

การออกแบบหม้อแปลงความถี่สูงแบบฟลายแบ็ค
FLYBACK HIGH FREQUENCY TRANSFORMER DESIGN



นายปรมินทร์ ต้อคำ รหัส 51382303
นายอนุรักษ เมืองวงศ์ รหัส 51384109

ห้องสมุดและวิทยากรรรมศาสตร์
วันที่รับ..... 4 ส.ค. 2555
เลขทะเบียน..... 16 06 7588
เลขเรียกหนังสือ..... 218
มหาวิทยาลัยนเรศวร 169

2554


ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร
ปีการศึกษา 2554

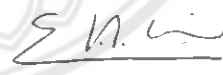


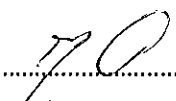
ใบรับรองปริญญาโท

ชื่อหัวข้อโครงการ การออกแบบมือแปลงความถี่สูงแบบฟลายแบค
ผู้ดำเนินโครงการ นายปรมินทร์ ต้อคำ รหัส 51382303
นายอนุรักษ์ เมืองวงศ์ รหัส 51384109
ที่ปรึกษาโครงการ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สมพร เรืองสินชัยวานิช
สาขาวิชา วิศวกรรมไฟฟ้า
ภาควิชา วิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์
ปีการศึกษา 2554

คณะวิศวกรรมศาสตร์มหาวิทยาลัยนครสวรรค์ อนุมัติให้ปริญญาโทฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่ง
ของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า


.....ที่ปรึกษาโครงการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สมพร เรืองสินชัยวานิช)


.....กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุชาติ แอ้มแมน)


.....กรรมการ
(ดร. อัครพันธ์ วงศ์กิ่งแห)

ชื่อหัวข้อโครงการ การออกแบบหม้อแปลงความถี่สูงแบบฟลายแบค
ผู้ดำเนินโครงการ นายปรมินทร์ ตี้อำ รหัส 51382303
นายอนุรักษ์ เมืองวงศ์ รหัส 51384109
ที่ปรึกษาโครงการ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สมพร เรืองสินชัยวานิช
สาขาวิชา วิศวกรรมไฟฟ้า
ภาควิชา วิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์
ปีการศึกษา 2554

บทคัดย่อ

ปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้นำเสนอโครงการการออกแบบ ทดสอบ และพัฒนาหม้อแปลงความถี่สูงสำหรับแหล่งจ่ายสวิตชิงแบบฟลายแบค ที่พิกัดความถี่ 50 กิโลเฮิรตซ์ พิกัดกำลังเอาต์พุต 45 วัตต์ พิกัดแรงดันเอาต์พุต 36 โวลต์ และพิกัดกระแส 1.25 แอมป์ ประกอบในชุดคอนเวอร์เตอร์ของวงจรอับประจุแบบเตอร์ที่ใช้กับแรงดันไฟสลับ 220 V ความถี่ 50 เฮิรตซ์ มีการออกแบบขดลวดของหม้อแปลงความถี่สูงแบบฟลายแบคออกเป็น 3 ชุดคือ ขดลวดปฐมภูมิ (N_p) ขดลวดทุติยภูมิ (N_s) และขดลวดช่วย (N_c) จากการออกแบบ สร้าง และทดสอบเบื้องต้นเห็นได้ว่าการพัฒนาหม้อแปลงความถี่สูงแบบฟลายแบคมีประสิทธิภาพสูงขึ้นและใช้งานได้จริง

Project title Fly Back High Frequency Transformer Design
Name Mr. Poramin Trekam ID. 51382303
Mr. Anurak Muangwong ID. 51384109
Project advisor Assistant Professor Somporn Ruangsinchaiwanich, Ph.D.
Major Electrical Engineering
Department Electrical and Computer Engineering
Academic year 2011

.....

Abstract

This thesis presented the design and development projects for power transformers, fly back high frequency switching and green bag. The range of frequency was 50 kHz, rated of power output 45 watts, rated of output voltage 36 V and current rating 1.25 amps. The series converter circuit charge the battery used the voltage 220 V, of frequency was 50 Hz. The winding of the transformers, fly back high frequency transformers was designed into three sets include primary coil (N_p), coil secondary (N_s), and the coil help (N_h). The result showed the fly back high frequency transformers was highly effectiveness and practically.

กิตติกรรมประกาศ

โครงการนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยความกรุณาอย่างยิ่งจาก ผู้ช่วยศาสตราจารย์.ดร.สมพร เรืองสินชัชวานิช ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาโครงการ และให้ความกรุณาในการตรวจทานปริญญา นิพนธ์ คณะผู้ดำเนิน โครงการขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงและขอระลึกถึงความกรุณาของท่านไว้ตลอดไป

ขอขอบคุณคณาจารย์ทุกท่านที่ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ให้กับคณะผู้ดำเนินงาน นอกจากนี้ยังต้องขอขอบคุณภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์ที่ให้ยืมอุปกรณ์ และเครื่องมือวัดมาใช้งาน จนทำให้โครงการนี้สำเร็จลุล่วงไปได้

ขอขอบคุณ พี่พัชรกร อ้อยหวาน พี่เกรียงศักดิ์ ไกรกิจราษฎร์ และพี่บุญญฤทธิ์ ว่างอน ที่ให้ความช่วยเหลือและคำแนะนำในการทำโครงการจนแล้วเสร็จ

เหนือสิ่งอื่นใด คณะผู้ดำเนิน โครงการขอกราบขอบพระคุณของบิดา มารดา ผู้มอบความรักความเมตตา สติปัญญา รวมทั้งเป็นผู้ให้ทุกสิ่งทุกอย่างตั้งแต่วัยเยาว์จวบจนถึงปัจจุบัน คอยเป็นกำลังใจทำให้ได้รับความสำเร็จอย่างตลอดมาทุกวันนี้ และขอขอบคุณทุกๆ คนในครอบครัวของ คณะผู้ดำเนิน โครงการที่ไม่ได้กล่าวไว้ ณ ที่นี้ด้วย

นายปรมินทร์ ตี้อำ

นายอนุรักษ์ เมืองวงศ์

สารบัญ

หน้า

ใบรับรองปริญญาโท.....	ก
บทคัดย่อ	ข
Abstract.....	ค
กิตติกรรมประกาศ	ง
สารบัญ.....	จ
สารบัญตาราง	ช
สารบัญรูป.....	ฉ
สารบัญรูป.....	ญ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ที่มาและความสำคัญของโครงการ.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ	1
1.3 ขอบเขตของโครงการ	1
1.4 ขั้นตอนและแผนการดำเนินงาน	2
1.5 ประโยชน์ที่ได้รับจากโครงการ.....	2
1.6 งบประมาณ.....	2
บทที่ 2 หลักการออกแบบหม้อแปลงความถี่สูงแบบฟลายแบค	3
2.1 หม้อแปลงความถี่สูงแบบฟลายแบค.....	3
2.1.1 ส่วนประกอบของหม้อแปลงความถี่สูงแบบฟลายแบค	3
2.1.2 แกนเฟอร์ไรต์และการเลือกใช้.....	4
2.1.3 ความสัมพันธ์ระหว่างขดปฐมภูมิและขดทุติยภูมิ.....	10
2.1.4 การพันขดลวดทองแดงและการกำหนดของขดลวด	12
2.1.5 อุณหภูมิของหม้อแปลงความถี่สูงแบบฟลายแบค.....	28
2.1.6 ฉากกั้น RFI และ EMI.....	29

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
2.1.7 การออกแบบหม้อแปลงความถี่สูงให้มีความปลอดภัย	32
2.2 หลักการทำงานของคอนเวอร์เตอร์	34
2.3 คอนเวอร์เตอร์แบบฟลายแบค.....	39
2.3.1 คุณลักษณะของคอนเวอร์เตอร์แบบฟลายแบค	39
2.3.2 การทำงานของคอนเวอร์เตอร์แบบฟลายแบค.....	39
2.3.3 ลักษณะกระแสและแรงดันภายในวงจร	40
2.3.4 การทำงานในโหมดกระแสต่อเนื่องและโหมดกระแสไม่ต่อเนื่อง.....	42
2.3.5 การออกแบบคอนเวอร์เตอร์แบบฟลายแบคที่โหมดกระแสไม่ต่อเนื่อง.....	42
2.3.6 ช่วงเวลานำกระแสสูงสุด ($t_{on(max)}$)	43
2.3.7 กำหนดค่าความเหนี่ยวนำของขดลวดปฐมภูมิ L_p	44
2.3.8 จำนวนรอบของขดลวดปฐมภูมิ N_p และจำนวนรอบของขดลวดทุติยภูมิ N_s	45
บทที่ 3 การออกแบบหม้อแปลงความถี่สูงแบบฟลายแบค.....	46
3.1 การสร้างหม้อแปลงความถี่สูงแบบฟลายแบค	46
3.1.1 ขั้นตอนการสร้างคอนเวอร์เตอร์แบบฟลายแบค	46
3.1.2 ตัวอย่างการออกแบบหม้อแปลงความถี่สูงแบบฟลายแบค	47
3.1.3 การเลือกใช้อุปกรณ์ในการพันหม้อแปลงความถี่สูงแบบฟลายแบค.....	51
บทที่ 4 ผลการทดลองและวิเคราะห์ผล	54
4.1 รูปของการออกแบบการพันหม้อแปลงและผลการวัดค่าพารามิเตอร์	54
4.1.1 รูปการออกแบบการพันของหม้อแปลงและผลการทดสอบ.....	54
4.1.2 ผลการวัดค่าพารามิเตอร์ของหม้อแปลงความถี่สูง (ไม่มีช่องอากาศคั่น)	56
4.1.3 กราฟแสดงค่าของพารามิเตอร์ของหม้อแปลงความถี่สูง	57
4.1.4 ผลการวัดค่าพารามิเตอร์ของหม้อแปลงความถี่สูง (เพิ่มช่องอากาศคั่น)	60

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
4.1.5 กราฟแสดงค่าของพารามิเตอร์ของหม้อแปลงความถี่สูง	61
4.1.6 วิเคราะห์ผลเพื่อทำการออกแบบหม้อแปลงตัวสมบรูณ์	64
4.2 การทดสอบหม้อแปลงความถี่สูงแบบฟลายแบคในวงจรอัดประจุแบบเตอรี	65
4.2.1 ผลการทดสอบหม้อแปลงความถี่สูงในวงจรอัดประจุ	66
4.2.2 การเปรียบเทียบระหว่างหม้อแปลงตัวอ้างอิงและหม้อแปลงตัวสมบรูณ์	69
บทที่ 5 สรุปผลและข้อเสนอแนะ	70
5.1 สรุปผลการดำเนินงาน	70
5.2 ปัญหาและข้อเสนอแนะ	70
5.3 แนวทางในการพัฒนาโครงการต่อไป	70
เอกสารอ้างอิง.....	71
ภาคผนวก ก รายละเอียดของวงจรวงจรอัดประจุ.....	72
ภาคผนวก ข รายละเอียดของไอซี UC3844 ในวงจรอัดประจุ.....	80
ภาคผนวก ค รายละเอียดของมอสเฟต FQP7N80 ในวงจรอัดประจุ	85
ประวัติผู้ดำเนินโครงการ.....	88

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 ขนาดมาตรฐาน AWG ข้อมูลอื่นๆ ของขดลวดทองแดงอบน้ำยา.....	13
2.2 การจัดกลุ่มของเทปฉนวนตามอัตราทนอุณหภูมิ (THERMAL STRENGTH)	32
3.1 ตัวอย่างการคำนวณด้านปฐมภูมิ (N_p).....	48
3.2 ตัวอย่างการคำนวณด้านทุติยภูมิ (N_s).....	49
3.3 ตัวอย่างการคำนวณด้านขดลวดช่วย (N_c).....	50
3.4 ผลกำลังสูญเสียและความสูงทั้งหมดของขดลวด.....	50
4.1 ค่าเฉลี่ยพารามิเตอร์ของหม้อแปลงความถี่สูง (ยังไม่มีช่องอากาศคั่น).....	56
4.2 ค่าเฉลี่ยพารามิเตอร์ของหม้อแปลงความถี่สูง (เพิ่มช่องอากาศคั่น).....	60



สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 ตัวอย่างลักษณะของเส้นโค้งฮิสเตอร์ีซิส [3].....	5
2.2 กราฟค่าการสูญเสียในแกนเฟอร์ไรต์ [3].....	6
2.3 การกำหนดช่องอากาศคัน I_g ที่แกนกลาง และระหว่างคู่ที่ประกบ.....	8
2.4 ความสัมพันธ์พื้นฐานของหม้อแปลง.....	11
2.5 ลักษณะการเกิดกระแสไหลวนภายในลวดทองแดง	12
2.6 ระยะเวลาที่ถือว่าเป็นพื้นผิวนำกระแสไหล.....	13
2.7 ค่าอัตราส่วนความต้านทานที่สลับต่อความต้านทานที่กระแสตรง (F_R).....	16
2.8 ลักษณะของการเกิดฟลักซ์รั่วภายในหม้อแปลงความถี่สูงฟลายแบค	17
2.9 ลักษณะของฟลักซ์รั่วและค่าความหนาแน่นของฟลักซ์รั่ว B_x	18
2.10 ลักษณะของฟลักซ์รั่วทำให้มีกระแสไหลวนเกิดขึ้นที่ผิว.....	18
2.11 การเปรียบเทียบลวดทองแดงที่พันเรียงกันแต่ละชั้น.....	19
2.12 การกำหนดจำนวนชั้นในพอร์ชั่น	20
2.13 การลดลงความหนาแน่นฟลักซ์สูงสุดของฟลักซ์รั่ว	20
2.14 การลดจำนวนชั้นจากรูปที่ 2.12 ลงไปอีก โดยแบ่งครึ่งพื้นที่ขดทุกขด.....	21
2.15 ลักษณะของพอร์ชั่นที่มีจำนวนชั้นเท่ากับครึ่งชั้น	22
2.16 การจัดขดลวดทองแดงสำหรับฟอร์เวิร์ดคอนเวอร์เตอร์ที่เหมาะสม	22
2.17 ลักษณะของค่าความหนาแน่นฟลักซ์รั่ว.....	23
2.18 ลักษณะความหนาแน่นของฟลักซ์รั่วในหม้อแปลงที่มีขดทุกขดหลายขด.....	23
2.19 ตามกำหนดค่าต่างๆในการพันหม้อแปลงความถี่สูงตามวิธี JONGSMA	24
2.20 การพันขดลวด โดยขดลวดทองแดงขนานกัน	27
2.21 (ก) หม้อแปลงที่ไม่มีฉากกัน RFI จะเกิดตัวเก็บประจุแฝงระหว่างขดปฐมภูมิและ	30
2.22 ฉากกัน EMI รอบหม้อแปลงความถี่สูง.....	31
2.23 การพันขดลวดบนขดบับนลักษณะแยกฝั่งขดลวดที่ขาขดบับน	33
2.24 การแยกส่วนของขดลวดด้วยเทปฉนวนขดบับน	33
2.25 บล็อกไอโซเกรมของแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงแบบสวิตซิง [3]	34
2.26 ฟลายแบคคอนเวอร์เตอร์	35
2.27 ฟอร์เวิร์ดคอนเวอร์เตอร์.....	36
2.28 พุช - พูลคอนเวอร์เตอร์	37

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
2.29 ฮาล์ฟ-บริดจ์คอนเวอร์เตอร์	37
2.30 ฟูล-บริดจ์คอนเวอร์เตอร์	38
2.31 วงจรพื้นฐานของคอนเวอร์เตอร์แบบฟลายแบค [3].....	39
2.32 กราฟลักษณะกระแสและแรงดันในวงจร [3].....	41
3.1 ลักษณะแกนเฟอร์ไรต์ขนาด EI 40.....	51
3.2 ลักษณะบอบบี้นหรือแบบรองพันขนาด EI 40.....	52
3.3 ลักษณะขดลวดทองแดงอาบนํ้ายา	52
3.4 ลักษณะเทปฉนวน	53
3.5 ลักษณะหม้อแปลง.....	53
4.1 วัดหาค่าความเหนี่ยวนำ (L) ค่าความต้านทาน (R) ของขดลวดหม้อแปลง	54
4.2 การออกแบบหม้อแปลงความถี่สูงลักษณะต่างๆ	56
4.3 กราฟแสดงการเปรียบเทียบค่าความเหนี่ยวนำของหม้อแปลง	57
4.4 กราฟแสดงการเปรียบเทียบค่าความต้านทานของหม้อแปลง	58
4.5 กราฟแสดงการเปรียบเทียบค่ารีแอกแตนซ์ของหม้อแปลง	59
4.6 กราฟแสดงการเปรียบเทียบค่าความเหนี่ยวนำของหม้อแปลง	61
4.7 เปรียบเทียบค่าความต้านทานของหม้อแปลง.....	62
4.8 เปรียบเทียบค่าความรีแอกแตนซ์ของหม้อแปลง.....	63
4.9 หม้อแปลงตัวสมบูรณ์.....	64
4.10 วงจรอัดประจุแบตเตอรี่.....	65
4.11 สัญญาณควบคุมสวิทช์ของไอซี UC3844.....	65
4.12 ลักษณะของสัญญาณเอาต์พุตก่อนเข้าหม้อแปลง.....	66
4.13 ทดสอบหาค่าพารามิเตอร์หม้อแปลงตัวอ้างอิง	66
4.14 ลักษณะแรงดันค่านปฐมภูมิตัวอ้างอิงและลักษณะแรงดันค่านปฐมภูมิตัวที่ออกแบบ	67
4.15 ลักษณะแรงดันค่านขดลวดช่วยค่านปฐมภูมิตัวอ้างอิงและตัวออกแบบ	67
4.16 ลักษณะแรงดันค่านทุติยภูมิตัวอ้างอิงและลักษณะแรงดันค่านทุติยภูมิตัวสมบูรณ์	68
4.17 ลักษณะแรงดันขาออกของวงจรอัดประจุของตัวอ้างอิงและตัวสมบูรณ์	68
4.18 เปรียบเทียบค่าระหว่างหม้อแปลงอ้างอิงกับหม้อแปลงตัวสมบูรณ์	69

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของโครงการ

ปัจจุบันหม้อแปลงความถี่สูงเป็นอุปกรณ์แม่เหล็กพื้นฐานที่ใช้ในวงจรแปรผันกำลังไฟฟ้า เช่น คอนเวอร์เตอร์ และแหล่งจ่ายกำลังสวิตชิง เป็นต้น สำหรับโครงการนี้จะกล่าวถึงการออกแบบหม้อแปลงไฟฟ้าความถี่สูงโดยเฉพาะสำหรับแหล่งจ่ายสวิตชิงแบบฟลายแบค (Fly-back Converter)

หม้อแปลงไฟฟ้าของวงจรฟลายแบคคอนเวอร์เตอร์ จะทำหน้าที่เหมือนตัวเหนี่ยวนำ นอกเหนือจากหน้าที่หลักคือหม้อแปลง สำหรับโครงสร้างของแปลงไฟฟ้าวงจรฟลายแบค พลังงานจะถูกถ่ายเทไปยังโหลดในขนาดที่ไม่นำกระแส คือช่วงเวลา (1-D)T เนื่องจากหม้อแปลงไฟฟ้าของวงจรฟลายแบคจะทำหน้าที่เหมือนตัวเหนี่ยวนำทำให้สามารถแบ่ง โหมดการทำงานได้เป็น 2 รูปแบบ คือ โหมดกระแสต่อเนื่อง (Continuous Conduction Mode : CCM) และ โหมดกระแสไม่ต่อเนื่อง (Discontinuous Conduction Mode : DCM)

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

เพื่อศึกษาหลักการ วิธีการ การออกแบบหม้อแปลงความถี่สูงสำหรับแหล่งจ่ายสวิตชิงแบบฟลายแบค หรือที่เรียกกันคือ หม้อแปลงความถี่สูงแบบฟลายแบค รวมทั้งทำการออกแบบ ทดสอบหม้อแปลงความถี่สูง และพัฒนาหม้อแปลงความถี่สูงแบบฟลายแบคให้มีประสิทธิภาพสูงสุดเพื่อเป็นประโยชน์นำไปใช้งานต่อไปในวงจรอค์ประจุแบบพกพาอีกด้วย

1.3 ขอบเขตของโครงการ

1. ศึกษาหลักการวิธีการออกแบบหม้อแปลงไฟฟ้าความถี่สูง
2. ออกแบบหม้อแปลงไฟฟ้าความถี่สูงแบบฟลายแบค
3. สร้างหม้อแปลงไฟฟ้าความถี่สูงแบบฟลายแบค
4. ทดสอบหม้อแปลงไฟฟ้าความถี่สูงแบบฟลายแบค

1.4 ขั้นตอนและแผนการดำเนินงาน

รายละเอียด	ปี 2554							ปี 2555		
	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.
1) ศึกษาหลักการกาออกแบบหม้อแปลงไฟฟ้าและหม้อแปลงความถี่สูง										
2) ศึกษาวงจรอัดประจุและวางแผนโครงการ										
3) ออกแบบและคำนวณหม้อแปลงและตัวเหนี่ยวนำ										
4) ทดสอบการทำงานและปรับปรุง										
5) สรุปผลการดำเนินงานและนำเสนอโครงการ										
6) จัดทำรูปเล่มปริยญา นินพนธ์										

1.5 ประโยชน์ที่รับจากโครงการ

เพื่อพัฒนาหม้อแปลงความถี่สูงสำหรับแหล่งจ่ายแบบฟลายแบคให้มีประสิทธิภาพสูงสุดนำไปสู่การประหยัดและลดการสูญเสียพลังงานโดยเปล่าประโยชน์ได้จริง ทั้งนี้หวังว่าการศึกษาค้นคว้ารวมไปถึงผลการทดสอบเบื้องต้นจะเป็นประโยชน์แก่ผู้ที่มีความสนใจและต้องการศึกษาเรื่องหม้อแปลงความถี่สูงสำหรับแหล่งจ่ายสวิตซิงได้เป็นอย่างดี

1.6 งบประมาณ

1) วงจรอัดประจุ	3,000 บาท
2) หม้อแปลง	1,500 บาท
3) ค่าถ่ายเอกสารและเข้าเล่มปริยญา นินพนธ์	1,500 บาท
รวมเป็นเงินทั้งสิ้น (หกพันบาทถ้วน)	<u>6,000 บาท</u>
หมายเหตุ: ถัวเฉลี่ยทุกรายการ	

บทที่ 2

หลักการออกแบบหม้อแปลงความถี่สูงแบบฟลายแบค

ส่วนประกอบหลักที่ศึกษาใน ครงงานนี้คือการออกแบบหม้อแปลงความถี่สูงแบบฟลายแบคและ คอนเวอร์เตอร์ (Converter) ในบทนี้จึงได้อธิบายทฤษฎีการออกแบบหม้อแปลงและหลักการทํางานพื้นฐานของอุปกรณ์หลักดังกล่าว

2.1 หม้อแปลงความถี่สูงแบบฟลายแบค

หม้อแปลงความถี่สูงแบบฟลายแบค เป็นหม้อแปลงที่ใช้ในแหล่งจ่ายไฟแบบสวิตจิงและการออกแบบแหล่งจ่ายไฟแบบฟลายแบคนี้ควรคำนึงถึงความเหมาะสมในด้านการใช้งานเป็นหลัก โดยการคำนวณขนาดแกนเฟอร์ไรต์และขนาดลวดทองแดง รวมทั้งการกำหนดความปลอดภัยทางไฟฟ้า เพื่อความปลอดภัยและลดกำลังงานสูญเสียในหม้อแปลงขณะทํางาน

2.1.1 ส่วนประกอบของหม้อแปลงความถี่สูงแบบฟลายแบค

หม้อแปลงความถี่สูงแบบฟลายแบคมีหน้าที่ในการลดทอนแรงดันไฟตรงที่อินพุตของคอนเวอร์เตอร์ และทำให้เกิดการแยกกันทางไฟฟ้าระหว่างแรงดันอินพุตและแรงดันเอาต์พุตที่ได้

ส่วนประกอบของหม้อแปลงความถี่สูงแบบฟลายแบค

■ บอบบิ้น (Bobbin)

บอบบิ้นหรือแบบรองพัน ปกติจะทำจากพลาสติกชนิดทนความร้อนสูงและไม่ติดไฟ มีหน้าที่ช่วยให้การพันขดลวดบนแกนเฟอร์ไรต์สะดวกขึ้น และป้องกันปัญหาการลัดวงจรระหว่างขดลวดกับแกนเฟอร์ไรต์ได้ โดยบอบบิ้นจะมีขนาดตามมาตรฐานของแกนเฟอร์ไรต์ ส่วนใหญ่จะออกแบบให้มีขาปักลวดทองแดง เพื่อความสะดวกในการพันขดลวดและการบัดกรีติดกับแผ่น PCB

■ ลวดทองแดงอาบนํ้ายา (Enameled Copper Wire)

การพันขดลวดทองแดงทั้งปฐมภูมิและทุติยภูมิของหม้อแปลงความถี่สูงที่กำลังไม่สูงมากนักปกติมักจะใช้ลวดทองแดงอาบนํ้ายาพันบนแกนบอบบิ้นเพื่อให้ได้จำนวนรอบตามต้องการ และขนาดของขดลวดทองแดงที่ใช้พันนั้น ขึ้นอยู่กับค่ากระแสสูงสุดที่ผ่านขดลวด ความถี่และผลข้างเคียงอื่นๆ

■ เทปฉนวน (Insulation Tape)

เทปฉนวนใช้พันสำหรับเป็นตัวรองระหว่างชั้นของขดลวดในหม้อแปลงความถี่สูงและมีหน้าที่สำคัญในการแยกกันทางไฟฟ้าระหว่างขดลวดปฐมภูมิและขดลวดทุติยภูมิ วัสดุที่ใช้ทำเทปฉนวนอาจทำจากไมลาร์หรือโพลีเอสเตอร์ ที่มีความหนาอยู่ในช่วง 0.05 - 0.1 มิลลิเมตร การเลือกใช้ขึ้นอยู่กับการออกแบบและค่าความปลอดภัยที่ต้องการจากหม้อแปลงความถี่สูงเป็นหลัก

■ แกนเฟอร์ไรต์ (Ferrite Core)

เฟอร์ไรต์เป็นวัสดุประเภทสารเฟอร์โรแมกเนติก การเหนี่ยวนำแม่เหล็กบนแกนเฟอร์ไรต์จะมีผลทำให้เกิดความหนาแน่นฟลักซ์แม่เหล็กสูงสุดกว่าการเหนี่ยวนำแม่เหล็กที่เกิดขึ้นบนแกนอากาศมาก เฟอร์ไรต์มีค่าจุดอิ่มตัวฟลักซ์แม่เหล็กค่อนข้างสูง ประมาณในช่วง 3,000 - 4,000 เกาส์ และเกิดการสูญเสียในแกนเฟอร์ไรต์ค่าที่ความถี่สูง ๆ ดังนั้นหม้อแปลงความถี่สูงจึงนิยมใช้แกนเฟอร์ไรต์มากที่สุด เฟอร์ไรต์ที่นำมาทำแกนของหม้อแปลงความถี่สูงจะมีรูปร่างแตกต่างกันออกไปขึ้นอยู่กับการใช้งานและมาตรฐานในการออกแบบ

2.1.2 แกนเฟอร์ไรต์และการเลือกใช้

1) ลักษณะและขนาดมาตรฐานของแกนเฟอร์ไรต์

แกนเฟอร์ไรต์สำหรับหม้อแปลงความถี่สูงโดยทั่วไป จะถูกผลิตออกมาที่ขนาดและรูปร่างแตกต่างกันออกไปตามมาตรฐานเดียวกัน เช่น แกนแบบ EE, EI, ETD เป็นต้น โดยปกติแกนจะถูกผลิตออกมาในลักษณะคู่ประกบ เพื่อความสะดวกในการประกอบเข้ากับบอบบิ้น การประกบแกนเฟอร์ไรต์บนบอบบิ้นจะทำให้ทางเดินฟลักซ์แม่เหล็กที่เกิดขึ้นในแกนเฟอร์ไรต์มีลักษณะเป็นวงบรรจบได้

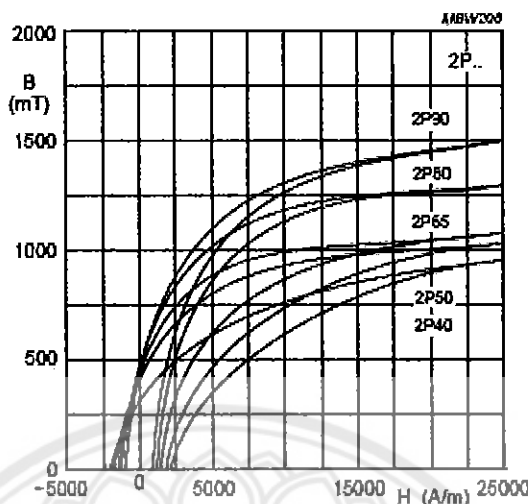
2) ลักษณะสมบัติของเนื้อสารที่ใช้ทำแกนเฟอร์ไรต์

