 การออกแบบตัวควบคุมและวงจรขับเคลื่อนของมอเตอร์กำลัง

วงจรคอนเวอร์เตอร์แบบเรโซแนนซ์สวิตช์ซึ่งขณะกระแสไฟฟ้าเป็นศูนย์คือช่วงเวลาของการทำงานของวงจรสวิตช์จะทำงานในช่วงเวลาการทำงาน t_{on} ซึ่งจากที่ได้ออกแบบไว้คือจะกำหนดให้ t_{on} คงที่ โดยทำการแปลค่าความถี่เพื่อรักษาแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุต จึงเลือกใช้ตัวควบคุม UC2866 สามารถควบคุมวงจรรีโซแนนซ์คอนเวอร์เตอร์ ZCSสามารถกำหนดช่วงเวลาการทำงาน t_{on} โดยโครงสร้างการทำงานของตัวควบคุม UC2866 จะประกอบไปด้วย



รูปที่ 3.3 โครงสร้างการทำงานของตัวควบคุม

3.3.1 Error amplifier(E/A)

ฟังก์ชันของ Error Amplifier(E/A)ที่ใช้ในการควบคุมระบบเพื่อรักษาระดับแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุต ซึ่งแตกต่างจากการทำงานของ IC PWMทั่วไปตรงที่ผลต่างของแรงดันไฟฟ้าที่ได้นั้นแทนที่จะไปปรับความกว้างของพัลส์เพื่อรักษาระดับแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุตแต่จะไปปรับความถี่ของพัลส์แทน

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

3.3.2 Voltage Controlled Oscillator(VCO)

ฟังก์ชัน Voltage Controlled Oscillator(VCO)ทำหน้าที่ผลิตความถี่ตามที่ต้องการโดยค่าความถี่ที่ผลิตได้จะเปลี่ยนแปลงแรงดันไฟฟ้าที่ป้อนเข้ามาควบคุม โดยแรงดันไฟฟ้าที่ใช้ในการควบคุมความถี่จะมาจากการเปรียบเทียบความถี่ที่ต้องการกับฐานอ้างอิงโดยสัมพันธ์กับฟังก์ชันของ Error Amplifier(E/A)ซึ่งเอาต์พุตของ (E/A)ไปควบคุมแรงดันไฟฟ้า(VCO)ผ่านกระแสไฟฟ้า I_{range} โดยแรงดันไฟฟ้า(VCO)มีอินพุตจากความต้านทาน 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 ถูกนำมาใช้เพื่อกำหนดความกว้างของพัลส์สูงสุดโดยขา RC โดยสัญญาณพัลส์จาก One shot จะถูกนำมาปรับความกว้างของพัลส์อีกครั้งโดยเปรียบเทียบกับสัญญาณจากฟังก์ชัน Zero detection comparator (สัญญาณจากกระแสไฟฟ้าของตัวเหนี่ยวนำ L_r และแรงดันไฟฟ้าตัวเก็บประจุ C_r) ซึ่งฟังก์ชันสามารถที่จะทำให้การสวิตช์ที่กระแสไฟฟ้าเป็นศูนย์หรือแรงดันไฟฟ้าเป็นศูนย์จริงๆง่ายขึ้นตลอดด้วย line load และ temperature ที่มีการเปลี่ยนแปลงได้ และยังเหมาะสมกับอุปกรณ์เรโซแนนซ์ที่มีการแปรผันได้และ ความกว้างของพัลส์สามารถได้จากสมการ

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

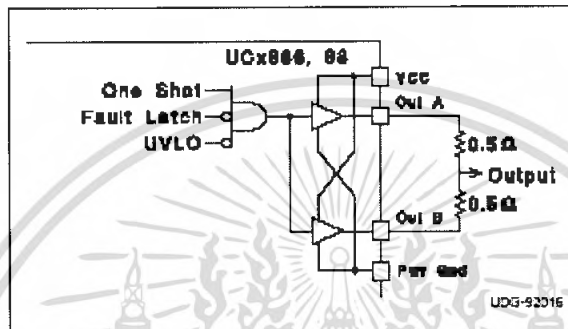
$$T_{min} = 0.3 T_{max} \quad (3.4)$$

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 ภายในของตัวไอซีทำงานได้โดยที่ตัว

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 โดยตัวเก็บประจุ นี้ควรมีค่าESR และ ESL ต่ำSolf-Ref Pin จะบริการ 3 ฟังก์ชัน ได้แก่ System Reference, Restart Delay Soft-Start โดย Solf-Ref pin นี้ควรใช้เป็น Input Referent ให้กับE/A จำทำให้ลด Overshoot ได้ในการ Control ZCS,ZVS สำหรับ Pin นี้ใช้ Bypass Capacitor อย่างน้อย 0.1 μF ซึ่งจะทำได้ เวลาในการเกิด Soft Start ที่ ms

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

สูตรที่ใช้คือ

$$T_{soft\ start} = C_{sr} \times 10\text{k}\Omega \quad (3.5)$$

$$T_{restart} = C_{sr} \times \quad (3.6)$$

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

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.7 การออกแบบตัวควบคุม

จากที่ได้คำนวณออกแบบช่วงเวลาการทำงานของวงจรถอนเวอร์เตอร์แบบเรโซแนนท์ สวิตซ์ซึ่งขณะกระแสไฟฟ้าเป็นศูนย์โดยให้ค่าช่วงเวลาการทำงานของ $t_{on}=0.7\ \mu\text{s}$ และความถี่ต่ำสุด $f_{s,min}=100\ \text{kHz}$ ความถี่สูงสุด $f_{s,max}=318\ \text{kHz}$ สามารถคำนวณได้ดังนี้ จากสมการที่(3.4)ของ One shot ต้องการความกว้างของพัลส์ $t_{on}=0.7\ \mu\text{s}$

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

$$0.7\ \mu\text{s} = 0.3 T_{max}$$

$$T_{max} = \frac{0.7\ \mu\text{s}}{0.3} = 2.333\ \mu\text{s}$$

จากสมการที่(3.3)เลือกค่าตัวเก็บประจุ $C = 440\ \text{pF}$ ดังนั้น

$$T_{max} = RC$$

$$R = \frac{2.33 \times 10^{-6}}{440 \times 10^{-12}} = 5.3\ \text{k}\Omega$$

จากสมการ Voltage Controlled Oscillator(VCO)ความถี่ของพัลส์ สูงสุด-ต่ำสุดสามารถกำหนดผ่านฟังก์ชัน โดยที่ความถี่ต่ำสุด $f_{s,min}=100\ \text{kHz}$ ความถี่สูงสุด $f_{s,max}=318\ \text{kHz}$ สามารถคำนวณได้สมการที่(3.1)จะได้

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

ที่ความถี่ต่ำสุด $f_{s,min}=100\ \text{kHz}$ กำหนดให้ $R_{min} = 100\ \text{k}\Omega$ จะได้

$$C_{vco} = \frac{3.6}{100 \times 10^3 \times 100 \times 10^3} = 360\ \text{pF}$$

จากสมการที่(3.2)ที่ความถี่สูงสุด $F_{vco_{max}} = 318 \text{ kHz}$ กำหนดให้ R_{range} จะได้

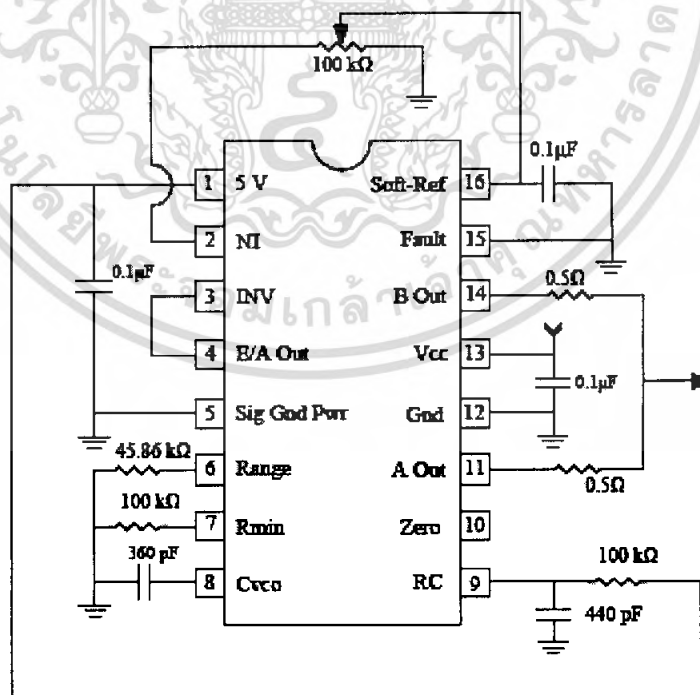
$$F_{vco_{max}} = \frac{3.6}{(R_{min} // R_{range}) C_{vco}}$$

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

$$(100 \times 10^3 // R_{range}) = \frac{3.6}{360 \times 10^{-12} \times 318 \times 10^3}$$

$$R_{range} = 45.87 \text{ k}\Omega$$

จากนั้นจะได้ชุดควบคุมที่ทำงานในช่วงเวลา $t_{on} = 0.7 \mu\text{s}$ และสามารถผลิตความถี่ 100kHz - 318kHz นำไปควบคุมการทำงานของสวิตช์วงจรคอนเวอร์เตอร์แบบเรโซแนนซ์สวิตชิ่งขณะกระแสไฟฟ้าเป็นศูนย์ ดังแสดงในรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.5 แสดงการต่อวงจรควบคุม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4 การออกแบบสร้างวงจรขับเคลื่อนของมอเตอร์กำลัง

ในการขับเคลื่อนของมอเตอร์กำลัง สำหรับวงจรคอนเวอร์เตอร์แบบโรโชนั้นซึ่งขณะกระแสไฟฟ้าเป็นศูนย์ จำเป็นต้องสร้างวงจรขับเคลื่อนที่มีการแยกกันทางไฟฟ้าระหว่างวงจรควบคุมกับวงจรกำลัง โดยใช้วงจรขับเคลื่อนที่เลือกเป็นแบบใช้หม้อแปลงไฟฟ้า

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

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

โดยที่

N_P คือ จำนวนรอบของขดลวดปฐมภูมิของหม้อแปลงไฟฟ้า

$V_{pir'pk}$ 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 ต้องเลือกค่าที่ทำให้ความถี่โรโชนั้นแบบอนุกรม เนื่องจากตัวเก็บประจุไฟฟ้า C_p และ

ตัวเหนี่ยวนำทางด้านปฐมภูมิของหม้อแปลงไฟฟ้า L_p น้อยกว่าความถี่ในการสวิตช์อย่างเพียงพอ เมื่อเลือกความถี่เรโซแนนซ์เป็น 0.1 เท่าของความถี่ในการสวิตช์ค่าความจุไฟฟ้าของตัวเก็บประจุไฟฟ้า C_p

$$C_p = \frac{100}{4\pi^2 f^2 L_p} \quad (3.10)$$

โดยที่

C_p คือ ความจุไฟฟ้าของตัวเก็บประจุไฟฟ้า

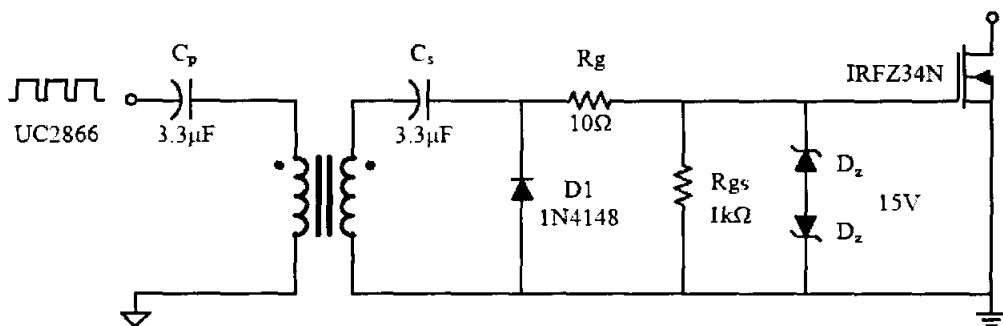
L_p คือ ความเหนี่ยวนำของตัวเหนี่ยวนำ

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

$$C_s \geq \frac{10T_s}{R_g + R_{gs}} \quad (3.11)$$

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 ต่อแบบอานโตร่วมเพื่อจำกัดขนาดของแรงดันสไปก์ (spike) ที่ตกคร่อมเกต-ซอร์สไม่ให้เกินพิกัดแรงดันเกต-ซอร์สของมอสเฟตกำลัง

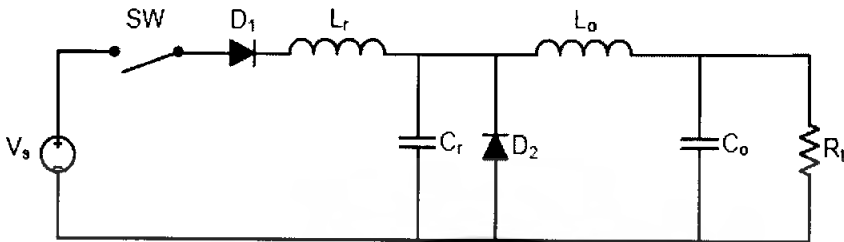


รูปที่ 3.6 วงจรจับเกตของมอสเฟตกำลัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5 การออกแบบสร้างวงจรภาคกำลัง

สำหรับวงจรภาคกำลังอุปกรณ์จะประกอบไปด้วย มอสเฟสกำลัง (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 วงจรภาคกำลังของวงจรคอนเวอร์เตอร์แบบเรโซแนนท์สวิตชิงขณะกระแสเป็นศูนย์

3.5.1 การเลือกใช้มอสเฟสกำลังและไดโอดกำลัง

ในการจะเลือกใช้มอสเฟสกำลังและไดโอดกำลังว่าจะใช้เบอร์อะไรจะต้องทราบค่าพารามิเตอร์ของตัวอุปกรณ์ก่อนว่ามีการทำงานอย่างไร และสามารถทนแรงดันไฟฟ้าเฉลี่ยเท่าไรและจะต้องเลือกให้ค่ามันสูงกว่าค่าที่ได้ออกแบบไว้

ค่าแรงดันเดรน-ซอร์สสูงสุดของมอสเฟสกำลังและค่าแรงดันย้อนกลับสูงสุดของไดโอดกำลังมีค่าเท่ากับแรงดันอินพุตสูงสุด คือ 25 V ค่ากระแสเดรนเฉลี่ยของมอสเฟสกำลังและค่ากระแสไปหน้าเฉลี่ยของไดโอดกำลังคำนวณได้จากสมการที่ (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 ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยที่

$I_{d,av}$ คือ กระแสเดรนเฉลี่ยของมอสเฟตกำลัง

$I_{f,av}$ คือ กระแสไปหน้าเฉลี่ยของไดโอดกำลัง

$I_{L,min}$ คือ กระแสต่ำสุดของตัวเหนี่ยวนำ

D_{max} คือ ดิวตี้ไซเคิลสูงสุด

จากข้อกำหนดในการออกแบบตัวเหนี่ยวนำ L จะได้ $I_{L,min} = 4.75$ 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 STH3003CW ซึ่งมีพิกัดแรงดันสูงสุด 300 V และกระแสไปหน้าเฉลี่ย 30 A

3.6 การออกแบบตัวเหนี่ยวนำด้วยวิธีผลคูณพื้นที่สำหรับแกนเฟอร์ไรต์

สำหรับการออกแบบตัวเหนี่ยวนำ L จะต้องคำนึงถึงกระแสไหลด้วย เส้นแรงแม่เหล็กในแกนแม่เหล็กจะขึ้นอยู่กับกระแสไหล เมื่อกระแสไหลที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำมีค่าเพิ่มขึ้นก็อาจจะมีผลทำให้แกนแม่เหล็กเกิดการอิ่มตัวได้ และเมื่อแกนแม่เหล็กเกิดการอิ่มตัวก็ทำให้ค่าความเหนี่ยวนำในแกนแม่เหล็กมีค่าลดลง ดังนั้นในการออกแบบตัวเหนี่ยวนำจำเป็นจะต้องระบุค่ากระแสสูงสุดเพื่อสามารถทำการออกแบบเลือกแกนแม่เหล็กที่จะไม่เกิดการอิ่มตัวได้และด้วยสาเหตุดังกล่าวทำให้ในกรณีที่กระแสไหลมีค่าสูงๆขนาดของแกนแม่เหล็กก็จะมีขนาดใหญ่มากขึ้นด้วย ขนาดของแกนแม่เหล็กสามารถมีขนาดลดลงได้ด้วยการเพิ่มช่องอากาศ (air gap) ที่เหมาะสมในแกนแม่เหล็ก

3.6.1 ขั้นตอนในการออกแบบตัวเหนี่ยวนำ

1) กำหนดหาค่าความเหนี่ยวนำ

ค่าความเหนี่ยวนำที่ใช้ในการคำนวณจะได้จากตัวเหนี่ยวนำที่ได้ออกแบบไว้ในหัวข้อที่ผ่านมาซึ่งจะมีตัวเหนี่ยวนำสองตัวคือในส่วนของตัวเหนี่ยวนำเรโซแนนท์ (L_r) และตัวเหนี่ยวนำของบัค (L_o) ซึ่งเป็นตัวเหนี่ยวนำเอาต์พุต ค่าของตัวเหนี่ยวนำทั้งสองมีค่าดังนี้

$$L_r = 0.506 \mu\text{H}$$

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

2) ผลคูณพื้นที่ (A_p)

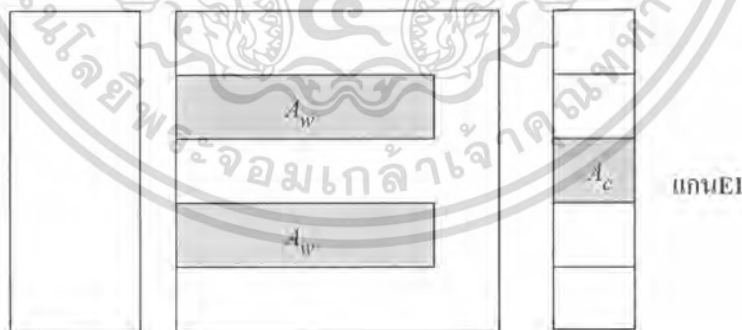
โดยทั่วไปแล้วในการออกแบบตัวเหนี่ยวนำจะนิยมใช้วิธีผลคูณพื้นที่ (Area product) นิยามได้ด้วยสมการ

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

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 ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

K_w คือ ค่าตัวประกอบการใช้ประโยชน์พื้นที่ที่ใช้บรรจุขดลวด

K_C คือ อัตราส่วนระหว่างกระแสสูงสุดกับกระแสอาร์เอ็มเอสของตัวเหนี่ยวนำ (crest factor)

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

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

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

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

$$L I_m = N A_C B_m \quad (3.18)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แทนค่าสมการที่ (3.18) ลงในสมการที่ (3.15) จะได้

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

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

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

4) ขนาดของขดลวดตัวนำ

พื้นที่หน้าตัดของขดลวดตัวนำสามารถคำนวณหาได้จากสมการ

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

โดยที่

J คือ ความหนาแน่นกระแสในเส้นลวดทองแดง

I คือ กระแสไหล

สำหรับขดลวดตัวนำจะต้องทำการเลือกโดยให้พื้นที่หน้าตัด (a) ที่แสดงในภาคผนวก ค 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

$$L_r = 0.506 \mu\text{H}$$

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

ในการคำนวณจะใช้สมการที่ได้กล่าวไว้ในข้างต้น ถ้าดับขั้นตอนในการคำนวณมีดังนี้โดยกำหนดให้ค่าระลอกคลื่นของกระแสในตัวเหนี่ยวนำ $\Delta I = 10\%$ 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 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

$$A_p = A_w A_c = \frac{2E}{K_w K_c J B_m}$$

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

เลือกขนาดแกนแม่เหล็กจากภาคผนวก ข 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

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

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

ตรวจสอบ

การตรวจสอบสามารถทำได้โดยการแทนค่าพื้นที่หน้าตัด จำนวนรอบค่า A_w ของแกนแม่เหล็กที่เลือกใช้ จริงลงในสมการ

$$A_w K_w > a.N$$

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

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

จะเห็นได้ว่าเป็นไปตามเงื่อนไข 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

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

ในส่วนของตัวเหนี่ยวนำเรโซแนนซ์นั้นการออกแบบก็จะเหมือนกับตัวเหนี่ยวนำทางด้านเอาต์พุตซึ่งมีลำดับขั้นตอนดังต่อไปนี้

วิธีการคำนวณ

ตัวเหนี่ยวนำที่ใช้ในการคำนวณ

$$L_p = 0.506 \text{ } \mu\text{H} : \text{ ตัวเหนี่ยวนำเรโซแนนซ์}$$

คำนวณหาผลคูณพื้นที่ (A_p)

เริ่มจากการคำนวณพลังงานสะสมจากสมการที่ (3.15)

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีกรนำไปใช้

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

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

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

เลือกขนาดแกนแม่เหล็กจากภาคผนวก ข 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 (ให้เลือกจำนวนเต็มโดยการปัดเศษขึ้น)

คำนวณหาขนาดของขดลวดตัวนำ

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

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

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

ตรวจสอบ

การตรวจสอบสามารถทำได้โดยการแทนค่าพื้นที่หน้าตัด จำนวนรอบค่า A_w ของแกนแม่เหล็กที่เลือกใช้ จริงลงในสมการ

$$A_w K_w > a.N$$

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

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

จะเห็นได้ว่าเป็นไปตามเงื่อนไข ซึ่งหมายถึงสามารถพันขดลวดลงพื้นที่หน้าต่าง (window area) ของแกนแม่เหล็กที่เลือกไว้ได้พอดี

ช่องอากาศ

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

แทนค่าพารามิเตอร์ต่างๆได้

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

3.8 การเลือกใช้ตัวเก็บประจุ

ตัวเก็บประจุที่ใช้ในวงจรเรโซแนนท์คอนเวอร์เตอร์สวิตซ์ซึ่งขณะกระแสเป็นศูนย์ ที่ได้ ออกแบบไว้ในบทที่ผ่านมามีอยู่ด้วยกันสองตัวคือ ตัวที่เป็นตัวเก็บประจุเรโซแนนท์ ($C_r = 0.032 \mu\text{F}$) และตัวเก็บประจุที่อยู่ในส่วนของวงจรบัสหรือตัวเก็บประจุเอาต์พุต ($C_o = 200 \mu\text{F}$) ในการเลือกใช้ตัวเก็บประจุ (C_r) พิจารณาจากสมการที่ (2.8)

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

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

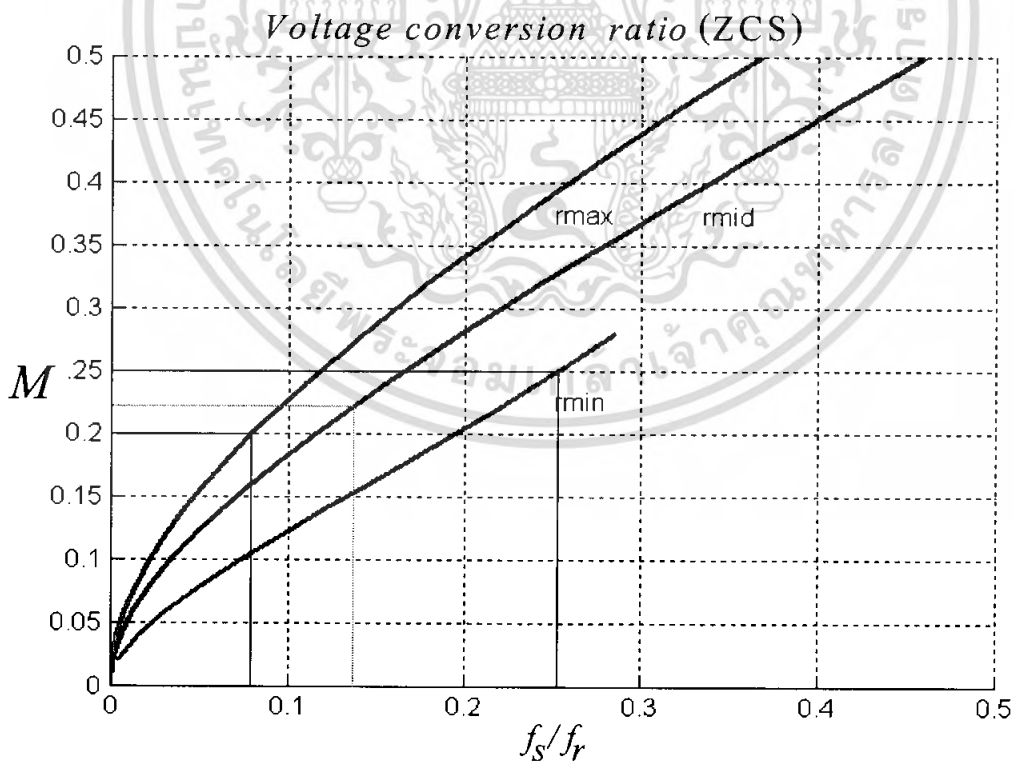
การทดลองและผลการทดลอง

4.1 บทนำ

วงจร ZCS Quasi-Resonant Buck Converter ดันแบบที่ได้ออกแบบไว้ในบทที่ผ่านมาได้นำมาทดลองเพื่อทดสอบความสามารถในการรักษาระดับแรงดันเอาต์พุตและค่าที่ได้จากการทดลองจะนำมาเปรียบเทียบกับผลที่ได้จากการจำลองแบบว่าผลที่ได้จะสอดคล้องกันหรือไม่โดยมีลำดับขั้นตอนดังต่อไปนี้

4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันกับความถี่ด้วยโปรแกรม Matlab

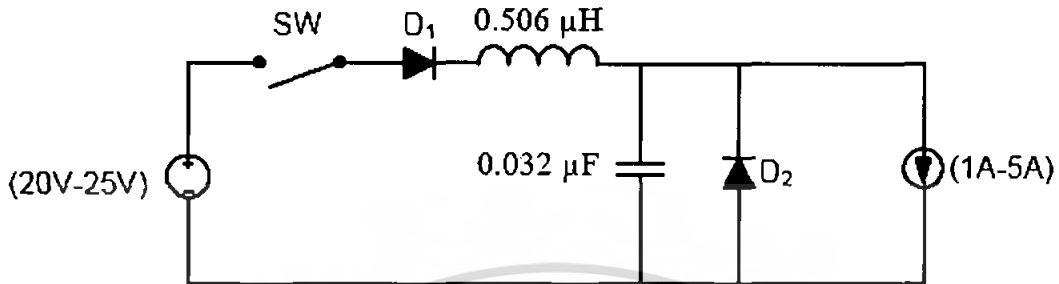
จากความสัมพันธ์ระหว่าง V_o/V_s และ f_s/f_r ซึ่งจากที่ได้ออกแบบไว้คือรักษาแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุตให้คงที่โดยทำการแปลค่าความถี่ ตามที่ได้ออกแบบไว้ที่ความถี่สูงสุด $f_{s,max} = 318 \text{ kHz}$, $R_{Lmin} = 1 \Omega$ และ $V_{s,min} = 20 \text{ V}$ ในกรณีที่ความถี่ต่ำ $f_{s,min} = 100 \text{ kHz}$, $R_{Lmax} = 5 \Omega$ และ $V_{s,max} = 25 \text{ V}$ แสดงได้ดังรูปที่ (4.1)



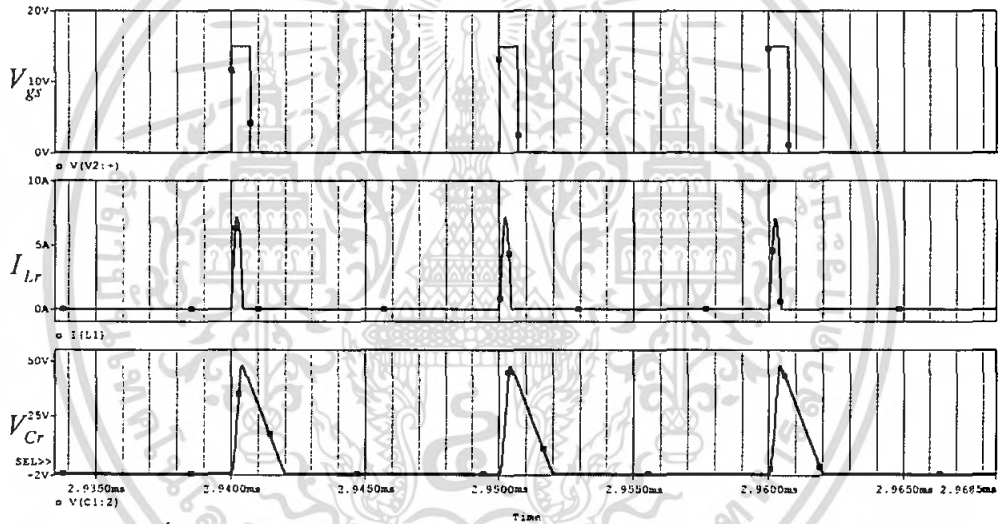
รูปที่ 4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุตกับความถี่

4.3 ผลของการจำลองแบบวงจรเรโซแนนซ์คอนเวอร์เตอร์ (ZCS)

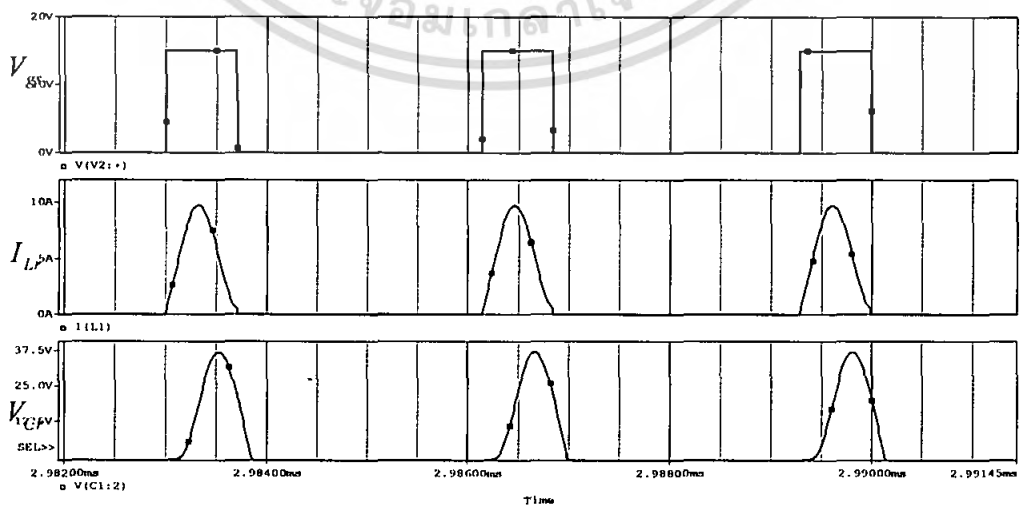
การจำลองการทำงานวงจรเรโซแนนซ์คอนเวอร์เตอร์(ZCS)ตัวเหนี่ยวนำ L_o เราจะมองให้มีความถี่ซึ่งมีการทำงานเสมือนมีแหล่งจ่ายกระแสไฟฟ้า(Current Source) โดยใช้โปรแกรม Pspice ผลที่ได้แสดงดังรูปที่ (4.2)



รูปที่ 4.2 วงจรสมมูลที่เสมือนมีแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงที่ไหลลด



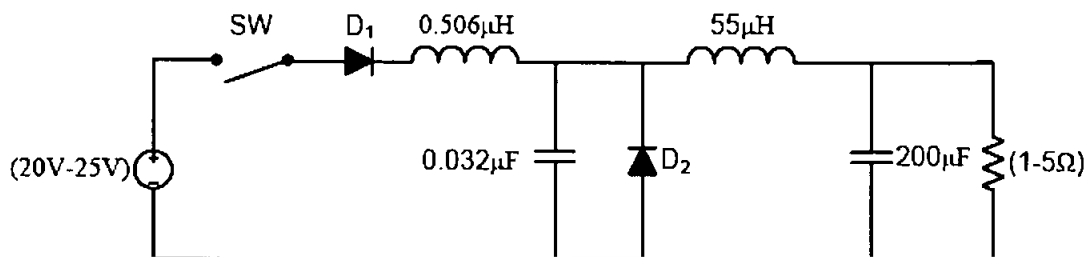
รูปที่ 4.3 ผลการจำลองที่ $f_{s,min} = 100 \text{ kHz}$ $V_s = 25 \text{ V}$ $I_o = 1 \text{ A}$



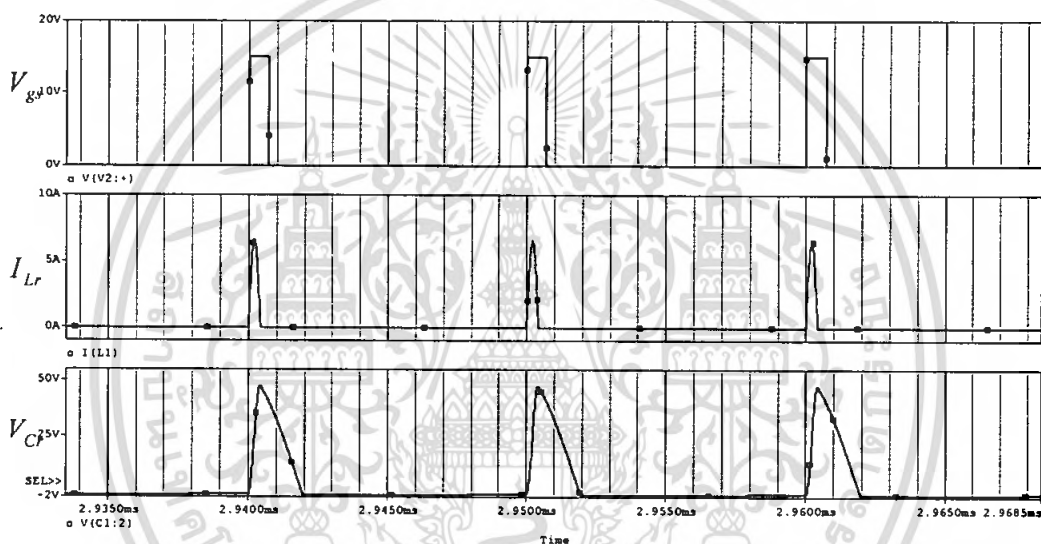
รูปที่ 4.4 ผลการจำลองแบบที่ $f_{s,max} = 318 \text{ kHz}$ $V_s = 20 \text{ V}$ $I_o = 5 \text{ A}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

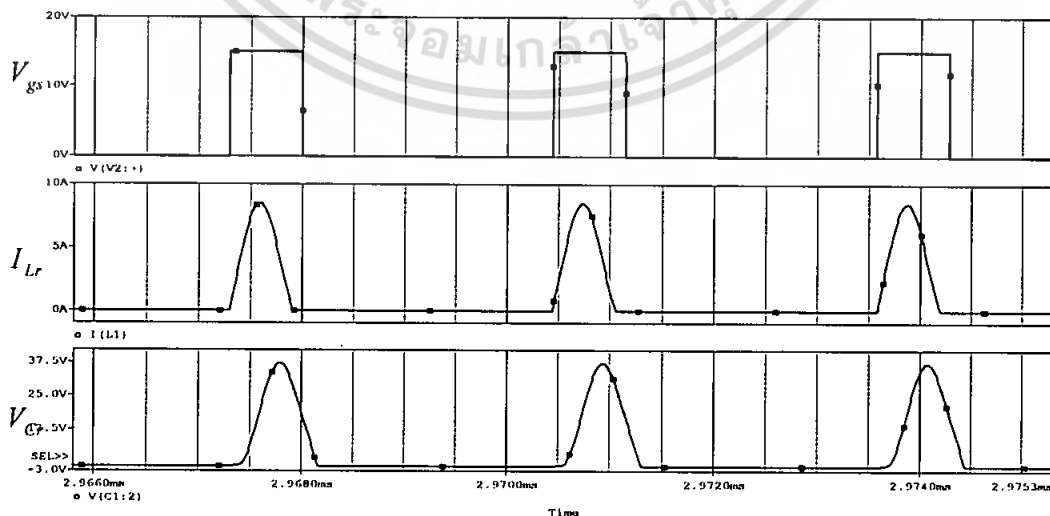
ในการจำลองการทำงานวงจรโซ่แรงดันคอนเวอร์เตอร์ (ZCS) ที่ประกอบวงจรบัสคอนเวอร์เตอร์ โดยใช้โปรแกรม Pspice แสดงค่าของ V_{gs} ที่ใช้ขับสวิตช์ ค่ากระแส i_{Lr} และแรงดันตกคร่อม V_{Cr}



รูปที่ 4.5 วงจรที่ได้จากการออกแบบ



รูปที่ 4.6 ผลการจำลองแบบที่ $f_{s,min} = 100\text{kHz}$ $V_S = 25\text{V}$ $I_O = 1\text{A}$



รูปที่ 4.7 ผลการจำลองแบบที่ $f_{s,max} = 318\text{kHz}$ $V_S = 20\text{V}$ $I_O = 5\text{A}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการจำลองแบบการทำงานด้วยโปรแกรม Pspice ของวงจร โชนันท์คอนเวอร์เตอร์ทั้งสองกรณีสามารถนำผลที่ได้มาแสดงเปรียบเทียบในตาราง

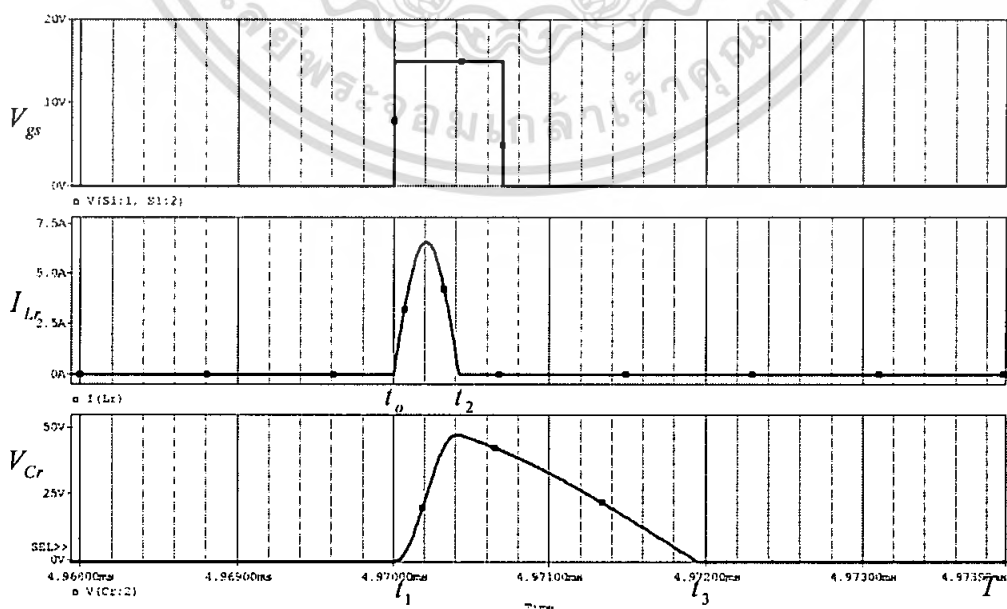
ตารางที่ 4.1 ผลของกระแสไฟฟ้าที่ ตัวเหนี่ยวนำ L_r กับแรงดันไฟฟ้าที่ ตัวเก็บประจุ C_r

ความถี่(Hz)	(ZCS) BUCK CONVERTER		สมมุติให้เป็นแหล่งจ่ายกระแสตรง	
	i_{Lr} (A)	V_{Cr} (V)	i_{Lr} (A)	V_{Cr} (V)
100kHz	6.566	47.52	7.10	47.75
318kHz	8.50	37.08	9.755	37.06

ตารางที่ 4.2 ผลของแรงดันเอาต์พุตและความถี่เมื่อ โหลดเปลี่ยนแปลง

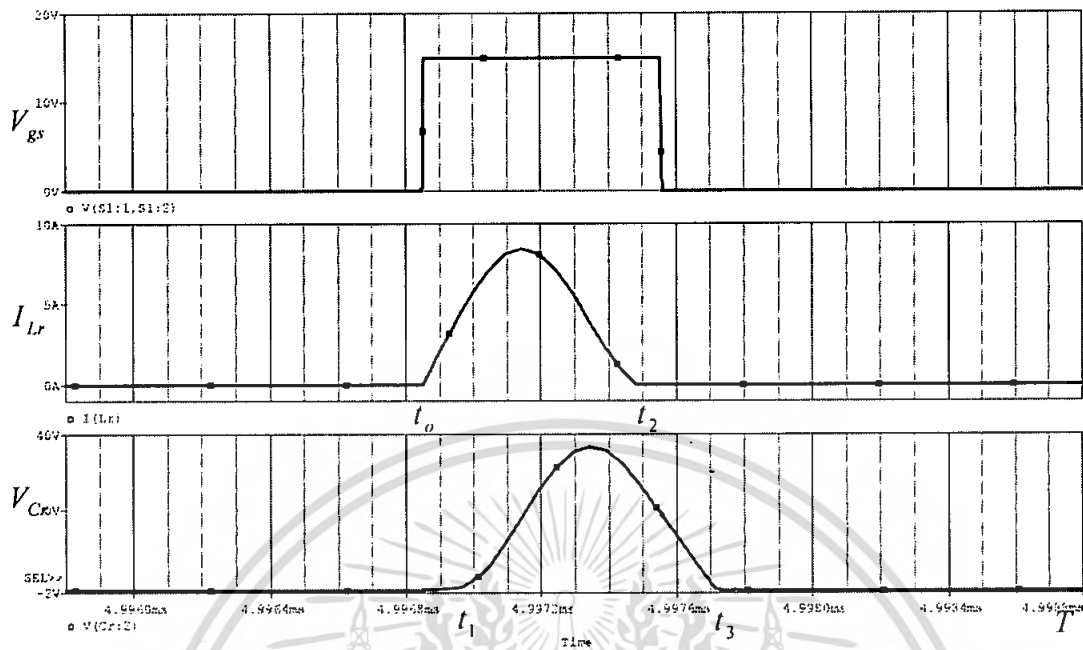
โหลด	$V_i = 20$ V		$V_i = 25$ V	
	V_o (V)	ความถี่(kHz)	V_o (V)	ความถี่(kHz)
1A	5	186	5	130
2A	5	286	5	204
3A	5	347	5	255
4A	5	384	5	289
5A	5	397	5	290

ผลที่ได้จากตารางที่ 4.2 ได้จากการจำลองแบบวงจรและทำการปรับเปลี่ยนความถี่จนได้ $V_o = 5$ V และบันทึกค่าความถี่เพื่อที่จะนำไปเปรียบเทียบกับผลการทดลอง



รูปที่ 4.8 แสดงช่วงเวลาการทำงานของวงจรที่ $f_{s,min} = 100$ kHz $V_s = 25$ V $I_o = 1$ A

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ทำซ้ำโดยไม่ขออนุญาตจากเจ้าของลิขสิทธิ์
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.9 แสดงช่วงเวลางานของวงจรที่ $f_{s,max} = 318\text{kHz}$ $V_s = 20\text{V}$ $I_o = 5\text{A}$

ตารางที่ 4.3 การทำงานของวงจรในช่วงเวลาต่างๆ

การทำงาน	ช่วงเวลางานของวงจร			
	$t_0 - t_1$	$t_1 - t_2$	$t_2 - t_3$	$t_3 - T$
20 V, 5A	0.125 μs	0.628 μs	0.243 μs	2.148 μs
25 V, 1A	0.021 μs	0.428 μs	1.135 μs	5.801 μs

จากผลการซิมูเลชันจะเห็นได้ว่ากระแสที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำ L_r มีค่าเป็นศูนย์ ทั้งขณะสวิตช์นำกระแสและขณะสวิตช์ไม่นำกระแส นั่นคือไม่เกิดการสูญเสียขณะสวิตช์ ซึ่งโดยที่ในแต่ละกรณีที่ทำการซิมูเลชันต่างให้แรงดันเอาต์พุตออกมาเท่ากับ 5 V ตามเงื่อนไขที่ตั้งไว้ทุกกรณี

4.4 การทดลองและผลการทดลองวงจรต้นแบบ

ในการทดลองวงจรคอนเวอร์เตอร์แบบเรโซแนนท์สวิตชิงขณะกระแสไฟฟ้าเป็นศูนย์ที่ยังไม่มีการชดเชย(Open loop)พร้อมกับวงจรคอนเวอร์เตอร์แบบเรโซแนนท์สวิตชิงขณะกระแสไฟฟ้าเป็นศูนย์ที่มีชดเชยที่ได้ออกแบบในบทที่ผ่านมา มาทดลองเพื่อทดสอบความสามารถในการตอบสนองของแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุตและประสิทธิภาพของวงจรซึ่งในบทนี้จะรวมถึงวิธีการทดลองและผลการทดลองโดยอุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ได้แก่