ชนิดของเนื้อสารที่แตกต่างกัน จะทำให้คุณสมบัติทางแม่เหล็กของแกนเฟอร์ไรต์แตกต่างกันไปด้วยถึงแม้จะมีขนาดเท่ากัน ในแผ่นข้อมูลเนื้อสารที่ให้มากับแกนเฟอร์ไรต์นั้น จะต้องมีรายละเอียดคุณสมบัติเนื้อสารแสดงไว้เสมอ ข้อมูลที่สำคัญคือ เส้นโค้งฮิสเตอร์รีซิส (Hysteresis Curve) และค่าการสูญเสียในแกนเฟอร์ไรต์ (Core Loss)

เส้นโค้งฮิสเตอร์รีซิส (Hysteresis Curve)

เส้นโค้งฮิสเตอร์รีซิสจะแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ค่าความหนาแน่นฟลักซ์แม่เหล็ก (B) ที่เกิดขึ้นในแกนเฟอร์ไรต์ กับความเข้มของสนามแม่เหล็ก (H) ที่เกิดจากการเหนี่ยวนำของขดลวดที่พันบนแกนจากรูปที่ 2.1 แสดงการเปลี่ยนแปลงค่าความหนาแน่นฟลักซ์แม่เหล็ก (B)

ต่อความเข้มของสนามแม่เหล็ก (H) กล่าวคือเมื่อความเข้มของสนามแม่เหล็ก (H) มีค่าเพิ่มขึ้น ค่าความหนาแน่น ฟลักซ์แม่เหล็กก็จะมีค่าเพิ่มขึ้น จนกระทั่งถึงจุดอิ่มตัว (Saturated Point)



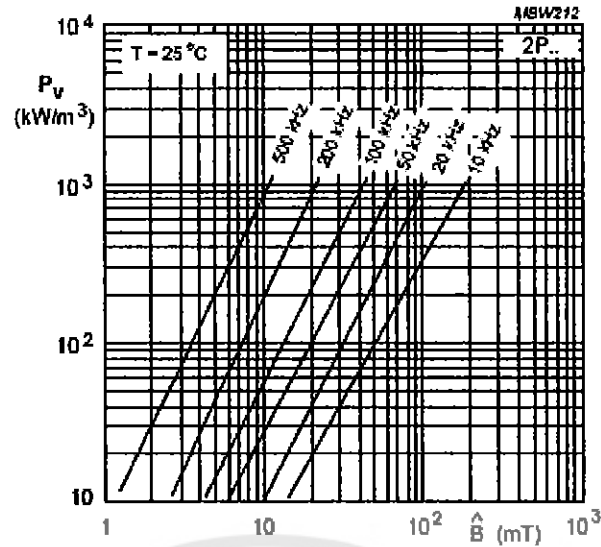
รูปที่ 2.1 ตัวอย่างลักษณะของเส้นโค้งฮิสเตอร์รีซิส [3]

โดยปกติผู้ผลิตจะแสดงกราฟของเส้นโค้งฮิสเตอร์รีซิสเพียงครั้งเดียว เนื่องจากอีกครึ่งหนึ่งของเส้นโค้งฮิสเตอร์รีซิสจะมีลักษณะเหมือนกันทุกประการเพียงแต่จะมีลักษณะกลับทิศกันเท่านั้น การใช้งานแกนเฟอร์ไรต์ในหม้อแปลงความถี่สูงต้องระวังไม่ทำให้แกนเฟอร์ไรต์เกิดการอิ่มตัวขึ้นได้ ดังนั้น โดยทั่วไปในการออกแบบหม้อแปลงความถี่สูง จึงควรกำหนดค่าความหนาแน่นฟลักซ์แม่เหล็ก (B) ที่ยอมให้เกิดขึ้นได้ในแกนขณะทำงาน มีค่าไม่เกินครึ่งหนึ่งของค่าความหนาแน่นฟลักซ์แม่เหล็กสูงสุดก่อนอิ่มตัวของแกนเฟอร์ไรต์ เพื่อความปลอดภัย

ค่าการสูญเสียในแกนเฟอร์ไรต์ (Core Loss)

การสูญเสียที่เกิดขึ้นในแกนเฟอร์ไรต์จะทำให้แกนเฟอร์ไรต์ร้อน โดยมีสาเหตุหลัก 2 ประการคือ การสูญเสียที่เกิดจากการกลับตัวของสนามแม่เหล็ก (Hysteresis Loss) และการสูญเสียจากการเกิดกระแสไหลวนภายในแกน (Eddy Current Loss)

ขณะที่ความถี่ต่ำกว่า 100 กิโลเฮิรตซ์ การสูญเสียจากการเกิดกระแสไหลวนในแกนจะมีค่าน้อยสำหรับแกนที่มีขนาดไม่ใหญ่มากนัก ดังนั้นการสูญเสียที่ก่อให้เกิดความร้อนในแกนอาจพิจารณาได้จากการสูญเสียทางฮิสเตอร์รีซิสเพียงอย่างเดียว ตัวอย่างกราฟแสดงค่าการสูญเสียที่เกิดขึ้นในแกนเฟอร์ไรต์แสดงไว้ในรูปที่ 2.2 ปกติค่ากำลังสูญเสียจะถูกระบุไว้เป็นกิโลวัตต์ต่อหนึ่งลูกบาศก์เมตร และมีค่าขึ้นกับความหนาแน่นฟลักซ์แม่เหล็ก ความถี่การใช้งาน รวมถึงอุณหภูมิขณะใช้งานของแกนเฟอร์ไรต์



รูปที่ 2.2 กราฟค่าการสูญเสียในแกนเฟอร์ไรต์ [3]

3.) การกำหนดค่าความหนาแน่นฟลักซ์แม่เหล็กสูงสุดในแกนหม้อแปลง

ค่าความหนาแน่นฟลักซ์แม่เหล็กในแกนเหล็กในหม้อแปลง จะขึ้นอยู่กับจำนวนรอบของปฐมภูมิและขนาดของแกน จากกฎของฟาราเดย์จะได้ว่า

$$\Delta B = \frac{V \cdot t}{N_p \cdot A_c} \times 10^8 \quad (2.1)$$

โดยที่ ΔB	คือ ความหนาแน่นฟลักซ์แม่เหล็กที่เกิดขึ้นในแกน เป็นเกาส์
V	คือ แรงดันที่ตกคร่อมขดปฐมภูมิ เป็น โวลต์
N_p	คือ ค่าจำนวนรอบของปฐมภูมิเป็นรอบ
A_c	คือ ขนาดพื้นที่หน้าตัดของแกน เป็นตารางเซนติเมตร
t	คือ ช่วงเวลาที่มีการเปลี่ยนแปลงฟลักซ์แม่เหล็กที่เกิดขึ้น เป็นวินาที

จะเห็นได้ว่ายิ่งจำนวนรอบของขดลวดปฐมภูมิมีค่าน้อยลง ค่าความหนาแน่นฟลักซ์ที่เกิดขึ้นจะยิ่งมีค่ามาก ซึ่งการลดจำนวนของขดปฐมภูมิลงจะทำให้สามารถใช้ลวดทองแดงขนาดที่ใหญ่ขึ้นได้ และสามารถทนกระแสได้สูงทำให้หม้อแปลงให้กำลังได้สูงขึ้น

อย่างไรก็ตาม หากค่าความหนาแน่นฟลักซ์แม่เหล็กมีค่าเพิ่มขึ้นจนถึงจุดอิ่มตัว จะทำให้แรงดันตกคร่อมขดปฐมภูมิมีค่าลดลงอย่างรวดเร็ว แรงดันอินพุตจะไปตกคร่อมที่เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ขณะที่กำลังนำกระแสสูงๆ แทน ทำให้เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์พังเสียหายได้และความหนาแน่น ฟลักซ์แม่เหล็กที่มีค่าสูงจะทำให้เกิดการสูญเสียภายในแกนสูงอีกด้วย ดังนั้นการกำหนดค่าความหนาแน่นฟลักซ์แม่เหล็กสูงสุดที่ยอมทำให้เกิดขึ้นในแกนเฟอร์ไรต์ของหม้อแปลงขณะทำงานจึงมีข้อที่ควรคำนึงถึง 2 ประการคือ

1. แกนเฟอร์ไรต์ไม่เกิดการอิ่มตัวขณะทำงาน
2. ที่ค่าความหนาแน่นฟลักซ์แม่เหล็กสูงสุดที่เกิดขึ้นในแกนขณะทำงานจะต้องเกิดการสูญเสียในแกนเฟอร์ไรต์ต่ำที่สุด
- 4) การเลือกขนาดแกนเฟอร์ไรต์ที่เหมาะสม

การใช้แกนเฟอร์ไรต์ที่มีขนาดใหญ่เกินไปสำหรับหม้อแปลงความถี่สูง จะเป็นการสิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายโดยไม่จำเป็น ส่วนการใช้แกนเฟอร์ไรต์ที่มีขนาดเล็กเกินไป ขดลวดและแกนเฟอร์ไรต์จะร้อน กำลังงานสูงสุดที่เหมาะสมสำหรับขนาดต่างๆ พิจารณาได้จากขนาดหน้าตัดของแกน (A_c) และขนาดช่องสำหรับพันขดลวดของบอบบิ้น (A_w) โดยอาจคำนวณได้จากสมการต่างๆ ดังต่อไปนี้

สำหรับแกนที่ใช้กับหม้อแปลงของเวิร์คคอนเวอร์เตอร์

$$P = \frac{0.5 \Delta B_{(\max)} \cdot f \cdot A_c \cdot A_w}{D} \times 10^{-3} \quad (2.2)$$

สำหรับแกนที่ใช้กับหม้อแปลงของพวซ – พูลคอนเวอร์เตอร์

$$P = \frac{\Delta B_{(\max)} \cdot f \cdot A_c \pm A_w}{D} \times 10^{-3} \quad (2.3)$$

สำหรับแกนที่ใช้กับหม้อแปลงฮาร์ดฟบริคส์และฟูลบริคส์คอนเวอร์เตอร์

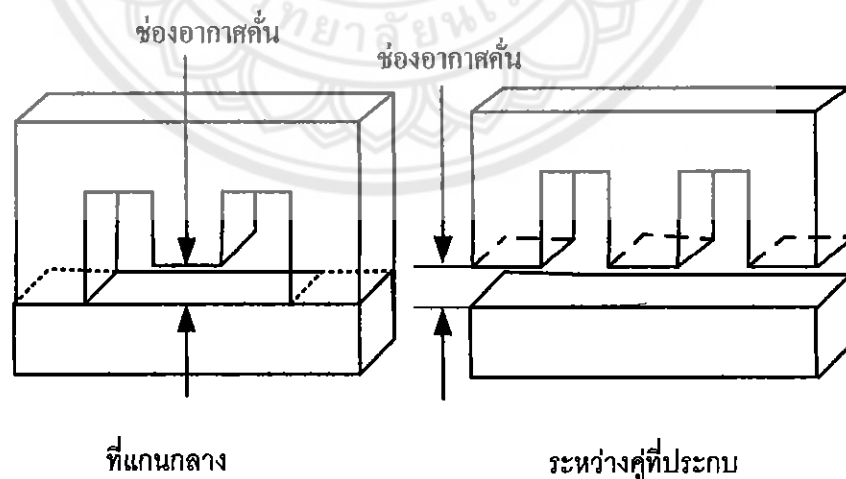
$$P = \frac{1.4\Delta B_{(\max)} \cdot f \cdot A_e \cdot A_w}{D} \times 10^{-3} \quad (2.4)$$

- โดยที่ $\Delta B_{(\max)}$ คือ ค่าความหนาแน่นฟลักซ์สูงสุดในแกนเฟอร์ไรต์ เป็นเกาส์
 f คือ ค่าความถี่การทำงานของแกนเฟอร์ไรต์ เป็นเฮิรตซ์
 A_e คือ พื้นที่หน้าตัดของแกนเฟอร์ไรต์ เป็นตารางเซนติเมตร
 A_w คือ พื้นที่ช่องสำหรับพันขดลวดของบอบบิ้น เป็นตารางเซนติเมตร
 D คือ ค่าหนาแน่นกระแสในขดปฐมภูมิ เป็นเซอร์ทูลาร์มิลต่อแอมป์
 P คือ กำลังสูงสุดที่ได้รับจากแกนเฟอร์ไรต์ เป็นวัตต์

5) ช่องอากาศคั่นทางเดินแม่เหล็กในแกนเหล็กในแกนเฟอร์ไรต์ (Air Gap)

การกำหนดช่องอากาศคั่นทางเดินแม่เหล็ก (Air Gap) ในแกนเฟอร์ไรต์ เป็นวิธีการอย่างหนึ่งที่ใช้ป้องกันการอิ่มตัวของแกนเฟอร์ไรต์ และช่วยให้การสะสมพลังงานของขดลวดหม้อแปลงความถี่สูง ค่าจะมากขึ้นได้ด้วย อย่างไรก็ตาม ช่องอากาศคั่นในแกนเฟอร์ไรต์จะทำให้เกิดการแพร่กระจายสัญญาณรบกวน EMI ออกมาและอาจรบกวนอุปกรณ์ภายนอกได้เช่นกัน

สำหรับแกนเฟอร์ไรต์แบบ EE, EI, ETD หรือแบบ POT สามารถกำหนดลักษณะของช่องอากาศคั่นในแกนได้ ดังรูปที่ 2.3 คือการกำหนดช่องอากาศคั่นที่แกนกลางอย่างเดียว และระหว่างคู่ประกอบของแกนเฟอร์ไรต์แบบ EI



รูปที่ 2.3 การกำหนดช่องอากาศคั่น l_g ที่แกนกลาง และระหว่างคู่ที่ประกอบ

การคั่นแกนด้วยช่องอากาศระหว่างตู้ที่ประกบสามารถทำได้การคั่นช่องอากาศที่แกนกลางซึ่งทำได้โดยการใช้แผงฉนวนที่มีความหนาแน่นเป็นครึ่งหนึ่งของช่องอากาศคั่นแกนที่ต้องการ นำมาคั่นแกนนอกของตู้ประกบ ส่วนการกำหนดช่องอากาศคั่นที่แกนกลาง ต้องสั่งโดยตรงจากผู้ผลิตแกนเฟอร์ไรต์หรือจัดแกนกลางออกเองเพื่อให้ได้ระยะช่องอากาศคั่นตามต้องการ

มีข้อสังเกตคือ การคั่นช่องอากาศระหว่างตู้ประกบความหนาแน่นฉนวนคั่นที่ใช้จะมีค่าเพียงครึ่งหนึ่งของระยะช่องอากาศคั่นที่ต้องการเท่านั้น เนื่องจากช่องอากาศที่เกิดขึ้นจะกั้นทางเดินฟลักซ์แม่เหล็กถึงสองครั้งในแกน ดังนั้นระยะอากาศคั่นที่ได้จึงเป็นผลรวมของช่องอากาศที่เกิดขึ้นทั้งหมด

การกำหนดให้มีช่องอากาศคั่นแกนเฟอร์ไรต์นั้น มีความจำเป็นมากสำหรับหม้อแปลงความถี่สูงแบบฟลายแบคคอนเวอร์เตอร์และเอาต์พุต ไซค์ที่ใช้แกนเฟอร์ไรต์ ดังจะ ได้กล่าวในหัวข้อต่อไป

6) แกนเฟอร์ไรต์สำหรับหม้อแปลงความถี่สูงแบบฟลายแบคและเอาต์พุต ไซค์

สำหรับฟลายแบคคอนเวอร์เตอร์และตัวเอาต์พุต ไซค์ จะทำงานในลักษณะที่ต้องเก็บสะสมพลังงานไว้ก่อน แล้วจึงถ่ายเทพลังงานออกไป จึงอาจกล่าวได้ว่า กำลังที่ได้จากหม้อแปลงจะมาจากค่าพลังงานที่หม้อแปลงสามารถสะสมไว้ได้นั่นเอง ในช่วงที่มีการสะสมพลังงานของหม้อแปลงหรือเอาต์พุต ไซค์ พลังงานที่ถูกสะสมมีค่าเท่ากับ $\frac{1}{2}LI^2$ ความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานสะสมกับขนาดของแกนเฟอร์ไรต์สามารถหาได้จาก

$$LI_{p(pk)}^2 = \frac{\Delta B_{(max)}^2 \cdot l_g \cdot A_e}{0.4\pi} \times 10^{-8} \quad (2.5)$$

โดยที่ l_g คือ ระยะห่างช่องอากาศคั่นแกนเฟอร์ไรต์ เป็นเซนติเมตร

A_e คือ ขนาดพื้นที่หน้าตัดแกนเฟอร์ไรต์ เป็นตารางเซนติเมตร

$\Delta B_{(max)}$ คือ ค่าความหนาแน่นฟลักซ์สูงสุดในแกน แกส

L คือ ค่าความเหนี่ยวนำขดปฐมภูมิของหม้อแปลงหรือค่าความเหนี่ยวนำของเอาต์พุต ไซค์เป็นเฮนรี่

$I_{p(pk)}$ คือ ค่ากระแสสูงสุดที่ผ่าน L เป็นแอมป์

ค่าของ $\Delta B_{(max)}$ โดยทั่วไปจะกำหนดไว้เป็นครึ่งของค่าแกนเฟอร์ไรต์ $\left(\frac{B_{(sat)}}{2}\right)$ ดังรูป
 สมการที่ข้างบน จะเห็นได้ว่า จะสามารถเพิ่มค่าพลังงานสะสม (หรือเพิ่มกำลังของหม้อแปลง) ได้
 โดยการเพิ่มระยะช่องอากาศคั่น (l_g) หรือโดยการเพิ่มขนาดของแกนเฟอร์ไรต์ให้ขนาดใหญ่ขึ้น
 (A_e เพิ่มขึ้น) ในทางปฏิบัติการเพิ่มระยะช่องอากาศคั่นจะไม่นิยมใช้มากกว่า เพราะต้องการให้
 หม้อแปลงความถี่สูงแบบฟลายแบคและเอาต์พุต ไซค์มีขนาดเล็ก

อย่างไรก็ตาม แกนเฟอร์ไรต์ที่มีขนาดหนึ่งๆ ระยะช่องอากาศคั่นสูงสุดจะถูกจำกัดด้วย
 ค่าการสูญเสียที่เกิดขึ้นในขดลวดเพราะจำนวนรอบมีค่าเพิ่มขึ้น โดยจำนวนรอบจะมีค่าเพิ่มขึ้นตาม
 ระยะอากาศที่เพิ่มมากขึ้น ดังสมการ

$$N = \frac{\Delta B_{(max)} l_g}{0.4 I_{p(pk)}} \quad (2.6)$$

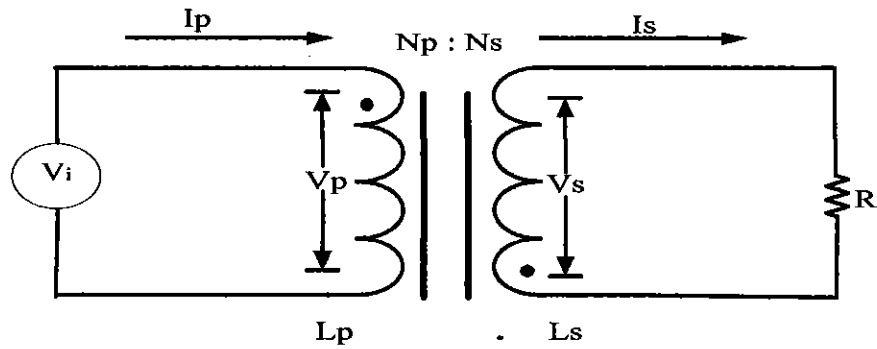
เมื่อ N คือ จำนวนรอบของขดปฐมภูมิของหม้อแปลงหรือเอาต์พุต ไซค์

เนื่องจากระยะพันบนบอบมีค่าจำกัด และอาจมีเนื้อที่ไม่พอสำหรับจำนวนรอบที่
 เพิ่มขึ้น รวมถึงการสูญเสียที่เกิดขึ้นในขดลวดทองแดงจะมากขึ้นเมื่อจำนวนรอบมากขึ้น ซึ่งจะทำ
 ให้หม้อแปลงหรือเอาต์พุต ไซค์ร้อน ผู้ออกแบบจึงต้องพิจารณาจุดที่เหมาะสมระหว่างการเพิ่มระยะ
 ช่องอากาศคั่นหรือการเพิ่มขนาดของแกนเฟอร์ไรต์

2.1.3 ความสัมพันธ์ระหว่างขดปฐมภูมิและขดทุติยภูมิ

หม้อแปลงความถี่สูงแบบฟลายแบคจะมีความสัมพันธ์ของขดลวดปฐมภูมิเป็นไปตาม
 ทฤษฎีหม้อแปลงผลของจำนวนรอบค่าของแรงดันในวงจรจากรูปที่ 2.4 จะเป็นดังนี้

$$\frac{V_p}{V_s} = \frac{N_p}{N_s} = \frac{I_s}{I_p} \quad (2.7)$$



รูปที่ 2.4 ความสัมพันธ์พื้นฐานของหม้อแปลง

และ

$$\frac{N_p}{N_s} = \sqrt{\frac{L_p}{L_s}} \quad (2.8)$$

เมื่อ	N_p	คือ จำนวนรอบของขดปฐมภูมิ
	N_s	คือ จำนวนรอบของขดทุติยภูมิ
	V_p	คือ ค่าแรงดันตกคร่อมขดปฐมภูมิ
	V_s	คือ ค่าแรงดันตกคร่อมขดทุติยภูมิ
	I_p	คือ ค่ากระแสที่ไหลผ่านขดปฐมภูมิ
	I_s	คือ ค่ากระแสที่ไหลผ่านขดทุติยภูมิ
	L_p	คือ ค่าความเหนี่ยวนำของขดปฐมภูมิ
	L_s	คือ ค่าความเหนี่ยวนำของขดทุติยภูมิ

มีข้อสังเกต แรงดัน V_p เป็นค่าแรงดันที่ตกคร่อมขดลวดปฐมภูมิซึ่งเกิดขึ้น จากการเปลี่ยนแปลงของฟลักซ์แม่เหล็กภายในแกนของหม้อแปลงเนื่องจากมีกระแสไหลผ่านขดปฐมภูมิ ไม่ใช่ค่าแรงอินพุต V_i โดย V_p จะมีค่าเป็นไปตามสมการ

$$V_p = N_p \cdot A_e \left(\frac{dB}{dt} \right) \times 10^{-8} \quad (2.9)$$

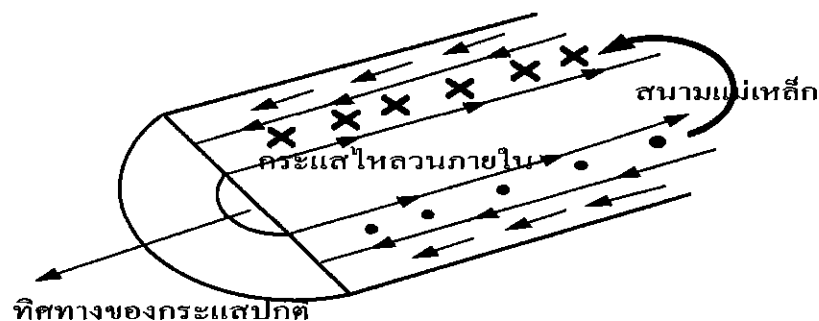
และ V_p ที่เกิดจะมีค่าใกล้เคียงกับค่า V_i แต่ถ้าแกนเฟอร์ไรต์เกิดการอิ่มตัว อัตราการเปลี่ยนแปลงของฟลักซ์แม่เหล็ก $\left(\frac{dB}{dt}\right)$ จะมีค่าน้อยมากหรือมีค่าเป็นศูนย์ แรงดันตกคร่อม V_p จะมีค่าลดลงอย่างรวดเร็วเหมือนเกิดการลัดวงจร และจะมีผลต่อการทำงานของหม้อแปลงและวงจรที่เกี่ยวข้องด้วย

2.1.4 การพันขดลวดทองแดงและการกำหนดของขดลวด

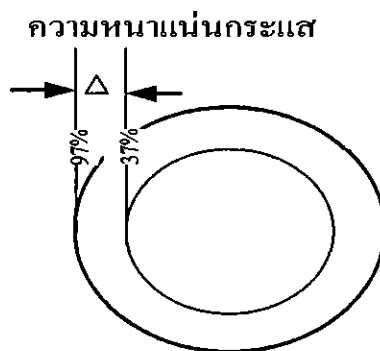
ปกติการพันขดลวดในหม้อแปลงความถี่สูงจะใช้ลวดทองแดงอาบน้ำยา (Enameled Copper Wire) เป็นตัวพัน (จากตาราง 2.1) จะแสดงขนาดและข้อมูลอื่นของเส้นลวดทองแดงอาบน้ำยาตามมาตรฐาน AWG ที่มีกำหนด (ในกรณีที่หม้อแปลงกำลังทำงาน สำหรับหม้อแปลงความถี่สูงแบบฟลายแบคกระแสสลับที่ไหลผ่านขดลวดนั้นมีความถี่สูง ลวดทองแดงจะนำกระแสได้เพียงที่ผิว ซึ่งมีผลทำให้พื้นที่หน้าตัดในการนำกระแสของขดลวดทองแดงลดลง การสูญเสียในขดลวดจะมีค่ามากขึ้น รวมทั้งการเรียงซ้อนกันของขดลวดก็ทำให้เกิดการสูญเสียขึ้นในขดลวดได้เช่นเดียวกันกำลังงานที่สูญเสียเหล่านี้จะทำให้ขดลวดร้อน ซึ่งเป็นสิ่งที่ไม่ต้องการให้เกิดขึ้นในขณะที่หม้อแปลงทำงาน การกำหนดขนาดและวิธีการพันขดลวดทองแดงจึงต้องทำอย่างเหมาะสมเพื่อลดการสูญเสียในขดลวดทองแดงให้มีค่าน้อยที่สุด

1) ผลจากการนำกระแสแค่เพียงที่ผิวของขดลวดทองแดง (Skin Effect)

ลวดทองแดงเมื่อมีกระแสสลับไหลผ่านจะเกิดสนามแม่เหล็กไหลวนที่ภายในและรอบๆตัวมันสนามแม่เหล็กที่เกิดขึ้นจะเหนี่ยวนำให้เกิดกระแสไหลวน (Eddy Current) ขึ้นมาภายในตัวลวดทองแดงอีกหนึ่ง การไหลของกระแสไหลวนนี้ จะทำให้กระแสปกติไหลได้เฉพาะที่ผิวของลวดทองแดง ดังแสดงในรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 ลักษณะการเกิดกระแสไหลวนภายในลวดทองแดง



รูปที่ 2.6 ระยะที่ถือว่าเป็นพื้นผิวหน้ากระแสไหล

Δ คือระยะที่มีความหนาแน่นกระแส มีค่าลดลงเหลือเพียงแค่ 37 เปอร์เซ็นต์ของค่าความหนาแน่นกระแสที่ผิวนอกสุด

ตารางที่ 2.1 ขนาดมาตรฐาน AWG ข้อมูลอื่นๆ ของขดลวดทองแดงอบน้ำยา

เบอร์ AWG (B.& S.)	ขนาดเส้นผ่าน ศูนย์กลาง (d)		ขนาดเส้นผ่าน ศูนย์กลางเมื่อ รวมฉนวน (d_0) mm	พื้นที่หน้า ตัดปกติ mm^2	ค่าความ ต้านทานที่ 100°C (R_{dc}) Ω/m	ระยะเรียง ชิดต่ำสุด (T_{\min}) mm
	inch	mm				
44	0.00198	0.0503	0.06604	0.00199	11.180	0.071
43	0.00222	0.0564	0.07366	0.00250	8.899	0.079
42	0.00249	0.0633	0.08128	0.00314	7.073	0.087
41	0.00280	0.0711	0.09144	0.00397	5.594	0.098
40	0.00314	0.0798	0.1041	0.00500	4.448	0.111
39	0.00353	0.0897	0.1143	0.00631	3.519	0.122
38	0.00397	0.1008	0.1295	0.00799	2.783	0.138
37	0.00445	0.1130	0.1448	0.01003	2.215	0.154
36	0.00500	0.1270	0.1626	0.0127	1.754	0.172
35	0.00560	0.1422	0.1778	0.0159	1.398	0.188
34	0.00630	0.1600	0.1981	0.0201	1.105	0.209
33	0.00710	0.1803	0.2235	0.0255	0.870	0.236
32	0.00800	0.2032	0.2489	0.0324	0.6853	0.261
31	0.00890	0.2261	0.2743	0.0401	0.5537	0.287