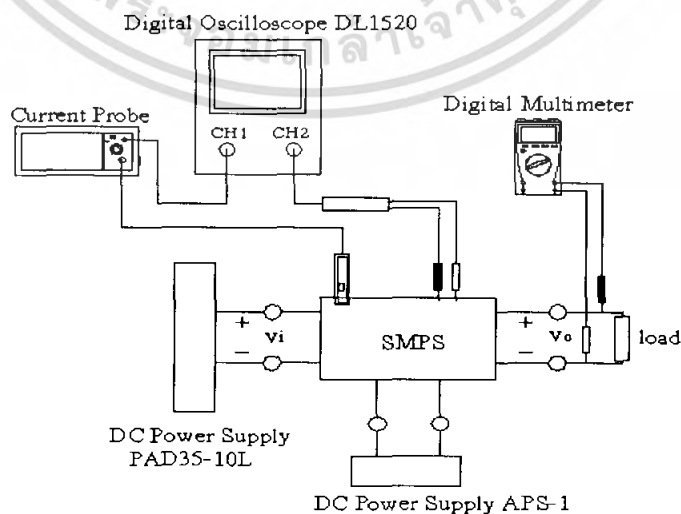
1. DC Power Supply ของ Kikusui รุ่น PAD35-10L จำนวน 1 เครื่อง
2. DC Power Supply ของ Analab รุ่น APS-1 จำนวน 1 เครื่อง
3. Digital Oscilloscope ของ Yokogawa รุ่น DL1520 จำนวน 1 เครื่อง
4. Digital Multimeter ของ Tektronix รุ่น DMM254 จำนวน 1 เครื่อง

4.4.1 การทดลองวงจรคอนเวอร์เตอร์แบบเรโซแนนท์สวิตชิงขณะกระแสไฟฟ้าเป็นศูนย์แบบวงเปิด

4.4.1.1 การทดสอบการรักษาระดับแรงดันเอาต์พุต

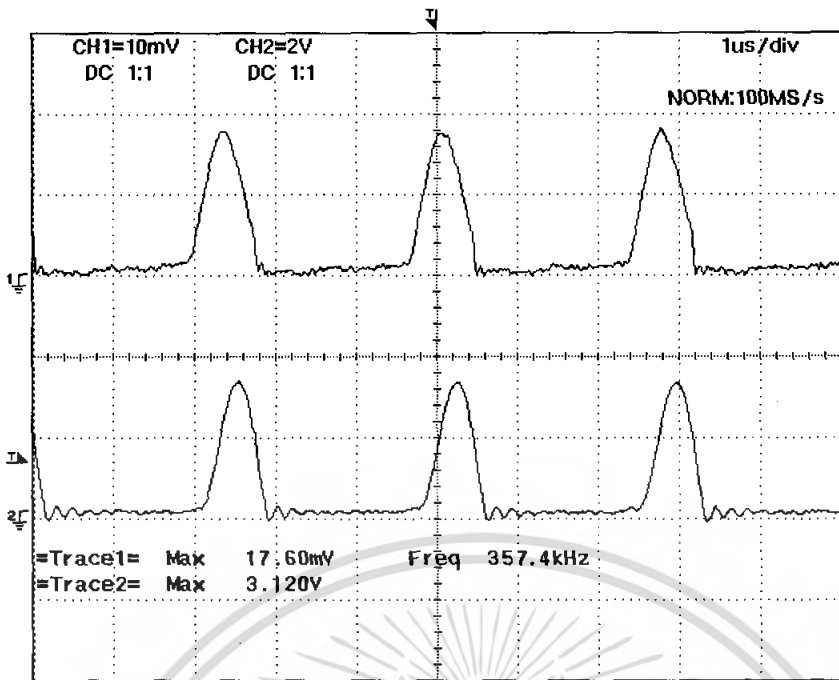
วิธีการทดลอง

1. จัดชุดทดลองดังรูปที่ (4.10)
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 4.10 การจัดชุดทดลองสำหรับทดสอบการรักษาระดับแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุต

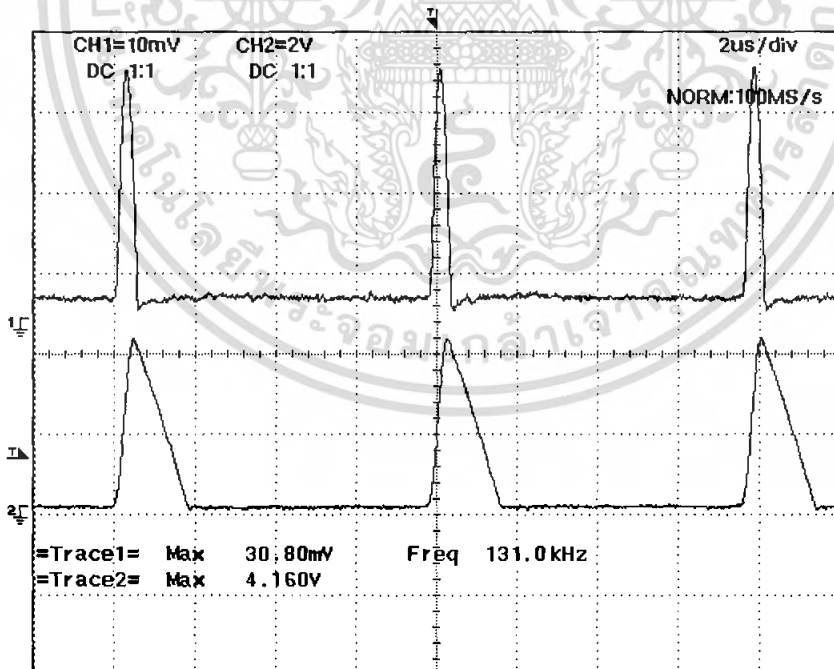
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ผู้ใช้และผู้จัดทำเอกสารขอสงวนสิทธิ์ในข้อความการคัดลอกโดยไม่ได้รับอนุญาต หากมีข้อผิดพลาดประการใด ขออภัยเป็นอย่างสูง และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.11 ที่แรงดันอินพุต 20 V กระแสโหลด 5A

ช่องสัญญาณที่ 1 ค่าของกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำ (L_r)

ช่องสัญญาณที่ 2 ค่าของแรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อมตัวเก็บประจุ (C_r)



รูปที่ 4.12 ที่แรงดันอินพุต 25 V กระแสโหลด 1A

ช่องสัญญาณที่ 1 ค่าของกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำ (L_r)

ช่องสัญญาณที่ 2 ค่าของแรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อมตัวเก็บประจุ (C_r)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.4 ผลการวัดค่าของแรงดันเอาต์พุตและความถี่เมื่อ โหลดเปลี่ยนแปลงแบบวงเปิด

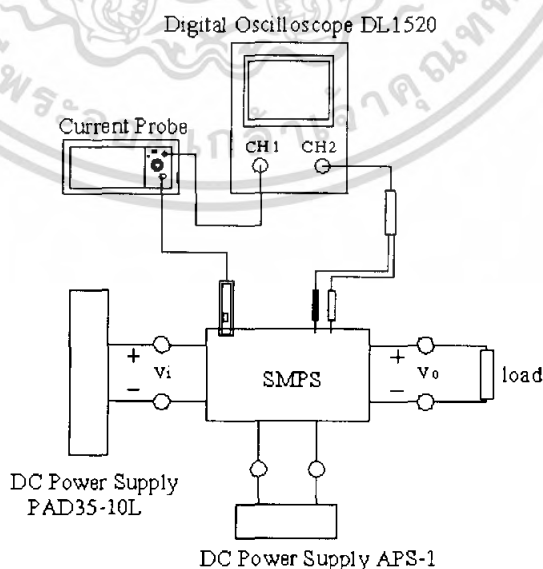
โหลด	$V_i = 20 \text{ V}$		$V_i = 25 \text{ V}$	
	$V_o \text{ (V)}$	ความถี่(kHz)	$V_o \text{ (V)}$	ความถี่(kHz)
1A	5	183	5	131
2A	5	286	5	200
3A	5	312	5	238
4A	5	332	5	250
5A	5	357	5	271

ผลการทดลองจากตารางที่ 4.4 เมื่อเปรียบเทียบกับผลขิมมูลักษณ์จากตารางที่ 4.2 จะเห็นได้ว่าผลที่ได้มีค่าใกล้เคียงกันซึ่งสามารถยืนยันได้ว่าวงจรทำงานได้ตามที่เราออกแบบไว้

4.4.1.2 การตรวจสอบช่วงเวลาการทำงานของวงจร

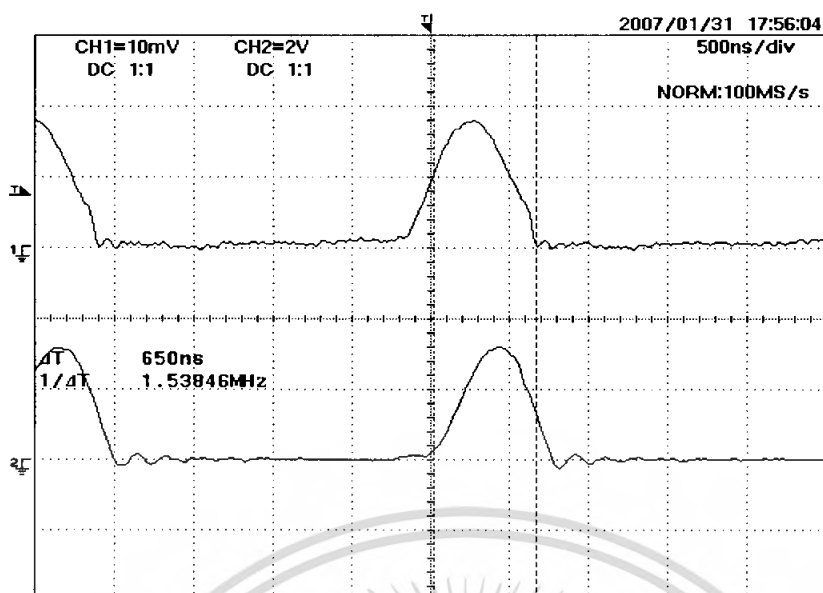
วิธีการทดลอง

1. จัดชุดทดลองดังรูปที่ (4.13)
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. บันทึกค่าช่วงเวลาต่างๆที่แรงดันไฟฟ้าอินพุต $V_S=20\text{V}$ และ $V_S=25\text{V}$

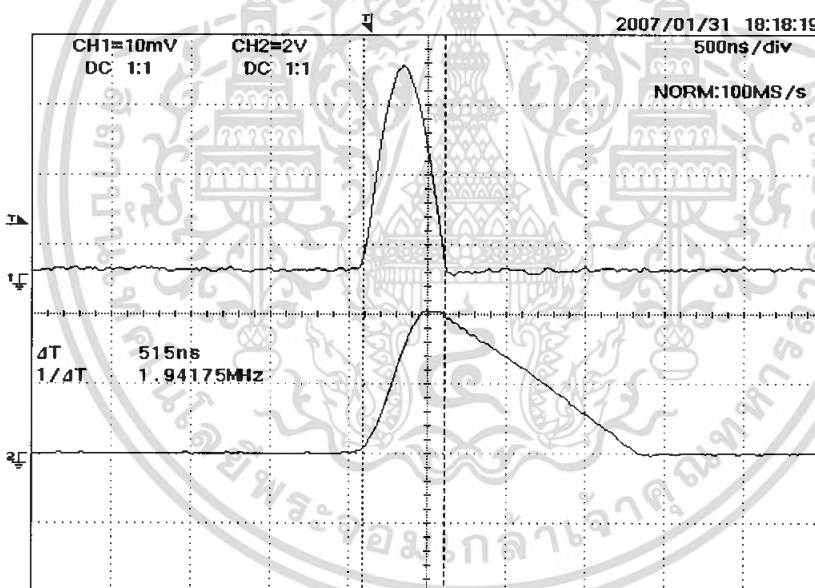


รูปที่ 4.13 การจัดชุดทดลองสำหรับตรวจสอบช่วงเวลาการทำงานของวงจร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.14 แสดงช่วงเวลา $t_1 - t_2$ การทำงานของวงจรที่แรงดันอินพุต 20 V กระแสไฟฟ้าที่โหลด 5A



รูปที่ 4.15 แสดงช่วงเวลา $t_1 - t_2$ การทำงานของวงจรที่แรงดันอินพุต 25 V กระแสไฟฟ้าที่โหลด 1A

ตารางที่ 4.5 ผลการวัดค่าช่วงเวลาการทำงานของวงจรแบบวงเปิด

ช่วงเวลาการทำงานของวงจร				
การทำงาน	$t_0 - t_1$	$t_1 - t_2$	$t_2 - t_3$	$t_3 - T$
20 V, 5A	0.17 μ s	0.65 μ s	0.14 μ s	0.174 μ s
25 V, 1A	0.02 μ s	0.52 μ s	1.25 μ s	5.76 μ s

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

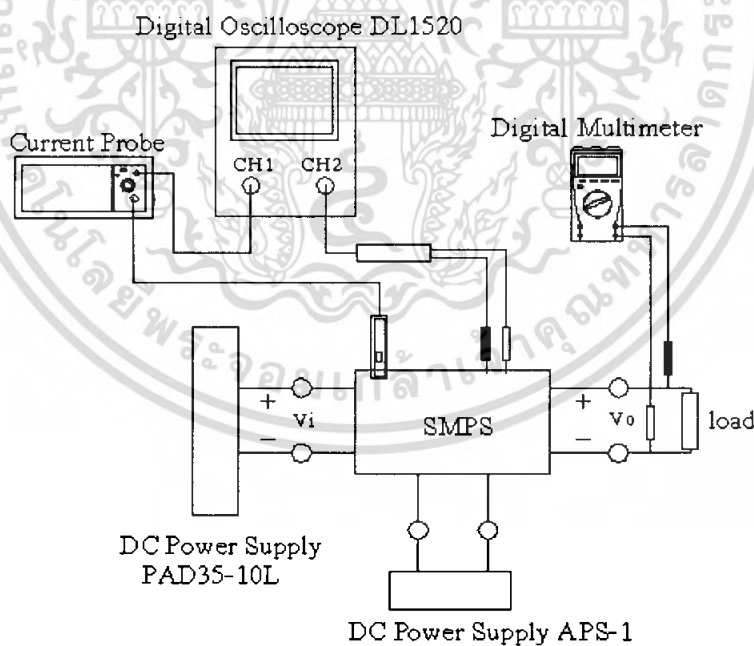
ผลที่ได้จากตารางที่ 4.5 เมื่อนำไปเปรียบเทียบกับผลการจำลองแบบกับตารางที่ 4.3 ผลที่ได้จะสอดคล้องกัน

4.4.2 การทดลองวงจรคอนเวอร์เตอร์แบบโรซแนนท์สวิตชิงขณะกระแสไฟฟ้าเป็นศูนย์แบบวงปิด

4.4.2.1 การทดสอบการรักษาระดับแรงดันเอาต์พุต

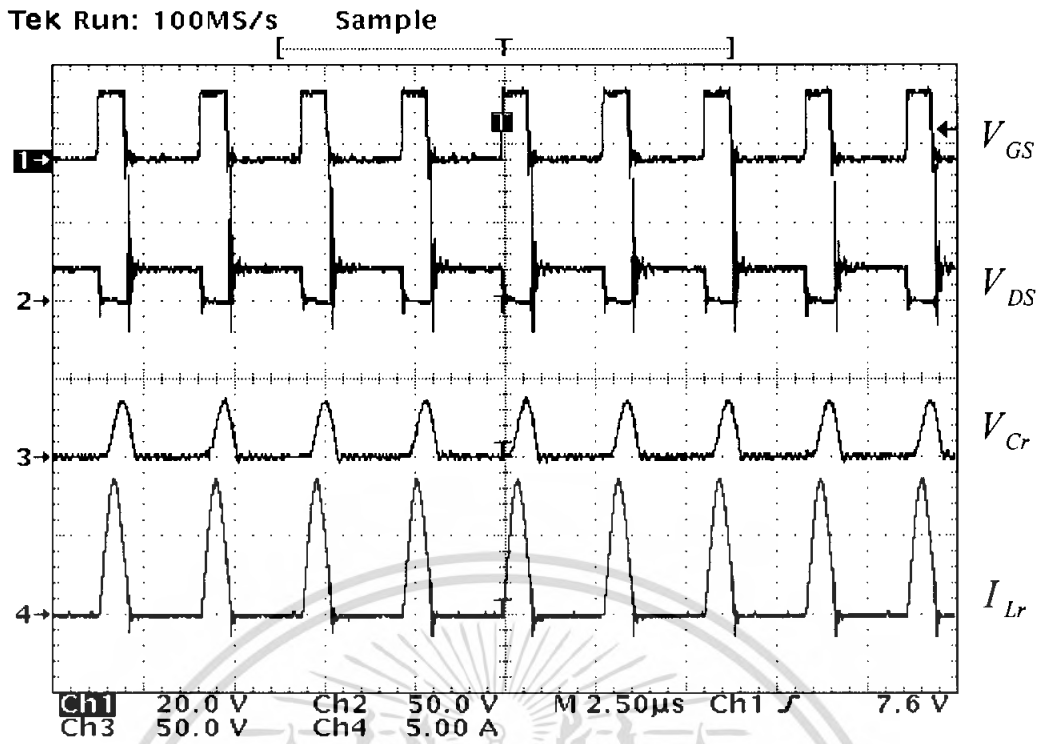
วิธีการทดลอง

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

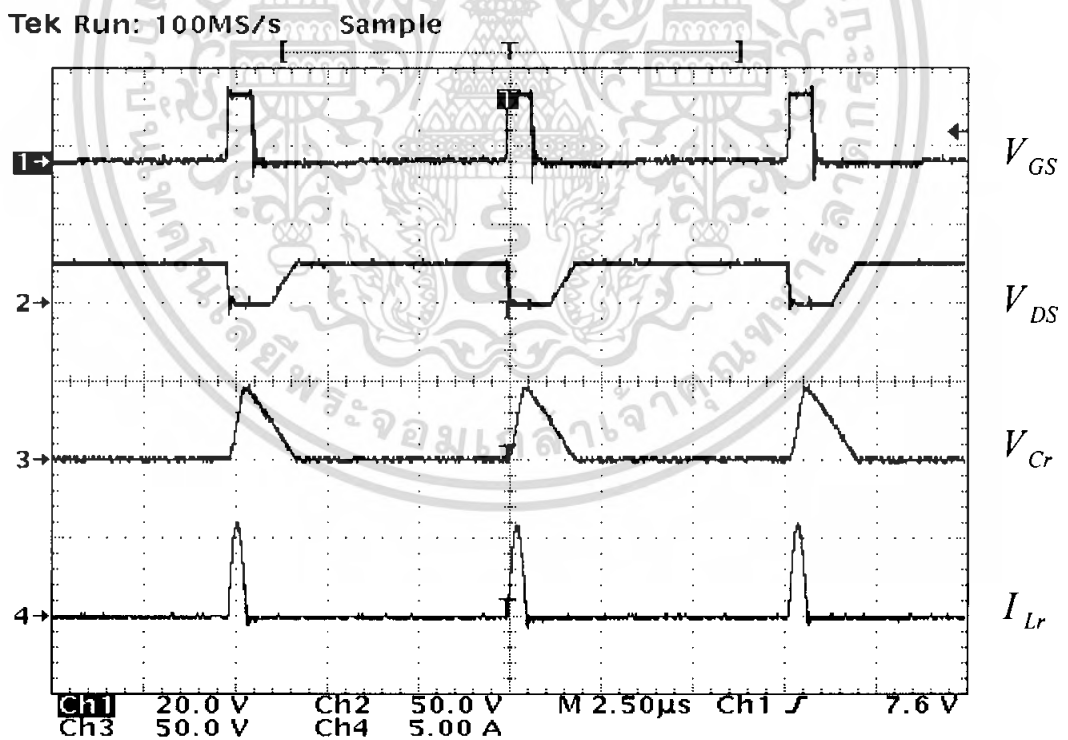


รูปที่ 4.16 การจัดชุดทดลองสำหรับทดสอบการรักษาระดับแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.17 ผลการทดลองของ $V_{GS}, V_{DS}, V_{Cr}, I_{Lr}$ ที่ $f_{s,max} = 318\text{kHz}$ $V_s = 20\text{V}$ $I_o = 5\text{A}$



รูปที่ 4.18 ผลการทดลองของ $V_{GS}, V_{DS}, V_{Cr}, I_{Lr}$ ที่ $f_{s,min} = 100\text{kHz}$ $V_s = 25\text{V}$ $I_o = 1\text{A}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

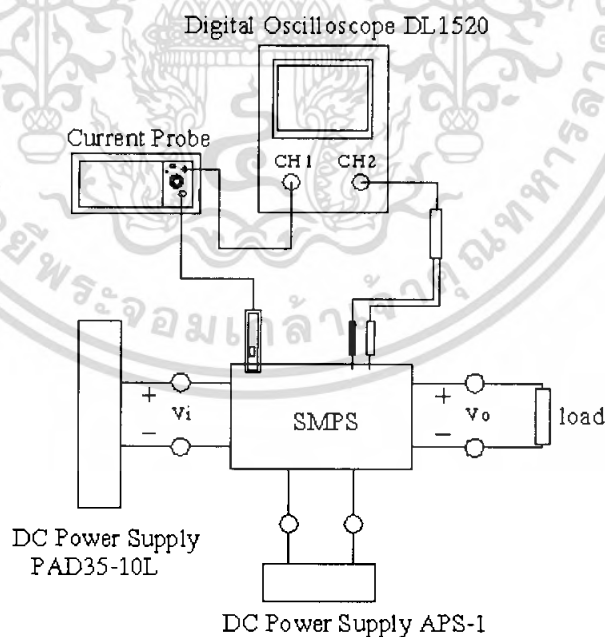
ตารางที่ 4.6 ผลการวัดค่าของแรงดันเอาต์พุตและความถี่เมื่อโหลดเปลี่ยนแปลงแบบวงปิด

โหลด	$V_i = 20 \text{ V}$		$V_i = 25 \text{ V}$	
	$V_o \text{ (V)}$	ความถี่(kHz)	$V_o \text{ (V)}$	ความถี่(kHz)
1A	5	186	5	130
2A	4.989	286	4.998	204
3A	4990	347	4.992	255
4A	4.985	384	4.987	289
5A	4.982	397	4.984	290

4.4.2.2 การตรวจสอบช่วงเวลาการทำงานของวงจร

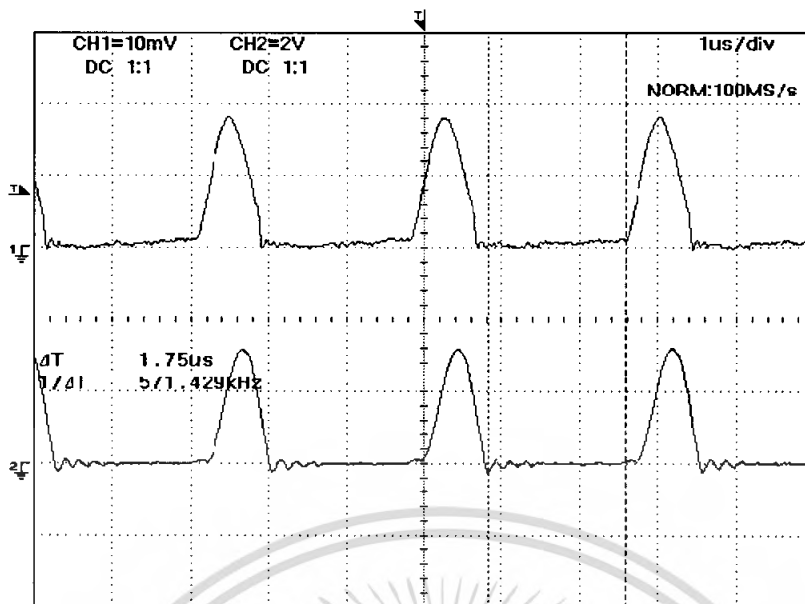
วิธีการทดลอง

1. จัดชุดทดลองดังรูปที่ (4.19)
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. บันทึกค่าช่วงเวลาต่างๆที่แรงดันไฟฟ้าอินพุต $V_S = 20\text{V}$ และ $V_S = 25\text{V}$

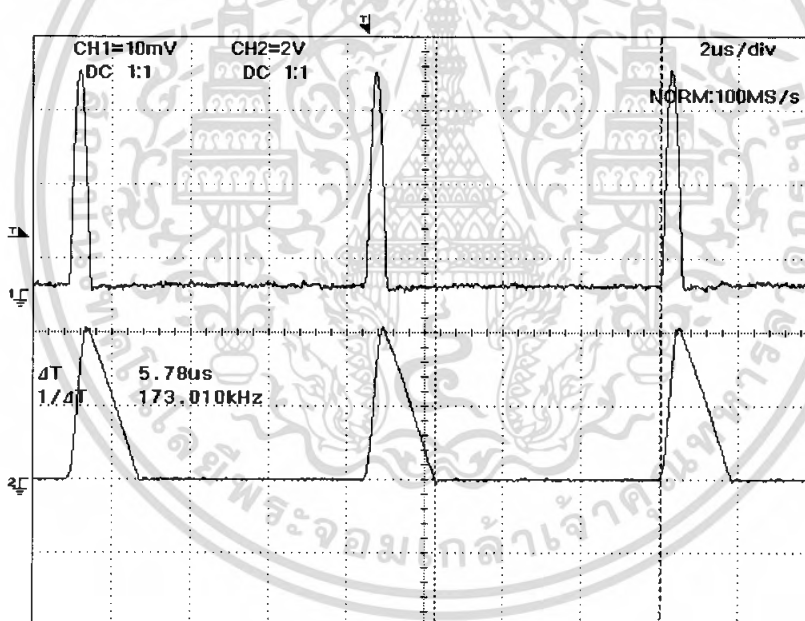


รูปที่ 4.19 การจัดชุดทดลองสำหรับตรวจสอบช่วงเวลาการทำงานของวงจร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.20 แสดงช่วงเวลาการทำงานของวงจรที่แรงดันอินพุต 20 V กระแสไฟฟ้าที่โหลด 5A



รูปที่ 4.21 แสดงช่วงเวลาการทำงานของวงจรที่แรงดันอินพุต 25 V กระแสไฟฟ้าที่โหลด 1A

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

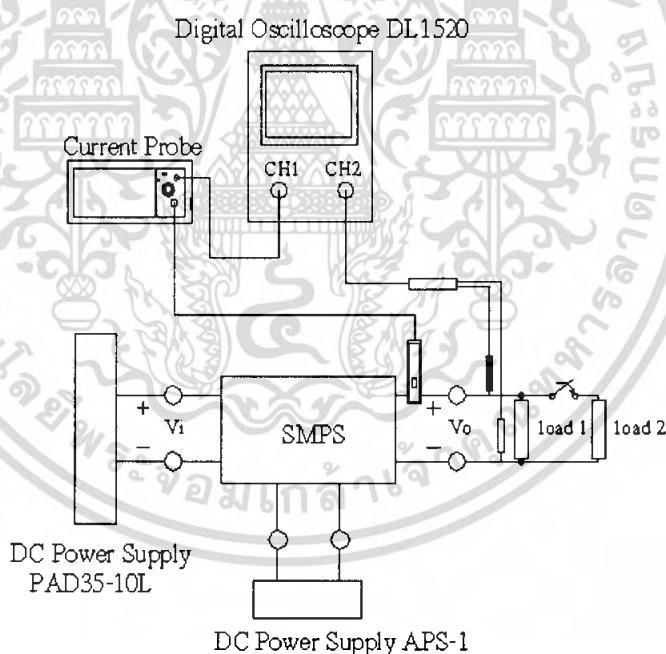
ตารางที่ 4.7 ผลการวัดค่าช่วงเวลาการทำงานของวงจรแบบวงปิด

ช่วงเวลาการทำงานของวงจร				
การทำงาน	$t_0 - t_1$	$t_1 - t_2$	$t_2 - t_3$	$t_3 - T$
20 V, 5A	0.17 μ s	0.65 μ s	0.16 μ s	1.75 μ s
25 V, 1A	0.21 μ s	0.52 μ s	1.27 μ s	5.78 μ s

4.4.2.3 การทดสอบการตอบสนองของแรงดันเอาต์พุตของวงจรเรโซแนนท์คอนเวอร์เตอร์

วิธีการทดลอง

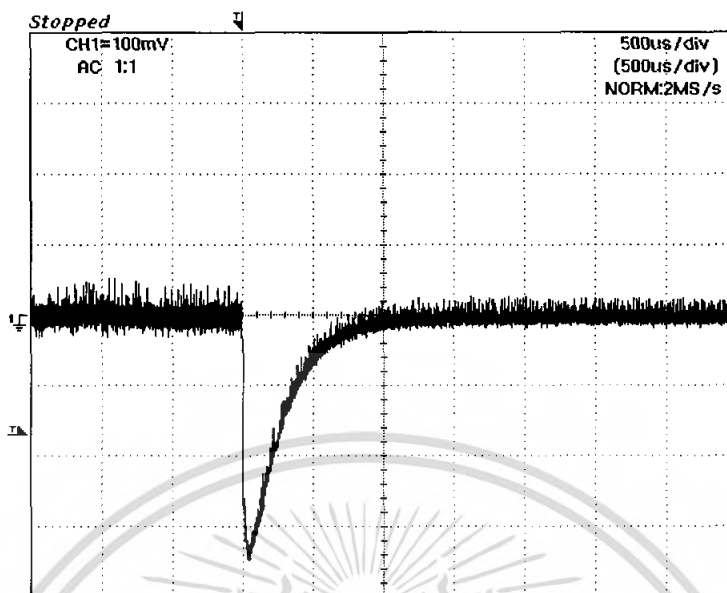
1. จัดชุดทดลองดังรูปที่ (4.22)
2. จ่ายแรงดันไฟฟ้า 20 V จาก DC Power Supply รุ่น APS-1 ให้กับวงจรควบคุม
3. จ่ายแรงดันไฟฟ้า 25 V จาก DC Power Supply รุ่น PAD35-10L ให้กับวงจรภาคกำลัง
4. บันทึกสัญญาณแรงดันเอาต์พุตเมื่อกระแสไฟฟ้าเอาต์พุตเปลี่ยนแปลงอย่างฉับพลันจาก 3A ไปเป็น 5A



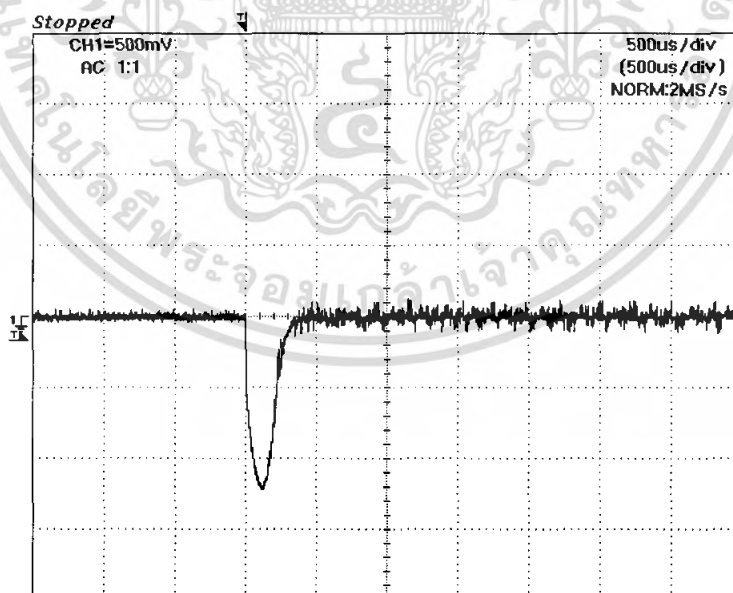
รูปที่ 4.22 การจัดชุดทดลองสำหรับทดสอบการตอบสนองของแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดลอง



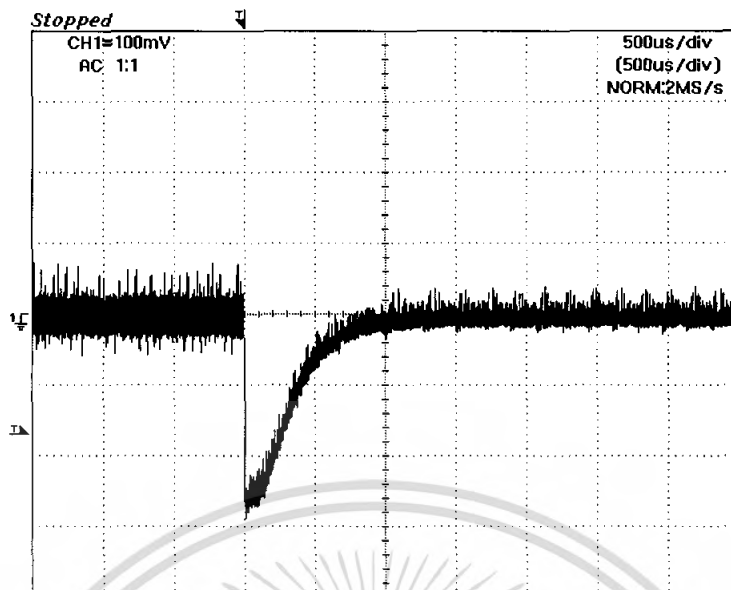
รูปที่ 4.23 ผลตอบสนองทางด้านเอาต์พุตของวงจรเรโซแนนท์คอนเวอร์เตอร์ที่แรงดันอินพุต 20 V เมื่อกระแสเอาต์พุตเปลี่ยนแปลงอย่างฉับพลันจาก 1 A ไปเป็น 3 A แรงดันไฟฟ้าทางด้านเอาต์พุตเปลี่ยนแปลงไป 320 mV เข้าสู่สภาวะคงตัวที่เวลา 1ms



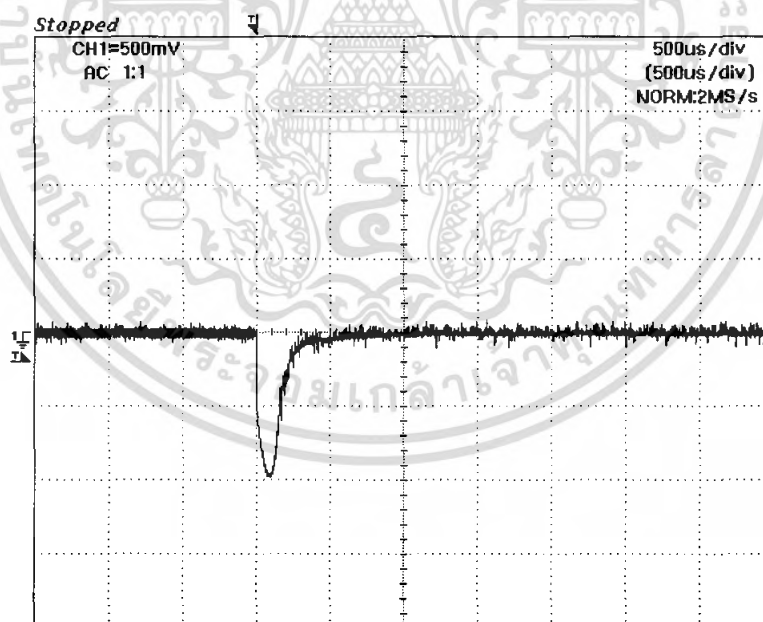
รูปที่ 4.24 ผลตอบสนองทางด้านเอาต์พุตของวงจรเรโซแนนท์คอนเวอร์เตอร์ที่แรงดันอินพุต 20 V เมื่อกระแสเอาต์พุตเปลี่ยนแปลงอย่างฉับพลันจาก 1 A ไปเป็น 5 A แรงดันไฟฟ้า

ทางด้านเอาต์พุตเปลี่ยนแปลงไป 1.1V เข้าสู่สภาวะคงตัวที่เวลา 500 μ s

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่เผยแพร่เพื่อประโยชน์ทางการศึกษา โดยผู้จัดทำขอสงวนสิทธิ์ในประการต่าง ๆ ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.25 ผลตอบสนองทางด้านเอาต์พุตของวงจรเรโซแนนท์คอนเวอร์เตอร์ที่แรงดันอินพุต 25 V เมื่อกระแสเอาต์พุตเปลี่ยนแปลงอย่างฉับพลันจาก 1 A ไปเป็น 3 A แรงดันไฟฟ้าทางด้าน เอาต์พุตเปลี่ยนแปลงไป 290mV เข้าสู่สภาวะคงตัวที่เวลา 1ms



รูปที่ 4.26 ผลตอบสนองทางด้านเอาต์พุตของวงจรเรโซแนนท์คอนเวอร์เตอร์ที่แรงดันอินพุต 25 V เมื่อกระแสเอาต์พุตเปลี่ยนแปลงอย่างฉับพลันจาก 1 A ไปเป็น 5 A แรงดันไฟฟ้าทางด้าน เอาต์พุตเปลี่ยนแปลงไป 1 V เข้าสู่สภาวะคงตัวที่เวลา 500us

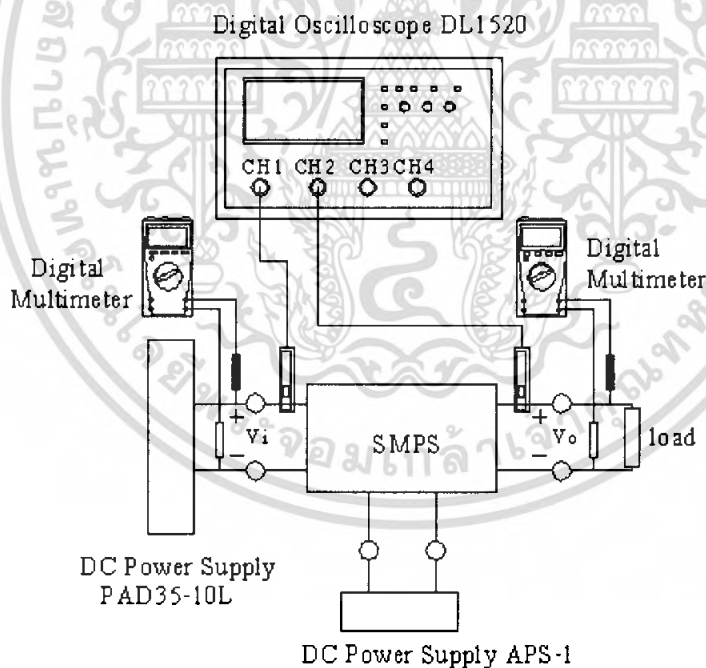
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4.3 การทดสอบประสิทธิภาพของวงจรเรโซแนนท์คอนเวอร์เตอร์

ในการทดสอบเพื่อหาประสิทธิภาพของวงจร จะทดสอบระหว่างวงจรเรโซแนนท์คอนเวอร์เตอร์กับวงจรบัคคอนเวอร์เตอร์ ที่มีองค์ประกอบของวงจรเหมือนกันที่แรงดันไฟฟ้าอินพุต 20 V เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวงจรทั้งสองแบบ

วิธีการทดลอง

1. จัดชุดทดลองดังรูปที่ (4.27)
2. ถ่ายแรงดันไฟฟ้า 20 V จาก DC Power Supply รุ่น APS-1 ให้กับวงจรควบคุม
3. ถ่ายแรงดันไฟฟ้า 20 V จาก DC Power Supply รุ่น PAD35-10L ให้กับวงจรภาคกำลัง
4. ทำการบันทึกค่าของแรงดันไฟฟ้าทางด้านอินพุต,เอาต์พุตและกระแสไฟฟ้าทางด้านอินพุต,เอาต์พุต ที่โหลดเปลี่ยน ($1\Omega - 5\Omega$)
5. ถ่ายแรงดันไฟฟ้า 25 V จาก DC Power Supply รุ่น PAD35-10L ให้กับวงจรภาคกำลัง
6. ทำการทดลองตามข้อที่ 4



รูปที่ 4.27 การจัดชุดทดลองทดสอบประสิทธิภาพของวงจรเรโซแนนท์คอนเวอร์เตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดสอบประสิทธิภาพ

ตารางที่ 4.8 ประสิทธิภาพของวงจรเรโซแนนซ์คอนเวอร์เตอร์สวิชชิงขณะกระแสเป็นศูนย์

วงจรเรโซแนนซ์คอนเวอร์เตอร์			
R_L	1 Ω	1.66 Ω	5 Ω
I_s	0.27 A	0.84A	1.66A
P_s	5.4 W	16.8 W	33.2W
V_o	5 V	4.989 V	4.982 V
I_o	1 A	3A	4.86 A
P_o	5W	14.96 W	24.21W
ประสิทธิภาพ	92 %	89%	73 %

ตารางที่ 4.9 ประสิทธิภาพของวงจรบัคคอนเวอร์เตอร์

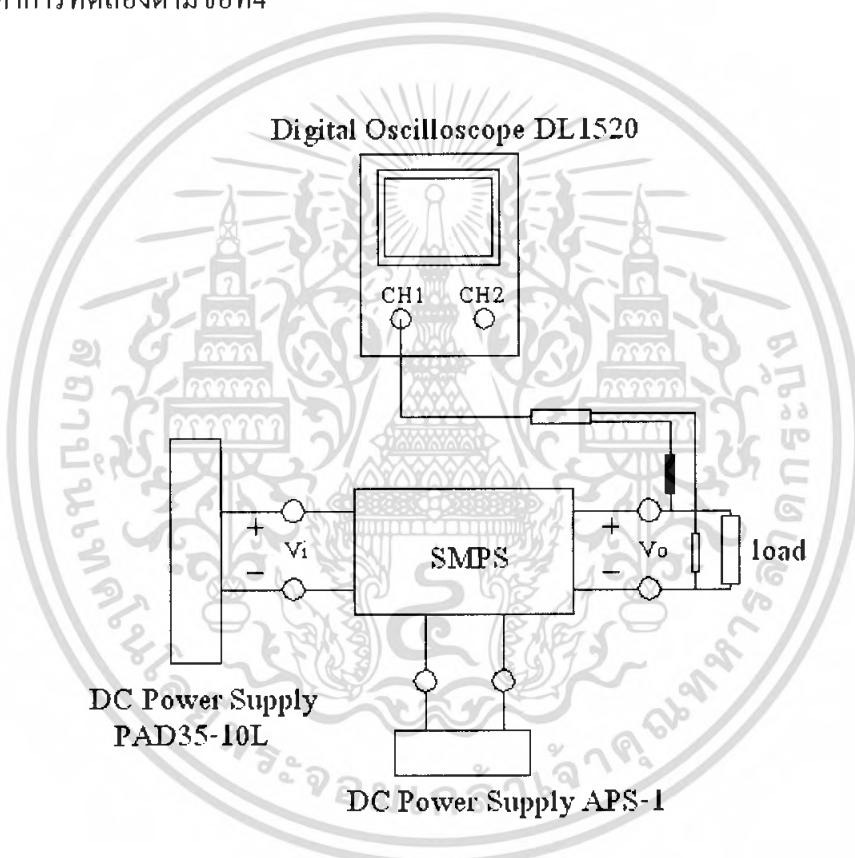
วงจรบัคคอนเวอร์เตอร์			
R_L	1 Ω	1.66 Ω	5 Ω
I_s	1.43 A	0.87A	0.3A
P_s	28.60W	17.4 W	6 W
V_o	4.986 V	4.99 V	5 V
I_o	4.894 A	3A	1 A
P_o	24.40W	14.97 W	5.3 W
ประสิทธิภาพ	85.3 %	86 %	83 %

จากผลการทดสอบประสิทธิภาพจะเห็นได้ว่า วงจรเรโซแนนซ์คอนเวอร์เตอร์สวิชชิงที่กระแสเป็นศูนย์สามารถทำงานได้ดี กว่าวงจรบัคคอนเวอร์เตอร์ ที่แรงดันอินพุตเท่ากัน ที่ความต้านทาน $R_L = 5 \Omega$ ประสิทธิภาพของวงจรเรโซแนนซ์ลดลงเนื่องจาก ความไม่เป็นอุดมคติของอุปกรณ์ เช่น พารามิเตอร์ค่า R ที่แฝงอยู่ใน L หรือ C ทำให้เกิดแรงดันไฟฟ้าตกคร่อมส่งผลให้เกิดกำลังไฟฟ้าสูญเสียจึงทำให้ประสิทธิภาพของวงจรลดลง

4.4.4 รีปเปลของแรงดันเอาต์พุตของวงจรเรโซแนนท์บัคคอนเวอร์เตอร์สวิตชิงขณะกระแสเป็นศูนย์