30	0.01000	0.2540	0.3048	0.0507	0.4386	0.319
29	0.0113	0.2870	0.3404	0.0647	0.3435	0.356
28	0.0126	0.3200	0.3759	0.0804	0.2762	0.393
27	0.0142	0.3607	0.4191	0.1022	0.2175	0.438
26	0.0159	0.4039	0.4699	0.128	0.1735	0.491
25	0.0179	0.4547	0.5232	0.162	0.1369	0.547
24	0.0201	0.5105	0.5817	0.205	0.1086	0.608
23	0.0226	0.5740	0.6502	0.259	0.08586	0.679
22	0.0253	0.6426	0.7214	0.324	0.06852	0.754
21	0.0285	0.7239	0.8052	0.412	0.05399	0.841
20	0.0320	0.8128	0.8966	0.519	0.04283	0.937
19	0.0359	0.9119	1.003	0.653	0.03403	1.048
18	0.0403	1.024	1.118	0.823	0.02700	1.168
17	0.0453	1.151	1.247	1.040	0.02137	1.303
16	0.0508	1.290	1.389	1.308	0.01699	1.452
15	0.0571	1.450	1.557	1.652	0.01345	1.627
14	0.0641	1.628	1.737	2.082	0.01067	1.815
13	0.0720	1.829	1.943	2.627	0.008460	2.030
12	0.0808	2.052	2.172	3.308	0.006717	2.270
11	0.0907	2.304	2.413	4.168	0.00533	2.540
10	0.1019	2.588	2.720	5.261	0.004224	2.842

ปริมาณของกระแสปกติจะยังคงเท่าเดิมแต่ความหนาแน่นของกระแสในลวดทองแดงที่ใกล้ผิวจะมีค่าสูงกว่าเพราะกระแสส่วนใหญ่ไหลได้เฉพาะที่ผิวนั้น การไหลของกระแสไหลวนจะเป็นการจำกัดพื้นที่นำกระแสของลวดทองแดง และมีผลเหมือนพื้นที่นำกระแสของขดลวดทองแดงลดลงจากพื้นที่หน้าตัดเดิมของมัน

จากผิวของลวดทองแดงลึกลงมาในเนื้อลวดทองแดง จนถึงจุดที่ค่าความหนาแน่นของกระแสมีลค่าลงมาถึงเพียง 37 เปอร์เซ็นต์ของค่าความหนาแน่นกระแสที่ผิวนั้น เราเรียกระยะนี้ว่าเป็นความหนาผิวนำกระแสของขดลวดทองแดง (Skin Depth) ดังที่แสดงไว้ในรูปที่ 2.6 ความหนาของผิวนำกระแสขึ้นอยู่กับความถี่ และสำหรับลวดทองแดงที่ 100 องศาเซลเซียสความหนาแน่นของผิวนำกระแสจะมีค่า

$$\Delta = \sqrt{\frac{5.62}{f}} \quad (2.10)$$

เมื่อ Δ คือ ความหนาของผิวตัวนำ เป็นมิลลิเมตร
 f คือ ความถี่ของกระแส เป็นกิโลเฮิรตซ์

2) อัตราส่วนระหว่างความต้านทานที่กระแสสลับต่อความต้านทานที่กระแสตรงของลวดทองแดง (F_R)

เนื่องจากความต้านทานของขดลวดนั้นขึ้นอยู่กับค่าพื้นที่หน้าตัดนำของกระแสของมัน และที่กระแสสลับพื้นที่หน้าตัดตัวนำกระแสของขดลวดทองแดงจะลดลง เพราะกระแสไหลได้เฉพาะที่ผิวหน้ากระแส ดังนั้นความต้านทานที่กระแสสลับของลวดทองแดงจึงมีค่ามากกว่าความต้านทานเมื่อมันนำกระแสตรง

อัตราส่วนระหว่างความต้านทานของขดลวดทองแดงที่กระแสสลับต่อความต้านทานของมันที่กระแสตรง หรือ F_R (Resistance Factor) อาจหาได้จาก

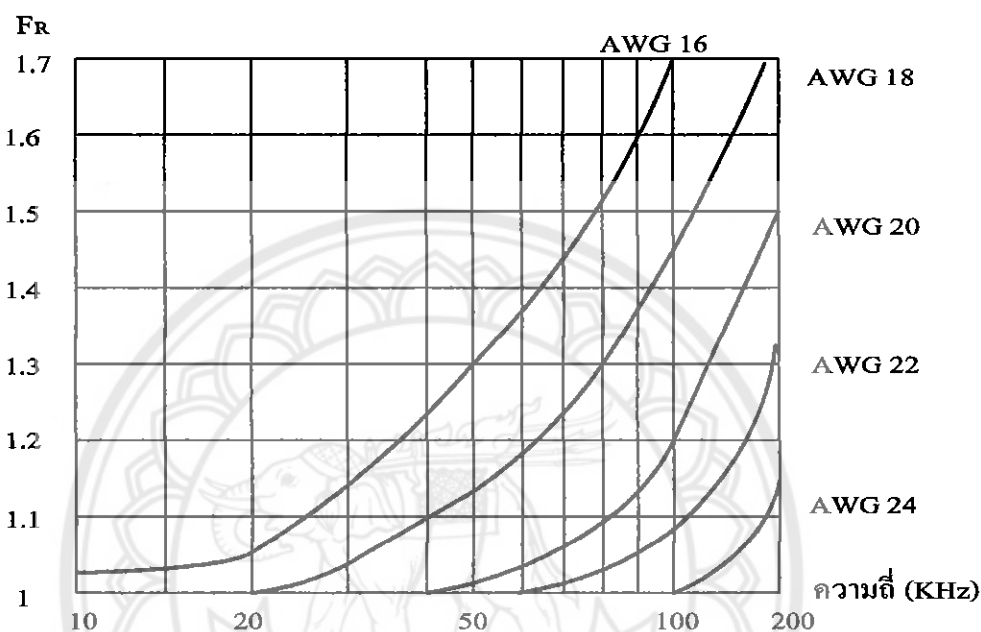
$$F_R = \frac{R_{ac}}{R_{dc}} = \frac{(d/2\Delta)^2}{(d/2\Delta)^2 - (d/2\Delta - 1)^2} \quad (2.11)$$

เมื่อ R_{ac} คือ ค่าต้านทานของขดลวดทองแดงที่กระแสสลับ เป็นโอห์ม
 R_{dc} คือ ค่าต้านทานของขดลวดทองแดงที่กระแสตรง เป็นโอห์ม
 d คือ เส้นผ่านศูนย์กลางของขดลวดทองแดง เป็นมิลลิเมตร
 Δ คือ ความหนาผิวหน้ากระแส เป็นมิลลิเมตร

ในทางปฏิบัติ ค่า F_R อาจหาได้จากการประมาณค่า โดย

$$F_R = \frac{1}{4} \left(\frac{d}{\Delta} + 1 \right) \quad \text{ถ้า } \frac{d}{\Delta} \geq 5 \quad (2.12)$$

เมื่อเปรียบเทียบค่า F_R ของขดลวดทองแดงเบอร์ AWG 22 กับขดลวดทองแดงเบอร์ AWG 18 ที่มีความถี่ 100 กิโลเฮิร์ตซ์ตามรูปที่ 2.7 จะได้ว่า ที่ 100 กิโลเฮิร์ตซ์ ค่าความต้านทานที่กระแสสลับ (R_{ac}) ของขดลวดทองแดงเบอร์ AWG 18 เมื่อเทียบกับค่าต้านทานที่กระแสตรง (R_{dc}) จะมีค่ามากกว่าขดลวดทองแดงเบอร์ AWG 22 ขณะเดียวกันที่มีความถี่กับ 20 กิโลเฮิร์ตซ์จะไม่มีผลต่อความต้านทานของขดลวดทองแดง



รูปที่ 2.7 ค่าอัตราส่วนความต้านทานที่สลับต่อความต้านทานที่กระแสตรง (F_R)

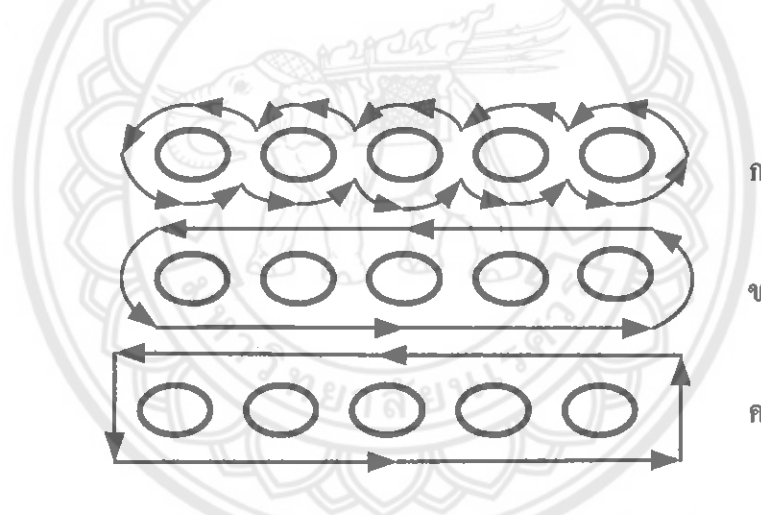
จากรูปที่ 2.7 นับเป็นค่าอัตราส่วนความต้านทานที่กระแสสลับต่อความต้านทานที่กระแสตรง (F_R) ของขดลวดทองแดงต่อความถี่ที่ขดลวดทองแดงขนาดต่างๆ ความหมายของค่าอัตราส่วน (F_R) ไม่ได้แสดงว่าค่าความต้านทานของขดลวดทองแดง ที่กระแสสลับจะมีค่ามากขึ้นเมื่อขนาดของขดลวดทองแดงมากขึ้น โดยที่ความเป็นจริงแล้วค่าความต้านทานของขดลวดทองแดงที่กระแสสลับจะมีค่าลดลงเมื่อขนาดของขดลวดทองแดงใหญ่ขึ้น แต่เนื่องจากค่าความต้านทานที่กระแสตรงมีค่าลดลงมากกว่าเมื่อขนาดของขดลวดทองแดงใหญ่ขึ้น ดังนั้นค่าอัตราส่วน F_R จึงมีค่ามากขึ้น การใช้ขดลวดทองแดงขนาดใหญ่จึงไม่เกิดประโยชน์ใดๆที่มีความถี่สูงๆ เพราะเกิดการสูญเสียมากกว่าเนื่องจากค่าความต้านทานที่กระแสสลับของมันขณะ ที่มีกระแสไหล

ค่าอัตราส่วน F_R จึงมีประโยชน์มากในการเลือกขนาดของขดลวดทองแดง การกำหนดขนาดของขดลวดทองแดงและวิธีการพันขดลวดที่ให้ค่า F_R น้อยที่สุด จะทำให้สูญเสียที่เกิดขึ้นในขดลวดทองแดงมีค่าน้อยที่สุดด้วยเช่นกัน

3) ผลจากการเรียงซ้อนกันของขดลวด (Proximity Effect)

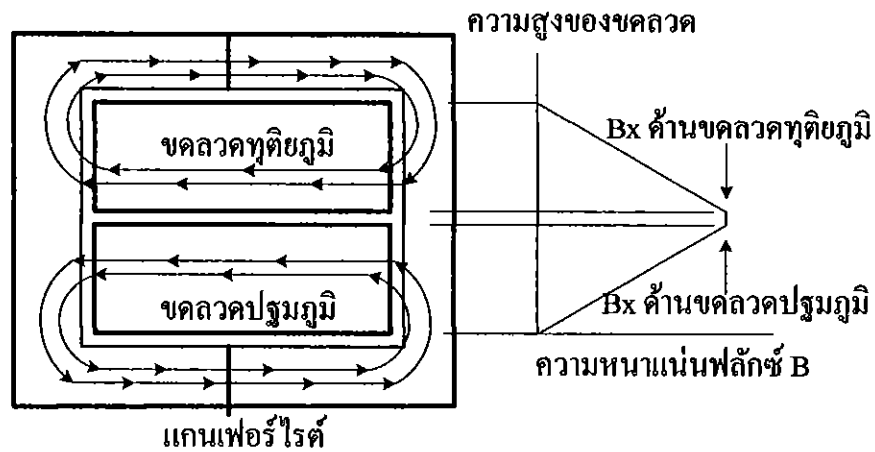
ปกติค่าความซึมซาบแม่เหล็ก (Permeability) μ (มีว) ของแกนเฟอร์ไรต์จะมีค่าสูงมาก แกนจะจับฟลักซ์แม่เหล็กที่เกิดขึ้นจากการเหนี่ยวนำของขดลวดในหม้อแปลงให้วิ่งอยู่ในแกน เฟอร์ไรต์เท่านั้นแต่โดยความจริงแล้ว ยังมีฟลักซ์แม่เหล็กบางส่วนสามารถวิ่งออกจากแกนเหล็กตัดผ่านขดลวดได้ ฟลักซ์เหล่านี้เรียกว่า ฟลักซ์รั่ว (Leakage Flux) ฟลักซ์รั่วไม่ได้เกิดจากคุณภาพที่ไม่ดีของวัสดุที่ใช้ทำแกนเฟอร์ไรต์ แต่ผลเกิดจากการพันขดลวดโดยตรงจะได้กล่าวต่อไป

รูปที่ 2.8 แสดงภาพตัดขวางชั้นของขดลวดในทองแดงในหม้อแปลง และเส้นวงฟลักซ์แม่เหล็กบางส่วนที่เกิดขึ้นขณะกระแสไหลผ่านขดลวด การหักล้างกันของฟลักซ์แม่เหล็กระหว่างลวดจะทำให้เกิดเส้นฟลักซ์ขนานไปชั้นของขดลวดดังรูปที่ 2.8 (ข) เมื่อเส้นฟลักซ์ตัดแกนเฟอร์ไรต์ แกนจะบังคับให้ฟลักซ์วิ่งอยู่ในแกนเนื่องจากมีค่าซึมซาบของแม่เหล็ก μ ของแกนที่มีค่าสูงมาก ดังรูปที่ 2.8 (ค) และเส้นแรงฟลักซ์ที่เกิดจากชั้นของลวดทองแดงหลายๆชั้นก็จะเป็นดังรูปที่ 2.10 ซึ่งเป็น ฟลักซ์รั่วนั่นเอง



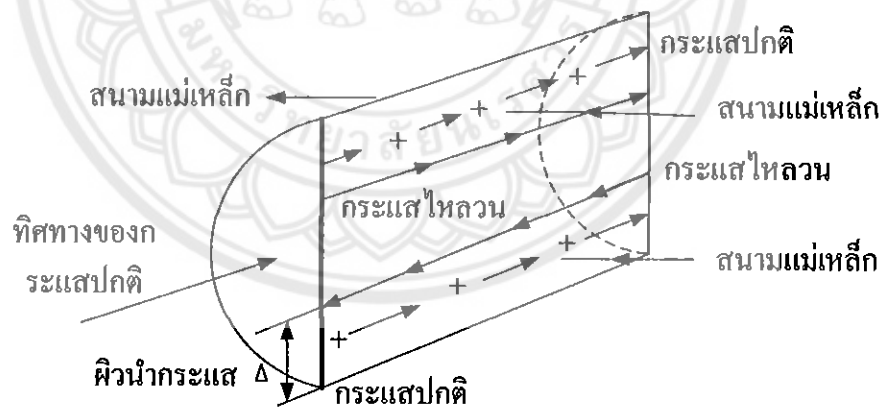
รูปที่ 2.8 ลักษณะของการเกิดฟลักซ์รั่วภายในหม้อแปลงความถี่สูงฟลายแบค

ค่าความหนาแน่นของฟลักซ์รั่ว (B_x) จะเพิ่มขึ้น เมื่อจำนวนชั้นของลวดทองแดงเพิ่มขึ้น จากรูปที่ 2.9 จะเห็นได้ว่า B_x มีค่าสูงสุดที่ระยะชั้นสูงสุดของลวดทองแดงจากแกนและมีค่าลดลงตามลำดับฟลักซ์รั่ววางตัวขนานกับชั้นของลวดทองแดง โดยตัดผ่านและตั้งฉากกับเส้นลวดทองแดงในชั้น ซึ่งทำให้เกิดกระแสไหลวนขึ้นในลวดทองแดง



รูปที่ 2.9 ลักษณะของฟลักซ์รั่วและค่าความหนาแน่นของฟลักซ์รั่ว B_x

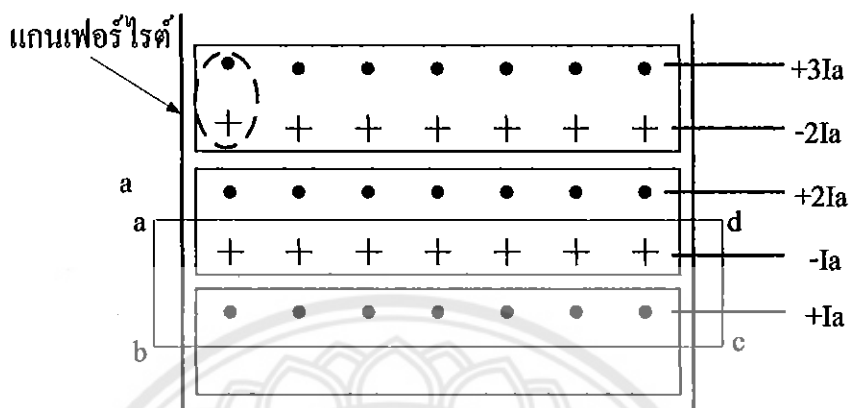
เนื่องจากมีฟลักซ์รั่วที่เกิดขึ้น ขดลวดทองแดงในหม้อแปลงจึงอยู่ในลักษณะเช่นเดียวกับการนำขดลวดไปวางในสนามแม่เหล็ก และเกิดกระแสไหลวนที่บริเวณผิวนำกระแสของขดลวดที่สัมผัสกับสนามแม่เหล็ก ผลของขดลวดทองแดงที่วางอยู่ในฟลักซ์รั่วทำให้มีกระแสไหลวนเกิดขึ้นที่ผิวด้านบนและด้านล่างของขดลวดทองแดงและทำให้ความหนาแน่นกระแสที่ผิวด้านบนมีค่ามากกว่าผิวด้านล่างดังรูปที่ 2.10



รูปที่ 2.10 ลักษณะของฟลักซ์รั่วทำให้มีกระแสไหลวนเกิดขึ้นที่ผิว

ยิ่งการซ้อนกันของขดลวดมีจำนวนชั้นมากขึ้น จะยังมีผลทำให้ความหนาแน่นของกระแสไหลวนมีค่ามากขึ้นด้วย ซึ่งจะพิจารณาได้ดังต่อไปนี้ จากรูปที่ 2.11 เพื่อให้ง่ายจึงกำหนดให้ขดลวดทองแดงที่เรียบเรียงกันอยู่ในแต่ละชั้นเปรียบเหมือนแผ่นทองแดงพันอยู่รอบแกนของหม้อแปลงแทนขดลวด แผ่นทองแดงนี้จึงวางอยู่ในฟลักซ์รั่ว

พิจารณาแผ่นทองแดงที่ชั้นแรกที่ตั้งอยู่กับแกนฟลักซ์รั่วจะตัดผ่านผิวค้ำบนและทำให้เกิดกระแสไหลวนไหลที่ผิวนำกระแสของแผ่นทองแดง สำหรับผิวค้ำล่างที่ตั้งกับแกนจะไม่มีฟลักซ์แม่เหล็กตัดผ่านผิวเนื่องจากอยู่ติดกับแกน ดังนั้นกระแสจะไหลวนเฉพาะที่ผิวค้ำบนเท่านั้น

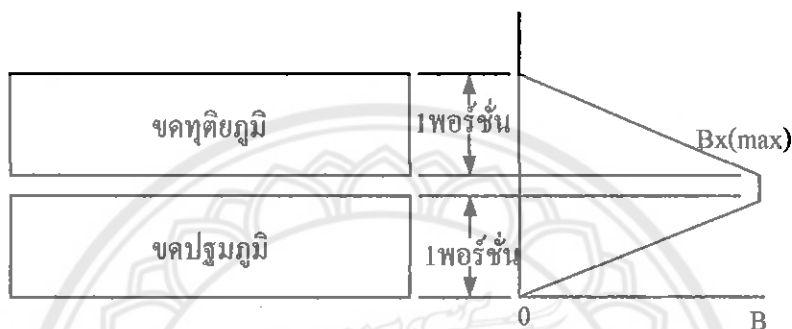


รูปที่ 2.11 การเปรียบเทียบลวดทองแดงที่พันเรียงกันแต่ละชั้น

ถ้าสมมติให้ค่ากระแสที่ผิวค้ำบนของแผ่นทองแดงในชั้นแรกนี้มีค่าเท่ากับ $+I_a$ และเมื่อพิจารณาแผ่นทองแดงในชั้นที่สอง ผลของฟลักซ์รั่วจะทำให้กระแสไหลวนเกิดขึ้นที่ผิวนำกระแสทั้งค้ำบนและค้ำล่าง สำหรับที่เนื้อกลางของแผ่นทองแดงจะไม่มีกระแสไหลวนเนื่องจากสนามแม่เหล็กมีค่าเท่ากับศูนย์ (สนามแม่เหล็กสามารถทะลุผ่านตัวนำเข้ามาได้เพียงระยะผิวนำกระแสเท่านั้น) ดังนั้นผลรวมของสนามแม่เหล็กตามทาง $(\oint Hdl)$ รอบวง abcd จึงมีค่าเท่ากับศูนย์ และผลรวมของกระแสภายในวงรอบ abcd จะต้องมีความเท่ากับศูนย์ด้วย ตามกฎของแอมแปร์ เนื่องจากค่ากระแสที่ผิวบนของแผ่นทองแดงชั้นแรกมีค่าเท่ากับ $+I_a$ ดังนั้นค่ากระแสที่ผิวล่างของแผ่นทองแดงในชั้นที่สองจะต้องมีค่าเท่ากับ $-I_a$ และไหลในทิศตรงกันข้ามผลรวมของกระแสจึงจะมีค่าเท่ากับศูนย์ แต่กระแสที่ไหลจริงในทองแดงแต่ละชั้นมีค่าเท่ากัน (แผ่นทองแดงในแต่ละชั้นเกิดจากแผ่นทองแดงชั้นเดียวกันพันรอบแกน) ค่ากระแสที่ไหลที่ผิวบนในแผ่นทองแดงชั้นที่สองจึงต้องมีค่าเท่ากับ $+2I_a$ ในทำนองเดียวกัน ค่ากระแสที่ผิวบนของทองแดงในชั้นที่สามก็จะมีค่าเท่ากับ $+3I_a$ และกระแสที่ผิวบนในแต่ละชั้นจะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆตามจำนวนชั้น

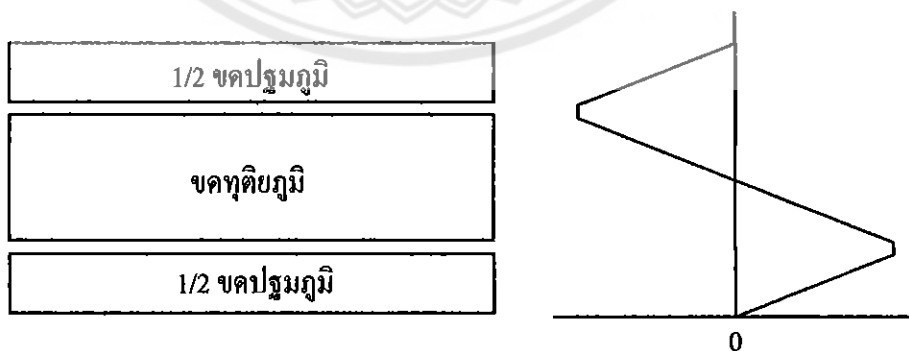
4) เทคนิคการพันขดลวดทองแดงสำหรับหม้อแปลงความถี่สูง (Wind Topology)

การจัดรูปแบบการพันของลวดตัวนำทองแดง คำว่า “พอร์ชัน (Portion)” ในการพันขดลวดทองแดงจะมีความหมายคือ หนึ่งพอร์ชันกำหนดจากชั้นของขดลวดทองแดงชุดหนึ่งๆที่มีค่าความหนาแน่นฟลักซ์รีว้น้อยที่สุด ไปจนถึงชั้นที่มีค่าความหนาแน่นฟลักซ์รีวสูงที่สุด และจำนวนชั้นในหนึ่งพอร์ชัน (Layer) จะหมายถึง จำนวนชั้นของขดลวดทองแดงที่ซ้อนกันอยู่ภายในพอร์ชันนั้นๆ จากรูปที่ 2.12 จะเห็นได้ว่า จำนวนชั้นทั้งหมดของขดลวดปฐมภูมิพันอยู่ในหนึ่งพอร์ชัน และจำนวนชั้นทั้งหมดของขดลวดทุติยภูมิก็พันอยู่ในหนึ่งพอร์ชันเช่นเดียวกัน

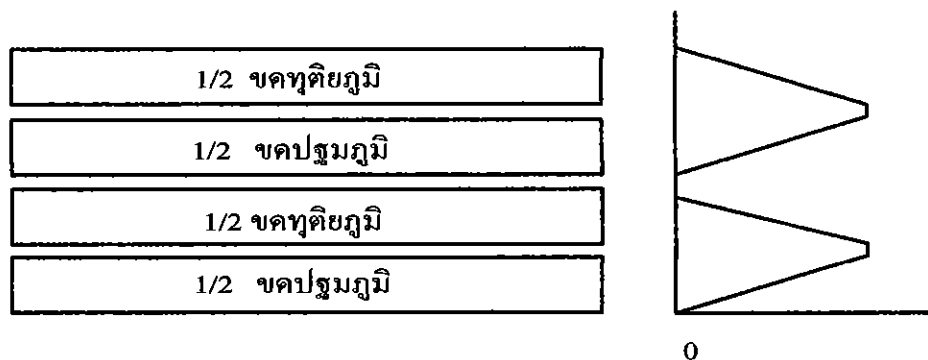


รูปที่ 2.12 การกำหนดจำนวนชั้นในพอร์ชัน

ถ้าแยกขดปฐมภูมิต่อออกมาเป็นสองส่วนดังรูปที่ 2.13 ทำให้ความหนาแน่นของฟลักซ์รีวและจำนวนชั้นต่อหนึ่งพอร์ชันลดลงครึ่งหนึ่งด้วย (เนื่องจากความหนาแน่นของฟลักซ์รีวจะขึ้นกับจำนวนชั้นของขดลวด) ไม่ว่าจะเป็นที่ขดปฐมภูมิหรือทุติยภูมิก็ตาม ดังนั้นหากมีการจัดรูปแบบในการพันขดลวดทองแดงที่เหมาะสม จะทำให้ช่วยลดการสูญเสียที่เกิดขึ้นในของขดลวดทองแดงได้



รูปที่ 2.13 การลดความหนาแน่นฟลักซ์สูงที่สุดของฟลักซ์รีว



รูปที่ 2.14 การลดจำนวนชั้นจากรูปที่ 2.12 ลงไปอีก โดยแบ่งครึ่งพันขดขลุ่ย

การจัดขดลวดแบบธรรมดา (Simple Winding)

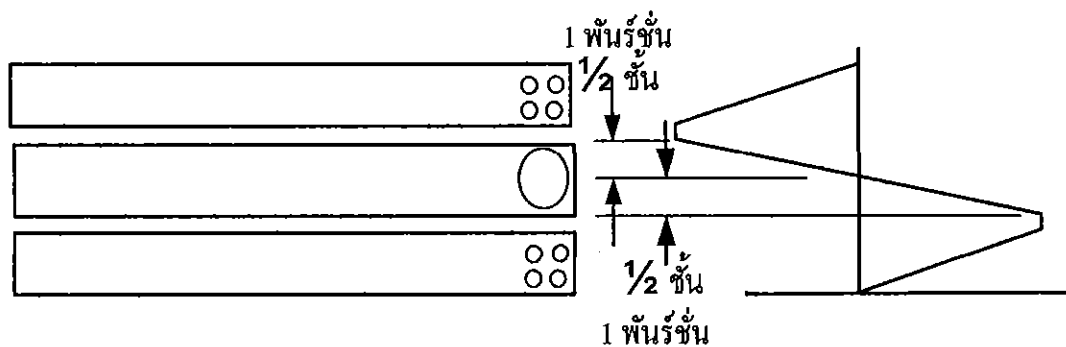
การจัดขดลวดในหม้อแปลงแบบธรรมดา คือ การพันขดลวดทองแดงให้ครบรอบที่ต้องการการทับซ้อนกันไปที่ละชุดไปเรื่อยๆ ตัวอย่างเช่น ถ้าขดปฐมภูมิมีจำนวนรอบเท่ากับห้าสิบรอบ และขดทุติยภูมิมีจำนวนรอบเท่ากับสิบรอบ การจัดขดลวดแบบธรรมดาก็ทำได้โดยการพันขดลวดทองแดงรอบแกนให้ครบห้าสิบรอบเพื่อให้เป็นขดปฐมภูมิ จากนั้นจึงพันขดทุติยภูมิทับไปบนปฐมภูมิให้ครบจำนวนรอบ การจัดขดลวดแบบธรรมดาจึงเป็นลักษณะดังรูปที่ 2.11

การจัดขดลวดแบบแบ่งครึ่งพัน (Split Winding)