วิธีการทดลอง

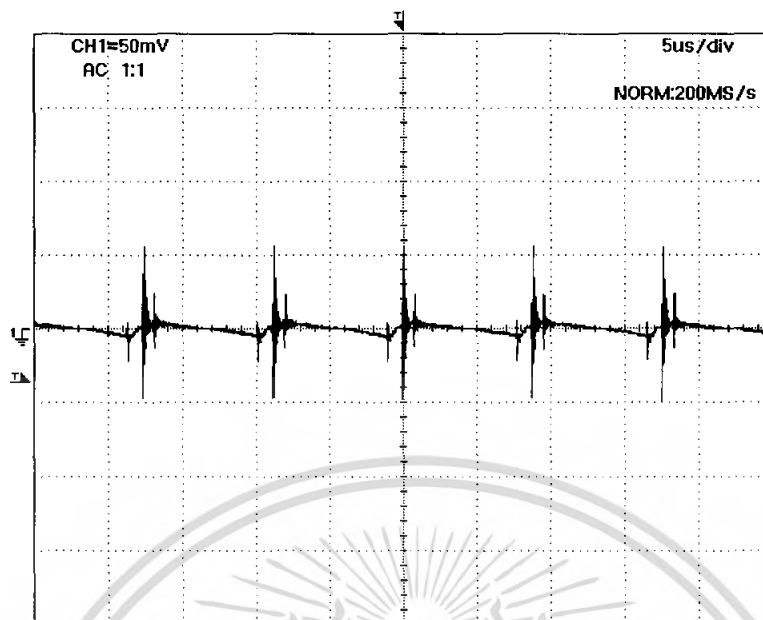
1. จัดชุดทดลองดังรูปที่ (4.28)
2. จ่ายแรงดันไฟฟ้า 20 V จาก DC Power Supply รุ่น APS-1 ให้กับวงจรควบคุม
3. จ่ายแรงดันไฟฟ้า 20 V จาก DC Power Supply รุ่น PAD35-10L ให้กับวงจรภาคกำลัง
4. ทำการบันทึกค่าของแรงดันเอาต์พุต
5. จ่ายแรงดันไฟฟ้า 25 V จาก DC Power Supply รุ่น PAD35-10L ให้กับวงจรภาคกำลัง
6. ทำการทดลองตามข้อที่ 4



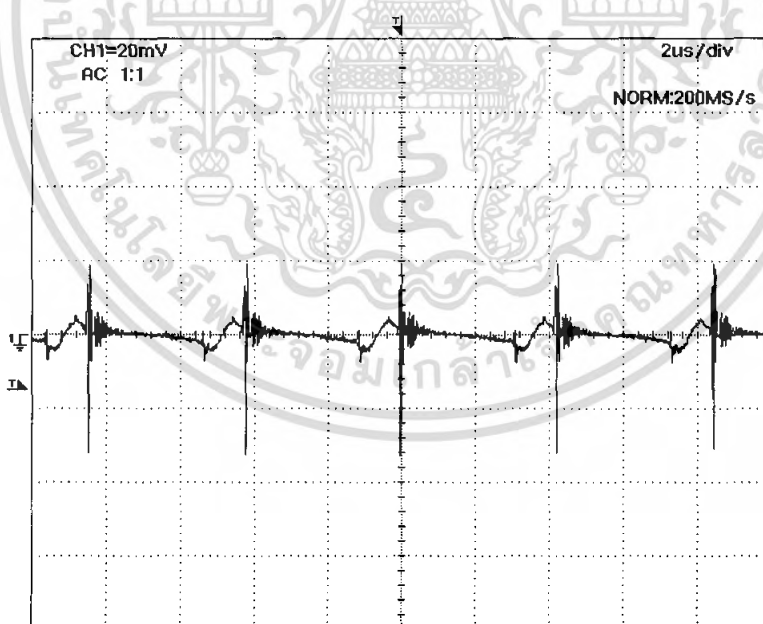
รูปที่ 4.28 การจัดชุดทดลองวัดแรงดันไฟฟ้ารีปเปลเอาต์พุตของวงจรเรโซแนนท์บัคคอนเวอร์เตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดลอง



รูปที่ 4.29 รูปเปิดของแรงดันเอาต์พุตของวงจรเรโซแนนท์บีกอนเวอร์เตอร์สวิตซ์ซึ่งขณะ กระแสไฟฟ้าเป็นศูนย์ที่แรงดันอินพุต 25 V กระแสเอาต์พุต 1A



รูปที่ 4.30 รูปเปิดของแรงดันเอาต์พุตของวงจรเรโซแนนท์บีกอนเวอร์เตอร์สวิตซ์ซึ่งขณะ กระแสไฟฟ้าเป็นศูนย์ที่แรงดันอินพุต 20 V กระแสเอาต์พุต 5A

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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 รวมทั้งการออกแบบ และการเลือกใช้อุปกรณ์ จำเป็นต้องกำหนดค่าให้การสูญเสียในแต่ละตัวอุปกรณ์มีค่ากำลังสูญเสียไม่เกินกำหนด เช่นการออกแบบตัวเหนี่ยวนำ และการเลือกใช้สวิตช์

5.1.3 ปัญหาจากสัญญาณรบกวน ทำให้วงจรทำงานเพี้ยนไป

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

5.2 แนวทางในการพัฒนา

วงจรเรโซแนนท์ คอนเวอร์เตอร์ที่ดีนั้นประสิทธิภาพของวงจรต้องสูง จะขึ้นอยู่กับการใช้เทคนิคของการ เรโซแนนท์ ซึ่งมีส่วนประกอบคือ ค่าตัวเหนี่ยวนำและตัวเก็บประจุ ซึ่งผลของค่าความต้านทานแฝงที่อยู่ในตัวเหนี่ยวนำและตัวเก็บประจุ ค่าความเหนี่ยวนำแฝงและความจุแฝงที่อยู่ในวงจรจะมีผลต่อการทำงานของวงจรเป็นอย่างยิ่ง นอกจากนี้ วิธีการพันลวดเส้นขนานในอุปกรณ์แม่เหล็ก ซึ่งจะทำให้เกิดการลดลงของค่า ความต้านทานที่แฝงอยู่ได้ และการลดลงของการสูญเสียที่อุปกรณ์แม่เหล็ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.3 บทสรุป

ในปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ นำเสนอการวิเคราะห์และการออกแบบวงจรควอซีเรโซแนนท์บัคคอนเวอร์เตอร์แบบสวิตชิ่งที่กระแสไฟฟ้าเป็นศูนย์ โดยแสดงการวิเคราะห์การทำงานของวงจรมการออกแบบ ขั้นตอนในการออกแบบ ผลการจำลองแบบสามารถยืนยันได้ว่าวงจรที่ได้ ออกแบบไว้สามารถทำงานได้จริงตามทฤษฎี และผลการทดลองยังยืนยันได้ว่า วงจรทำงานแบบเรโซแนนท์สวิตซ์ที่กระแสไฟฟ้าเป็นศูนย์ตลอดช่วงการทำงาน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

- [1] กันติชา กิตติพิรชด “การออกแบบวงจรควบคุมของแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้าแบบสวิตช์” วิทยานิพนธ์ วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมระบบควบคุม บัณฑิตวิทยาลัย สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง 2547.
- [2] วีระเชษฐ์ ชันเงิน, วุฒิพล ธาราธิรเศรษฐ์. **อิเล็กทรอนิกส์กำลัง**. พิมพ์ครั้งที่ 4 : กรุงเทพฯ. ห้างหุ้นส่วนจำกัด วิ.เจ. พรินติ้ง. พ.ศ. 2549.
- [3] Daniel W. Hart, **Introduction to Power Electronics**. Upper Saddle River, NJ : Prentice-Hall International, c1997.
- [4] Freed C. Lee, “High Frequency Quasi-Resonant Converter Technology”, Proc. IEEE, vol. 76, no.4, April 1988.
- [5] H. W. Whittington, B.W. Flynn. **Switched Mode Power Supplies: Design and Construction**. Research Studies Press LTD.Inc.1992.
- [6] 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.
- [7] L. Umanand, S. R. Bhat. **Design of Magnetic Components for Switched Mode Power Converter**. Wiley Eastern Limited. 1992.

ภาคผนวก ก

DATASHEET



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DATASHEET UC2866N



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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 (150 μ A typical)
- Dual 1 Amp Peak FET Drivers
- UVLO Option for Off-Line or DC/DC Applications

DESCRIPTION

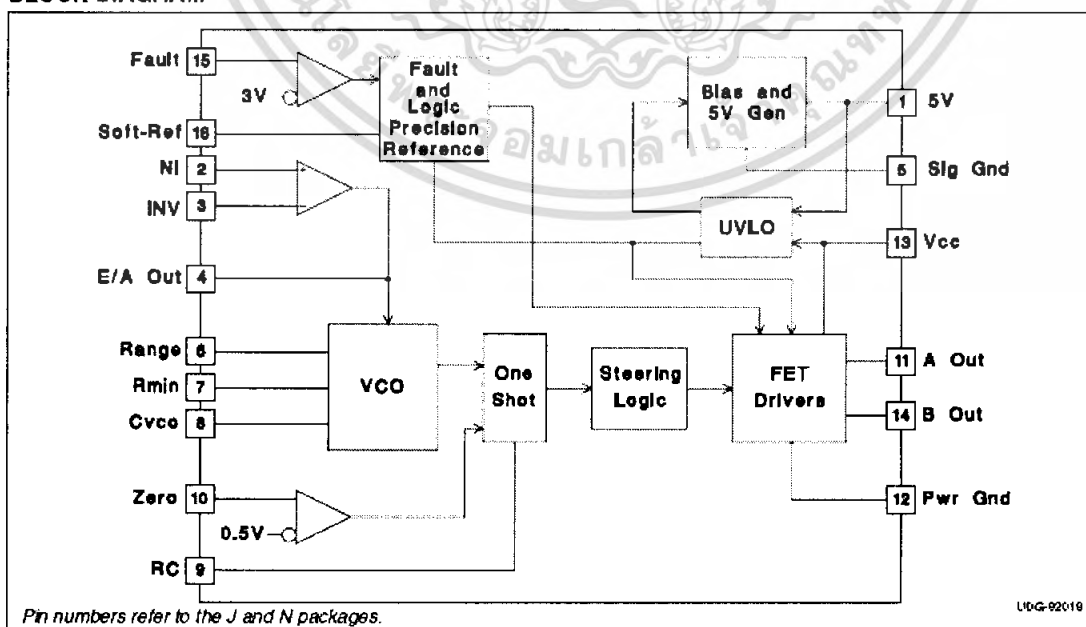
The UC1861-1868 family of ICs is optimized for the control of Zero Current Switched and Zero Voltage Switched quasi-resonant converters. Differences between members of this device family result from the various combinations of UVLO thresholds and output options. Additionally, the one-shot pulse steering 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 150 μ A, 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
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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.

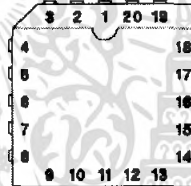
ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

- 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 Unirode Integrated Circuits databook for information regarding thermal specifications and limitations of packages.

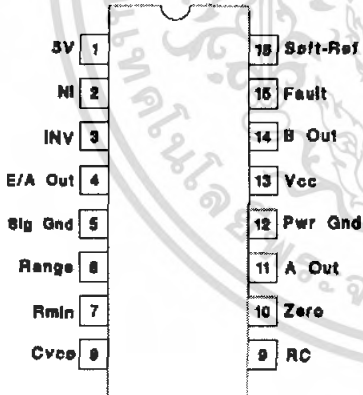
CONNECTION DIAGRAMS

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
Slg 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



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
Vout Low	$V_{ID} = -100\text{mV}$, $I_O = 200\mu\text{A}$		0.17	0.25	V
Vout 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 อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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. $V_{CC}=12\text{V}$, $C_{VCO}=1\text{nF}$, $\text{Range}=7.15\text{k}$, $R_{\text{MIN}}=86.6\text{k}$, $C=200\text{pF}$, $R=4.02\text{k}$, 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	$V_{CC} = V_{CC(\text{on})} - 0.3\text{V}$		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 $t_r(V_i) = 10\text{ns}$ $t_{pd} = t(V_o = 6\text{V}) - t(V_i = 3\text{V})$

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.

UC1861-1868
UC2861-2868
UC3861-3868

APPLICATION INFORMATION

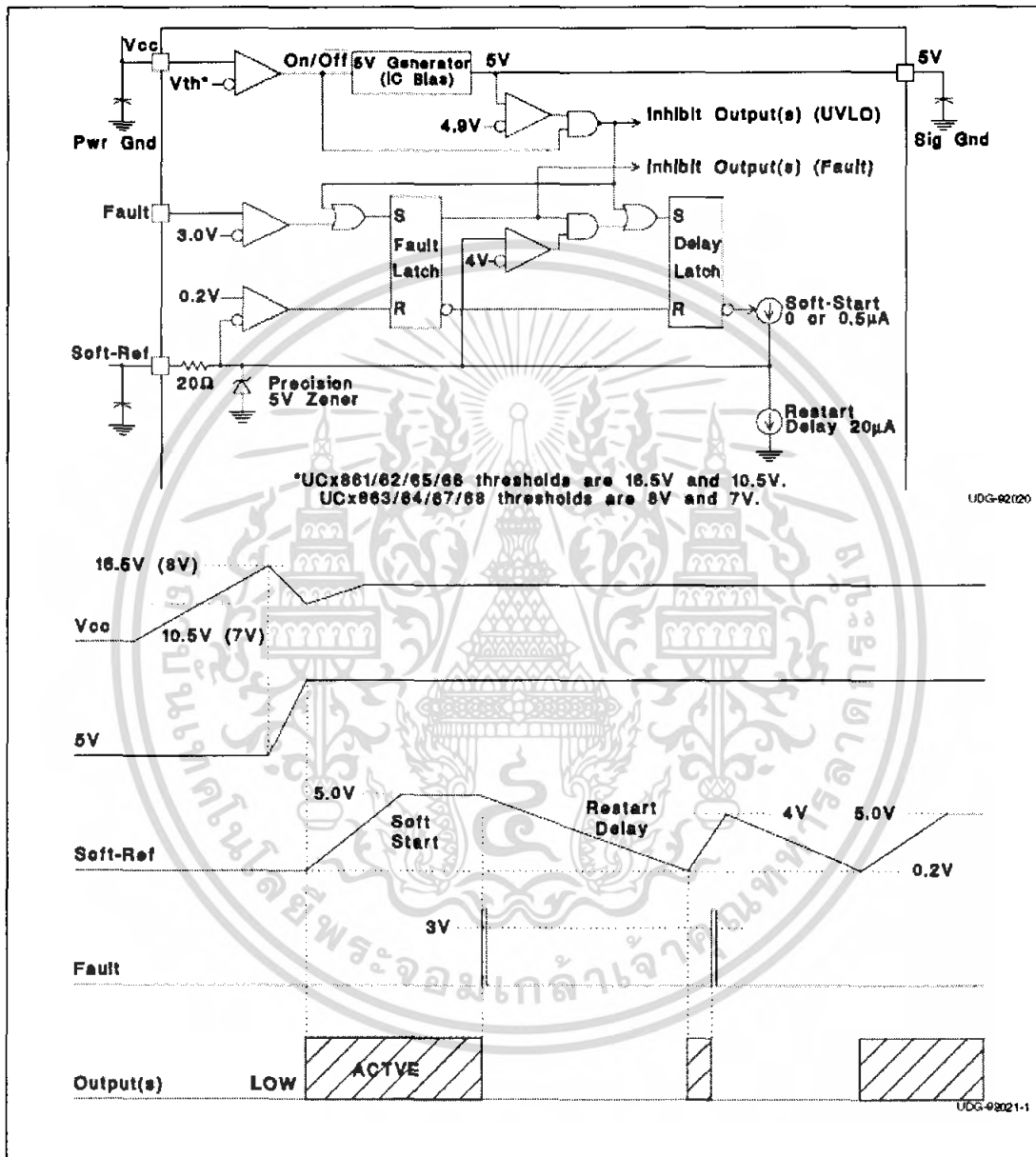


Figure 1. UVLO, 5V, fault and soft-ref.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

UC1861-1868
 UC2861-2868
 UC3861-3868

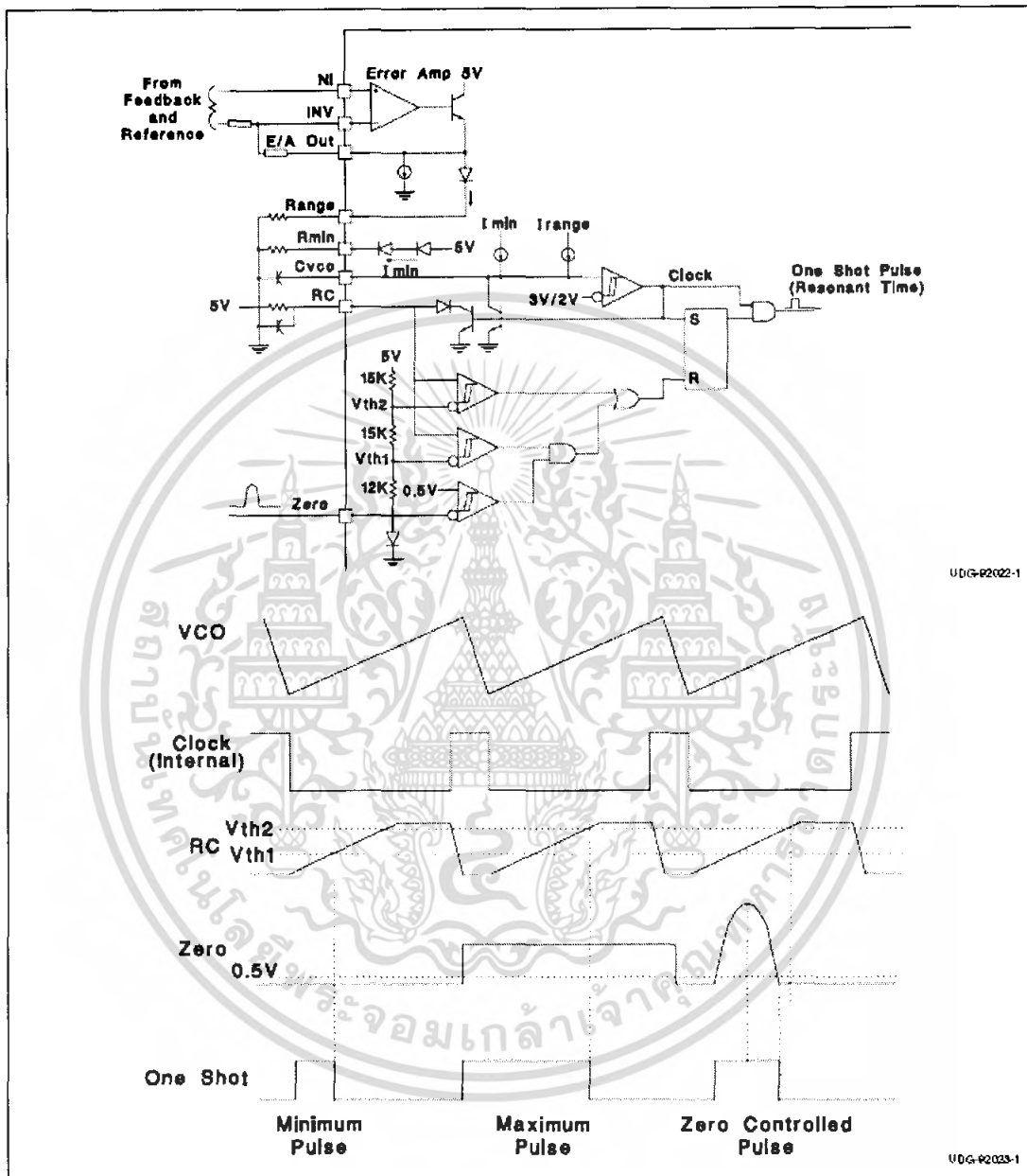


Figure 2. Error Amp, Voltage Controlled Oscillator, and One Shot

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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:

$$F_{MIN} \approx \frac{43}{R_{MIN} \cdot C_{VCO}}$$

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

$$F_{MAX} \approx \frac{33}{(R_{MIN} / Range) \cdot C_{VCO}}$$

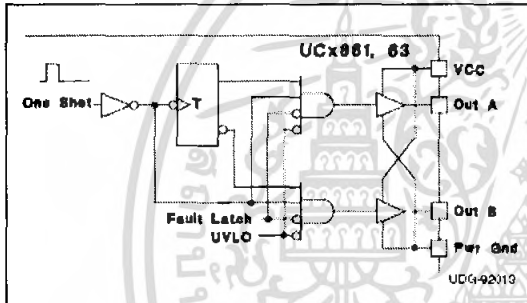
The Error Amplifier directly controls the oscillator frequency. E/A output low corresponds to minimum frequency and output high corresponds to maximum frequency. At the end of each oscillator cycle, the RC pin is discharged to one diode drop above ground. At the beginning of the oscillator cycle, V(RC) 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:

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

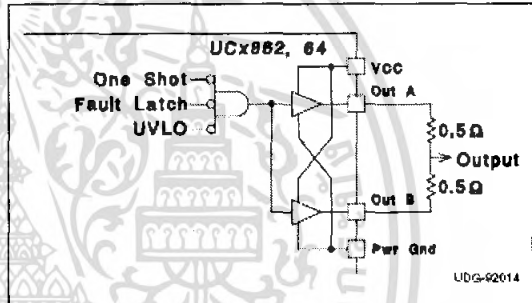
The maximum pulse width is approximately given by:

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

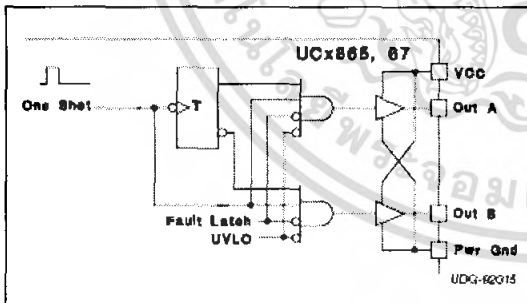
STEERING LOGIC



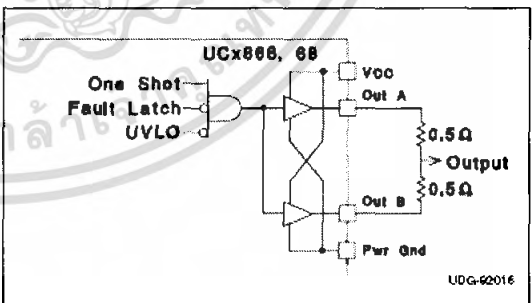
The steering logic is configured on the UC1861,63 to result in dual non-overlapping square waves at outputs A & B. This is suited to drive dual switch ZVS systems.



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.

UC1861-1868
 UC2861-2868
 UC3861-3868

APPLICATION INFORMATION (cont.)