การจัดขดลวดทองแดงในหม้อแปลงแบบแบ่งครึ่งพัน คือ การพันขดลวดทองแดงให้ได้ครบจำนวนรอบที่ต้องการ โดยแบ่งขดลวดออกเป็นสองส่วน และนำขดลวดชุดอื่นมาแทรกคั่นระหว่างกลาง การจัดขดลวดแบบนี้จะเป็นการจัดขดปฐมภูมิดังในรูปที่ 2.12 ถ้าแบ่งขดที่ถูกแบ่งแล้วออกไปอีกด้วย ก็จะได้ลักษณะดังที่ในรูปที่ 2.13 การแบ่งส่วนพันจะเป็นการลดค่าความหนาแน่นของฟลักซ์รั่วและจำนวนชั้นในแต่ละพอร์ชันลงได้ หลักการสำคัญของการจัดขดลวดแบบแบ่งครึ่งพันคือจำนวนรอบของขดลวดที่ต้องการแบ่งพันจะต้องเป็นคู่ และจำนวนชั้นทั้งหมดก่อนแบ่งพันจะต้องเป็นจำนวนคู่ด้วย เพื่อความสมมาตรหลังจากการพันแล้ว

การจัดขดลวดแบบพันแทรกกลาง (Sandwiched Winding)

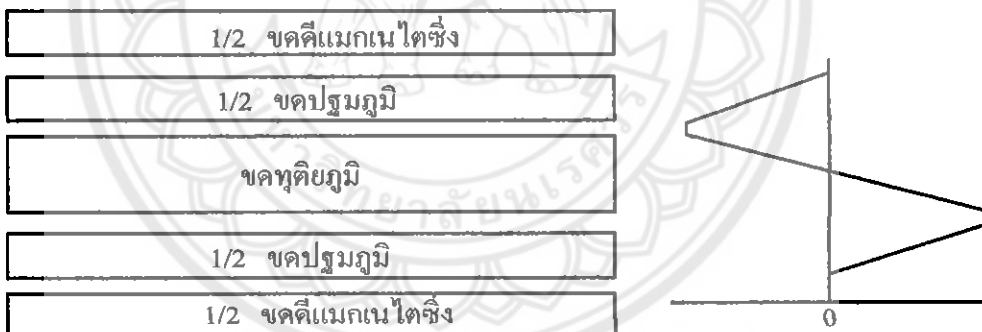
คือการจัดขดพันให้ครบตามจำนวนรอบที่ต้องการ โคนการพันแทรกเข้าไประหว่างกลางของขดลวดที่พันแบบแบ่งครึ่งพัน การพันขดลวดแบบแทรกกลางนี้ถึงแม้จะมีขดลวดทองแดงเพียงแค่ชั้นเดียว ก็อาจจะเกิดพอร์ชันได้ถึงสองพอร์ชันดังรูปที่ 2.14 โดยจำนวนชั้นต่อหนึ่งพอร์ชันจะมีค่าเท่ากับ “ครึ่งชั้น” ซึ่งกล่าวได้ว่าเป็นชั้นที่มีความสูงเป็นครึ่งหนึ่งของชั้นปกคตินั่นเอง ในทำนองเดียวกัน หนึ่งพอร์ชันที่ได้จากการพันแทรกกลางนี้อาจมีจำนวนรอบจำนวนครึ่งรอบได้ ถ้าในครึ่งชั้นของพอร์ชันนั้นมีจำนวนเป็นเลขคี่



รูปที่ 2.15 ลักษณะของฟอร์ชั่นที่มีจำนวนชั้นเท่ากับครึ่งชั้น

หม้อแปลงสำหรับฟอร์เวิร์ดคอนเวอร์เตอร์

หม้อแปลงในฟอร์เวิร์ดคอนเวอร์เตอร์จะมีขดลวดที่สำคัญอยู่ 3 ส่วน คือ ขดปฐมภูมิ ขดทุติยภูมิ และขดค้ำแมกเนไตซ์ การจัดขดลวดอาจทำได้ดังรูปที่ 2.15 โดยแยกส่วนขดปฐมภูมิ และแทรกกลางด้วยขดทุติยภูมิ และเพื่อไม่ให้เกิดการสูญเสียในขดค้ำแมกเนไตซ์ขณะที่มันไม่นำกระแส จึงควรจัดขดลวดแมกเนไตซ์ให้อยู่นอกสุด เพื่อให้เกิดการสูญเสียในขดค้ำแมกเนไตซ์ขณะที่มันนำกระแสเท่านั้น

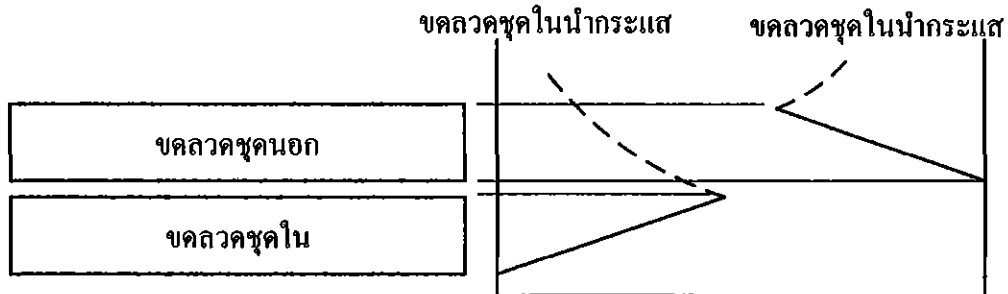


รูปที่ 2.16 การจัดขดลวดทองแดงสำหรับฟอร์เวิร์ดคอนเวอร์เตอร์ที่เหมาะสม

5) หม้อแปลงสำหรับฟลายแบคคอนเวอร์เตอร์

สำหรับหม้อแปลงสำหรับฟลายแบคคอนเวอร์เตอร์จะมีขดลวดที่สำคัญเพียงขดปฐมภูมิ และขดทุติยภูมิซึ่งจะสลับกันนำกระแสคือ เมื่อขดปฐมภูมินำกระแส ขดลวดทุติยภูมิจะไม่ นำกระแสในทางกลับกัน เมื่อขดทุติยภูมินำกระแสขดลวดปฐมภูมิจะไม่นำกระแส ลักษณะค่าความหนาแน่นฟลักซ์จะเป็นดังรูปที่ 2.17

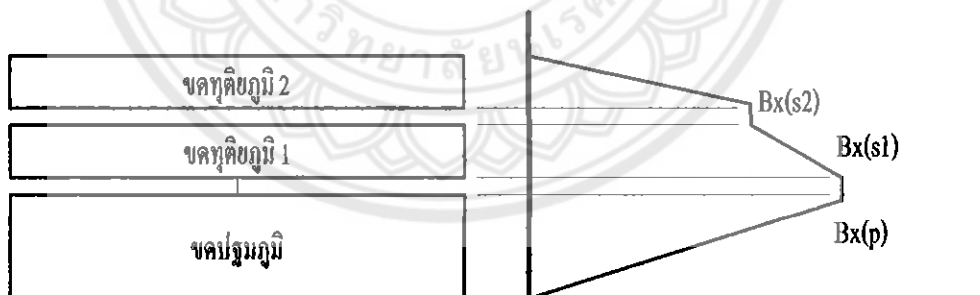
เนื่องจากฟลักซ์รั่วจากขดลวดชั้นในจะทำให้เกิดการสูญเสียที่ขดลวดชั้นนอกได้ แม้ว่าขดลวดชั้นนอกจะไม่ได้นำกระแส ดังนั้นการวางขดปฐมภูมิหรือขดทุติยภูมิควรพิจารณาให้ขดลวดที่มีขนาดเล็กกว่าอยู่ด้านบนเสมอ



รูปที่ 2.17 ลักษณะของค่าความหนาแน่นฟลักซ์รั่ว

หม้อแปลงที่มีค่าแรงดันเอาต์พุตหลายค่า

กรณีที่ต้องการให้หม้อแปลงมีแรงดันเอาต์พุตหลายค่า ขดลวดทุติยภูมิจะมีหลายชุดด้วยกันลักษณะความหนาแน่นฟลักซ์รั่วที่เกิดขึ้นในหม้อแปลงที่มีแรงดันเอาต์พุตหลายค่าอาจเป็นได้ดังในรูปที่ 2.18 ในกรณีนี้จะเห็นได้ว่า ความหนาแน่นของฟลักซ์รั่วในตำแหน่งขดทุติยภูมิที่ 1 ไม่ได้เริ่มจากศูนย์และจะมีการสูญเสียเกิดขึ้นได้สูง การวางขดลวดทองแดงในตำแหน่งเช่นนี้จึงควรเลือกขดลวดชุดที่มีขนาดของขดลวดเล็กที่สุด (กระแสค่าต่ำสุด) จากขดลวดในหม้อแปลง



รูปที่ 2.18 ลักษณะความหนาแน่นของฟลักซ์รั่วในหม้อแปลงที่มีขดทุติยภูมิหลายชุด

6) การเลือกขนาดลวดทองแดงและการพันหม้อแปลงความถี่สูงตามวิธีของ J.Jongsma

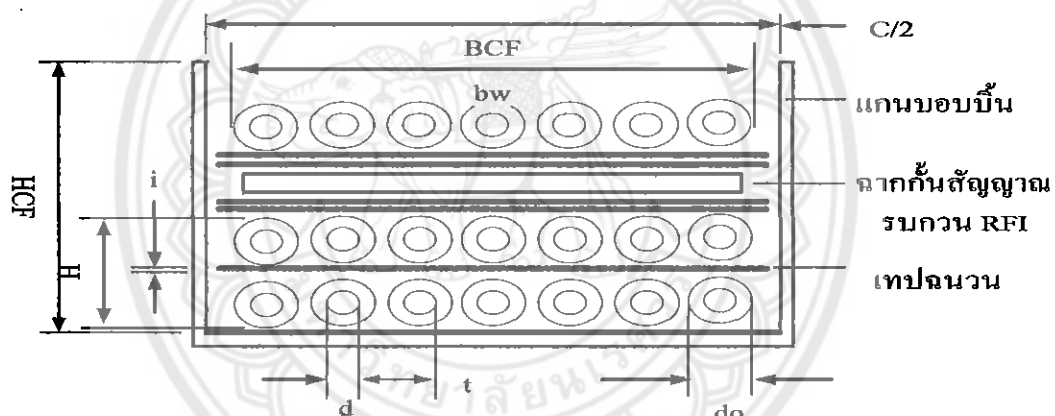
Jongsma ได้ข้อสรุปในการพันหม้อแปลงความถี่สูงด้วยลวดทองแดง เพื่อให้เกิดการสูญเสียในขดลวดน้อยที่สุดไว้ดังนี้คือ

เมื่อต้องการพันหม้อแปลงความถี่สูงด้วยลวดทองแดงรูปที่ 2.18 โดยกำหนดให้

$$T = \frac{b_w}{N} \quad (2.13)$$

ที่ 100 องศาเซลเซียส
$$\Delta = \sqrt{\frac{5.62}{f}} \quad (2.14)$$

เมื่อ N คือ จำนวนรอบของขดลวดทองแดง



รูปที่ 2.19 ตามกำหนดค่าต่างๆในการพันหม้อแปลงความถี่สูงตามวิธี Jongsma

- โดยที่ b_w = ระยะที่สามารถใช้ลวดทองแดงได้ (mm)
 B_{CF} = ความกว้างของบอบปิ่น (mm)
 C = ระยะห่างจําเป็น (Creepage) (mm)
 d = ขนาดผ่านศูนย์กลางของขดลวดทองแดง (mm)
 d_0 = ขนาดผ่านศูนย์กลางเมื่อรวมจนวนเคลือบ (mm)
 H = ความสูงของขดลวดทองแดง (mm)
 H_{CF} = ความสูงของขดลวดทองแดงทั้งหมดที่บอบปิ่นจะได้รับ (mm)
 i = ความหนาของเทปฉนวน (mm)
 t = ระยะห่างระหว่างลวดทองแดง (mm)

ตามกำหนดค่าต่างๆในการพันหม้อแปลงความถี่สูงตามวิธี Jongsma จะได้ว่า

1. ถ้าค่าของอัตราส่วน $T/\Delta > 2$ การพันขดลวดทองแดงให้ครบจำนวนรอบภายในชั้นเดียว (Single Layer) จะเกิดการสูญเสียในขดลวดทองแดงน้อยที่สุด แต่ในกรณีพันแทรกกลางเมื่อค่า $T/\Delta > 2$ การพันขดลวดให้ได้ครบรอบจำนวนรอบภายในครึ่งชั้น (Half Layer) จะเกิดการสูญเสียในขดลวดทองแดงน้อยที่สุด

2. ถ้าค่าของอัตราส่วน $T/\Delta > 2$ การพันลวดทองแดงให้ได้ครบจำนวนรอบสามารถพันได้มากกว่าหนึ่งชั้น แต่จำนวนชั้นยิ่งน้อยการสูญเสียจะน้อยตามไปด้วย

3. กรณีที่การพันลวดทองแดงให้ได้ครบตามจำนวนรอบมีจำนวนชั้นมากกว่าหนึ่งชั้น การพันลวดทองแดงแบบเว้นระยะเท่าๆกัน (Speed Winding) ค่าความต้านทานที่กระแสน้ำของขดลวดจะน้อยกว่าการพันทองแดงแบบให้เรียงชิดติดกัน แต่กรณีที่การพันลวดทองแดงให้ได้ครบจำนวนรอบมีจำนวนชั้นได้เพียงชั้นเดียวหรือน้อยกว่า ต้องพันลวดทองแดงให้เรียงชิดติดกันเท่านั้น

การเลือกขนาดของลวดทองแดง

(1) ให้คำนวณค่าประมาณของเส้นผ่านศูนย์กลางของขดลวดทองแดงจาก

$$d_{id} = \left(\frac{17.1b_w}{N \cdot f} \right)^{\frac{1}{3}} \quad (2.15)$$

เมื่อ d_{id} คือ ค่าคำนวณของขนาดเส้นศูนย์กลางลวดทองแดง เป็นมิลลิเมตร

b_w คือ ค่าระยะสำหรับพันขดลวดรอบชั้น เป็นมิลลิเมตร

N คือ จำนวนรอบของขดลวด เป็นรอบ

f คือ ความถี่การทำงานของหม้อแปลงเป็นกิโลเฮิรตซ์

(2) ขนาดของลวดทองแดงที่มีผลจริงจากตารางที่ 2.1 ที่ใกล้เคียงกับค่าที่คำนวณ d_{id} มากที่สุด บันทึก d, d_o, t_{min} , และ R_{dc} เอาไว้

(3) คำนวณจำนวนชั้นของขดลวดทองแดงที่จะได้เมื่อพันครบจำนวนรอบจากค่า t_{min} ในข้อที่ 2 ดังนี้

$$3.1 \quad P_{id} = \frac{N}{\left(\frac{b_w}{t_{min}} - 1 \right)} \quad (2.16)$$

3.2 ถ้าจำนวนชั้น $P_{id} \leq 1$ ขนาดของขดลวดทองแดงที่เลือกมายังไม่สามารถใช้ไม่ได้ ให้เลือกขนาดของขดลวดทองแดงใหม่ โดยเปลี่ยนไปใช้วิธีคำนวณในกรณีที่จำนวนชั้นเดียวหรือครึ่งชั้น

3.3 บัดเศษของจำนวนชั้น P_{id} ที่คำนวณได้ (ถ้ามี) ให้เป็นจำนวนเต็ม โดยปัดขึ้นเพื่อให้เป็นจำนวนเต็ม P

(4) คำนวณระยะห่างขดลวดในชั้น (Winding) จาก

$$t = \frac{pb_w}{(N+p)} \quad (2.17)$$

ในการพันขดลวดระยะห่างของขดลวดระหว่างรอบจะกำหนดได้จากค่า t ที่คำนวณได้

(5) เลือกค่าความหนาของเทปฉนวนเพื่อรองพันขดลวดในแต่ละชั้น ความสูงของขดลวดบนบอบนั้นเมื่อพันครบรอบจะมีค่าเท่ากับ

$$H_{id} = p(d_0 + i) \quad (2.18)$$

เมื่อ i คือ ความหนาของเทปฉนวนที่ใช้ เป็นมิลลิเมตร

(6) คำนวณค่าอัตราส่วน F_R จาก

$$F_R = 1 + \frac{1}{2} (d/d_{id})^6 \quad (2.19)$$

(7) คำนวณค่าความต้านทานที่กระแสสลับต่อหนึ่งหน่วยความยาว (R_{ac}) จาก

$$R_{ac} = F_R R_{dc} \quad (2.20)$$

เมื่อ R_{dc} คือ ค่าความต้านทานที่กระแสตรงต่อหนึ่งหน่วยความยาวของขดลวดทองแดง (ดูได้จากตารางที่ 2.1)

(8) คำนวณกำลังสูญเสียที่เกิดขึ้นในขดลวด P_w จะมีค่า

$$P_w = CI_{RMS}^2 \cdot N \cdot l_{av} \cdot R_{ac} \quad (2.21)$$

เมื่อ l_{av} คือ ค่าเฉลี่ยของขดลวดต่อหนึ่งรอบ เป็นเมตร

C คือ ค่าตัวคูณเท่ากับ 1 (กรณีการพันขดลวดแบบธรรมดา) และ เท่ากับ 2 (กรณีเป็นการพันแบบแยกส่วนพัน)

I_{RMS} คือ ค่ากระแส RMS ที่ขดลวด เป็นแอมป์

กรณีจำนวนชั้นมีชั้นเดียวหรือมีเพียงครึ่งชั้น

(1) กำหนดจำนวนชั้น p ให้มีค่าเท่ากับ 1

$$(2) \text{ คำนวณระยะห่างขดลวดระหว่างรอบ } t = p \frac{b_w}{(N+p)}$$

(3) เลือกขนาดของขดลวดจากตารางที่ 2.1 ให้มีค่า $t_{\min} \leq t$ (t_{\max} ค่ามากที่สุดที่ในตารางที่น้อยกว่าหรือเท่ากับ t) บันทึกราค่า d , d_0 , และ R_{ac} และให้กำหนดค่าความหนาของเทปฉนวน i เอาไว้ด้วย

(4) คำนวณค่าความสูงของขดลวดเมื่อพันครบจำนวนรอบจาก

$$H = d_0 + i \quad (2.22)$$

(5) คำนวณค่า φ จาก โดย (f เป็น (KHz) d และ t เป็น mm)

$$\varphi = \sqrt{\frac{0.124 f d^3}{t}} \quad (2.23)$$

(6) หาค่าอัตราส่วน F_R ได้ โดยใช้ค่า φ ที่คำนวณได้จากข้อ 5 กรณีที่ค่า F_R เกินจากที่แสดงไว้ในกราฟ ให้กำหนดค่า $F_R = p\varphi$

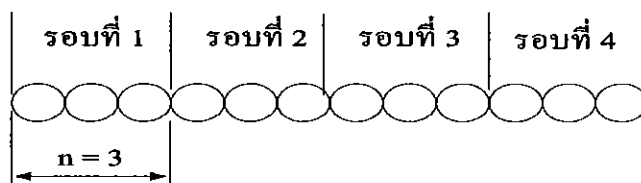
(7) คำนวณค่า R_{ac} จาก $R_{ac} = F_R R_{dc}$

(8) คำนวณค่ากำลังสูญเสียที่เกิดขึ้นในขดลวดได้จาก

$$P_w = CI_{RMS}^2 \cdot N \cdot I_{av} \cdot R_{ac} \quad (2.24)$$

การพันขดลวดโดยใช้ลวดทองแดงขนานกัน

เพื่อลดค่าความต้านทานของขดลวดทองแดงลงไปอีก โดยการใช้ลวดทองแดงขนานกันแล้วพันให้ครบตามจำนวนรอบนั้น สามารถทำได้ดังแสดงในรูปที่ 2.20



รูปที่ 2.20 การพันขดลวดโดยขดลวดทองแดงขนานกัน

การใช้ขดลวดทองแดงขนานกันนั้น เมื่อเปรียบเทียบกับการใช้ขดลวดทองแดงเพียงเส้นเดียว จะทำให้ค่าความต้านทานที่กระแสลับของขดลวดและขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของขดลวดทองแดงลดลงประมาณ $n^{-1/3}$ แต่ความสูงจะเพิ่มขึ้นประมาณ $n^{1/3}$ เมื่อ n คือ จำนวนเส้นของขดลวดทองแดงขนานกัน

โดยทั่วไปการขนานขดลวดทองแดง 2 เส้นจะลดค่าความต้านทานที่กระแสลับของขดลวดลงได้ประมาณ 20 เปอร์เซ็นต์ แต่ความสูงของขดลวดจะมีค่าเพิ่มขึ้นที่ประมาณ 25 เปอร์เซ็นต์ การขนานขดลวดทองแดง 3 เส้นจะลดค่าความต้านทานที่กระแสลับของขดลวดลงประมาณ 30 เปอร์เซ็นต์ แต่ความสูงของขดลวดจะมีค่าเพิ่มขึ้นประมาณ 45 เปอร์เซ็นต์เช่นกัน การขนานขดลวดทองแดงมากกว่า 3 เส้นมักไม่นิยมทำกัน เพราะจะพันขดลวดได้ลำบาก หรืออาจทำให้ขดลวดสูงเกินกว่าที่จะพันบนแกนบอบบี้น ได้การพันขดลวดทองแดงขนานกันทำได้ดังนี้

- (1) เลือกจำนวนขดลวดทองแดงขนาน = n เส้น (ปกติจะใช้ 2 หรือ 3 เส้นเท่านั้น)
- (2) ทำตามขั้นตอนที่ได้กล่าวในข้อการเลือกขนาดของขดลวดทองแดง โดยคิดจำนวนรอบ N' มีค่า $N' = nN$ รอบ ถ้าจำนวนชั้น $P_{id} = 1$ ให้ใช้วิธีเลือกขนาดจากกรณีที่มีจำนวนชั้นมีชั้นเดียวหรือครึ่งชั้นแทน โดยคิดให้จำนวนรอบ $N' = nN$ รอบเช่นกัน
- (3) ค่า R_{ac} ที่คำนวณได้ ให้หารด้วย n เพื่อให้ค่า R_{ac} ของขดลวดทองแดงขนาน
- (4) คำนวณค่าสูญเสียในขดลวดจากค่า R_{ac} ของขดลวดทองแดงขนานจาก

$$P_w = CI_{RMS}^2 N' l_{av} R_{ac} / n \quad (2.25)$$

2.1.5 อุณหภูมิของหม้อแปลงความถี่สูงแบบฟลายแบค

การออกแบบหม้อแปลงความถี่สูงแบบฟลายแบค จะถือได้ว่าประสบความสำเร็จ ถ้าในขณะที่คอนเวอร์เตอร์จ่ายกำลัง โหลดสูงสุดแล้วหม้อแปลงไม่ร้อน (อุณหภูมิของหม้อแปลงความถี่สูงขณะทำงานควรไม่เกิน 80 องศาเซลเซียส) ปกติแล้วหม้อแปลงจะร้อนเองเนื่องจากมีกำลังสูญเสียในหม้อแปลงสูง ซึ่งเกิดจากกำลังงานสูญเสียภายในขดลวดทองแดง และการสูญเสียในเฟอร์ไรต์ด้วย อุณหภูมิหม้อแปลงที่เพิ่มขึ้นขณะทำงานเนื่องจากการสูญเสียในหม้อแปลงอาจคำนวณได้จากสมการ

$$\Delta T = \frac{23.5(P_w + P_c)}{\sqrt{A_e \cdot A_w}} \quad (2.26)$$

เมื่อ ΔT	คือ อุณหภูมิหม้อแปลงที่เพิ่มขึ้นจากอุณหภูมิห้อง เป็นองศาเซลเซียส
P_w	คือ กำลังสูญเสียภายในขดลวดทองแดง เป็นวัตต์
P_c	คือ กำลังสูญเสียในแกนเฟอร์ไรต์ เป็นวัตต์
A_e	คือ พื้นที่หน้าตัดของแกนเฟอร์ไรต์ เป็นตารางเซนติเมตร
A_w	คือ ขนาดช่องพันขดลวดของบอบบิ้น เป็นตารางเซนติเมตร

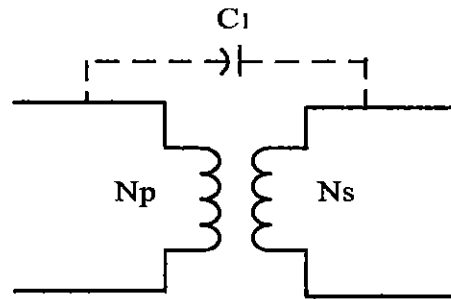
(ค่า ΔT ได้จากสมการที่ 2.26 เป็นค่าโดยประมาณ ซึ่งจะให้ค่าใกล้เคียงกับค่าอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น ถ้า ΔT มีค่าอยู่ในช่วง 20 ถึง 50 องศาเซลเซียส)

เพื่อไม่ให้อุณหภูมิของหม้อแปลงมีค่าสูงเกินไป และเพื่อเป็นข้อพิจารณาในการเลือกขนาดของแกนเฟอร์ไรต์กับการเลือกขนาดขดลวดและวิธีการพันขดลวดทองแดงที่เหมาะสมการกำหนดค่าพลังงานสูญเสียสูงสุดในหม้อแปลงจึงควรทำเป็นอันดับแรกในการออกแบบหม้อแปลงความถี่สูง

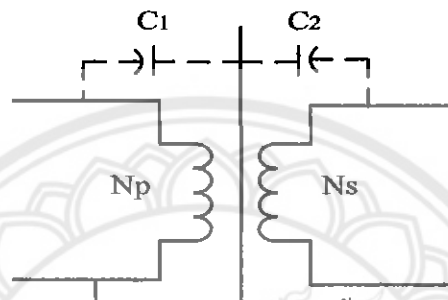
2.1.6 ฉากกั้น RFI และ EMI

ฉากกั้น RFI หรือ Faraday Screen เพิ่มเข้ามาในหม้อแปลงความถี่สูง เพื่อป้องกันการเกิดกระแส RF ไหลผ่านระหว่างขดปฐมภูมิและทุติยภูมิในหม้อแปลง เนื่องจากสนามไฟฟ้าระหว่างขดลวดอาจทำให้เกิดตัวเก็บประจุแผ่นกร่อมระหว่างขดปฐมภูมิและทุติยภูมิตั้งรูปที่ 2.21 (ก) ฉากกั้น RFI จะเป็นตัวผ่านทางให้กระแส RF ที่เกิดขึ้นไหลลงกราวด์ โดยฉากกั้นจะแบ่งตัวแผ่นที่เกิดขึ้นออกเป็นสองส่วนแล้วต่อกราวด์ดังรูปที่ 2.21 (ข)

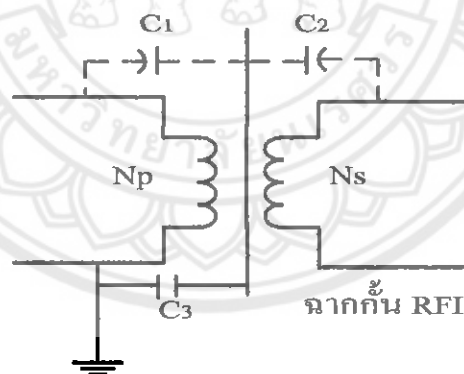
ฉากกั้น RFI สามารถทำได้โดยใช้แผ่นตัวนำบางๆ และมีขนาดความกว้างเท่ากับระยะพันขดลวดบนบอบบิ้นเพื่อให้คลุมขดลวดได้ทั้งหมด พันรอบแกนเพื่อแยกสนามไฟฟ้าระหว่างขดลวดเพื่อแยกสนามไฟฟ้าระหว่างขดปฐมภูมิและทุติยภูมิออกจากกันพันให้ครบรอบโดยที่ปลายของฉากกั้น RFI ต้องให้มีการเชื่อมกันให้น้อยที่สุด เพื่อลดค่าตัวเก็บประจุในฉากกั้นซึ่งเกิดจากการเชื่อมกันที่ปลายรอบ และให้ใช้ฉนวนรองระหว่างจุดเริ่มต้นและจุดปลายเอาไว้ป้องกันเพื่อการเชื่อมถึงกันทางไฟฟ้าที่จุดเริ่มต้นและจุดปลายของฉากกั้นด้วย



(ก)



(ข)



(ค)

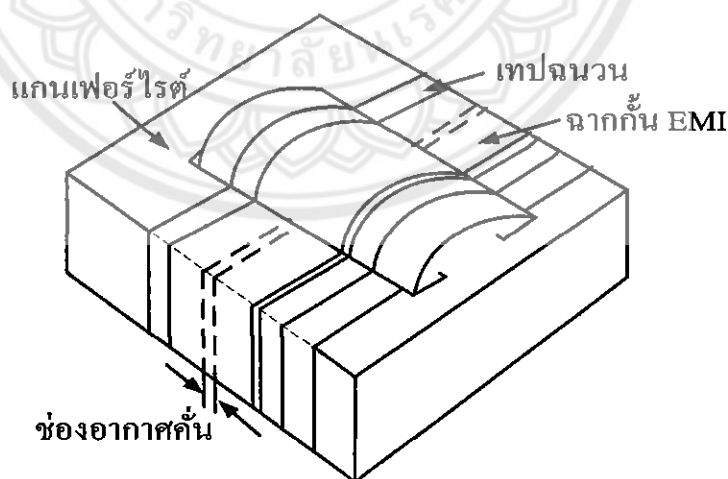
รูปที่ 2.21 (ก) หม้อแปลงที่ไม่มีฉากกั้น RFI จะเกิดตัวเก็บประจุแฝงระหว่างขดปฐมภูมิและขดทุติยภูมิ และเป็นทางผ่านของกระแส RF ได้ (ข) ฉากกั้น RFI จะเป็นตัวผ่านทางกระแส RF ไหลลงกราวด์โดยแบ่งครึ่งตัวเก็บประจุออกเป็นสองส่วนและต่อลงกราวด์ (ค) ตัวเก็บประจุ C_3 ที่เพิ่มเข้ามาจะทำให้เกิดการแยกจากกันทางไฟฟ้าระหว่างฉากกั้น RFI กับกราวด์ได้