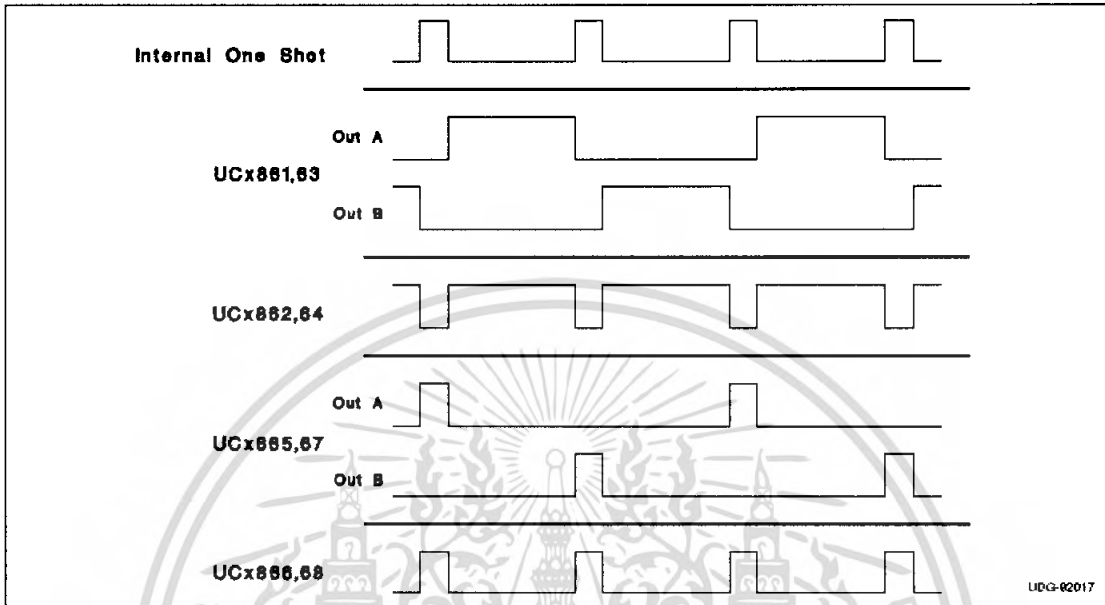


Figure 3. Current waveforms.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

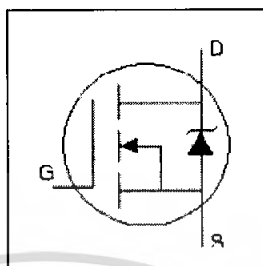
DATASHEET IRFZ34N



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

HEXFET® Power MOSFET

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



$$V_{DS} = 55V$$

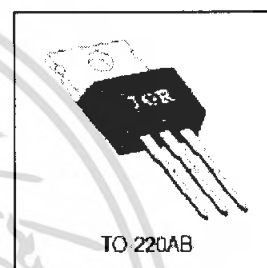
$$R_{DS(on)} = 0.040\Omega$$

$$I_D = 26A$$

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 Φ	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 Φ	110	mJ
I_{AR}	Avalanche Current Φ	16	A
E_{AR}	Repetitive Avalanche Energy Φ	5.6	mJ
dv/dt	Peak Diode Recovery dv/dt Φ	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 อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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_m	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	μA	$V_{DS} = 44V, V_{GS} = 0V, T_J = 150^\circ\text{C}$
I_{GSS}	Gate-to-Source Forward Leakage	—	—	100	nA	$V_{GS} = 20V$
	Gate-to-Source Reverse Leakage	—	—	-100	nA	$V_{GS} = -20V$
Q_g	Total Gate Charge	—	—	34	nC	$I_D = 16A$
Q_{gs}	Gate-to-Source Charge	—	—	6.8	nC	$V_{DS} = 44V$
Q_{gd}	Gate-to-Drain ("Miller") Charge	—	—	14	nC	$V_{GS} = 10V$, See Fig. 6 and 13 Ⓞ
$t_{s(on)}$	Turn-On Delay Time	—	7.0	—	ns	$V_{DD} = 28V$
t_r	Rise Time	—	49	—	ns	$I_D = 16A$
$t_{s(off)}$	Turn-Off Delay Time	—	31	—	ns	$R_G = 18\Omega$
t_f	Fall Time	—	40	—	ns	$R_D = 1.8\Omega$, See Fig. 10 Ⓞ
L_D	Internal Drain Inductance	—	4.5	—	nH	Between lead, 6mm (0.25in.) from package and center of die contact 
L_S	Internal Source Inductance	—	7.5	—	nH	
C_{iss}	Input Capacitance	—	700	—	pF	$V_{DS} = 0V$
C_{oss}	Output Capacitance	—	240	—	pF	$V_{DS} = 25V$
C_{rss}	Reverse Transfer Capacitance	—	100	—	pF	$f = 1.0MHz$, 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	A	
V_{SD}	Diode Forward Voltage	—	—	1.6	V	$T_J = 25^\circ\text{C}, I_S = 16A, V_{GS} = 0V$ Ⓞ
t_r	Reverse Recovery Time	—	57	86	ns	$T_J = 25^\circ\text{C}, I_F = 16A$
Q_{rr}	Reverse Recovery Charge	—	130	200	nC	$dv/dt = 100A/\mu s$ Ⓞ
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)
- Ⓞ $I_{SD} \leq 16A, dv/dt \leq 420A/\mu s, V_{DD} \leq V_{(BR)DSS}, T_J \leq 175^\circ\text{C}$
- Ⓞ $V_{DD} = 25V$, starting $T_J = 25^\circ\text{C}, L = 610\mu H$
 $R_G = 25\Omega, I_{AS} = 16A$. (See Figure 12)
- Ⓞ Pulse width $\leq 300\mu s$; duty cycle $\leq 2\%$.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



IRFZ34N

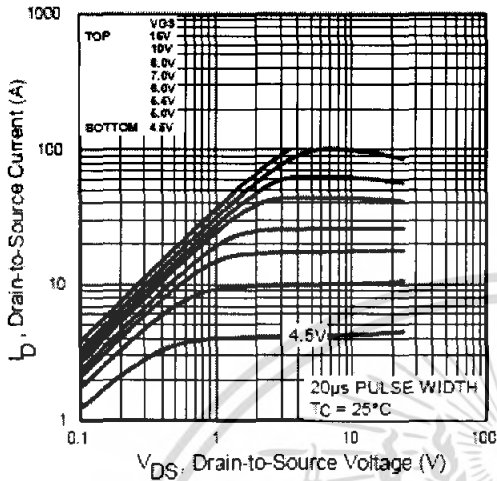


Fig 1. Typical Output Characteristics, $T_c = 25^\circ\text{C}$

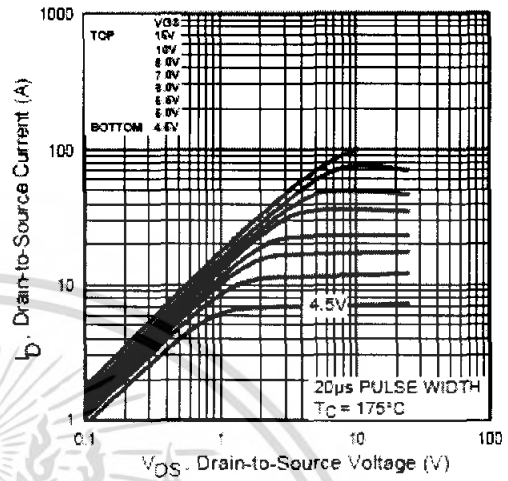


Fig 2. Typical Output Characteristics, $T_c = 175^\circ\text{C}$

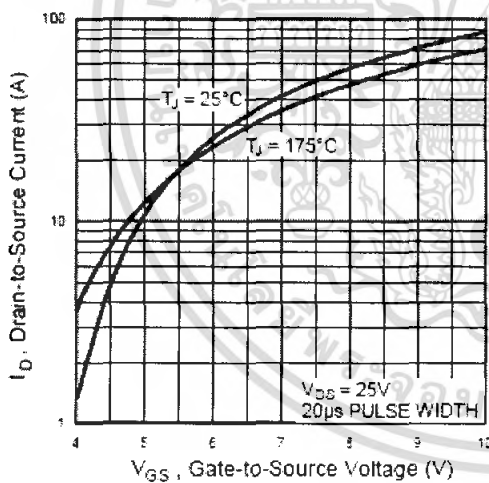


Fig 3. Typical Transfer Characteristics

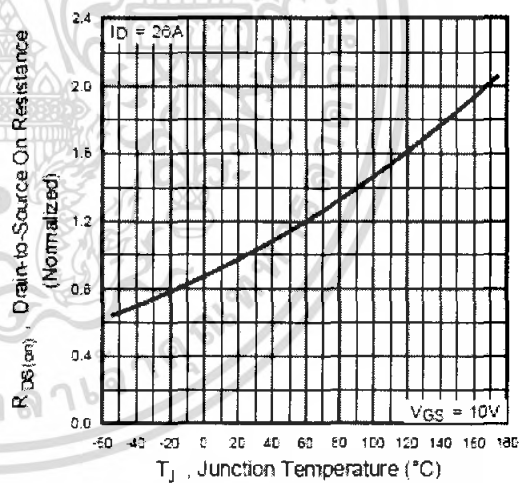


Fig 4. Normalized On-Resistance Vs. Temperature

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

IRFZ34N

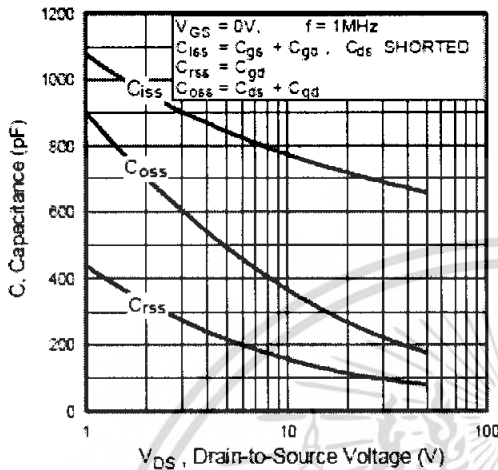


Fig 5. Typical Capacitance Vs. Drain-to-Source Voltage

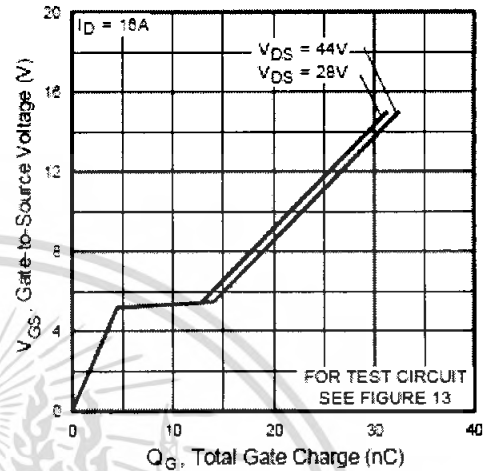


Fig 6. Typical Gate Charge Vs. Gate-to-Source Voltage

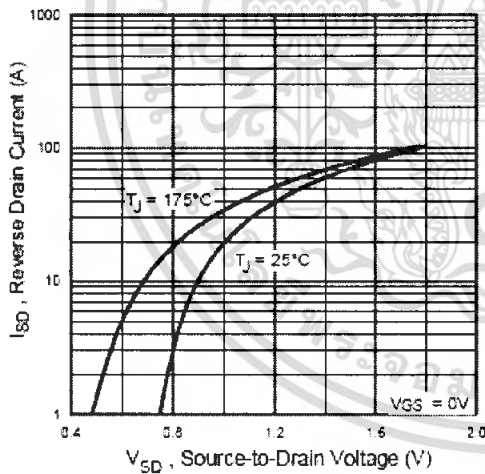


Fig 7. Typical Source-Drain Diode Forward Voltage

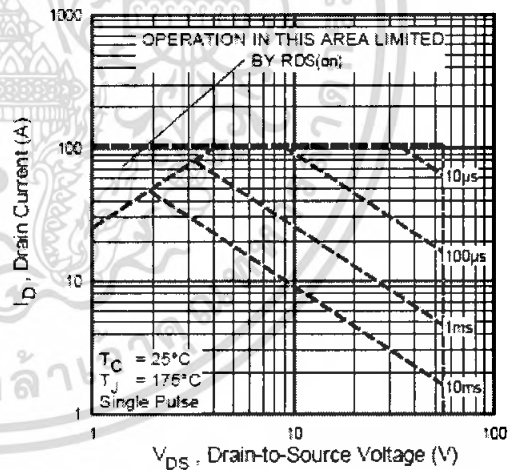


Fig 8. Maximum Safe Operating Area

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



IRFZ34N

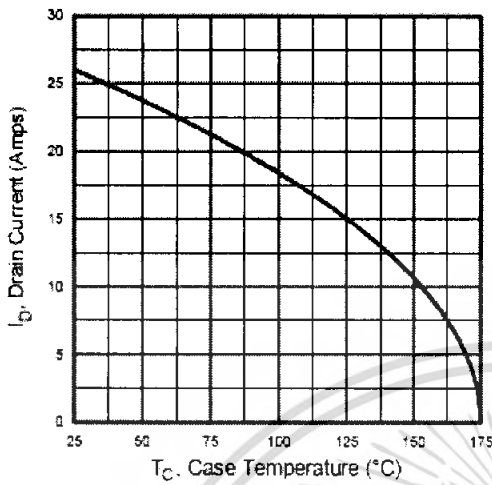


Fig 9. Maximum Drain Current Vs. Case Temperature

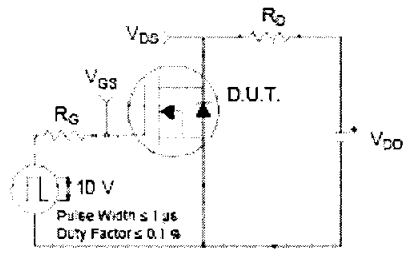


Fig 10a. Switching Time Test Circuit

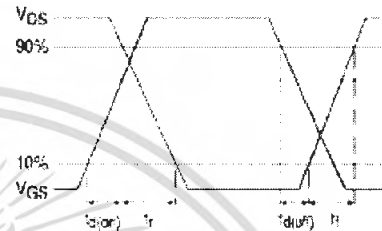


Fig 10b. Switching Time Waveforms

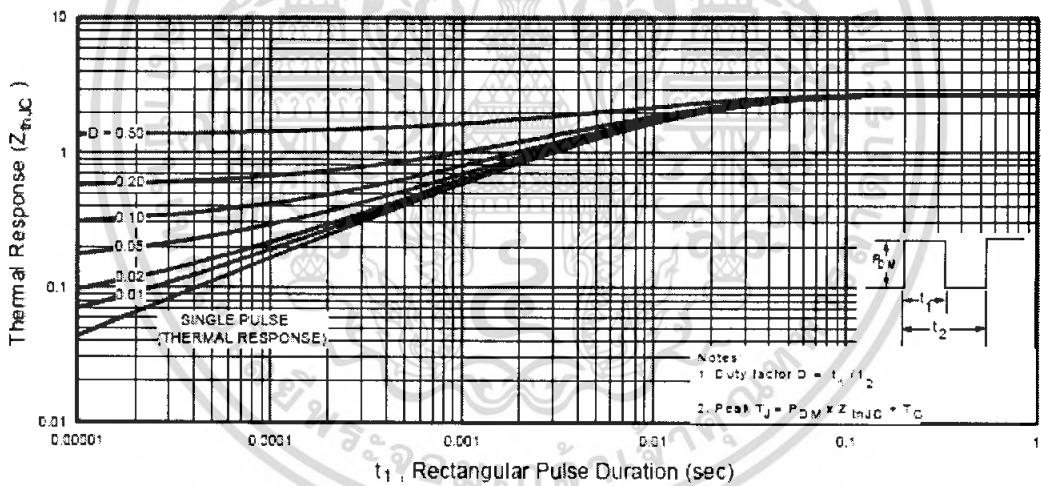


Fig 11. Maximum Effective Transient Thermal Impedance, Junction-to-Case

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

IRFZ34N

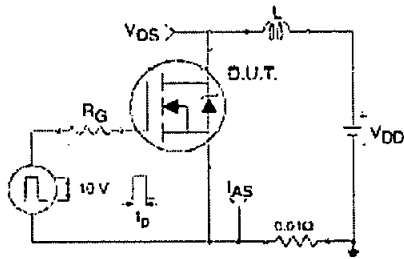


Fig 12a. Unclamped Inductive Test Circuit

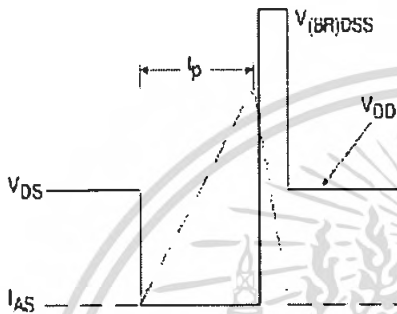


Fig 12b. Unclamped Inductive Waveforms

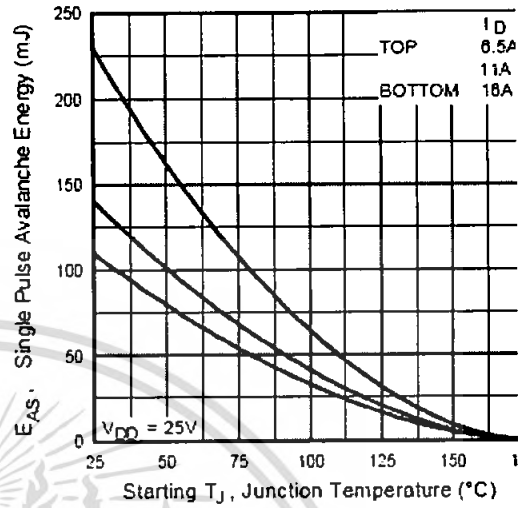


Fig 12c. Maximum Avalanche Energy Vs. Drain Current

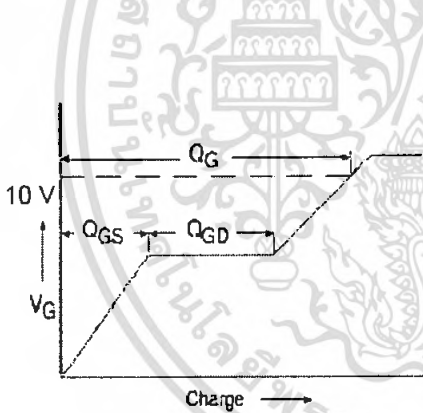


Fig 13a. Basic Gate Charge Waveform

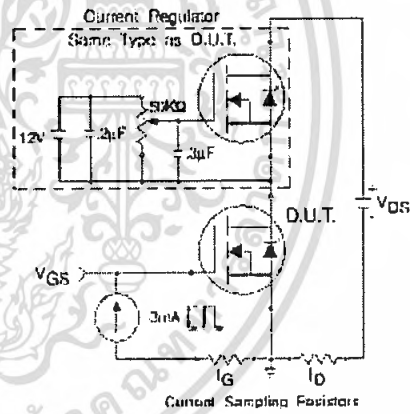


Fig 13b. Gate Charge Test Circuit

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 อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Appendix A

Peak Diode Recovery dv/dt Test Circuit

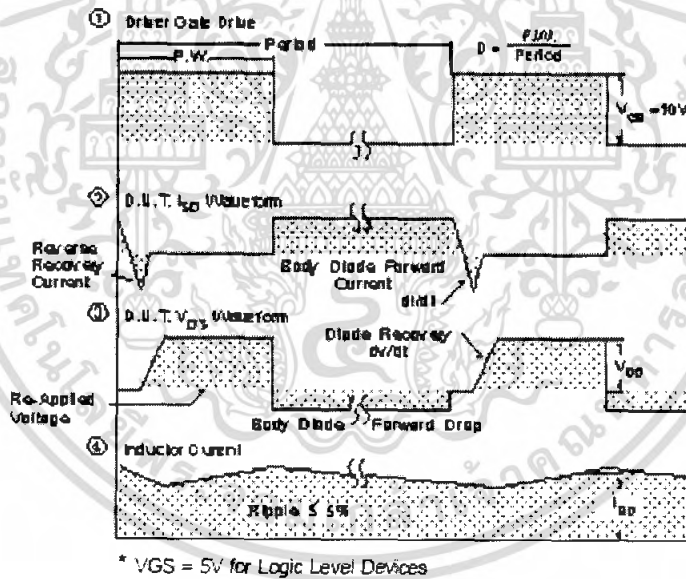
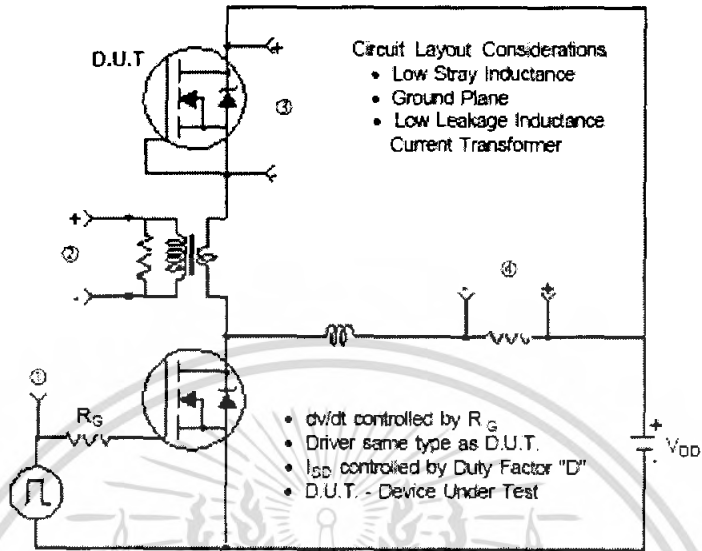