ฉากกั้น RFI จะต้องต่อลงกราวด์ เพื่อไม่ให้กระแส RF ไหลผ่านระหว่างขดลวดได้ เป็นการลดการแพร่กระจายของสัญญาณรบกวน RFI การแยกส่วนทางไฟฟ้าระหว่างฉากกั้น RFI และกราวด์เพื่อป้องกันอันตรายทางไฟฟ้า อาจทำได้ด้วยการต่อตัวเก็บประจุค่าต่ำๆ ประมาณ $0.01 \mu F$ 2 kV คั่นไว้ระหว่างกัน RFI กับกราวด์รูปที่ 2.21 (ค)

เนื่องจากฉากกั้น RFI เป็นตัวนำและเกิดการสูญเสียขึ้นจากกระแสไหลวนขณะหม้อแปลงทำงานได้เช่นกัน ดังนั้นฉากกั้น RFI เป็นควรทำจากแผ่นตัวนำที่มีค่าความต้านทานสูงๆ เช่น Phosphor bronze (CUSn 8) หรือ Manganin และควรมีความหนาให้น้อยที่สุด (แต่มาตรฐาน UL-1244 กำหนดความหนาค่าสุดไว้ที่ 0.15 มิลลิเมตร ซึ่งจะต้องพิจารณาประกอบกันด้วย)

ฉากกั้น EMI (Electromagnetic Screen) จะทำไว้เพื่อลดการแพร่กระจายของสัญญาณรบกวน EMI ซึ่งจุดที่จะก่อให้เกิดการแพร่กระจายของสัญญาณรบกวน EMI ได้มากที่สุดของ หม้อแปลงความถี่สูงก็คือช่องอากาศคั่นในแกนเฟอร์ไรต์ การลดสัญญาณรบกวน EMI จะทำโดยใช้แผ่นทองแดงที่มีความกว้างประมาณ 30 เปอร์เซ็นต์ของความกว้างบอบป็นพันรอบแกนเฟอร์ไรต์ เพื่อทำฉากกั้น EMI คลุมรอบช่องอากาศคั่นเอาไว้ดังรูปที่ 2.22 และบัดกรีเชื่อมจุดเริ่มต้นและเชื่อมจุดปลายเข้าด้วยกัน วิธีนี้จะช่วยสามารถลดการแพร่กระจายของสัญญาณรบกวน EMI ลงได้ถึง 12 dB

ในตารางตรงกันข้ามกับฉากกั้น RFI และ EMI ควรมีค่าความต้านทานไฟฟ้าให้น้อยที่สุด ดังนั้นการใช้แผ่นทองแดงจึงค่อนข้างเหมาะสมและควรมีความหนาไม่ต่ำกว่า 0.25 มิลลิเมตร



รูปที่ 2.22 ฉากกั้น EMI รอบหม้อแปลงความถี่สูง

ฉากกั้น EMI รอบหม้อแปลงความถี่สูง เพื่อลดการแพร่กระจายของสัญญาณรบกวน EMI เทปฉนวนพันรองแผ่นทองแดงเพื่อป้องกันการสัมผัสระหว่างฉากกั้นกับแกนเฟอร์ไรต์

2.1.7 การออกแบบหม้อแปลงความถี่สูงให้มีความปลอดภัย

หม้อแปลงความถี่สูงต้องออกแบบให้มีความปลอดภัยสูงขณะใช้งาน โดยปลอดภัยจากไฟไหม้และปลอดภัยจากฟ้าผ่า

1) การเลือกใช้วัสดุเพื่อความปลอดภัยจากไฟไหม้

หม้อแปลงความถี่สูงแบบฟลายแบคมีส่วนประกอบที่ติดไฟคือ เทปฉนวนและบอบบี้ การเลือกใช้ตามมาตรฐานความปลอดภัย

เทปฉนวนสามารถแบ่งออกเป็นกลุ่มได้ตามอัตราทนอุณหภูมิขณะใช้งานดังตารางที่ 2.2 การเลือกใช้ต้องเลือกใช้ที่ทนอุณหภูมิมากกว่าอุณหภูมิขดลวดขณะทำงานของหม้อแปลง

ตารางที่ 2.2 การจัดกลุ่มของเทปฉนวนตามอัตราทนอุณหภูมิ (Thermal Strength)

ประเภทของฉนวน	อุณหภูมิเฉลี่ยขณะทำงาน	อุณหภูมิสูงสุดขณะทำงาน
0	40	90
A	40	105
B	75	130
F	75	155
H	85	180

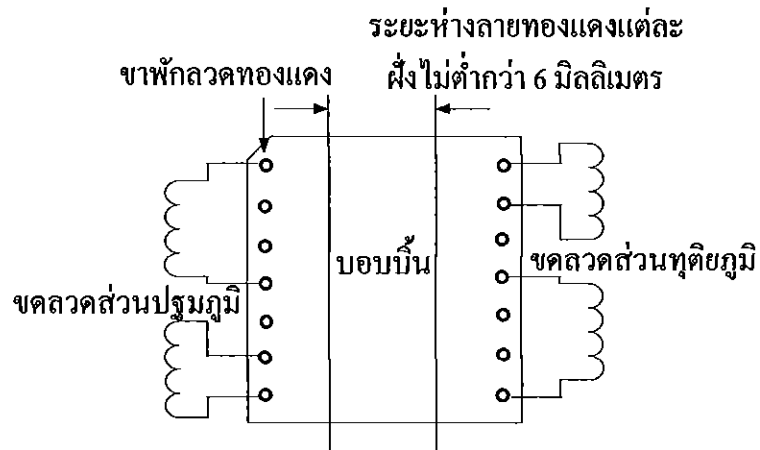
บอบบี้ทำมาจากเม็ดพลาสติกที่ไม่ติดไฟ โดยทั่วไปบอบบี้มักใช้วัสดุที่ผ่านมาตรฐานทดสอบของ UL 94 เช่นวัสดุกลุ่ม 94V-0, 94V-1 และ 94V-2 เป็นต้น

2) การออกแบบเพื่อความปลอดภัยจากฟ้าผ่า

เนื่องจากหม้อแปลงจะพันด้วยขดลวดบนแกนบอบบี้หากมีข้อบกพร่องเกิดขึ้นที่ขดลวดผู้ใช้ อาจเกิดอันตรายจากฟ้าผ่าได้ผู้ออกแบบควรพิจารณาให้เกิดความปลอดภัยไฟดังนี้

- แยกส่วนระหว่างขดลวดปฐมภูมิและขดลวดทุติยภูมิที่ขาของบอบบี้

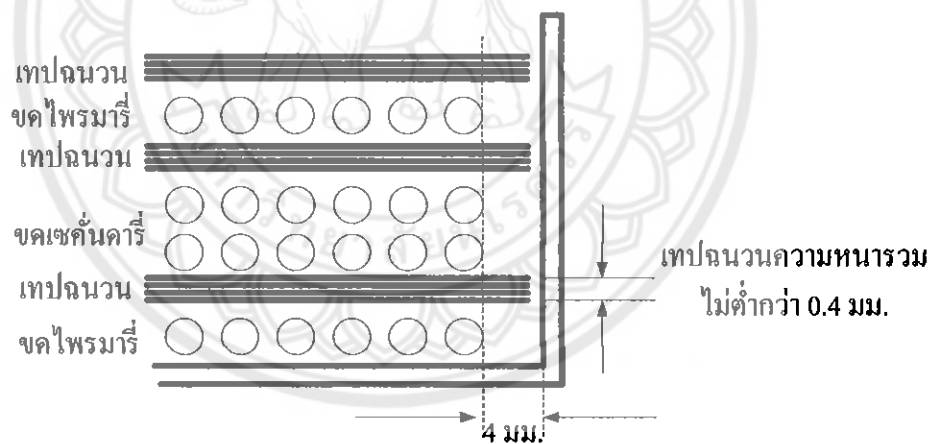
โดยทั่วไปแล้วบอบบี้จะมีการเรียงขาพักขดลวดเช่นเดียวกับขาไอซี โดยแบ่งออกเป็นสองแถวควรแยกส่วนขาปฐมภูมิและทุติยภูมิให้อยู่คนละแถว ดังรูปที่ 2.23



รูปที่ 2.23 การพันขดลวดบนบอบปิ่นลักษณะแยกฝั่งขดลวดที่ขาบอบปิ่น

- ให้แยกส่วนระหว่างปฐมภูมิและทุติยภูมิด้วยเทปฉนวน

โดยให้การแยกระหว่างส่วนระหว่างปฐมภูมิและทุติยภูมิด้วยเทปฉนวน ความหนาของเทปฉนวนที่กั้นระหว่างขดต้องมีค่าไม่ต่ำกว่า 0.4 มิลลิเมตรเทปต้องมีความกว้างเท่ากับขนาดความกว้างของบอบปิ่น ดังแสดงในรูปที่ 2.24



รูปที่ 2.24 การแยกส่วนของขดลวดด้วยเทปฉนวนบอบปิ่น

ในกรณีการพันขดลวดแบบแยกพัน ต้องใช้เทปพันคั่นระหว่างขดลวดทุกตำแหน่งที่มีการทับซ้อนกัน และเพื่อเพิ่มความปลอดภัย ควรพันเทปฉนวนทับขดลวดชั้นบนสุดให้มีความหนาของเทปฉนวนไม่ต่ำกว่า 0.4 มิลลิเมตรเอาไว้ด้วย

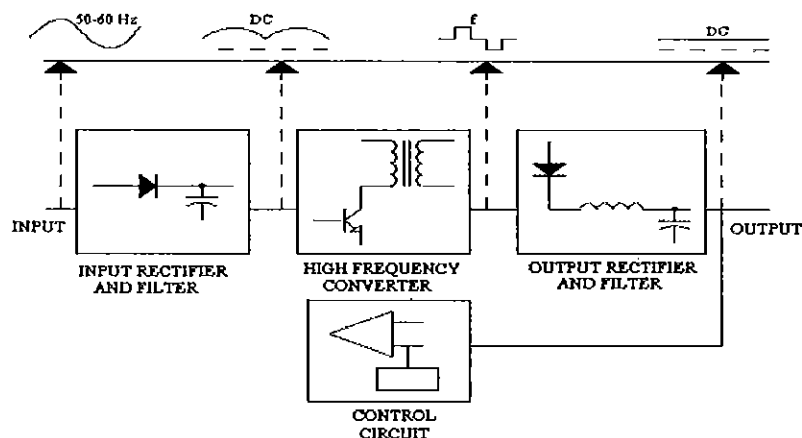
2.2 หลักการทำงานของคอนเวอร์เตอร์

คอนเวอร์เตอร์นั้น นับว่าเป็นส่วนสำคัญที่สุดในแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงแบบสวิตชิง มีหน้าที่ลดทอนแรงดันไฟตรงค่าสูงลงมาเป็นแรงดันไฟตรงค่าต่ำ และสามารถรักษาระดับแรงดันได้ คอนเวอร์เตอร์มีหลายแบบขึ้นอยู่กับลักษณะการจ้วงจรภายใน โดยคอนเวอร์เตอร์แต่ละแบบจะมีข้อดีข้อเสียที่แตกต่างกันออกไป การจะเลือกใช้คอนเวอร์เตอร์แบบใดสำหรับสวิตชิงเพาเวอร์ซัพพลายนั้น มีข้อควรพิจารณาจากลักษณะพื้นฐานของคอนเวอร์เตอร์แต่ละแบบดังนี้คือ

- ลักษณะการแยกกันทางไฟฟ้าระหว่างอินพุตกับเอาต์พุตของคอนเวอร์เตอร์
- ค่าแรงดันอินพุตที่จะนำมาใช้กับคอนเวอร์เตอร์
- ค่ากระแสสูงสุดที่ไหลผ่านทรานซิสเตอร์กำลังในคอนเวอร์เตอร์ขณะทำงาน
- ค่าแรงดันสูงสุดที่ตกคร่อมทรานซิสเตอร์กำลังในคอนเวอร์เตอร์ขณะทำงาน
- การรักษาระดับแรงดันในกรณีที่คอนเวอร์เตอร์มีเอาต์พุตหลายค่าแรงดัน
- การกำเนิดสัญญาณรบกวน RFI/EMI ของคอนเวอร์เตอร์

โครงสร้างโดยรวมของแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงแบบสวิตชิง ประกอบด้วย 4 ส่วน คือ

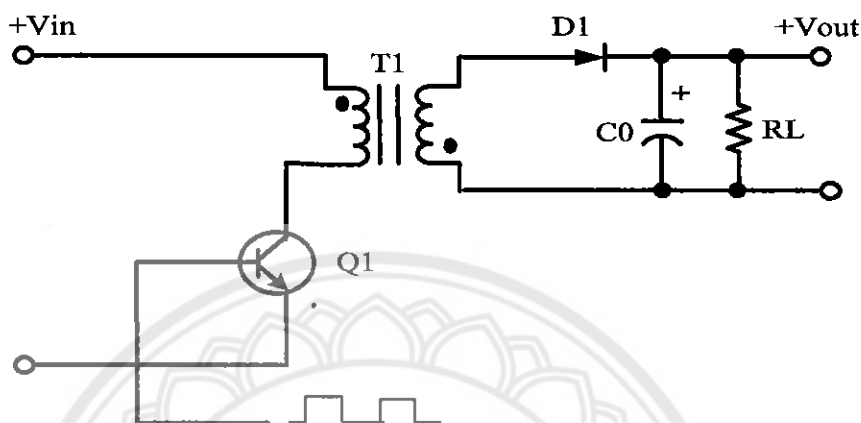
- 1) Input Rectifier and Filter
- 2) High Frequency Converter
- 3) Output Rectifier and Filter
- 4) Control Circuit



รูปที่ 2.25 บล็อกไดอะแกรมของแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงแบบสวิตชิง [3]

การออกแบบแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงแบบสวิตชิ่งนั้นจะมีคอนเวอร์เตอร์ให้เลือกใช้หลายแบบทำให้การออกแบบสามารถเลือกคอนเวอร์เตอร์มาใช้ตามความต้องการ และในปัจจุบันคอนเวอร์เตอร์ที่นิยมใช้เป็นหลักในงานอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์มีด้วยกัน 5 ชนิด คือ

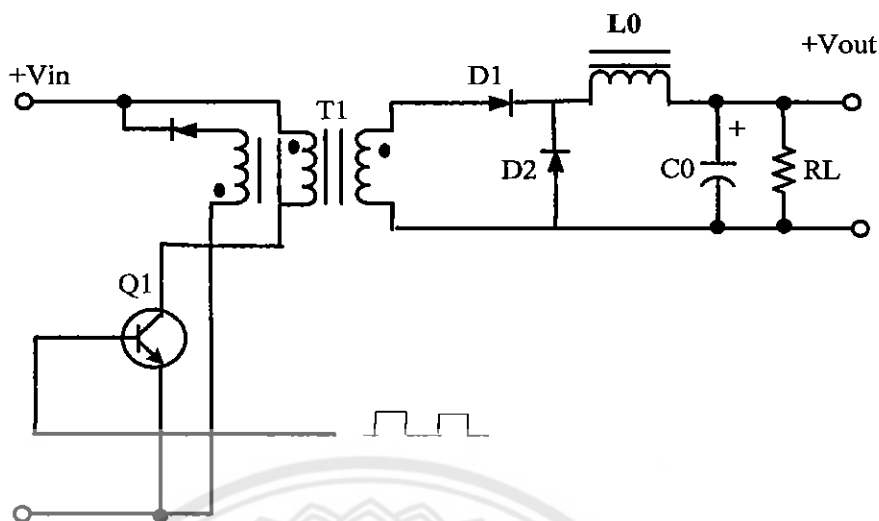
1.) คอนเวอร์เตอร์แบบฟลายแบค (Fly-Back Converter)



รูปที่ 2.26 ฟลายแบคคอนเวอร์เตอร์

จากรูปที่ 2.26 เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ Q_1 ในฟลายแบคคอนเวอร์เตอร์จะทำงานในลักษณะเป็นสวิตช์ และนำกระแสตามคำสั่งของพัลส์ที่เชื่อมที่ป้อนให้กับขาเบสของมอสเฟต เนื่องจากหม้อแปลง T_1 จะกำหนดขดปฐมภูมิและทุติยภูมิให้มีลักษณะกลับเฟสกันอยู่ ดังนั้นเมื่อ Q_1 นำกระแส ไคโอด D_1 จึงอยู่ในลักษณะถูกไบแอสกับและไม่นำกระแส จึงมีการสะสมพลังงานที่ปฐมภูมิของหม้อแปลง T_1 แทน เมื่อ Q_1 หยุดนำกระแส สนามแม่เหล็ก T_1 ยุบตัวทำให้เกิดการกลับขั้วแรงดันที่ขดปฐมภูมิและทุติยภูมิ D_1 ก็อยู่ในลักษณะถูกไบแอสตรง พลังงานที่สะสมในขดลวดปฐมภูมิของหม้อแปลงก็จะถูกถ่ายเทออกไปยังขดทุติยภูมิ และมีกระแสไหลผ่าน ไคโอด D_1 ไปยังตัวเก็บประจุเอาต์พุต C_0 และโหลดได้ ค่าของแรงดันที่เอาต์พุตของคอนเวอร์เตอร์ จะขึ้นอยู่กับค่าความถี่ของการทำงานของ Q_1 ช่วงเวลานำกระแสของ Q_1 อัตราส่วนจำนวนรอบของหม้อแปลง และค่าของแรงดันที่อินพุต ฟลายแบคคอนเวอร์เตอร์เป็นคอนเวอร์เตอร์ที่ทำให้กำลังงานได้ไม่สูงนัก โดยอยู่ในช่วงไม่เกิน 150 วัตต์ และค่าสัญญาณรบกวน RFI/EMI ค่อนข้างสูง แต่ใช้อุปกรณ์จำนวนน้อยและมีราคาถูก

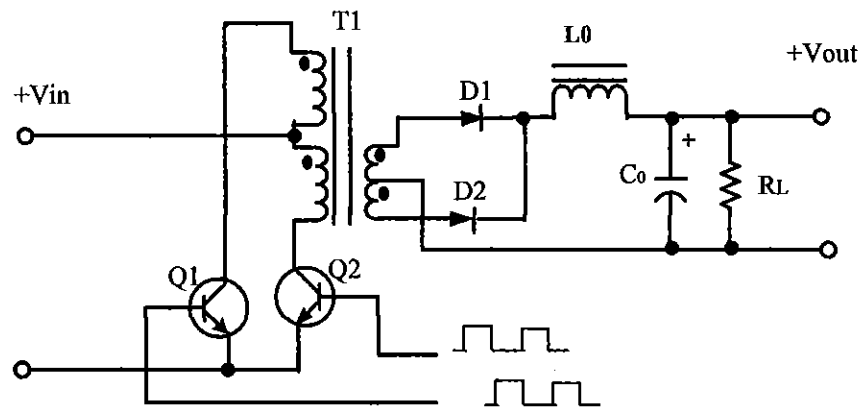
2.) คอนเวอร์เตอร์แบบฟอร์เวิร์ด (Forward Converter)



รูปที่ 2.27 ฟอร์เวิร์ดคอนเวอร์เตอร์

ในรูปที่ 2.27 จะเห็นได้ว่าฟอร์เวิร์ดคอนเวอร์เตอร์มีลักษณะใกล้เคียงกับฟลายแบคคอนเวอร์เตอร์ แต่หม้อแปลง T_1 ในฟอร์เวิร์ดคอนเวอร์เตอร์จะกำหนดขบขปฐมภูมิและทุติยภูมิให้มีเฟสตรงกัน ดังนั้นเมื่อ Q_1 นำกระแส ไคโอด D_1 จึงอยู่ในลักษณะ ถูกไบแอสตรง แต่ D_2 จะอยู่ในลักษณะถูกไบแอสกลับและไม่นำกระแส กระแสจึงไหลผ่าน ไคโอด D_1 และตัวเหนี่ยวนำ L_0 ไปยังตัวเก็บประจุเอาต์พุต C_0 และโหลดได้ ขณะที่มีการไหลผ่าน L_0 จะมีการสะสมพลังงานไว้ในตัวมันด้วย เมื่อ Q_1 หยุดนำกระแส ไคโอด D_1 จะอยู่ในลักษณะถูกไบแอสกลับ จึงไม่มีกระแสไหลจากขดทุติยภูมิ สนามแม่เหล็กใน L_0 จะยุบตัวทำให้มีการกลับขั้วแรงดันตกคร่อมตัวมันอยู่ ไคโอด D_2 ก็อยู่ในลักษณะถูกไบแอสตรง L_0 จะถ่ายเทพลังงานออกมาทำให้กระแสไหลผ่านตัวมันและ D_2 ออกไปยังโหลดได้ จะเห็นได้ว่าจะมีกระแสไหลผ่าน โหลดได้อย่างต่อเนื่องทั้งในช่วงที่ Q_1 นำกระแสและหยุดนำกระแส ทำให้มีการกระเพื่อมของแรงดันที่เอาต์พุตต่ำกว่าฟลายแบคคอนเวอร์เตอร์ ฟอร์เวิร์ดคอนเวอร์เตอร์ให้กำลังงานได้ในช่วงเดียวกันกับฟลายแบคคอนเวอร์เตอร์ แต่กระแสที่ได้จะมีการกระเพื่อมต่ำกว่า อย่างไรก็ตาม ตัวอุปกรณ์ที่เพิ่มเข้ามาให้ฟอร์เวิร์ดคอนเวอร์เตอร์นั้นมีราคาสูงกว่า

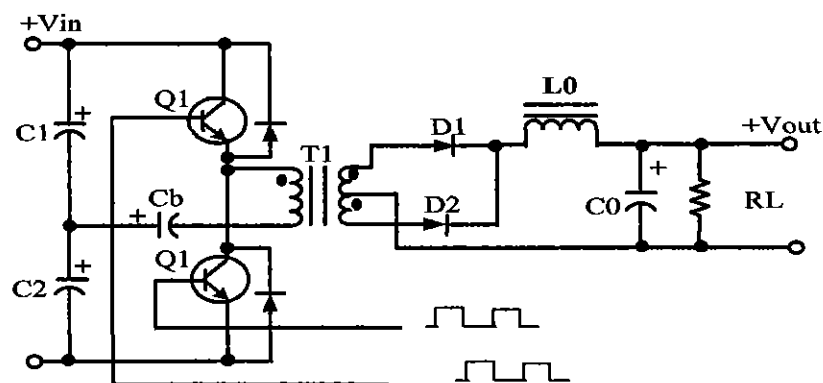
3.) คอนเวอร์เตอร์แบบพุช - พูล (Push Pull Converter)



รูปที่ 2.28 พุช - พูลคอนเวอร์เตอร์

พุช-พูลคอนเวอร์เตอร์เป็นคอนเวอร์เตอร์ที่สามารถจ่ายกำลังงานได้สูงตั้งแต่ 500 วัตต์ขึ้นไปแต่มีข้อเสียคือ มักเกิดการไม่สมมาตรฟลักซ์แม่เหล็กของแกนหม้อแปลงซึ่งจะมีผลต่อการพังเสียหายของเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ได้ง่าย อย่างไรก็ตาม ในปัจจุบันเทคนิคการควบคุมกระแสจะทำให้ลดปัญหานี้ได้ ดังนั้นพุช - พูลคอนเวอร์เตอร์จึงเป็นคอนเวอร์เตอร์ที่น่าสนใจสำหรับสวิตชิ่งเพาเวอร์ซัพพลายที่ต้องการกำลังสูงๆ จากรูปที่ 2.28 Q_1 และ Q_2 จะสลับกันนำกระแสในแต่ละครึ่งคาบเวลาการทำงานเมื่อ Q_1 นำกระแส D_1 จะอยู่ในลักษณะถูกไบแอสกลับ แต่ D_2 จะอยู่ในลักษณะไบแอสตรง และนำกระแสผ่าน L_0 ไปยังโหลดได้ เมื่อ Q_1 หยุดนำกระแส Q_2 จะเริ่มนำกระแส D_2 จะอยู่ในลักษณะถูกไบแอส และ D_1 จะอยู่ในลักษณะถูกไบแอสตรง และนำกระแสผ่าน L_0 ไปยังโหลดเช่นเดียวกัน ดังนั้น โหลดจึงมีกระแสต่อเนื่องได้ตลอดเวลา กระแสที่ได้ทางเอาต์พุตจึงค่อนข้างเรียบอย่างรัยก็ตาม เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ที่เพิ่มเข้ามาจะมีผลต่อค่าใช้จ่ายในการสร้างพุช - พูลคอนเวอร์เตอร์เช่นกัน

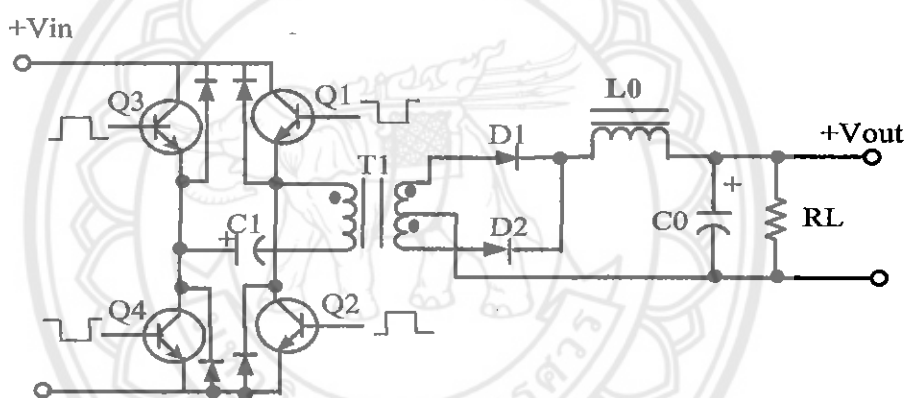
4.) คอนเวอร์เตอร์แบบฮาล์ฟ - บริดจ์ (Half Bridge Converter)



รูปที่ 2.29 ฮาล์ฟ-บริดจ์คอนเวอร์เตอร์

ฮาล์ฟ – บริดจ์คอนเวอร์เตอร์จัดเป็นคอนเวอร์เตอร์ในตระกูลเดียวกับฟูล - พูลคอนเวอร์เตอร์ และให้กำลังงานได้ค่อนข้างสูง ข้อดีของฮาล์ฟ - บริดจ์คอนเวอร์เตอร์ก็คือ เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ในวงที่มีค่าแรงดันตกคร่อมขณะไม่แรงดันตกคร่อมขณะไม่นำกระแสต่ำกว่าคอนเวอร์เตอร์ทั้ง 3 แบบที่ได้กล่าวมาแล้ว และเกิดไม่สมมาตรพลักซ์ได้ จากรูปที่ 2.29 จะเห็นได้ว่าหากเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ตัวใดตัวหนึ่งนำกระแส ค่าแรงดันตกคร่อมเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ตัวที่เหลือจะมีเพียงแรงอินพุตเท่านั้น เมื่อ Q_1 และ Q_2 สลับกันนำกระแส ผลที่ได้จะมีลักษณะเกี่ยวกับการทำงานของฟูล - พูลคอนเวอร์เตอร์ ยกเว้นค่าแรงดันตกคร่อมขณะทำงานของขดปฐมภูมิจะมีค่าจะมีค่าเพียงครึ่งหนึ่งของแรงดันอินพุต เนื่องจากผลของการต่อตัวเก็บประจุ C_1 และ C_2 เพื่อแบ่งครึ่งแรงดัน กระแสที่ไหลผ่านขดปฐมภูมิจึงมีค่าสูง ซึ่งเป็นการจำกัดกำลังสูงสุดของคอนเวอร์เตอร์ โดยกำลังงานสูงสุดที่ฮาล์ฟ - บริดจ์คอนเวอร์เตอร์สามารถทำได้อยู่ในช่วงไม่เกิน 500 วัตต์

5.) คอนเวอร์เตอร์แบบฟูล - บริดจ์ (Full Bridge Converter)



รูปที่ 2.30 ฟูล - บริดจ์คอนเวอร์เตอร์

จากรูปที่ 2.30 จะเห็นได้ว่ามีเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ในวงจรทั้งหมดถึง 4 ตัว แต่จะทำงานสลับกันเป็นคู่ๆ โดย Q_1 จะนำกระแสพร้อมกับ Q_4 และ Q_2 จะนำกระแสพร้อมกับ Q_3 กระแสที่ไหลผ่านขดลวดปฐมภูมิของหม้อแปลงจะมีลักษณะเช่นเดียวกับฮาล์ฟ - บริดจ์คอนเวอร์เตอร์ แต่ข้อได้เปรียบเสียเปรียบฟูล - บริดจ์คอนเวอร์เตอร์ ขณะที่ทำงานที่ขดปฐมภูมิจะมีแรงดันตกคร่อมเท่ากับค่าแรงดันอินพุตกระแสไหลผ่านขดลวดขดปฐมภูมิจึงมีค่าต่ำกว่า ฟูล - บริดจ์คอนเวอร์เตอร์จึงสามารถกำลังได้สูงกว่าดังนั้นสวิตชิงเพาเวอร์ซัพพลายที่ต้องการกำลังสูงๆ ตั้งแต่ 500 วัตต์ ถึง 1000 วัตต์ จึงมักนิยมใช้คอนเวอร์เตอร์แบบฟูล - บริดจ์เป็นหลัก

คอนเวอร์เตอร์ที่เลือกใช้ในการสร้างตัวอัดประจุแบตเตอรี่แบบพกพา คือ คอนเวอร์เตอร์แบบฟลายแบค

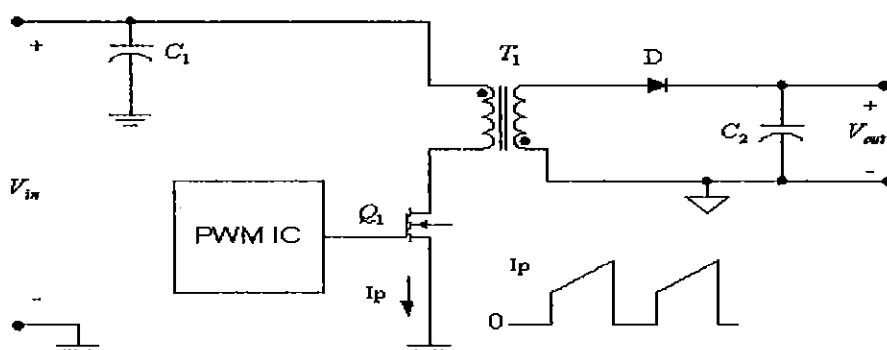
2.3 คอนเวอร์เตอร์แบบฟลายแบค

2.3.1 คุณลักษณะของคอนเวอร์เตอร์แบบฟลายแบค

คอนเวอร์เตอร์แบบฟลายแบค ทำหน้าที่ลดทอนระดับแรงดันที่รับเข้ามาทางด้านอินพุต และจ่ายแรงดันที่ถูกลดทอนออกมาทางด้านเอาต์พุต ส่วนประกอบที่สำคัญของคอนเวอร์เตอร์แบบฟลายแบค คือ หม้อแปลงความถี่สูงซึ่งมีลักษณะที่กลับเฟสกันของขั้วแรงดันทางด้านอินพุต และเอาต์พุต หม้อแปลงความถี่สูง ในคอนเวอร์เตอร์แบบฟลายแบค จะไม่เหมือนกับหม้อแปลงทั่วไปตรงที่หม้อแปลงทั่วไปจะทำงานในลักษณะของการส่งผ่านพลังงาน แต่หม้อแปลงความถี่สูงในคอนเวอร์เตอร์แบบฟลายแบค จะทำหน้าที่เก็บสะสมพลังงานสลับกับการจ่ายพลังงาน คอนเวอร์เตอร์แบบ ฟลายแบค จะทำงานใน 2 ช่วง คือ ช่วงการเก็บสะสมพลังงาน และช่วงการจ่ายพลังงาน การทำงานแต่ละช่วงขึ้นอยู่กับสัญญาณพัลส์ที่ได้รับจากวงจรควบคุม

2.3.2 การทำงานของคอนเวอร์เตอร์แบบฟลายแบค

จากรูปวงจร ทรานซิสเตอร์กำลัง Q_1 จะทำหน้าที่เป็นสวิตช์คอย เปิด/ปิด การทำงานของคอนเวอร์เตอร์แบบฟลายแบค โดยรับสัญญาณควบคุมเป็นพัลส์ที่เปลี่ยนจากวงจรควบคุมอีกที เมื่อ Q_1 นำกระแส ไคโอด D จะอยู่ในลักษณะถูกไบแอสกลับ (Reverse Bias) เนื่องจากหม้อแปลงมีการกลับขั้วแรงดันกันอยู่ จะทำให้มีกระแส I_p ไหลผ่านขดลวดด้านปฐมภูมิทำให้เกิดการสะสมพลังงานที่ขดลวดปฐมภูมิ และเมื่อ Q_1 หยุดนำกระแส สนามแม่เหล็กที่หม้อแปลงจะเกิดการยุบตัวทำให้เกิดการกลับขั้วแรงดันที่ขดลวดปฐมภูมิและขดลวดทุติยภูมิ ทำให้ไคโอด D อยู่ในลักษณะไบแอสตรง (Forward Bias) พลังงานที่สะสมในขดลวดปฐมภูมิของหม้อแปลงก็จะถูกถ่ายเทไปยังขดลวดทุติยภูมิ และมีกระแสไหลผ่านไคโอด D ไปยังตัวเก็บประจุ C_2 และโหลด ค่าของแรงดันที่เอาต์พุตของคอนเวอร์เตอร์ จะขึ้นอยู่กับความถี่การทำงานและช่วงเวลาการนำกระแสของ Q_1



รูปที่ 2.31 วงจรพื้นฐานของคอนเวอร์เตอร์แบบฟลายแบค [3]

เมื่อวงจรทำงานอยู่ในสภาวะคงที่ สามารถหาค่าแรงดันเอาต์พุตได้ ดังนี้

$$V_{out} = \frac{\left[t_{on} \times \left(\frac{N_s}{N_p} \right) \times (V_{in} - V_{ce(sat)}) \right]}{(T - t_{on})} - V_D \quad (2.27)$$

โดยที่ T	คือ คาบเวลาการทำงานของทรานซิสเตอร์กำลัง (วินาที)
t_{on}	คือ ช่วงเวลาของสัญญาณพัลส์ในช่วงสถานะ ON (วินาที)
N_p	คือ จำนวนรอบของขดลวดปฐมภูมิ (รอบ)
N_s	คือ จำนวนรอบของขดลวดทุติยภูมิ (รอบ)
V_{out}	คือ แรงดันที่เอาต์พุตของคอนเวอร์เตอร์ (โวลต์)
V_{in}	คือ แรงดันที่อินพุตของคอนเวอร์เตอร์ (โวลต์)
$V_{ce(sat)}$	คือ แรงดันที่ตกคร่อมทรานซิสเตอร์กำลังขณะนำกระแสอิ่มตัว (โวลต์)
V_D	คือ แรงดันที่ตกคร่อมไดโอดขณะนำกระแส (โวลต์)

จะเห็นได้ว่า วงจรสามารถรักษาระดับให้คงที่ด้วยการเพิ่มหรือลดช่วงเวลานำกระแส t_{on} ของทรานซิสเตอร์กำลัง Q_1 เท่านั้น ไม่ว่าจะมีการเปลี่ยนแปลงของแรงดันอินพุตหรือแรงดันเอาต์พุต (โหลดมีการเปลี่ยนแปลง) ก็ตาม

2.3.3 ลักษณะกระแสและแรงดันภายในวงจร

กระแสที่ไหลผ่าน Q_1 และขดลวดปฐมภูมิ ขณะที่ Q_1 นำกระแส นั้น จะเป็นลักษณะของกระแสที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำ ซึ่งจะ เป็นไปตามสมการ

$$\frac{di}{dt} = \frac{V}{L} \quad (2.28)$$

ดังนั้น กระแส I_p จะมีค่าเพิ่มขึ้นตามเวลาและมีค่าสูงสุดเมื่อ Q_1 เริ่มหยุดนำกระแส ที่เวลา $t = t_{on}$ ดังนั้นกระแสสูงสุดจะมีค่าเท่ากับ

$$I_{p(PK)} = \frac{(V_{in} - V_{ce(sat)})}{L_p} \times t_{on} \quad (2.29)$$

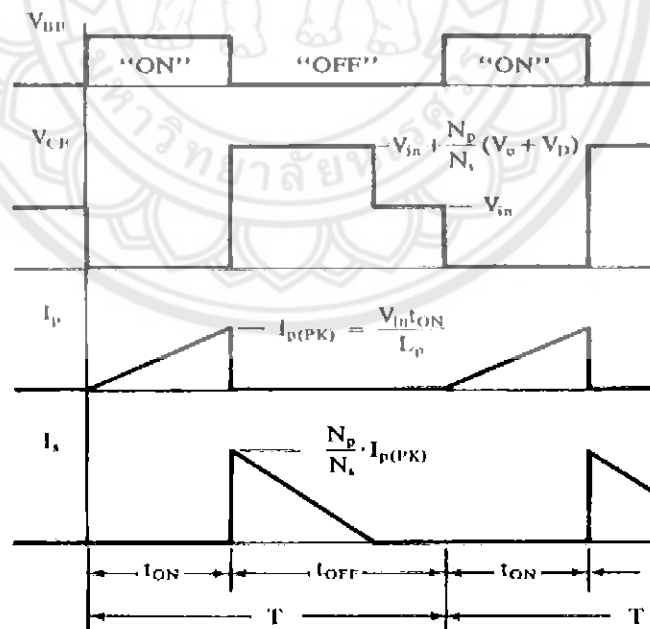
โดยที่ $I_{p(PK)}$ คือ ค่ากระแสสูงสุดที่ผ่านขดลวดปฐมภูมิ (แอมป์)

L_p คือ ค่าความเหนี่ยวนำของขดลวดปฐมภูมิ (เฮนรี่)

เมื่อ Q_1 เริ่มหยุดนำกระแส ขดลวดทุติยภูมิจะเริ่มมีกระแสไหล แต่เนื่องจากกระแสที่ตัวเหนี่ยวนำจะเปลี่ยนแปลงในทันทีทันใดไม่ได้ กระแสที่ขดลวดทุติยภูมิ I_s จะต้องเริ่มต้นที่ค่าสูงสุดของกระแสที่ขดลวดปฐมภูมิ $I_{p(PK)}$ โดยมีค่าเป็นสัดส่วนตามอัตราส่วนจำนวนรอบ ดังนั้นกระแสที่ขดลวดทุติยภูมิจะมีค่าเริ่มต้นตามสมการ และมีค่าลดลงตามเวลา

$$I_s = \left(\frac{N_p}{N_s} \right) \times I_{p(PK)} \quad (2.30)$$

เมื่อมีกระแสไหลผ่านขดลวดทุติยภูมิในขณะที่ Q_1 หยุดนำกระแส จะทำให้เกิดแรงดันตกคร่อมขดลวดปฐมภูมิด้วย เนื่องจากแรงดันตกคร่อมของขดลวดทุติยภูมิมีค่าเท่ากับ $V_{out} + V_D$ ดังนั้นแรงดันที่ตกคร่อมขดลวดปฐมภูมิจึงมีค่าเท่ากับ $\left(\frac{N_p}{N_s} \right) (V_{out} + V_D)$ ทำให้แรงดันตกคร่อม Q_1 ขณะหยุดนำกระแสมีค่าเป็น $V_{in} + \left(\frac{N_p}{N_s} \right) (V_{out} + V_D)$ จนกระทั่งกระแสที่ไหลไปในขดลวดทุติยภูมิมีค่าลดลงเป็นศูนย์ และแรงดันที่ตกคร่อม Q_1 จึงลดลงมามีค่าเท่ากับแรงดันอินพุต V_{in} ในรูปที่ 2.32 จะแสดงลักษณะของกระแสและแรงดันที่เกิดขึ้นภายในคอนเวอร์เตอร์แบบฟลายแบคขณะทำงาน



รูปที่ 2.32 กราฟลักษณะกระแสและแรงดันในวงจร [3]

2.3.4 การทำงานในโหมดกระแสต่อเนื่องและโหมดกระแสไม่ต่อเนื่อง

- โหมดกระแสต่อเนื่อง (Continuous Mode)

ถ้าคาบเวลามีค่าคงที่ เมื่อเพิ่มช่วงเวลากำหนดนำกระแส t_{on} ของทรานซิสเตอร์กำลัง Q_1 ให้มากขึ้น ช่วงเวลาหยุดนำกระแส t_{off} ก็จะมีค่าน้อยลงและกระแสสูงสุดที่ขดลวดปฐมภูมิจะมีค่าเพิ่มขึ้นตามเวลาไปด้วย แต่เนื่องจากช่วงเวลาหยุดนำกระแส t_{off} มีค่าน้อย กระแสที่ขดลวดทุติยภูมิไม่สามารถลดลงจนมีค่าเป็นศูนย์ได้ทันภายในช่วงเวลา t_{off} จึงยังคงมีพลังงานบางส่วนเหลือค้างอยู่ในขดลวดปฐมภูมิ และเนื่องจากกระแสไม่สามารถเปลี่ยนแปลงทันทีทันใดได้ เมื่อ Q_1 เริ่มนำกระแสอีกครั้ง กระแสที่ขดลวดปฐมภูมิจึงต้องเริ่มต้นด้วยค่าของกระแสที่ขดลวดทุติยภูมิสุดท้ายที่ลดลงได้คูณด้วยอัตราส่วนจำนวนรอบ การทำงานในลักษณะนี้จึงเรียกว่า การทำงานในโหมดกระแสต่อเนื่อง

- โหมดกระแสไม่ต่อเนื่อง (Discontinuous Mode)

คอนเวอร์เตอร์แบบฟลายแบคจะมีการทำงานในโหมดของกระแสไม่ต่อเนื่องและเมื่อทรานซิสเตอร์กำลัง Q_1 หยุดนำกระแส พลังงานที่สะสมไว้ในขดลวดปฐมภูมิถูกถ่ายเทออกไปยังขดลวดทุติยภูมิจนหมด ทำให้กระแสที่ไหลในขดลวดทุติยภูมิมีค่าลดลงจนเป็นศูนย์ ก่อนที่ Q_1 จะเริ่มนำกระแสอีกครั้ง

2.3.5 การออกแบบคอนเวอร์เตอร์แบบฟลายแบคที่โหมดกระแสไม่ต่อเนื่อง

- กำหนดค่าอัตราส่วนจำนวนรอบ

การกำหนดอัตราส่วนจำนวนรอบของหม้อแปลงความถี่สูง เป็นสิ่งที่ควรคำนึงถึงเป็นอันดับแรก เนื่องจากค่าอัตราส่วนจำนวนรอบจะมีผลต่อแรงดันตกคร่อมสูงสุดของทรานซิสเตอร์กำลังขณะหยุดนำกระแส โดย

$$V_{ce(max)} = V_{in(max)} + \frac{N_p}{N_s} (V_{out} + V_D) \quad (2.31)$$

ดังนั้นเพื่อเป็นการป้องกันการพังเสียหายของทรานซิสเตอร์กำลังที่จะนำมาใช้ จึงควรกำหนดอัตราส่วนจำนวนรอบดังนี้

$$\frac{N_p}{N_s} < \frac{V_{CEO} - (V_{in(max)} + V_{spike})}{(V_{out} + V_D)} \quad (2.32)$$

เมื่อ V_{CBO} คือค่าอัตราแรงดันได้สูงสุดของทรานซิสเตอร์กำลังที่ใช้ และ V_{spike} คือค่าแรงดันกระชากที่เกิดขึ้นขณะที่ทรานซิสเตอร์กำลังเริ่มหยุดนำกระแส แรงดันกระชากนี้เกิดขึ้นเนื่องจากฟลักซ์รั่วไหลภายในหม้อแปลง ซึ่งทำให้เกิดค่าความเหนี่ยวนำแฝงขึ้นที่ขดลวดปฐมภูมิและมีการสะสมพลังงานเช่นเดียวกับขดลวดปฐมภูมิ แรงดันกระชากที่เกิดขึ้นนี้จะมีค่าประมาณ $0.3V_{in}$ และเกิดขึ้นในช่วงเวลาสั้นๆ จนกว่าพลังงานที่ถูกสะสมในตัวเหนี่ยวนำแฝงจะถูกถ่ายเทหมดไป

การกำหนดอัตราส่วนจำนวนรอบที่มีค่ามากหรือน้อยเกินไป จะมีผลกระทบต่อขนาดของหม้อแปลงและกระแสสูงสุดที่เกิดขึ้นในวงจร การพิจารณาค่าอัตราส่วนจำนวนรอบนั้นต้องพิจารณาผลของค่าอัตราส่วนจำนวนรอบที่มีต่อองค์ประกอบอื่นในวงจรอย่างเหมาะสมด้วย

2.3.6 ช่วงเวลานำกระแสสูงสุด ($t_{on(max)}$)

เพื่อให้แน่ใจว่าวงจรคอนเวอร์เตอร์แบบฟลายแบคที่ออกแบบทำงานในโหมดกระแสที่ไม่ต่อเนื่อง จำเป็นต้องกำหนดให้ช่วงเวลาหยุดนำกระแส t_{off} ให้มีค่ามากกว่า t_{on} เพื่อให้กระแสที่ขดลวดปฐมภูมิลดลงจนมีค่าเป็นศูนย์ก่อนที่ทรานซิสเตอร์กำลังจะเริ่มนำกระแสอีกครั้ง ดังนั้นจึงควรกำหนดค่าเวลาเมื่อ (Dead Time) t_D ทำให้เวลาของการลดลงของกระแสที่ขดลวดทุติยภูมิจนเป็นศูนย์จะต้องใช้เวลาไม่เกิน $t'_{OFF} = T - (t_{ON} + t_D)$

ค่าของ t_D จะกำหนดให้เป็นเท่าใดก็ได้ โดยทั่วไปมักกำหนดไว้ที่ประมาณ 20 % ของค่าคาบเวลา T หรือเท่ากับ $0.2T$ ดังนั้น

$$t_{ON(max)} + t'_{OFF} = 0.8T \quad (2.33)$$

เนื่องจากกระแสที่ขดลวดปฐมภูมิต้องลดลงจนมีค่าเป็นศูนย์โดยใช้เวลามากที่สุดเท่ากับ t'_{OFF} นั่นคือ

$$-(0 - I_{s(PK)}) = \frac{(V_{out} + V_D)}{L_s} t'_{OFF}$$

$$\left(\frac{N_p}{N_s}\right) I_{p(PK)} = \frac{(V_{out} + V_D)}{L_s} t'_{OFF} \quad (2.34)$$

จากสมการที่ (2.29) แทนค่า $I_{p(PK)}$ ใน (2.34) จะได้ว่า

เนื่องจาก $\frac{N_p}{N_s} = \sqrt{\frac{L_p}{L_s}}$ และแทนค่า $t'_{OFF} = 0.8T - t_{ON(max)}$

$$\frac{N_p}{N_s} \frac{(V_{in(min)} - V_{CE(sat)}) t_{ON(max)}}{L_p} = \frac{(V_{out} + V_D) t'_{OFF}}{L_s}$$

ดังนั้น $t_{ON(max)} = \frac{(V_{out} + V_D)(N_p/N_s)(0.8T)}{(V_{in(min)} - V_{CE(sat)}) + (V_{out} + V_D)(N_p/N_s)}$ (2.35)

2.3.7 กำหนดค่าความเหนี่ยวนำของขดลวดปฐมภูมิ L_p

คอนเวอร์เตอร์แบบฟลายแบคทำงานด้วยการเก็บสะสมพลังงานในช่วงเวลาที่ทรานซิสเตอร์กำลังนำกระแส และส่งผ่านพลังงานออกไปในขณะที่ทรานซิสเตอร์กำลังหยุดนำกระแส โดยในแต่ละช่วงเวลาที่ทรานซิสเตอร์กำลังนำกระแส พลังงานที่เก็บสะสมไว้ที่ขดลวดปฐมภูมิ สามารถพิจารณาได้ดังนี้

$$E = \frac{1}{2} L_p I_{p(PK)}^2 \quad (2.36)$$

และในขณะที่ทรานซิสเตอร์กำลังหยุดนำกระแสคอนเวอร์เตอร์จะไม่มี การสะสมพลังงาน ดังนั้นกำลังงานที่ใช้ไปในหนึ่งคาบเวลาจึงมีค่าเท่ากับ

$$P_{in} = \frac{(1/2) L_p I_{p(PK)}^2}{T} \quad (2.37)$$

จาก (2.3) แทนค่าลงใน (2.11) และสามารถจัดรูปใหม่ได้ดังนี้

$$P_{in} = \frac{[(V_{in(min)} - V_{CE(sat)}) t_{ON(max)}]^2}{2TL_p} \quad (2.38)$$

ถ้าประสิทธิภาพการส่งผ่านพลังงานของวงจรมีค่าเท่ากับ η (ประมาณ 65 - 80 % สำหรับแหล่งจ่ายไฟแบบสวิตซิง) กำลังงานที่คอนเวอร์เตอร์จะสามารถจ่ายให้กับโหลดได้จะมีค่า

$$P_{out} = \eta P_{in} = \eta \frac{[(V_{in(min)} - V_{CE(sat)}) t_{ON(max)}]^2}{2TP_{out}} \quad (2.39)$$

ดังนั้นเพื่อให้ได้คอนเวอร์เตอร์แบบฟลายแบคจ่ายกำลังงานได้เท่ากับกำลังงานที่ต้องการ คำนเอาต์พุต P_{out} ค่าความเหนี่ยวนำของขดลวดปฐมภูมิต้องมีค่าอย่างต่ำเท่ากับ

$$L_p = \eta \frac{[(V_{in(max)} - V_{CE(sat)}) t_{ON(max)}]^2}{2TP_{out}} \quad (2.40)$$

2.3.8 จำนวนรอบของขดลวดปฐมภูมิ N_p และจำนวนรอบของขดลวดทุติยภูมิ N_s

การกำหนดจำนวนรอบของขดลวดปฐมภูมิ N_p จะขึ้นอยู่กับขนาดของแกนเฟอร์ไรต์ และความหนาแน่นฟลักซ์สูงสุดที่ยอมให้เกิดขึ้นได้ในแกน โดยจำนวนรอบ N_p จะมีค่าเท่ากับ

$$N_p = \frac{V_{in(min)} \times t_{ON(max)}}{\Delta B_{max} \times A_e} \times 10^8 \quad (2.41)$$

โดยที่ ΔB_{max} คือ ค่าความหนาแน่นฟลักซ์สูงสุดที่ยอมให้เกิดขึ้น (เกาส์)

A_e คือ พื้นที่หน้าตัดของแกนเฟอร์ไรต์ (ตารางเซนติเมตร)

A_e คือ พื้นที่หน้าตัดของแกนเฟอร์ไรต์ (ตารางเซนติเมตร)

สำหรับจำนวนรอบของขดลวดทุติยภูมิ N_s นั้นสามารถหาได้จากค่าอัตราส่วนจำนวนรอบและจำนวนรอบของขดลวดปฐมภูมิที่หาได้จากสมการ (2.41)

บทที่ 3

การออกแบบหม้อแปลงความถี่สูงแบบฟลายแบค

จากการศึกษาการทำงานของวงจรการทำงานและการออกแบบหม้อแปลงในบทที่ 2 ซึ่งวงจรการทำงานต้องคอนเวอร์เตอร์แบบฟลายแบคและหม้อแปลงความถี่สูงแบบฟลายแบค ดังนั้นในบทนี้จึงได้อธิบายกระบวนการออกแบบหม้อแปลงความถี่สูง เพื่อที่จะนำไปประกอบในวงจรอัดประจุแบตเตอรี่แบบพกพา ดังจะแสดงในหัวข้อต่อไป

3.1 การสร้างหม้อแปลงความถี่สูงแบบฟลายแบค

วัตถุประสงค์ของการออกแบบหม้อแปลงความถี่สูงแบบฟลายแบคในวงจรอัดประจุแบตเตอรี่แบบพกพานี้เพื่อแปลงลดระดับแรงดันจากแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับขนาด 220 โวลต์ 50 เฮิร์ตซ์ ผ่านคอนเวอร์เตอร์ ผ่านหม้อแปลง ผ่านวงจรอัดประจุแบบเตอร์ เพื่อมาใช้ในการอัดประจุแบตเตอรี่ขนาด 12 โวลต์ 3 ลูก ซึ่งต่ออนุกรมกัน

3.1.1 ขั้นตอนการสร้างคอนเวอร์เตอร์แบบฟลายแบค

- 1) ศึกษาหาความรู้เกี่ยวกับหม้อแปลงความถี่สูงจากแหล่งข้อมูลต่างๆเช่น หนังสือ อินเทอร์เน็ต ฯลฯ
- 2) ศึกษาโครงงานตัวอัดประจุแบตเตอรี่แบบพกพาสำหรับยานยนต์ขนาดเล็กสองล้อเพื่อนำมาประยุกต์ใช้กับหม้อแปลงความถี่สูงแบบฟลายแบค
- 3) ทำการทดสอบหม้อแปลงที่มีอยู่เดิม และบันทึกค่าไว้เป็นข้อมูลในการเปรียบเทียบกับหม้อแปลงตัวที่ออกแบบขึ้นมาใหม่
- 4) ทำการออกแบบหม้อแปลงความถี่สูงแบบฟลายแบคโดยออกแบบให้มีความหลายหลายเพื่อจะศึกษาถึงผลกระทบต่างๆที่เกิดขึ้นและนำไปวิเคราะห์ต่อไป
- 5) จัดซื้ออุปกรณ์ตามที่ได้ศึกษา และออกแบบไว้เพื่อนำมาประกอบหม้อแปลง และวงจร
- 6) ทำการพันหม้อแปลงความถี่สูงแบบฟลายแบคโดยเลือกใช้อุปกรณ์ตามที่ได้ออกแบบไว้
อย่างเหมาะสม สามารถทนต่อกระแส แรงดัน ที่คำนวณได้ โดยพันให้มีขดลวด 3 ชุด
คือ ขดลวดปฐมภูมิ ขดลวดทุติยภูมิและขดลวดช่วย ลักษณะการพันให้พันกลับขั้วกัน
ระหว่างขดลวดปฐมภูมิและขดลวดทุติยภูมิตามลักษณะของคอนเวอร์เตอร์แบบฟลาย
แบค

- 7) ทำการทดสอบห้อมีแปลงความถี่สูงแบบฟลายแบคที่ได้สร้างขึ้นแล้วบันทึกผลการทดสอบ
- 8) นำข้อมูลทั้งหมดมาวิเคราะห์ผลกระทบและนำข้อดีแต่ละส่วนมารวมกันสร้างตัวที่สมบูรณ์และมีประสิทธิภาพดีขึ้น
- 9) ทำการสร้างตัวต้นแบบที่สมบูรณ์
- 10) ทำการทดสอบห้อมีแปลงตัวสมบูรณ์ และบันทึกผล
- 11) สรุปผลการทดสอบและเปรียบเทียบ

3.1.2 ตัวอย่างการออกแบบห้อมีแปลงความถี่สูงแบบฟลายแบค

เพื่อความเข้าใจและเป็นแนวทางในการออกแบบห้อมีแปลงความถี่สูงเพื่อใช้กับวงจรฟลายแบคคอนเวอร์เตอร์ ที่กำลังเอาต์พุตเท่ากับ 45 วัตต์ ที่แรงดันเอาต์พุต 36 โวลต์ และกระแส 1.25 แอมป์ โดยคอนเวอร์เตอร์ใช้กับแรงดันไฟสลับ 220 โวลต์ความถี่ 50 กิโลเฮิรตซ์ มีการออกแบบขดลวดของห้อมีแปลงความถี่สูงแบบฟลายแบคออกเป็น 3 ชุดคือ ขดลวดปฐมภูมิ (N_p) ขดลวดทุติยภูมิ (N_s) และขดลวดช่วย (N_r) การกำหนดขนาดขดลวดโดยมีข้อควรพิจารณาประกอบคือ เมื่อพันขดลวดทุกชุดลงบนแกนบอบบี้แล้ว ความสูงของขดลวดทั้งหมดจะต้องไม่เกินความสูงของช่องพันขดลวดบนบอบบี้ (H_{CF}) เพราะจะทำให้พันไม่ได้

$$\begin{aligned} t_{ON(max)} &= 0.4T \\ &= 8 \times 10^{-6} \end{aligned} \quad (3.1)$$

ถ้ากำหนดแรงดันไฟตรงอินพุตค่าต่ำสุด $V_{in(min)}$ ของคอนเวอร์เตอร์ไว้ที่ 300 โวลต์และ $V_{CE(sat)} = V_D = 1$ โวลต์จะได้ว่า

$$\frac{N_p}{N_s} = \frac{(310 - 300) \times 8 \times 10^{-6}}{(36 + 21) \times 20 \times 10^{-6}}$$

ในที่นี้เลือก $\frac{N_p}{N_s} = 8.9$

ตารางที่ 3.1 ตัวอย่างการคำนวณด้านปรุภูมิ (N_p)