Fig 14. For N-Channel HEXFETS

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

IRFZ34N

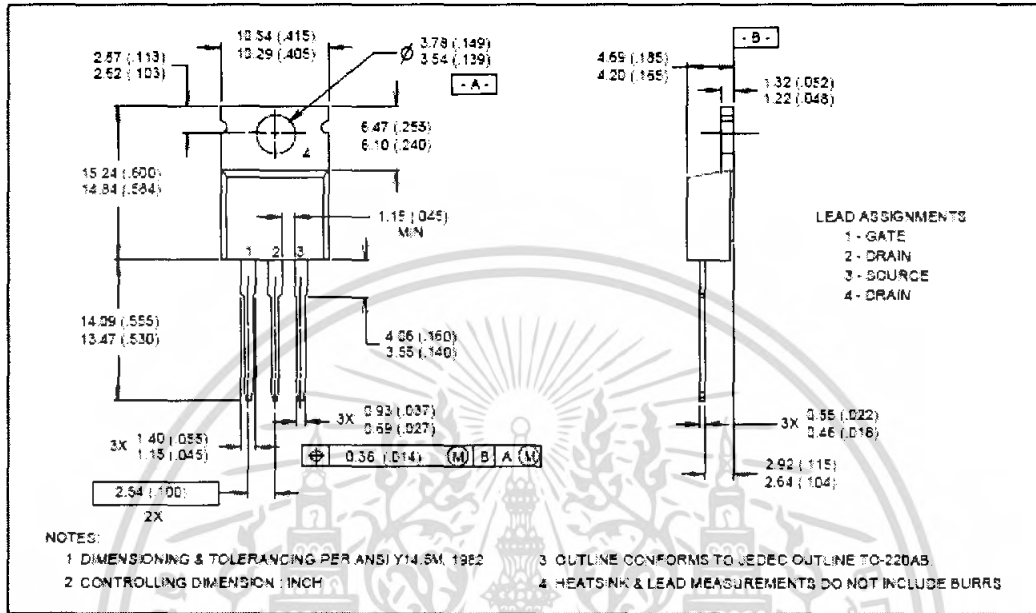


Appendix B

Package Outline

TO-220AB Outline

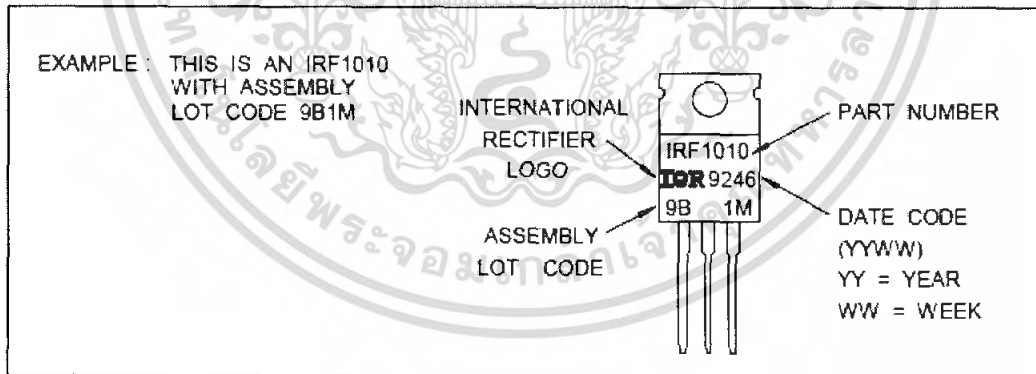
Dimensions are shown in millimeters (inches)



Part Marking Information

Appendix C

TO-220AB



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DATASHEET STTH3003CW



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

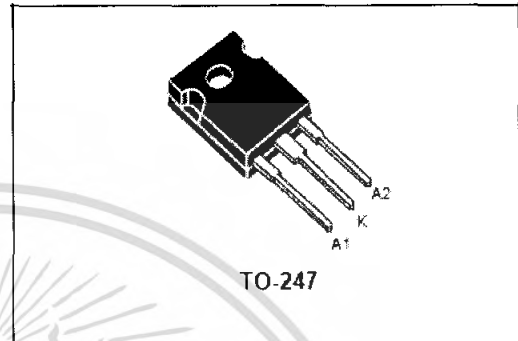


STTH3003CW

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 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 อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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
			$T_j = 125^{\circ}\text{C}$		40	
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 :

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

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
	$I_F = 1\text{ A}$ $df/dt = -50\text{ A}/\mu\text{s}$ $V_R = 30\text{ V}$			40	
t_{fr}	$I_F = 15\text{ A}$ $df/dt = 100\text{ A}/\mu\text{s}$ $T_j = 25^{\circ}\text{C}$			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}	$df/dt = 200\text{ A}/\mu\text{s}$			8.5	A

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

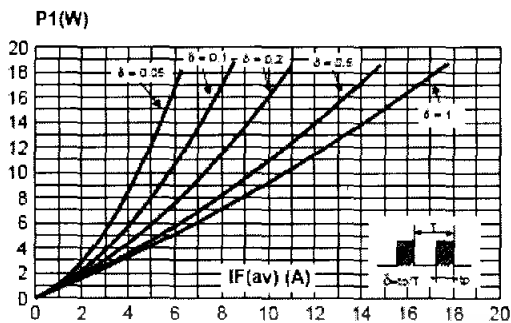


Fig. 2: Forward voltage drop versus forward current (maximum values, per diode).

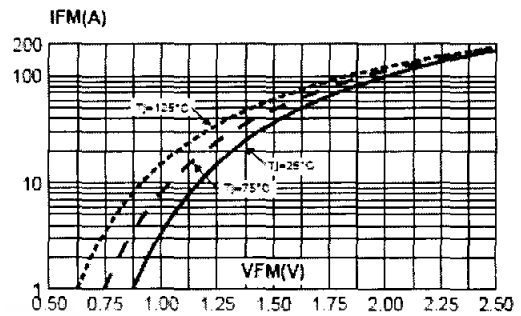


Fig. 3: Relative variation of thermal impedance junction to case versus pulse duration.

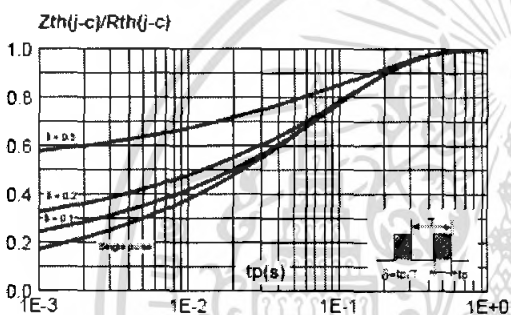


Fig. 4: Peak reverse recovery current versus di/dt (90% confidence, per diode).

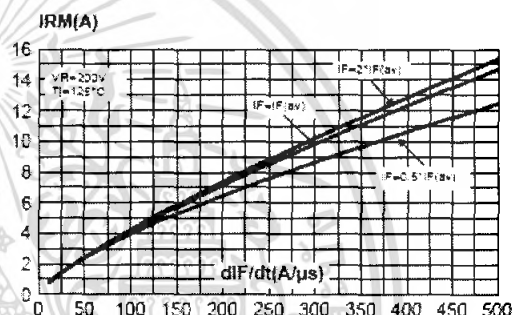


Fig. 5: Reverse recovery time versus di/dt (90% confidence, per diode).

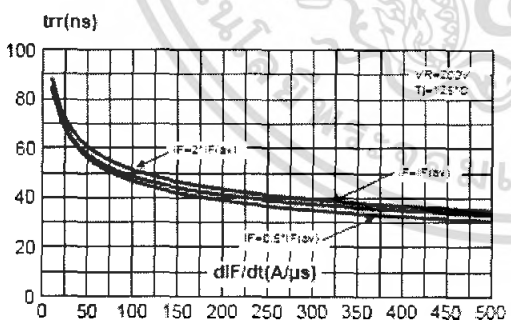
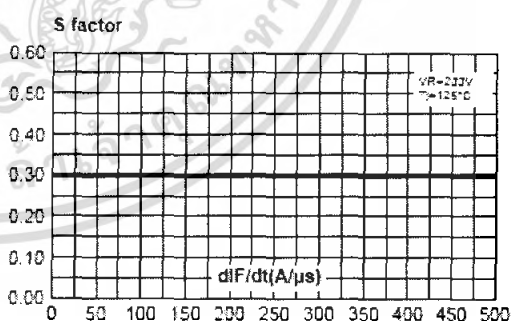


Fig. 6: Softness factor versus di/dt (typical values, per diode).



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

STTH3003CW

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

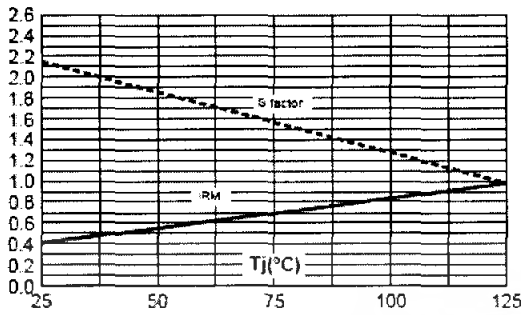


Fig. 8: Transient peak forward voltage versus di_F/dt (90% confidence, per diode).

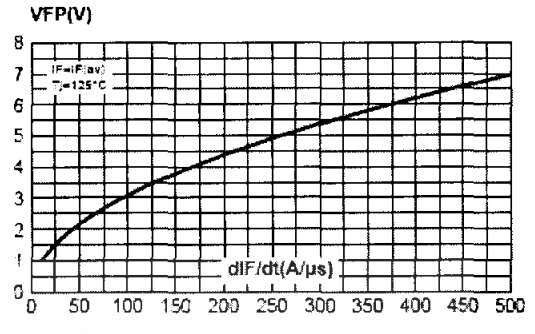
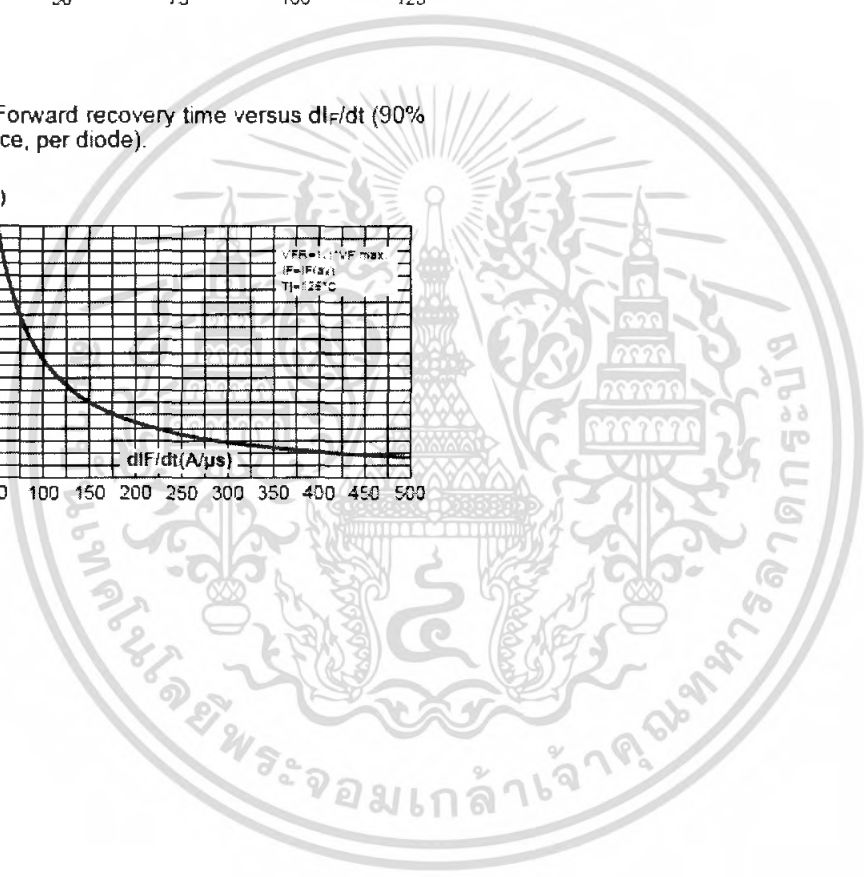
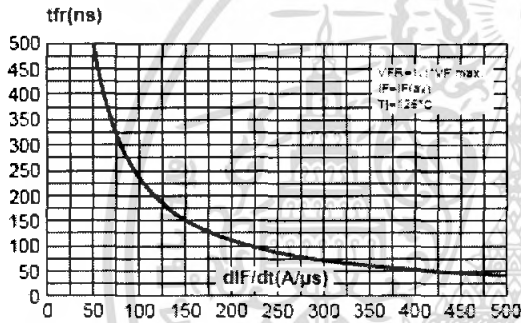
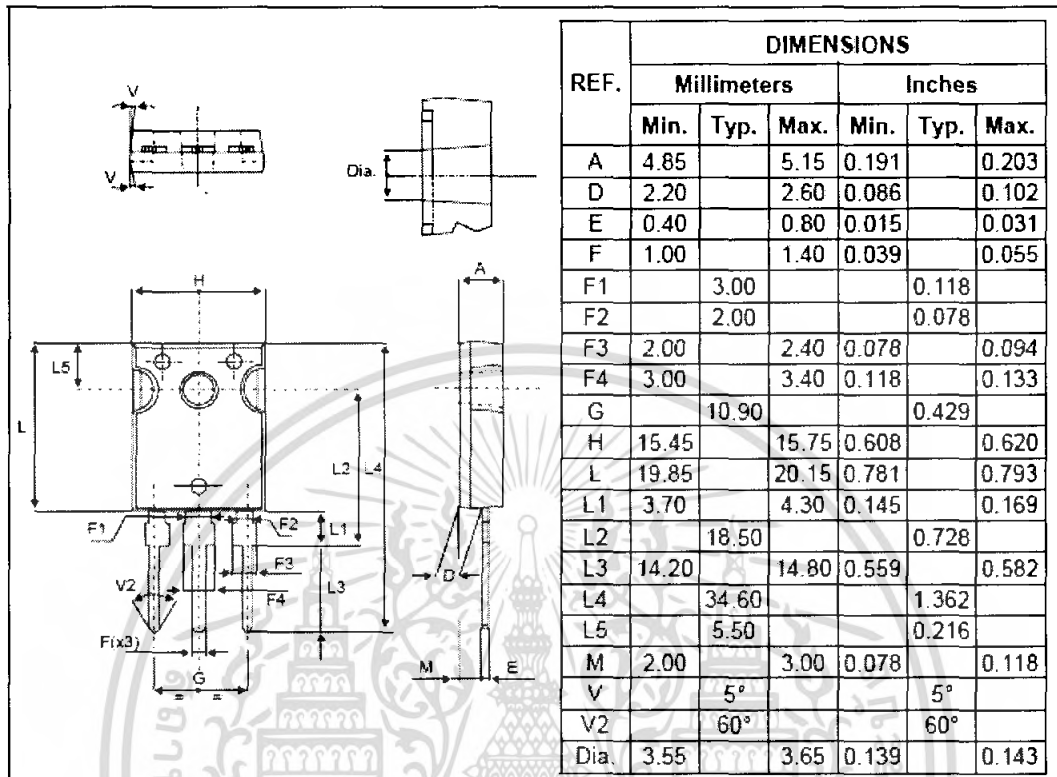


Fig. 9: Forward recovery time versus di_F/dt (90% confidence, per diode).



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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 อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข

ตารางแทนเฟอร์ไรต์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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)	Approx. weight (g/pr.)	Test data (page)	Bobbin (page)
	C_1 (mm ⁻¹)	A_e (mm ²)	l_e (mm)	V_e (mm ³)							
EE12.8/13	2.4057	12.4	29.7	367	12.6	12.1	L	26.3	1.90	—	—
EE13/13B	1.1934	25.1	30.0	752	24.9	23.8	B	26.6	3.70	47	—
EE16/14K	1.8682	18.9	35.2	663	18.2	18.2	C	42.6	3.20	48	59
EE19/16K	1.7168	23.1	39.6	915	22.8	22.8	C	55.7	4.58	49	—
EE19/16Z	1.7715	22.7	40.1	909	22.7	22.7	LBC	55.9	4.56	—	—
EE22/20	1.9594	26.1	51.2	1340	24.4	24.4	C	102	13.8	—	—
EE25/19A	1.2387	39.6	49.2	1960	41.1	37.1	B	85.6	9.96	—	—
EE25/19Z	1.1970	40.2	48.1	1940	40.3	40.0	B	81.0	10.3	50	—
EE25/20	1.1561	42.6	49.3	2100	41.0	41.0	C	80.5	10.3	—	—
EE30/26K	0.52756	110	57.9	6360	114	107	L	75.8	32.2	51	59
EE30/30	1.1538	57.3	66.1	3790	47.6	47.6	C	134	20.7	52	—
EE34/28A	0.85153	82.1	69.9	5750	85.9	79.7	B	164	29.5	—	—
EE40/34B	0.54389	142	77.5	11000	137	137	C	167	52.0	53	—
EE40/34K	0.60782	127	77.4	9860	114	114	C	178	52.0	54	60
EE40/35A	0.52569	149	78.1	11600	155	145	L	178	58.8	—	—
EE40/44	0.66917	145	97.2	14100	137	137	C	248	71.7	—	—
EE42/42-15W	0.54243	180	97.8	17600	180	180	BC	276	86.9	55	—
EE42/42-20W	0.41512	236	97.8	23000	235	235	BC	276	118	56	—
EE43/34	0.47780	165	78.7	13000	159	159	C	171	65.0	—	—
EE47/39A	0.38524	232	89.5	20800	243	223	B	206	106	—	—
EE50/42K	0.42677	226	96.3	21700	213	213	C	261	113	57	60
EE55/55A †	0.34989	353	124	43700	352	352	C	400	218	58	—
EE56/47A	0.31597	339	107	36400	352	329	B	292	186	—	—
EE60/76	0.49137	377	185	69700	392	352	L	1480	354	—	—

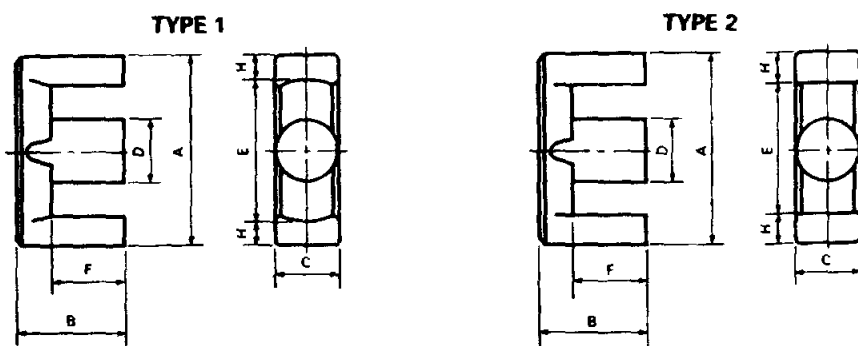
Note: Minimum cross sectional area B; Back area C; Center leg area L; Side leg area

ตารางที่ ข.1 ข้อมูลต่างๆ ของแกนเฟอร์ไรต์แบบ EE

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Summary

EER CORES

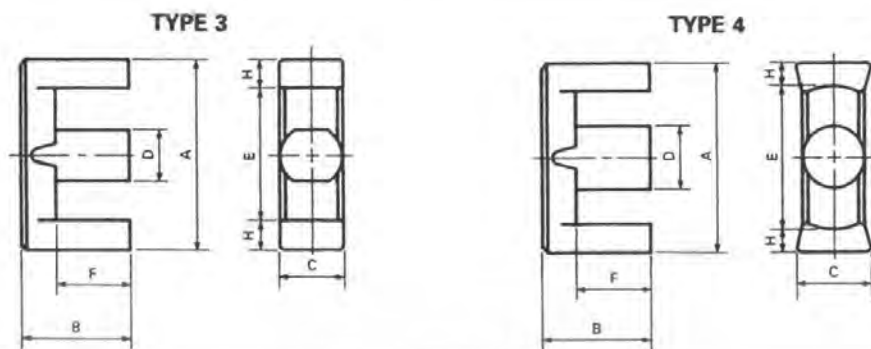


Shape code	Type	Dimensions (mm)							General standard
		A	B	C	D	Emin.	F	Hnom.	
EER09/05	1	9.3±0.20	2.30±0.10	5.05±0.15	3.35±0.15	7.7	1.6±0.10	0.70	
EER11/05	1	10.8±0.20	2.45±0.10	5.90±0.10	4.10±0.15	8.7	1.6±0.10	1.00	
EER19/24	2	19.2±0.40	12.1±0.15	5.60±0.30	5.60±0.30	13.6	8.9±0.20	2.60	
EER26/33	2	26.2±0.40	16.3±0.20	7.20±0.30	7.20±0.30	19.6	12.8±0.20	3.10	
EER28/20	3	28.0±0.40	10.1±0.25	11.9±0.30	8.50±0.20	20.4	6.6±0.20	3.60	
EER28/34	1	28.6±0.50	16.9±0.25	11.4±0.30	9.90±0.20	21.2	12.6±0.30	3.40	
EER29/30	3	29.3±0.40	14.6±0.30	11.9±0.30	8.30±0.20	21.6	11.0±0.20	3.60	
EER29/32	1	29.8±0.80	15.8±0.20	9.50±0.30	9.50±0.30	22.0	11.0±0.30	3.55	ETD29
EER30/26	1	30.1±0.60	13.2±0.35	12.0±0.25	12.0±0.25	20.0	8.3±0.30	4.76	
EER33/33	3	33.0±0.30	16.7±0.35	13.0±0.20	10.5±0.20	23.4	12.0±0.20	4.65	
EER34/35	1	34.2±0.80	17.3±0.20	10.8±0.30	10.8±0.30	25.6	12.1±0.30	3.95	ETD34
EER35/41	1	35.0±0.50	20.7±0.30	11.3±0.25	11.3±0.25	25.6	14.7±0.30	4.43	JIS
EER38/44	1	37.5±0.50	22.0±0.20	15.2±0.25	15.2±0.25	26.5	15.5±0.20	5.25	
EER39/40	1	39.1±0.90	19.8±0.20	12.5±0.30	12.5±0.30	29.3	14.6±0.40	4.50	ETD39
EER39/45	1	39.0±0.40	22.7±0.20	12.8±0.25	12.8±0.25	28.6	17.1±0.20	5.00	JIS
EER40/45	1	40.0±0.70	22.4±0.30	13.3±0.30	13.3±0.30	28.8	15.4±0.30	5.25	JIS
EER42/42	1	42.0±0.50	21.2±0.20	15.2±0.25	15.2±0.25	30.5	15.3±0.30	5.50	JIS
EER42/43	1	42.2±0.90	21.6±0.20	14.7±0.30	14.7±0.30	30.4	16.0±0.40	5.58	
EER42/45	1	42.0±0.60	22.4±0.20	15.5±0.25	15.5±0.25	29.4	15.4±0.30	6.15	
EER42/49	1	42.0±0.50	24.7±0.20	19.6±0.40	17.3±0.25	31.8	18.8±0.30	4.85	
EER44/45	1	44.0±1.00	22.3±0.20	14.9±0.30	14.9±0.30	32.5	16.5±0.40	5.35	ETD44
EER45/38	2	44.0±0.50	19.3±0.20	15.2±0.25	15.2±0.25	31.0	13.3±0.20	6.00	
EER48/41	1	48.0±1.00	20.6±0.60	20.9±0.40	18.0±0.30	37.2	15.0±0.30	5.10	
EER49/49	1	48.7±1.10	24.7±0.20	16.4±0.30	16.4±0.30	36.1	18.1±0.40	5.85	ETD49
EER49/62	1	49.0±0.50	31.2±0.30	17.2±0.25	17.2±0.25	36.4	22.7±0.20	6.00	JIS
EER53/37	1	53.5±1.00	18.3±0.20	17.9±0.40	17.9±0.40	39.8	11.1±0.30	6.43	
EER55/57	4	55.0±0.50	28.4±0.40	24.7±0.40	20.6±0.30	41.7	19.0±0.30	6.40	
EER60/65	2	80.0±0.80	32.5±0.40	20.0±0.50	24.0±0.50	59.2	22.0±0.30	10.0	