ข้อมูลแกนเฟอร์ไรต์	EE 33	EI35	EE40	หน่วย
ขนาดพื้นที่หน้าตัดแกนเฟอร์ไรต์ (A_c)	0.81	1.22	1.48	cm^2
ขนาดพื้นที่ช่องพันขดลวดบอบบี้น (A_w)	1.33	1.36	1.57	cm^2
ปริมาตรของแกนเฟอร์ไรต์ (V_c)	8	8.35	11.3	cm^3
ระยะฟลักซ์แม่เหล็กในแกนเฟอร์ไรต์ (l_c)	67.5	68	77	mm
ความกว้างของบอบบี้น (B_{CP})	15	15	18	mm
ระยะทางที่สามารถใช้พื้นลวดทองแดงได้ ($b_w = B_{CP} - C$), $C = 8$ mm	15-8=7	15-8=7	18-8=10	mm
ความสูงบอบบี้นรับได้ (H_{CP})	65	55	70	m
ΔB_{max}	1800	1800	1800	Gauss
จำนวนรอบของขดลวดปรุภูมิ $(N_p = \frac{(V_{in(min)} - V_{CE(sat)})t_{ON(max)} \times 10^8}{\Delta B_{max} \times Ae})$	11	8	6	
เลือกจำนวนรอบเป็นเลขคู่ (N_p)	11	8	6	
ค่าคำนวณของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง ลวดทองแดง (d_{id})	0.62	0.6688	0.8291	mm
ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง (d)	0.6426(#22)	0.6426(#22)	0.8128(#20)	mm
ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเมื่อรวมฉนวน (d_0)	0.7214	0.7214	0.8966	mm
ระยะเรียงขิดต่ำสุด (t_{min})	0.754	0.754	0.937	mm
ความต้านทานที่ 100° (R_{dc})	0.06852	0.06852	0.04283	Ω / m
จำนวนชั้นของขดลวดทองแดง $P_{id} = N / (\frac{b_w}{t_{min}} - 1)$	1.31	0.96	0.6195	
ชั้นที่เลือก (P)	2	1	1	
ความสูงขดลวดบนบอบบี้น ($H_{id} = P(d_0 + i)$, $i = 0.04$ mm)	1.522	0.7614	0.9366	mm
$F_R = 1 + \frac{1}{2}(\frac{d}{d_{id}})^6$	1.61	1.3934	1.4438	
ค่าความต้านทานที่กระแสดตรงต่อหนึ่งหน่วย ความยาวของขดลวด ($R_{ac} = F_R R_{dc}$)	0.11	0.0954	0.06183	Ω / m
กำลังสูญเสียที่เกิดขึ้นในขดลวด $P_w = CI_{RMS}^2 N l_{av} R_{ac}, c = 1$	0.2239	0.01545	0.086	W

ตารางที่ 3.2 ตัวอย่างการคำนวณค่านทุติยภูมิ (N_s)

จำนวนรอบ (N_s)	29	21	16	รอบ
เลือกจำนวนรอบ (N_s)	29	21	16	รอบ
$D_{id} = (17.1 b_w / N_s f)^{1/3}$	0.4354	0.4848	0.5979	mm
ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางกลาง (d)	0.5105(#24)	0.5105(#24)	0.5740(#23)	mm
ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเมื่อรวมจนวน (d_0)	0.5817	0.5817	0.6502	mm
ระยะเวียงชิดต่ำสุด (t_{min})	0.608	0.608	0.679	mm
ความต้านทานที่ $100^0 (R_{dc})$	0.10860	0.10860	0.08586	Ω / m
จำนวนชั้นของขดลวดทองแดง $P_{id} = N / \left(\frac{b_w}{t_{min}} - 1 \right)$	2.75	1.99	1.16	
$t = P b_w / (N + P)$	3	2	2	
$t = 0.5 b_w / (N + 0.5)$	0.6562	0.60	1.111	mm
ความสูงขดลวดบนบอบป็น ($H_{id} = d_0 + i$)	0.6217	0.6217	0.692	mm
$\phi = \sqrt{\frac{0.124 f d^3}{t}}$	1.12	1.17	1.456	
F_R	2.1	1.5	1.9	
ค่าความต้านทานที่กระแสตรงต่อหนึ่งหน่วย ความยาวของขดลวด ($R_{ac} = F_R R_{dc}$)	0.23	0.163	0.1974	Ω / m
กำลังสูญเสียที่เกิดขึ้นในขดลวด $P_w = C I_{RMS}^2 N_{av} R_{ac}, c = 1$	0.175	0.0965	0.0863	W

ตารางที่ 3.3 ตัวอย่างการคำนวณด้านขดลวดช่วย (N_p)

ขนาดของแกนเฟอร์ไรต์	EE33	EI35	EI40	หน่วย
จำนวนรอบ (N_p)	123	123	123	รอบ
เลือก $d < \Delta e$,				
$\Delta e = \sqrt{5.62 / f} = 0.335 \text{ mm}$				
ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง (d)	0.3200(#24)	0.3200(#24)	0.3200(#24)	mm
ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเมื่อรวมฉนวน (d_0)	0.3759	0.3759	0.3759	mm
ระยะเรียงชิดต่ำสุด (t_{min})	0.393	0.393	0.393	
จำนวนชั้นของขดลวดทองแดง $P_{id} = N / \left(\frac{b_w}{t_{min}} - 1 \right)$	7.316	7.316	5.032	
จำนวนชั้นที่เลือก (P)	8	8	6	รอบ
ความสูงขดลวดบนบอบน ($H_{id} = d_0 + i$)	3.327	3.327	2.495	mm

ตารางที่ 3.4 ผลกำลังสูญเสียและความสูงทั้งหมดของขดลวด

ขนาดของแกนเฟอร์ไรต์	EE33	EI35	EI40	หน่วย
ความสูงของขดปฐมภูมิ N_p	1.522	0.7614	0.9366	mm
ความสูงของขดทุติยภูมิ N_s	0.6217	0.6217	0.692	mm
ความสูงของขดคัลแมกเนโตซึ่ง N_r	3.272	3.3.27	2.4954	mm
ความสูงของขดลวด $H_{tot} = H_{Np} + H_{Ns} + H_{Nr}$	5.4157	4.655	4.124	mm
ความสูงรวมของเทปฉนวน $= 0.4 + 0.4 + 0.4 + 0.4$	1.6	1.6	1.6	mm
ความสูงของบอบน H_{CF}	65	55	70	mm
กำลังสูญเสียบนขดลวดทั้งหมด P_{tot}	0.615	0.4160	0.2583	W
อุณหภูมิของหม้อแปลงที่เพิ่มขึ้น $P_{id} = \Delta T = \frac{23.5 P_{tot}}{\sqrt{Ae} \cdot Aw}$	13.924	7.6	3.98	°C
อุณหภูมิของหม้อแปลงขณะทำงาน ($T + 25$ °C)	38.924	32.6	28.98	°C

3.1.3 การเลือกใช้อุปกรณ์ในการพันหม้อแปลงความถี่สูงแบบฟลายแบค

ในการออกแบบหม้อแปลงความถี่สูงเพื่อใช้กับวงจรฟลายแบคคอนเวอร์เตอร์ ที่ความถี่ 50 กิโลเฮิร์ตซ์ กำลังเอาต์พุตเท่ากับ 45 วัตต์ ที่แรงดันเอาต์พุต 36 โวลต์ และกระแสสูงสุด 1.3 แอมป์ โดยคอนเวอร์เตอร์ใช้กับแรงดันไฟสลับ 220 โวลต์ความถี่ 50 เฮิร์ตซ์ มีการออกแบบขดลวดของหม้อแปลงความถี่สูงแบบฟลายแบคออกเป็น 3 ชุดคือ ขดลวดปฐมภูมิ (N_p) จำนวน 6 รอบ ขดลวดทุติยภูมิ (N_s) จำนวน 16 รอบ และขดลวดช่วย (N_c) จำนวน 123 รอบ

1) แกนเฟอร์ไรต์ (Ferrite Core)

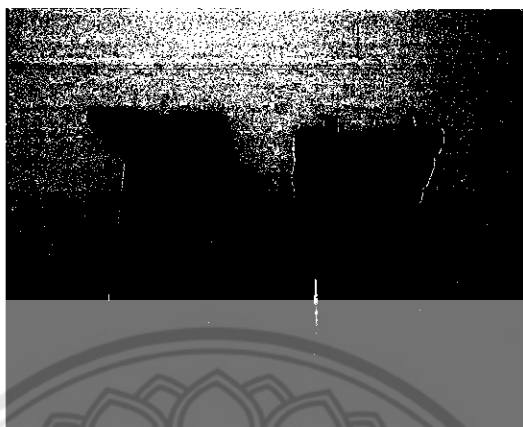
เฟอร์ไรต์เป็นวัสดุประเภทสารเฟอร์โรแมกเนติก การเหนี่ยวนำแม่เหล็กบนแกนเฟอร์ไรต์จะมีผลทำให้เกิดความหนาแน่นฟลักซ์แม่เหล็กสูงกว่าการเหนี่ยวนำแม่เหล็กที่เกิดขึ้นบนแกนอากาศมาก แกนเฟอร์ไรต์มีค่าจุดอิ่มตัวฟลักซ์แม่เหล็กค่อนข้างสูง ประมาณในช่วง 3,000 ถึง 4,000 เกาส์ และเกิดการสูญเสียในแกนเฟอร์ไรต์ต่ำที่ความถี่สูงๆ จากที่กำลังเอาต์พุต 45 วัตต์ดังนั้นจึงเลือกใช้แกนเฟอร์ไรต์ขนาด EI 40



รูปที่ 3.1 ลักษณะแกนเฟอร์ไรต์ขนาด EI 40

2) บอบบี้ (Bobbin)

บอบบี้หรือแบบรองพัน ทนความร้อนสูงและไม่ติดไฟ บอบบี้จะมีขนาดมาตรฐานตามมาตรฐานของแกนเฟอร์ไรต์ จึงเลือกตามขนาดของแกนเฟอร์ไรต์ขนาด EI 40



รูปที่ 3.2 ลักษณะบอบบี้หรือแบบรองพันขนาด EI 40

3) ลวดทองแดงอาบน้ำยา (Enameled Copper Wire)

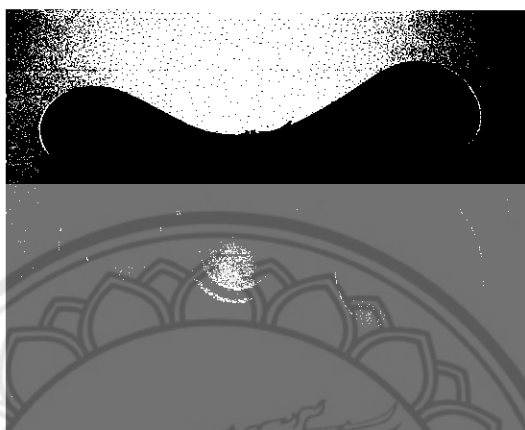
การพันขดลวดปฐมภูมิ ขดลวดทุติยภูมิ และขดลวดช่วยของหม้อแปลงความถี่สูงที่กำลังสูงปกติจะใช้ลวดทองแดงอาบน้ำยาพันบนแกนบอบบี้ เพื่อให้ได้จำนวนรอบตามต้องการ ขนาดของขดลวดทองแดงที่ใช้พันนั้น ขึ้นอยู่กับค่ากระแสสูงสุดที่ผ่านขดลวด ความถี่และผลข้างเคียงอื่นๆ ที่ขนาดกระแส 1.3 แอมป์ ความถี่ 50 กิโลเฮิรตซ์ เนื่องจากที่ความถี่สูงกระแสจะใช้พื้นที่ไหลเพียง 37% ของเส้นลวดเท่านั้นดังนั้นจึงเลือกขนาดขดลวดปฐมภูมิ (N_p) ขดลวดทุติยภูมิ (N_s) เบอร์ 20 สามารถใช้ที่พิกัดกระแส 1.362 แอมป์ (ทนกระแสสูงสุดได้ที่ 2.04 แอมป์) ขนาดขดลวดช่วยใช้เบอร์ 28 สามารถทนกระแสสูงสุดได้เท่ากับ 0.3196 แอมป์



รูปที่ 3.3 ลักษณะขดลวดทองแดงอาบน้ำยา

4) เทปฉนวน (Insulation Tape)

เทปฉนวนใช้พันสำหรับเป็นตัวรองระหว่างชั้นของขดลวดในหม้อแปลงความถี่สูง และมีหน้าที่สำคัญในการแยกกันทางไฟฟ้าระหว่างขดลวดปฐมภูมิและขดลวดทุติยภูมิการเลือกใช้ในการออกแบบเพื่อความปลอดภัย เทปที่ใช้ต้องสามารถทนความร้อนได้สูงและไม่ติดไฟและบางครั้งยังเลือกใช้เทปพันสายไฟที่ทนแรงดันไฟฟ้าได้สูงถึง 600 โวลต์ ทนอุณหภูมิได้ 100°



รูปที่ 3.4 ลักษณะเทปฉนวน

หลังจากที่ออกแบบและเลือกอุปกรณ์เรียบร้อยแล้วทำการพันหม้อแปลงความถี่สูงแบบฟลายแบค โดยพันให้มีขดลวด 3 ชุด คือ ขดลวดปฐมภูมิ ขดลวดทุติยภูมิและขดลวดช่วย ลักษณะการพันให้พันกลับขั้วกันระหว่างขดลวดปฐมภูมิและขดลวดทุติยภูมิตามลักษณะของคอนเวอร์เตอร์แบบฟลายแบคที่กล่าวไว้ข้างต้นแล้วจะได้หม้อแปลงที่พันสำเร็จดังรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.5 ลักษณะหม้อแปลง

บทที่ 4

ผลการทดลองและวิเคราะห์ผล

จากการที่ได้ทำการออกแบบหม้อแปลงความถี่สูงแบบฟลายแบคและเลือกอุปกรณ์แล้ว ได้ทำการวัดค่าโดยการใช้อุปกรณ์วัด HP 4263 LCR Meter at Glance วัดหาค่าพารามิเตอร์ของ ขดลวดหม้อแปลง เช่นความเหนี่ยวนำ (L) ของขดลวดแต่ละขด ค่าความต้านทาน (R) ของขดลวด แต่ละขดเพื่อนำผลที่ได้วิเคราะห์ถึงการเปลี่ยนแปลงและนำไปเปรียบเทียบนำไปสู่การออกแบบ หม้อแปลงที่มีประสิทธิภาพต่อไป

4.1 รูปของการออกแบบการพันหม้อแปลงและผลการวัดค่าพารามิเตอร์

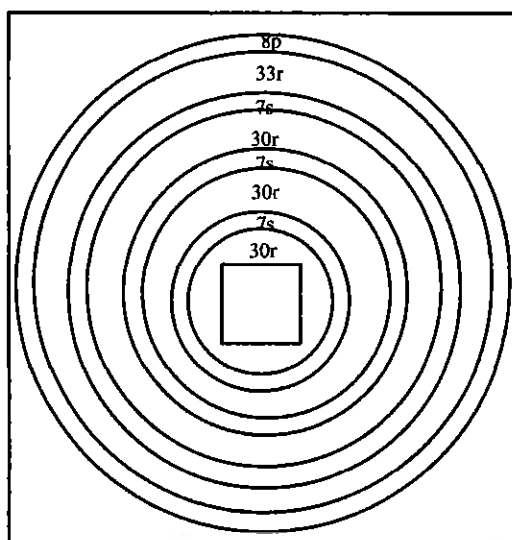


รูปที่ 4.1 วัดหาค่าความเหนี่ยวนำ (L) ค่าความต้านทาน (R) ของขดลวดหม้อแปลง

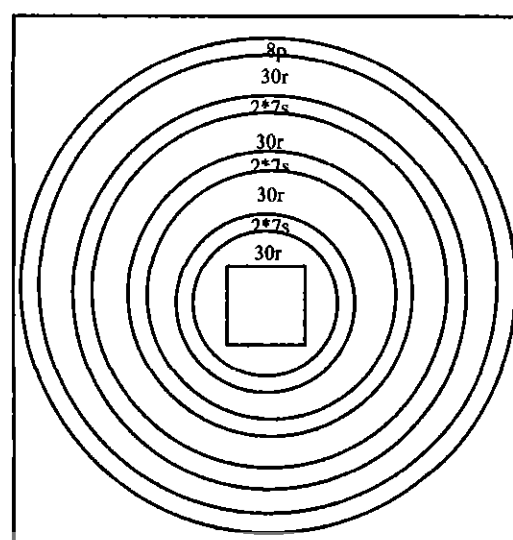
โดยตั้งพิกัดการวัดที่ระดับความถี่ 100 kHz ระดับแรงดันเท่ากับ 1000 mV

4.1.1 รูปการออกแบบการพันของหม้อแปลงและผลการทดสอบ

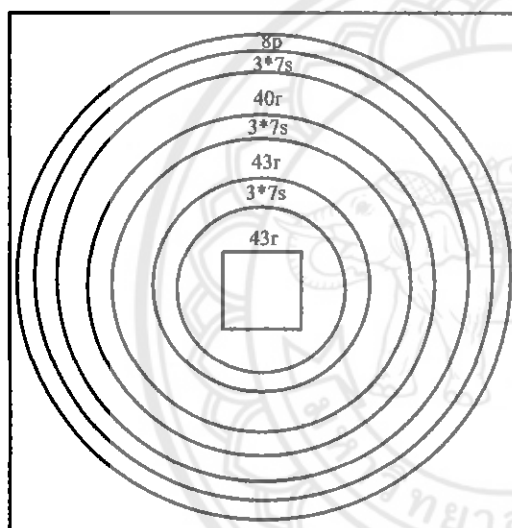
ขั้นตอนนี้เป็นรูปของการออกแบบของหม้อแปลงความถี่สูงและผลของการวัดค่าความเหนี่ยวนำของขดลวด (L) ค่าความต้านทานของขดลวด (R) และค่าความรีแอกแตนซ์ (XL)



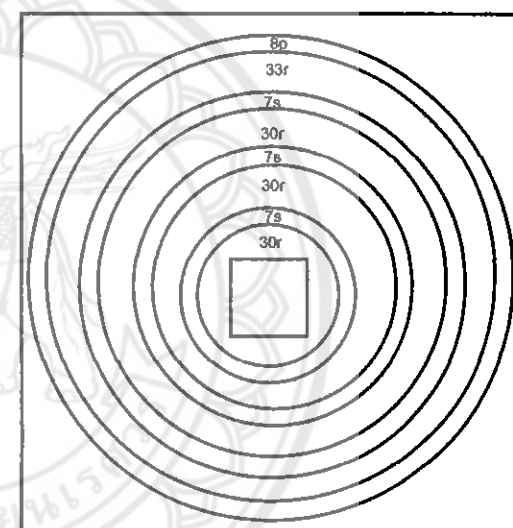
(ก) ลักษณะการพันหม้อแปลงตัวอ้างอิง



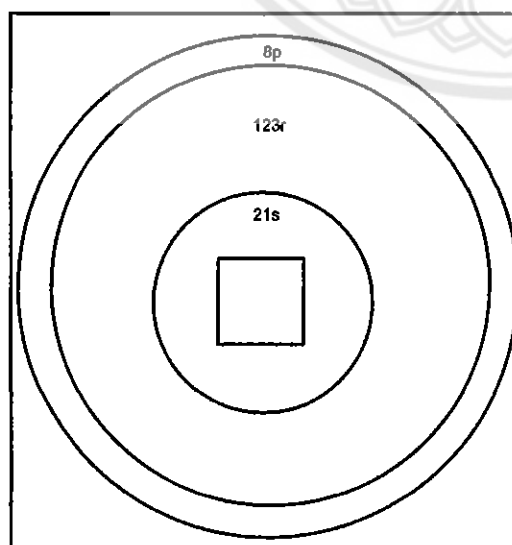
(ข) ลักษณะการพันหม้อแปลงตัว 1



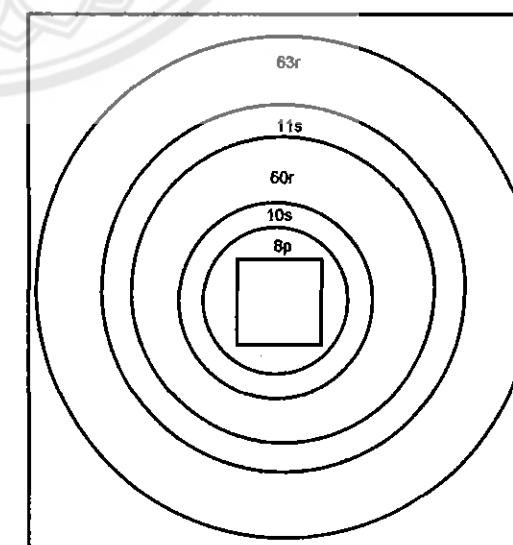
(ค) ลักษณะการพันหม้อแปลงตัว 2



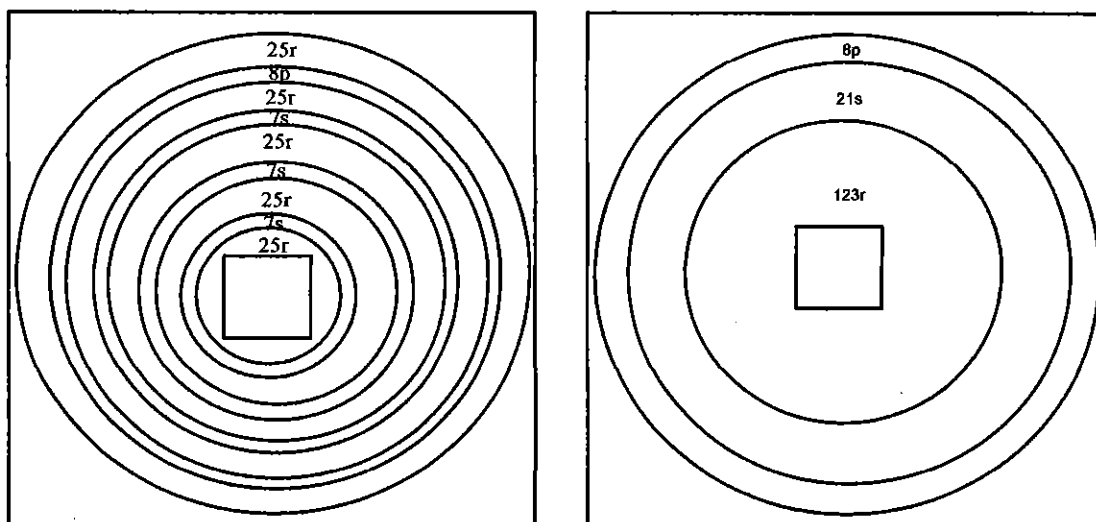
(ง) ลักษณะการพันหม้อแปลงตัวตัว 3



(จ) ลักษณะการพันหม้อแปลงตัวที่ 4



(ฉ) ลักษณะการพันหม้อแปลงตัวที่ 5



(ข) ลักษณะการพันหม้อแปลงตัวที่ 6

(ข) ลักษณะการพันหม้อแปลงตัวที่ 7

รูปที่ 4.2 การออกแบบหม้อแปลงความถี่สูงลักษณะต่างๆ

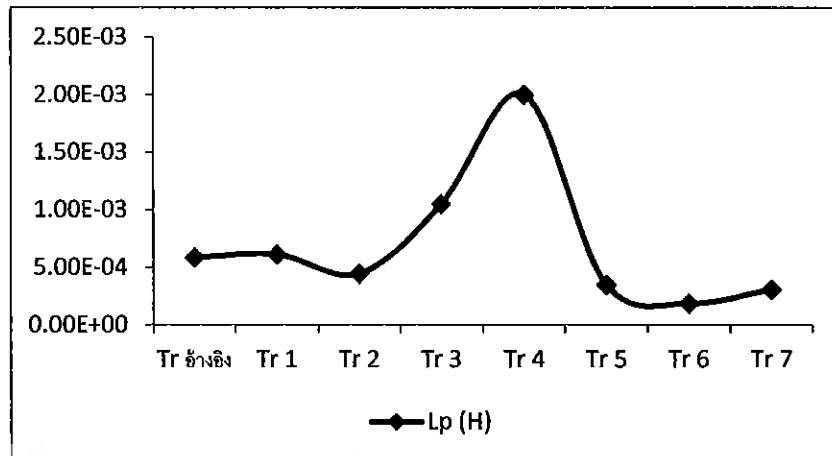
4.1.2 ผลการวัดค่าพารามิเตอร์ของหม้อแปลงความถี่สูง (ไม่มีช่องอากาศคั่น)

จากผลการทดสอบข้างต้นพบว่า ค่าเฉลี่ยของหม้อแปลงความถี่สูง ขณะไม่มีช่องอากาศคั่นทางเดินแม่เหล็กในแกนเฟอร์ไรต์จะทำให้ค่าความเหนี่ยวนำสูงภายในหม้อแปลง เป็นส่งผลให้เกิดค่ารีแอกแตนซ์ภายในขดลวดมากขึ้นตาม ซึ่งทำให้ค่าประสิทธิภาพของหม้อแปลง

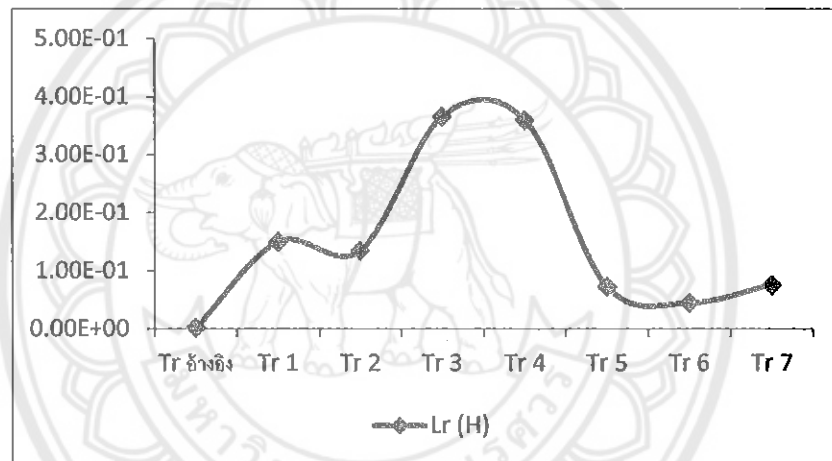
ตารางที่ 4.1 ค่าเฉลี่ยพารามิเตอร์ของหม้อแปลงความถี่สูง (ยังไม่มีช่องอากาศคั่น)

ค่า	Tr ว่าง	Tr 1	Tr 2	Tr 3	Tr 4	Tr 5	Tr 6	Tr 7
Lp (H)	1.33E-5	6.12E-4	4.46E-4	1.05E-3	2.00E-3	3.50E-4	1.87E-4	3.06E-4
Lr (H)	2.32E-3	1.50E-1	1.35E-1	3.66E-1	3.60E-1	7.27E-2	4.49E-2	7.58E-2
Ls(H)	8.16E-5	4.32E-3	4.20E-3	9.98E-3	1.33E-2	2.13E-3	1.34E-3	2.17E-3
Rp (Ω)	2.03E-1	3.89E-1	2.05E-1	2.26E-1	2.01E-1	1.95E-1	2.02E-1	2.01E-1
Rr (Ω)	1.41E+0	4.21E+0	1.93E+0	1.63E+0	1.42E+0	1.47E+0	1.63E+0	1.37E+0
Rs (Ω)	2.37E-1	2.75E-1	4.02E-1	2.29E-1	2.17E-1	2.31E-1	2.42E-1	2.36E-1
XLp(Ω)	4.18E-3	1.92E-1	1.40E-1	3.31E-1	6.28E-1	1.10E-1	5.89E-2	9.61E-2
XLr(Ω)	7.30E-1	4.71E+1	4.25E+1	1.15E+2	1.13E+2	2.28E+1	1.41E+1	2.38E+1
XLs(Ω)	2.56E-2	1.36E+0	1.32E+0	3.14E+0	4.16E+0	6.70E-1	4.21E-1	6.83E-1

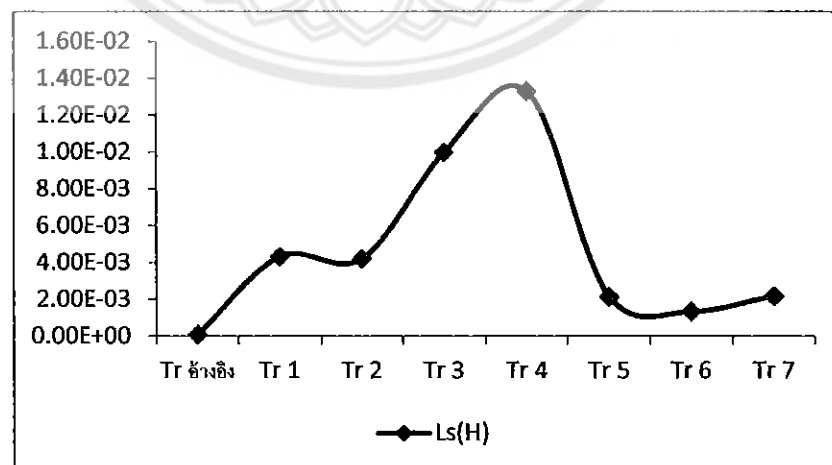
4.1.3 กราฟแสดงค่าของพารามิเตอร์ของหม้อแปลงความถี่สูง