ตารางที่ ข.2 ข้อมูลต่างๆ ของแกนเฟอร์ไรต์แบบ ETD

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

EER 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)	Approx. weight (g/pr.)	Test data (page)	Bobbin (page)
	C_1 (mm ⁻¹)	A_e (mm ²)	l_e (mm)	V_e (mm ³)							
EER09/05	1.7278	7.96	13.8	110	8.81	7.07	B	7.28	0.631	—	—
EER11/05	1.2353	11.9	14.7	175	13.2	10.3	B	7.48	1.00	—	—
EER19/24	1.8784	28.1	52.8	1480	24.6	24.6	C	74.8	8.20	—	—
EER26/33	1.6995	44.1	74.9	3300	40.7	40.7	C	164	16.8	—	—
EER28/20	0.58524	86.3	50.5	4360	87.7	85.7	LB	81.2	21.9	—	—
EER28/34	0.86800	85.6	74.3	6360	77.0	77.0	C	148	32.4	—	—
EER29/30	0.80887	85.9	69.5	5970	86.3	85.7	LB	152	29.4	—	—
EER29/32	0.92727	76.3	70.7	5400	70.9	70.9	C	145	27.0	29	—
EER30/26	0.47976	120	57.4	6860	113	113	C	70.8	35.3	—	—
EER33/33	0.63188	121	76.3	9210	120	120	C	158	45.8	—	—
EER34/35	0.81454	97.0	79.0	7670	91.6	91.6	C	188	38.0	30	—
EER35/41	0.81729	110	90.1	9930	100	100	C	218	52.7	31	41
EER38/44	0.50604	185	93.6	17300	181	181	C	183	86.5	—	—
EER39/40	0.74141	125	92.6	11600	123	123	C	257	57.1	32	—
EER39/45	0.75038	136	102	13900	129	129	C	277	69.7	33	41, 42
EER40/45	0.83353	153	97.2	14900	139	139	C	249	75.9	34	—
EER42/42	0.52664	183	96.3	17600	181	179	B	242	92.5	35	—
EER42/43	0.57274	178	99.0	17100	170	165	B	261	87.7	36	—
EER42/45	0.48286	202	97.3	19600	189	189	C	219	95.0	—	—
EER42/49	0.46860	233	109	25400	235	231	B	282	129	—	—
EER44/45	0.59208	175	103	18100	174	173	B	304	90.8	37	—
EER45/38	0.51323	178	91.2	16200	181	170	L	223	82.4	—	—
EER48/41	0.39196	254	98.5	25300	254	251	B	297	126	38	—
EER49/49	0.53674	231	114	24300	211	211	C	373	128	39	—
EER49/62	0.55627	242	134	32500	232	230	L	449	167	40	—
EER53/37	0.35469	255	90.4	23100	252	252	C	252	117	—	—
EER55/57	0.38039	334	127	42400	334	331	B	410	220	—	—
EER80/65	0.39587	403	160	64300	394	394	C	792	325	—	—

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

ตารางที่ ข.2(ต่อ) ข้อมูลต่างๆ ของแกนเฟอร์ไรต์แบบ ETD

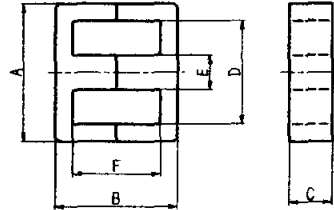
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

EE Type Cores

■ Ordering Code 品名の構成

2G8-EE-16

Material Type Length(A)
材質 形 A寸法



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

Cores 形名	Dimensions(mm) 寸法						Effective Parameter 磁心の実効定数					Weight 重量 (g)	Boltin Available
	A	B	C	D	E	F	Cl (mm ²)	Ae (mm ²)	le (mm)	Ve (mm ³)	Av (mm ²)		
EE-5	5.25±0.1	5.3±0.16	1.95±0.1	3.85±0.1	1.35±0.08	4.0±0.16	4.78	2.64	12.6	33.2	5.0	0.16	BP
EE-5.55	5.55±0.1	5.3±0.16	1.9±0.1	4.15±0.1	1.35±0.08	4.0±0.16	5.02	2.57	12.9	33.1	5.6	0.16	
EE-6.3	6.3 ^{+0.1} _{-0.25}	5.4 ^{+0.1} _{-0.22}	2.0 ^{+0.05} _{-0.15}	4.1±0.1	1.4 ^{+0.05} _{-0.11}	3.7 ^{+0.22} _{-0.1}	4.03	3.11	12.5	38.9	5.1	0.20	
EE-6.5	6.5±0.15	6.5±0.15	2.95 ^{+0.05} _{-0.2}	4.9 ^{+0.3} _{-0.3}	1.35 ^{+0.05} _{-0.2}	4.6 ^{+0.3} _{-0.3}	3.30	4.60	15.16	69.7	9.0	0.16	
EE-8.3X8.3.6S	8.3±0.2	8.0±0.2	3.6±0.15	6.3 ^{+0.2} _{-0.1}	2.0±0.15	6.0±0.2	2.73	7.14	19.5	138.9	13.0	0.68	
EE-8.3X8.3.9	8.3 ^{+0.3} _{-0.35}	8.0±0.2	3.9±0.15	6.0 ^{+0.3} _{-0.3}	2.0 ^{+0.3} _{-0.3}	6.0±0.2	2.57	7.55	19.4	146.0	12.9	0.73	BP
EE-8.5X8.3X2	8.5±0.2	8.3 ^{+0.4} _{-0.4}	2.0 ^{+0.0} _{-0.2}	6.5±0.2	2.2 ^{+0.0} _{-0.3}	6.1 ^{+0.4} _{-0.4}	5.99	3.79	20.41	77.3	14.6	0.19	
EE-8.9X8.2	8.9±0.6	8.2 ^{+0.0} _{-0.6}	1.9±0.13	5.3±0.3	1.9±0.13	4.32±0.26	3.16	4.95	15.6	773.1	7.3	0.52	
EE-10	10.0±0.3	11.0±0.2	4.9 ^{+0.0} _{-0.3}	7.7 ^{+0.3} _{-0.3}	2.4±0.2	8.4±0.2	2.33	11.1	26.0	288.7	22.9	1.4	BP
EE-10.2X11X5	10.2±0.2	11.0±0.2	5.0 ^{+0.0} _{-0.3}	7.8±0.2	2.4±0.15	8.6±0.2	2.27	11.6	26.4	306.9	23.2	1.5	
EE-12X10.4X4	12.0±0.2	10.4 ^{+0.3} _{-0.3}	4.0 ^{+0.1} _{-0.2}	8.8±0.2	3.2 ^{+0.2} _{-0.2}	7.2 ^{+0.3} _{-0.1}	1.99	12.6	25.2	318.3	20.6	1.55	
EE-12K	12.5±0.3	12.0±0.3	3.5±0.15	8.5 ^{+0.5} _{-0.5}	3.0 ^{+0.4} _{-0.4}	7.6±0.2	2.19	12.0	26.4	317.4	22.6	1.7	BP
EE-12.5	12.5±0.3	11.3±0.3	4.8±0.2	9.4±0.25	2.4±0.2	8.1±0.3	2.03	13.5	27.4	370.6	28.4	1.9	BP
EE-12.6(+EF12.6)	12.6 ^{+0.5} _{-0.4}	13.0 ^{+0.4} _{-0.4}	3.7 ^{+0.0} _{-0.3}	8.9 ^{+0.6} _{-0.6}	3.7 ^{+0.0} _{-0.3}	9.0 ^{+0.0} _{-0.3}	2.39	12.4	29.7	369.5	26.3	1.84	
EE-12.7	12.7 ^{+0.15} _{-0.2}	7.95±0.14	6.5 ^{+0.0} _{-0.3}	10.1±0.2	3.18±0.1	5.75±0.15	1.38	16.0	22.0	350.9	19.9	1.86	BP
EE-13X12X6.3	13.0±0.3	12.0±0.4	6.3 ^{+0.0} _{-0.3}	10.5±0.3	2.95 ^{+0.0} _{-0.35}	9.3±0.3	1.87	16.3	30.5	496.0	35.9	2.4	10P
EE-13K	13.0±0.2	12.0±0.3	6.3 ^{+0.0} _{-0.3}	10.2±0.2	2.8 ^{+0.1} _{-0.2}	9.2±0.2	1.77	17.1	30.2	517.3	34.3	2.6	
EE-14	14.0±0.3	11.2±0.4	5.0±0.2	10.55±0.3	3.5±0.2	7.7±0.3	1.60	17.4	27.9	486.4	27.1	2.4	
EE-16	16.0±0.3	14.3±0.4	5.0 ^{+0.0} _{-0.3}	12.0±0.3	4.05 ^{+0.0} _{-0.25}	10.2±0.3	1.79	19.4	34.8	675.9	41.2	3.3	BP
EE-16	16.0±0.3	24.5±0.4	5.0 ^{+0.0} _{-0.3}	12.0±0.3	4.2 ^{+0.0} _{-0.4}	20.4 ^{+0.0} _{-0.4}	2.83	19.5	55.2	1075	81.6	5.2	
EE-16X14.3X7S	16.0±0.3	14.3±0.4	7.0 ^{+0.0} _{-0.4}	13.0±0.3	3.2 ^{+0.0} _{-0.4}	11.0±0.3	1.76	21.0	36.9	775.2	55.0	3.8	10P
EE-16F(+EF16)	16.0 ^{+0.7} _{-0.5}	16.4 ^{+0.0} _{-0.6}	4.7 ^{+0.0} _{-0.4}	11.3 ^{+0.6} _{-0.6}	4.7 ^{+0.0} _{-0.3}	11.4 ^{+0.0} _{-0.3}	1.87	20.1	37.6	754.0	41.6	3.9	
EE-16.7	16.7 ^{+0.7} _{-0.5}	14.2±0.6	3.5±0.15	10.7 ^{+0.4} _{-0.2}	3.5±0.15	8.1±0.3	1.84	16.3	30.1	491.5	29.5	2.8	
EE-18.4	18.4±0.4	19.0±0.4	4.5±0.2	12.4 _{min}	5.5±0.2	12.6±0.4	1.66	25.2	41.9	1055	45.4	5.1	
EE-19	19.0±0.3	15.9±0.4	5.1 ^{+0.0} _{-0.5}	14.0±0.3	5.1 ^{+0.0} _{-0.5}	11.3±0.3	1.68	23.3	39.2	914.2	51.7	4.4	BP
EE-19	19.0±0.3	27.1±0.4	5.1 ^{+0.0} _{-0.5}	14.0±0.3	5.1 ^{+0.0} _{-0.5}	22.6±0.6	2.64	23.4	61.7	1443	103.4	6.7	
EE-19G	19.1±0.3	15.6 ^{+0.0} _{-0.6}	5.2 ^{+0.0} _{-0.4}	14.5±0.3	4.7 ^{+0.0} _{-0.3}	11.0 ^{+0.4} _{-0.4}	1.72	23.1	39.6	914.7	55.7	5.9	
EE-19X15.6X9.6	19.15±0.5	15.8±0.5	9.6 ^{+0.15} _{-0.2}	14.75±0.3	4.65±0.15	11.2±0.3	0.91	43.5	39.7	1726	56.6	8.7	
EE-19H	19.3±0.33	16.16±0.36	4.75 ^{+0.13} _{-0.17}	14.5±0.3	4.75 ^{+0.08} _{-0.22}	11.44±0.26	1.79	22.4	40.1	898.2	56.2	4.4	
EE-20F(+EF20)	20.4 ^{+0.0} _{-0.8}	20.4 ^{+0.0} _{-0.8}	5.9 ^{+0.0} _{-0.5}	14.1 ^{+0.6} _{-0.6}	5.9 ^{+0.0} _{-0.4}	14.0 ^{+0.8} _{-0.6}	1.46	31.8	46.3	1475	62.6	7.2	
EE-22	22.0±0.4	18.6±0.4	6.0 ^{+0.0} _{-0.6}	14.0±0.3	6.0 ^{+0.0} _{-0.6}	10.6±0.3	1.02	39.6	40.2	1592	44.0	9.0	BP
EE-22AT	22.0±0.3	29.6±0.4	5.7±0.2	15.75 ^{+0.5} _{-0.5}	5.7±0.2	21.6±0.4	1.80	35.4	63.6	2246	111.2	11.6	
EE-22B	22.0±0.4	20.0 ^{+0.3} _{-0.2}	5.5±0.25	17.5±0.3	4.0±0.2	15.0 ^{+0.0} _{-0.2}	2.07	24.4	50.5	1233	101.6	6.2	
EE-22C	22.0±0.3	18.6±0.4	5.7±0.2	15.75 ^{+0.5} _{-0.5}	5.7±0.2	10.8±0.3	1.16	36.4	42.0	1529	55.6	7.2	BP
EE-25	25.0±0.4	20.0±0.4	6.55±0.3	18.6±0.3	6.55±0.3	13.6±0.3	1.17	42.2	49.4	2084	81.9	10.6	BP
EE-25C(+EF25)	25.0 ^{+0.9} _{-0.7}	25.6 ^{+0.0} _{-1.0}	7.5 ^{+0.0} _{-0.6}	17.5 ^{+0.8} _{-0.8}	7.5 ^{+0.0} _{-0.5}	17.4 ^{+1.0} _{-1.0}	1.11	51.8	57.8	2994	95.3	13.6	
EE-25	25.0±0.4	33.6±0.5	6.55±0.3	18.6±0.3	6.55±0.3	27.2±0.5	1.81	42.3	76.6	3238	163.9	15.3	
EE-25.4	25.4±0.4	19.0±0.5	6.35±0.25	19.0±0.3	6.35±0.3	12.7±0.3	1.19	40.3	48.0	1935	80.3	10.0	
EE-25.4	25.4±0.4	31.7 ^{+0.6} _{-0.4}	6.35±0.25	19.0±0.3	6.35±0.3	25.4 ^{+0.6} _{-0.4}	1.82	40.4	73.4	2963	160.7	11.8	
EE-28A	28.0±0.4	21.5±0.5	11.0 ^{+0.0} _{-0.5}	19.0 ^{+1.0} _{-1.0}	7.5 ^{+0.0} _{-0.5}	12.5±0.4	0.56	88.7	50.0	4429	75.0	21.6	10P
EE-29	28.7±0.4	31.6±0.4	7.0 ^{+0.0} _{-0.5}	22.7±0.4	6.6±0.25	25.2±0.4	1.79	42.6	76.4	3251	202.9	16.5	
EE-33	33.0±0.5	28.2±0.4	13.0 ^{+0.0} _{-0.5}	24.0±0.5	10.0 ^{+0.0} _{-0.5}	19.2±0.4	0.57	117.7	67.0	7887	136.8	37.5	10P

*DIN Standard 41984

ตารางที่ ข.3 ข้อมูลต่างๆ ของแกนเฟอร์ไรต์แบบ EI

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค

ตารางขนาดลวดตัวนำ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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 อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

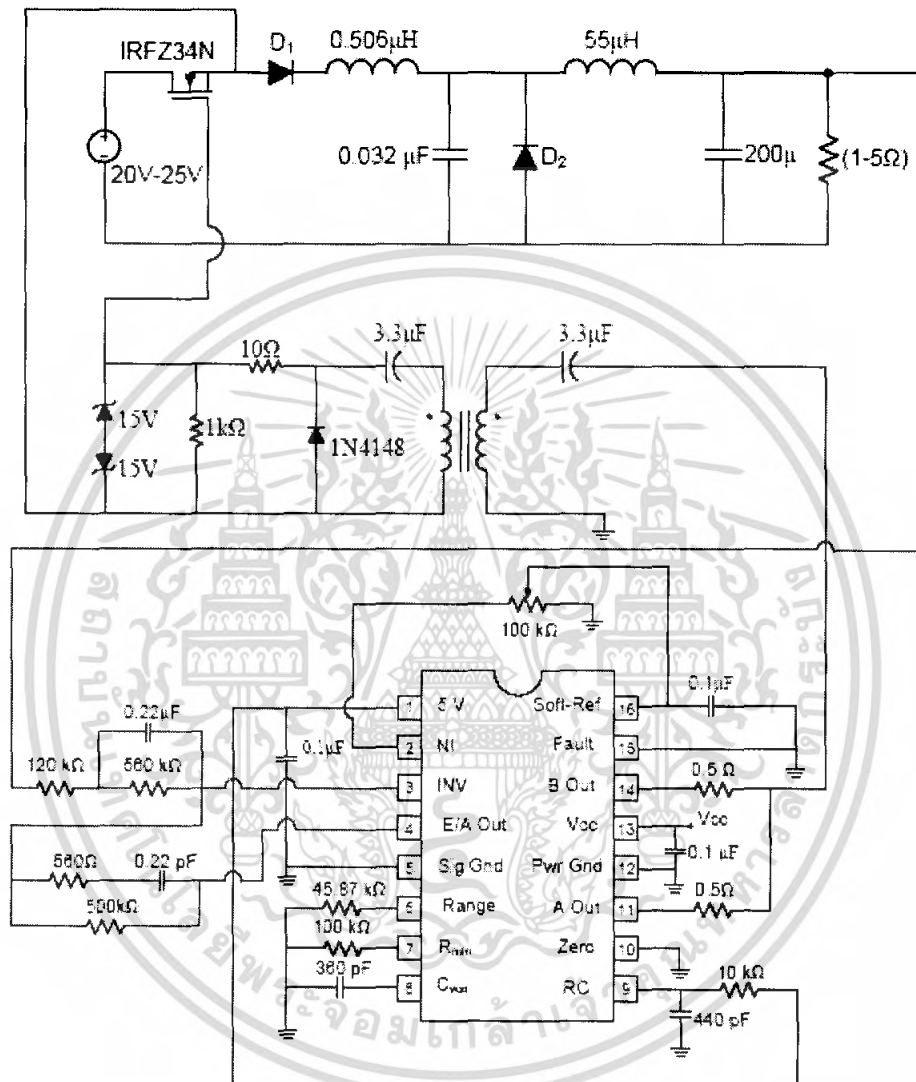
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ง

วงจรรวม

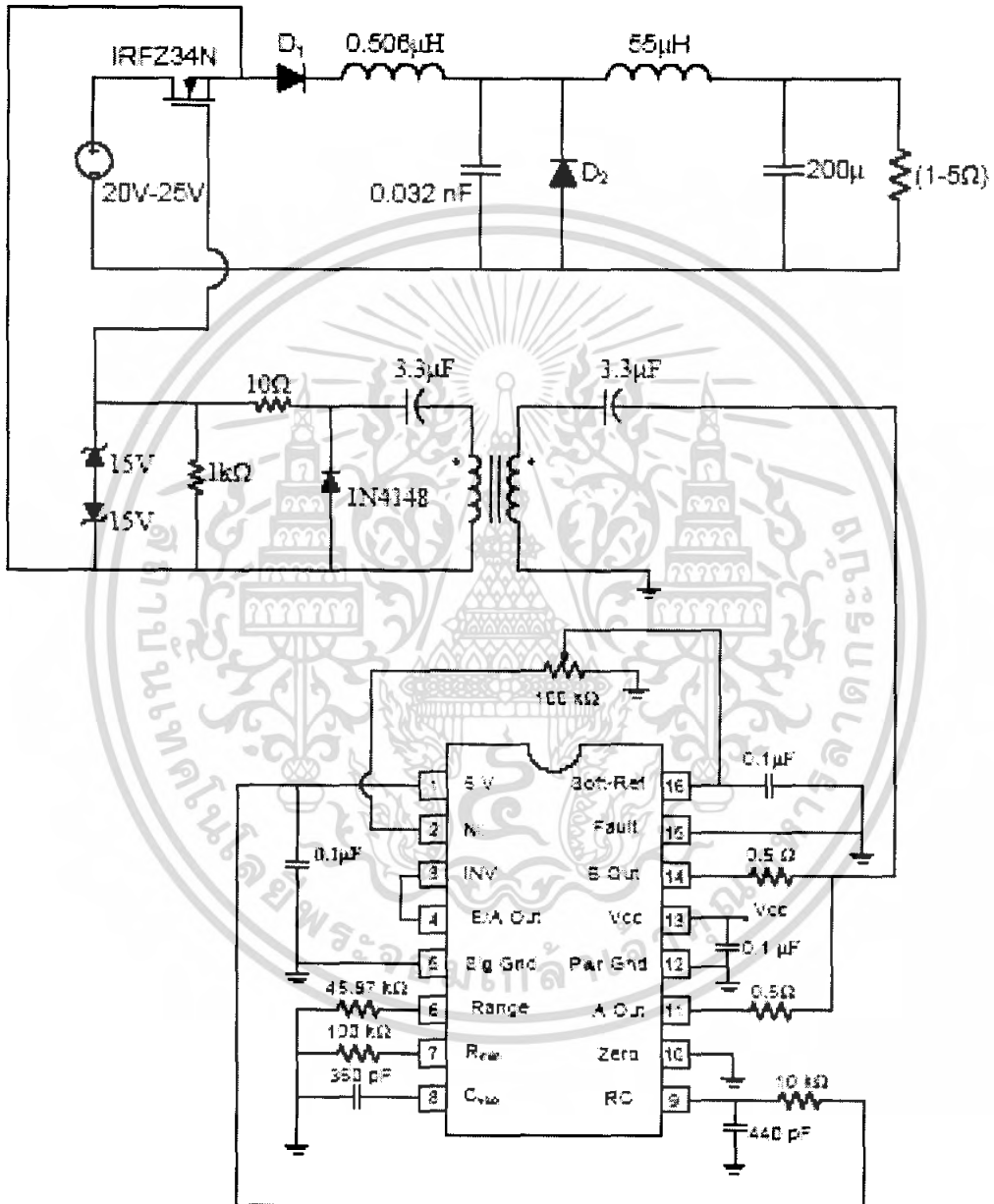


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ง.1 การต่อวงจรรวมแบบวงปิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ๒.๒ การต่อวงจรรวมแบบวงเปิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้