(ก) เปรียบเทียบค่าความเหนี่ยวนำในขดลวดปฐมภูมิ

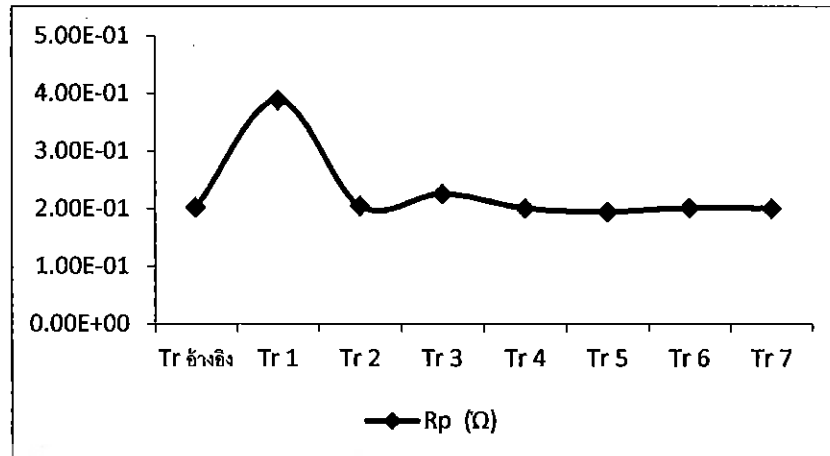


(ข) เปรียบเทียบค่าความเหนี่ยวนำในขดลวดช่วย

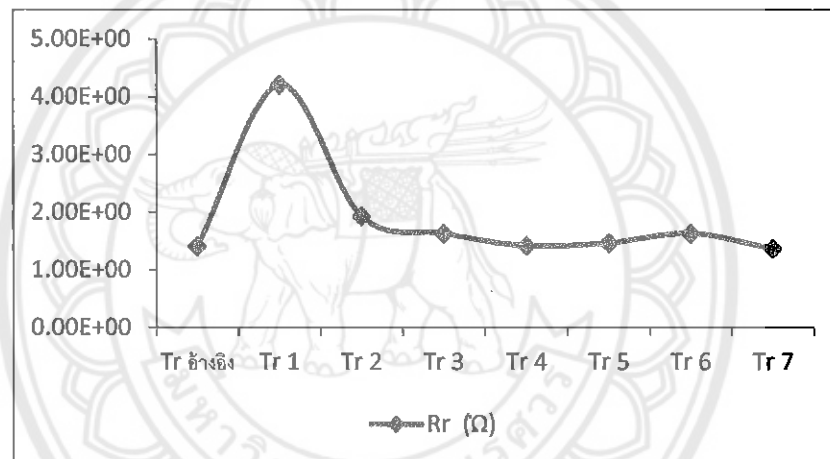


(ค) เปรียบเทียบค่าความเหนี่ยวนำในขดลวดทุติยภูมิ

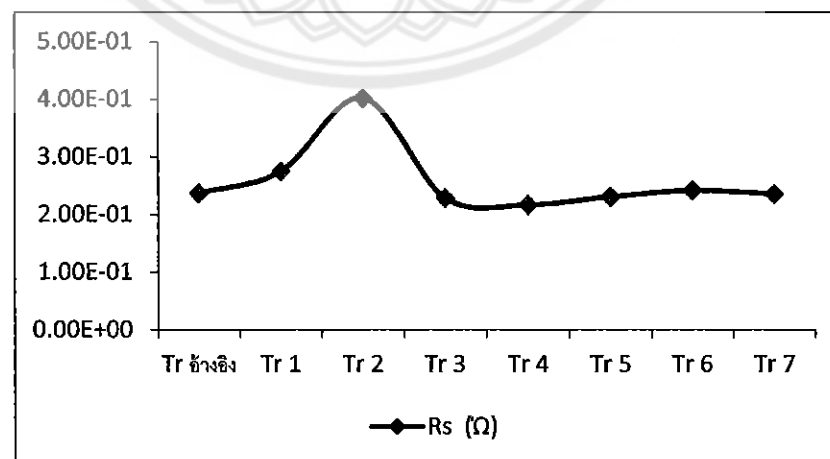
รูปที่ 4.3 กราฟแสดงการเปรียบเทียบค่าความเหนี่ยวนำของหม้อแปลง



(ก) เปรียบเทียบค่าความต้านทานในขดลวดปฐมภูมิ

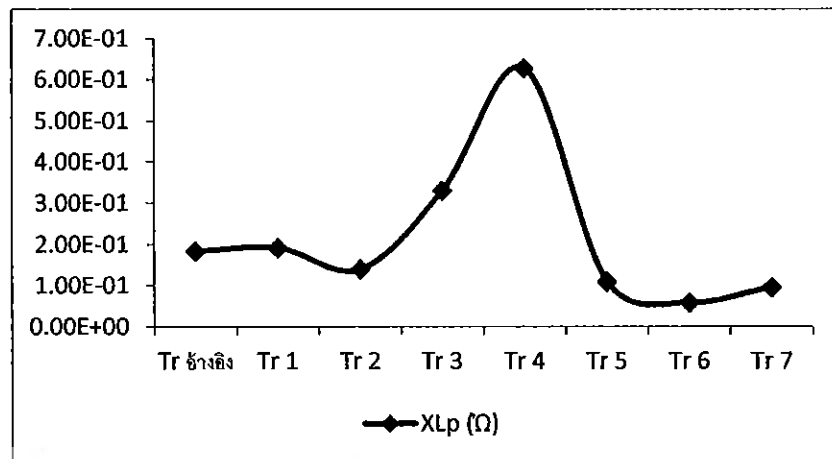


(ข) เปรียบเทียบค่าความต้านทานในขดลวดช่วย

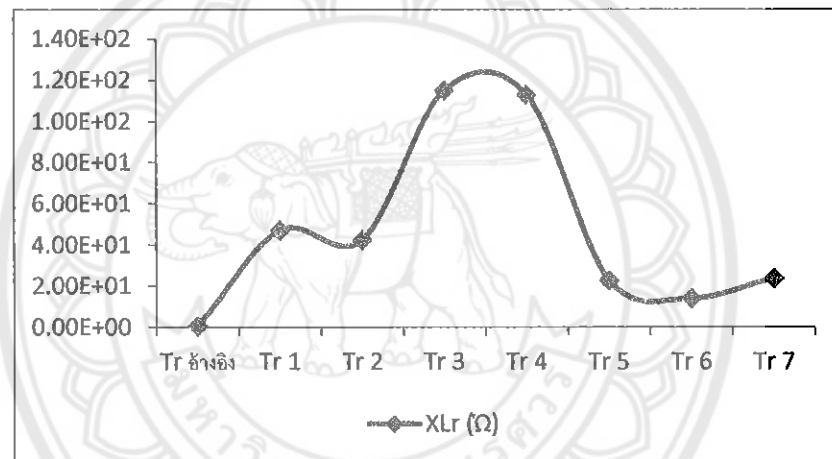


(ค) เปรียบเทียบค่าความต้านทานในขดลวดทุติยภูมิ

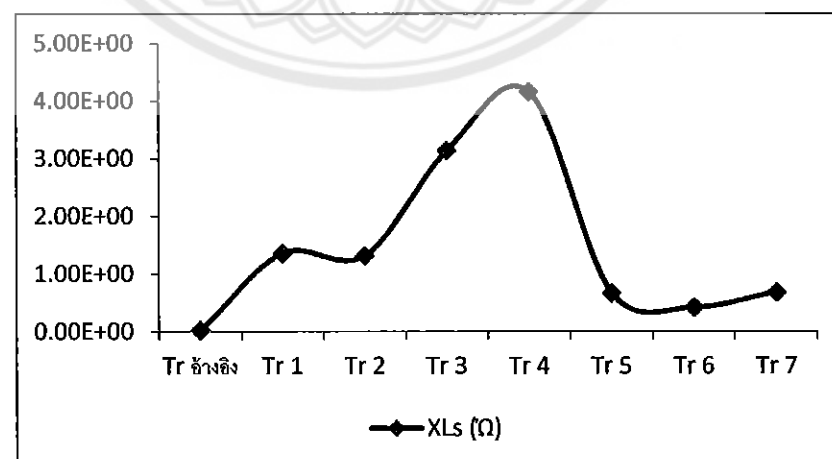
รูปที่ 4.4 กราฟแสดงการเปรียบเทียบค่าความต้านทานของหม้อแปลง



(ก) เปรียบเทียบค่าความรีแอกแตนซ์ในขดลวดปฐมภูมิ



(ข) เปรียบเทียบค่าความรีแอกแตนซ์ในขดลวดช่วย



(ค) เปรียบเทียบค่าความรีอคแตนซ์ในขดลวดทุติยภูมิ

รูปที่ 4.5 กราฟแสดงการเปรียบเทียบค่ารีแอกแตนซ์ของหม้อแปลง

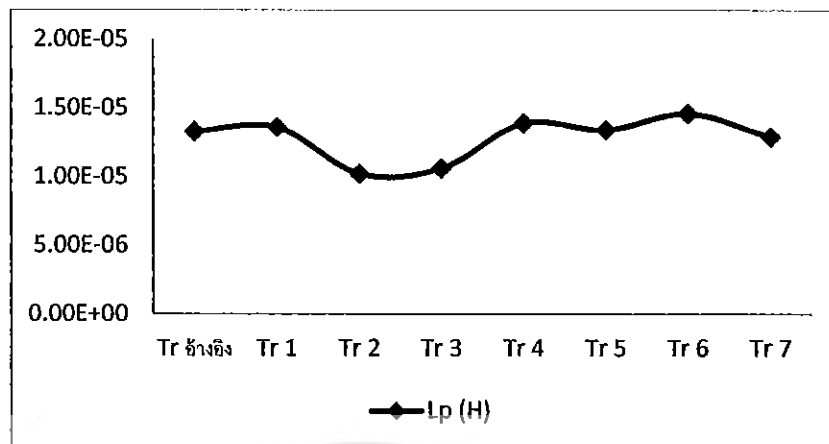
4.1.4 ผลการวัดค่าพารามิเตอร์ของหม้อแปลงความถี่สูง (เพิ่มช่องอากาศกัน)

จากผลการทดสอบข้างต้นพบว่าค่าเฉลี่ยของหม้อแปลงความถี่สูง ขณะเพิ่มช่องอากาศกันทางเดินแม่เหล็ก (Air Gap) ในแกนเฟอร์ไรต์ เป็นการป้องกันการอิ่มตัวของแกนเฟอร์ไรต์ และช่วยให้การสะสมพลังงานของขดลวดในหม้อแปลงสวิตชิงที่ความถี่สูงมีค่ามากขึ้น จะเห็นดังกราฟที่แสดงพบว่าค่าความเหนี่ยวนำของหม้อแปลงจะลดลงส่งผลให้ ค่ารีแอคแตนซ์มีค่าลดลงด้วยให้ประสิทธิภาพของหม้อแปลงดีขึ้นตามลำดับ

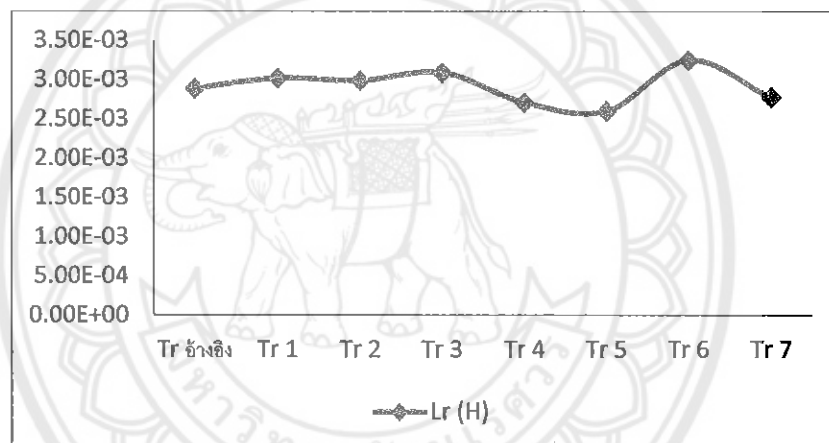
ตารางที่ 4.2 ค่าเฉลี่ยพารามิเตอร์ของหม้อแปลงความถี่สูง (เพิ่มช่องอากาศกัน)

ค่า	Tr อังอิง	Tr 1	Tr 2	Tr 3	Tr 4	Tr 5	Tr 6	Tr 7
Lp (H)	1.33E-5	1.36E-5	1.02E-5	1.06E-5	1.39E-5	1.34E-5	1.46E-5	1.29E-5
Lr (H)	2.89E-3	3.02E-3	2.99E-3	3.09E-3	2.71E-3	2.60E-3	3.25E-3	2.78E-3
Ls(H)	8.17E-5	8.46E-5	8.50E-5	8.66E-5	7.25E-5	7.25E-5	9.45E-5	8.12E-5
Rp (Ω)	2.06E-1	2.63E-1	2.04E-1	2.10E-1	2.17E-1	2.14E-1	2.13E-1	2.17E-1
Rr (Ω)	1.70E+0	1.76E+0	1.95E+0	1.59E+0	1.45E+0	1.47E+0	1.65E+0	1.36E+0
Rs (Ω)	2.36E-1	2.69E-1	2.66E-1	2.32E-1	2.21E-1	2.35E-1	2.40E-1	2.37E-1
XLp(Ω)	4.19E-3	4.26E-3	3.21E-3	3.32E-3	4.38E-3	4.21E-3	4.60E-3	4.04E-3
XLr(Ω)	9.07E-1	9.48E-1	9.40E-1	9.70E-1	8.52E-1	8.16E-1	1.02E+0	8.74E-1
XLs(Ω)	2.57E-2	2.66E-2	2.67E-2	2.72E-2	2.28E-2	2.28E-2	2.97E-2	2.55E-2

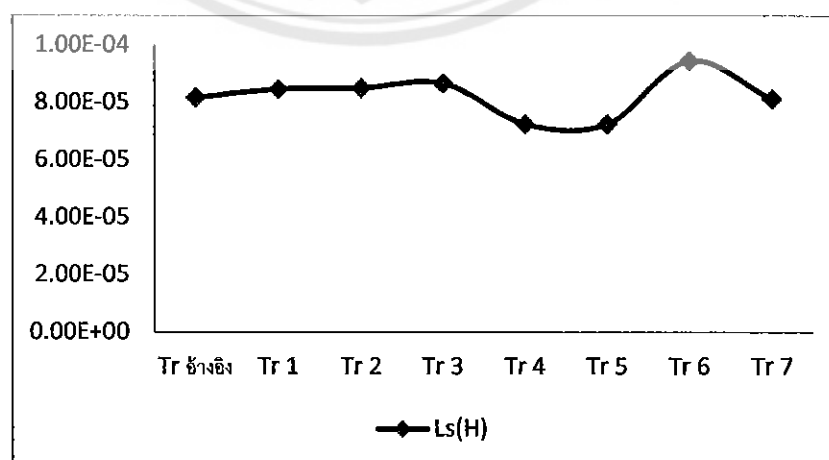
4.1.5 กราฟแสดงค่าของพารามิเตอร์ของหม้อแปลงความถี่สูง



(ก) เปรียบเทียบค่าความเหนี่ยวนำในขดลวดปฐมภูมิ

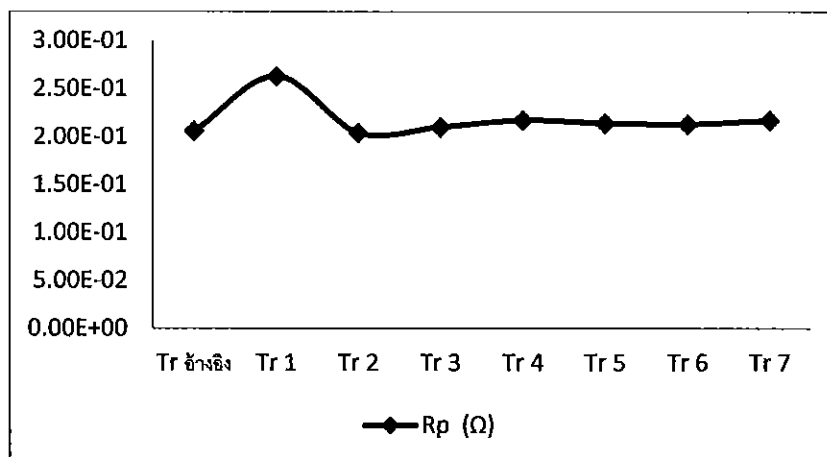


(ข) เปรียบเทียบค่าความเหนี่ยวนำในขดลวดช่วย

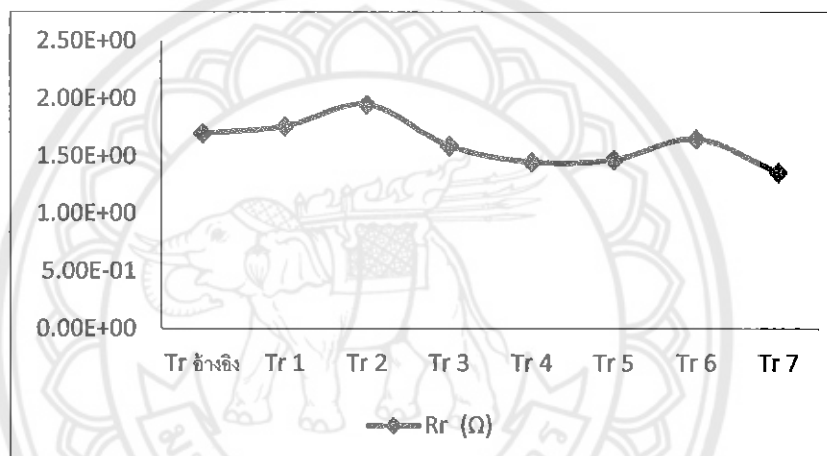


(ค) เปรียบเทียบค่าความเหนี่ยวนำในขดลวดทุติยภูมิ

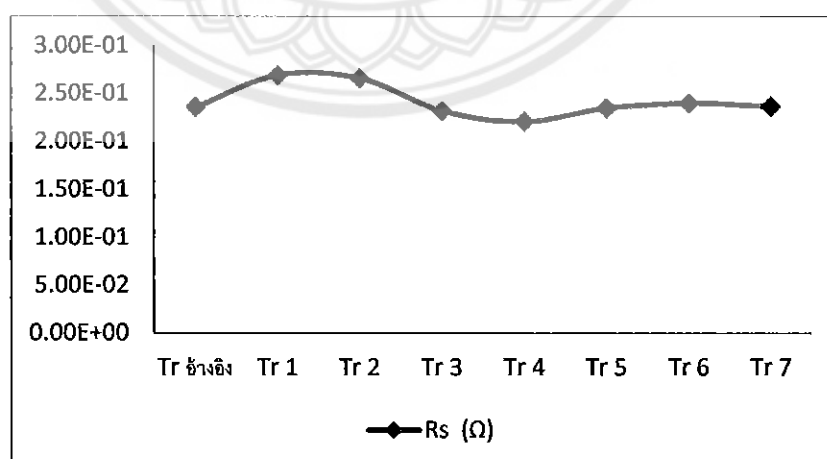
รูปที่ 4.6 กราฟแสดงการเปรียบเทียบค่าความเหนี่ยวนำของหม้อแปลง



(ก) เปรียบเทียบค่าความต้านทานในขดลวดปฐมภูมิ

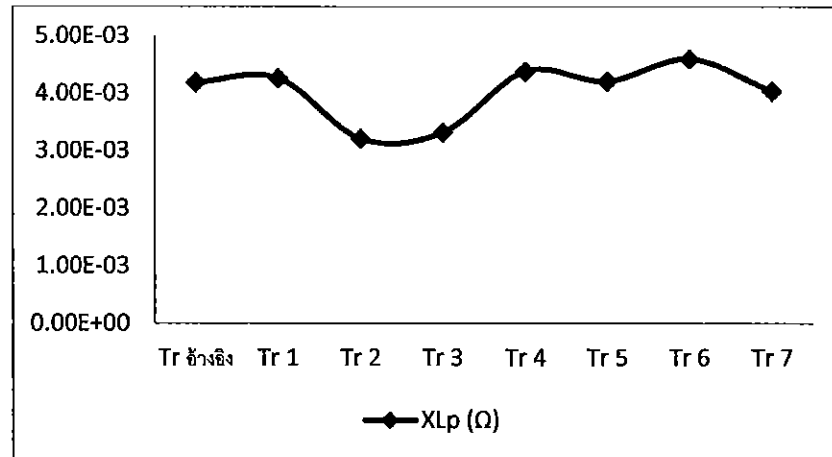


(ข) เปรียบเทียบค่าความต้านทานในขดลวดช่วย

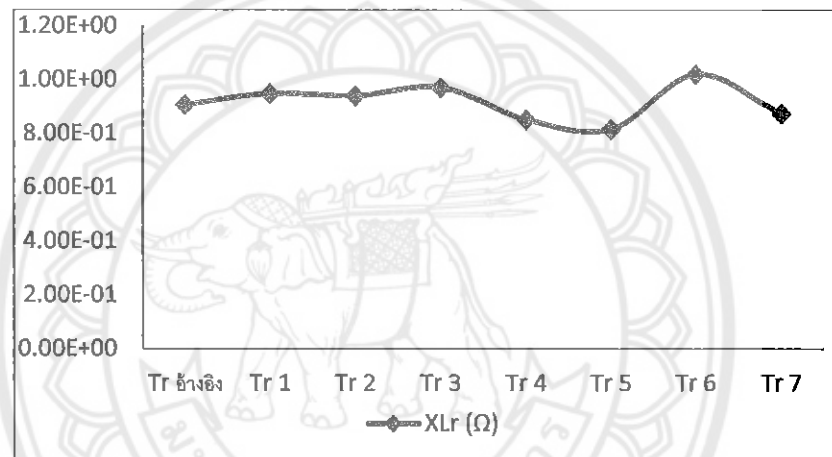


(ค) เปรียบเทียบค่าความต้านทานในขดลวดทุติยภูมิ

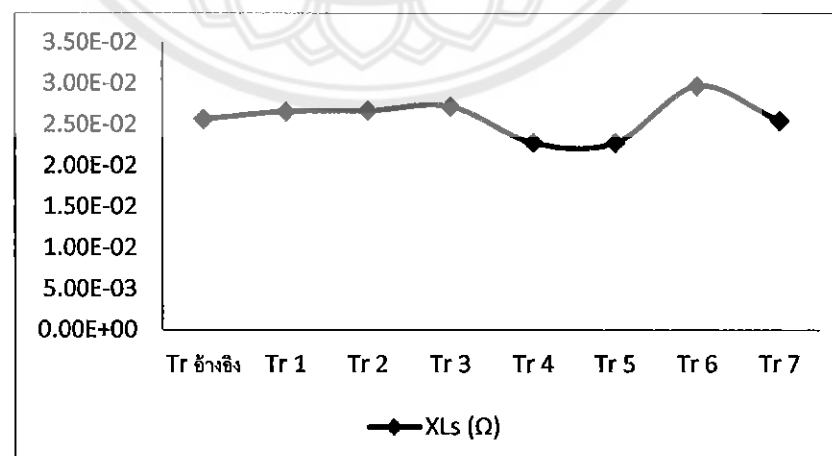
รูปที่ 4.7 เปรียบเทียบค่าความต้านทานของหม้อแปลง



(ก) เปรียบเทียบค่าความถี่แอกแตนซ์ในขดลวดปฐมภูมิ



(ข) เปรียบเทียบค่าความถี่แอกแตนซ์ในขดลวดช่วย



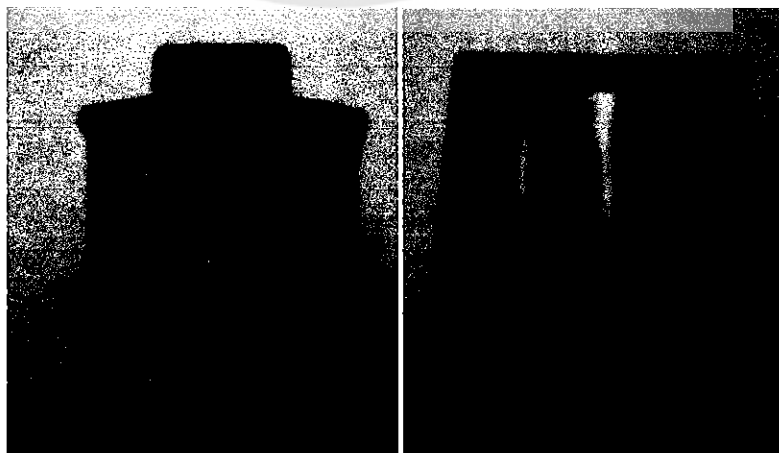
(ค) เปรียบเทียบค่าความถี่แอกแตนซ์ในขดลวดทุติยภูมิ

รูปที่ 4.8 เปรียบเทียบค่าความถี่แอกแตนซ์ของหม้อแปลง

4.1.6 วิเคราะห์ผลเพื่อทำการออกแบบหม้อแปลงตัวสมบูรณ์

จากผลการคำนวณข้างต้นในตัวอย่างที่ 3.1.2 การออกแบบหม้อแปลงความถี่สูงแบบฟลายแบคส่งผลให้เห็นว่าการออกแบบหม้อแปลงความถี่สูงนั้นต้องพิจารณาถึงขนาดของขดลวด ขนาดของแกนเฟอร์ไรต์ ขนาดของบอบขึ้นเนื่องจากหากเลือกใช้ขดลวดที่ใหญ่เกินความสูงของบอบขึ้นก็จะไม่สามารถประกอบแกนเฟอร์ไรต์ได้ แต่หากเล็กเกินไปจะทำให้หม้อแปลงมีความสูญเสียมากและไม่สามารถทนพิกัดกระแสสูงได้ รูปแบบของการพัน และช่องอากาศคั่นมีผลต่อการป้องกันการอิมิตตัวของแกนเฟอร์ไรต์ และช่วยให้การสะสมพลังงานของขดลวดในหม้อแปลง สวิตชิงที่ความถี่มีค่ามากขึ้น จะเห็นดังกราฟที่แสดงหัวข้อ 4.14 พบว่าค่าความเหนี่ยวนำของหม้อแปลงจะลดลงส่งผลให้ ค่ารีแอคแตนซ์มีค่าลดลงช่วยให้ประสิทธิภาพของหม้อแปลงดีขึ้นตามลำดับ ดังนั้นการออกแบบหม้อแปลงความถี่สูงตัวสมบูรณ์นั้น ต้องอาศัยผลการทดสอบเบื้องต้นทั้ง รูปแบบการพันที่เหมาะสมตามหัวข้อที่ 4.1.1 ด้วย

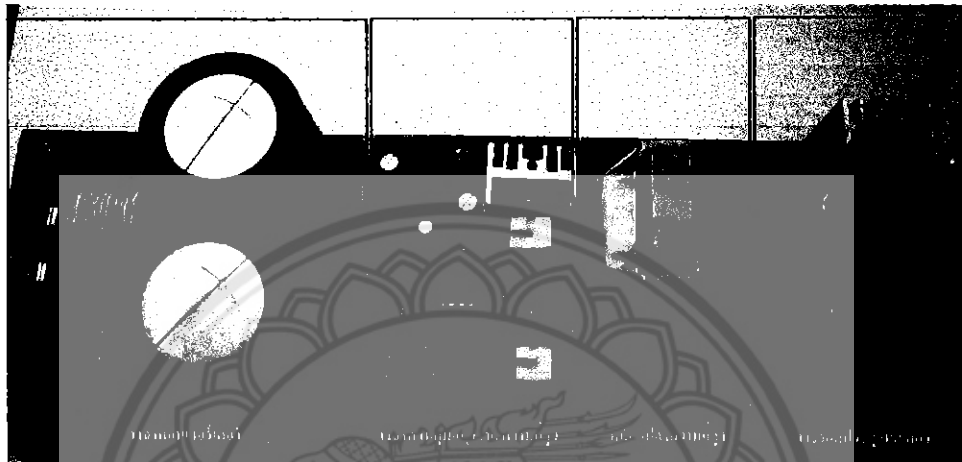
จากวงจรอัดประจุแบตเตอรี่ ต้องการหม้อแปลงความถี่ที่พิกัดกำลังเอาต์พุต 45 วัตต์ แรงดันเอาต์พุต 36 โวลต์ และกระแส 1.25 แอมป์ โดยคอนเวอร์เตอร์ในวงจรอัดประจุใช้กับแรงดันไฟสลับ 220 โวลต์ความถี่ 50 กิโลเฮิรตซ์ โดยมีการออกแบบขดลวดของหม้อแปลงความถี่สูงออกเป็น 3 ชุดคือ ขดลวดปฐมภูมิ (N_p) ขดลวดทุติยภูมิ (N_s) และขดลวดช่วย (N_c) เลือกใช้แกนเฟอร์ไรต์ขนาด EI 40 บอบขึ้นหรือแบบรองพันขนาด EI 40 เลือกขนาดขดลวดปฐมภูมิ (N_p) ขดลวดทุติยภูมิ (N_s) เบอร์ 20 สามารถใช้ที่พิกัดกระแส 1.362 แอมป์ (ทนกระแสสูงสุดได้ที่ 2.04 แอมป์) ขนาดขดลวดช่วยใช้เบอร์ 28 สามารถทนกระแสสูงสุดได้เท่ากับ 0.3196 แอมป์ เลือกรูปแบบแบบธรรมดาหรือคังรูปที่ 4.2 (จ) การพันแบบหม้อแปลงตัวที่ 4 โดยเลือกมีช่องคั่นอากาศตามตารางคือ 0.77 mm ทำการกลับขั้วตามหลักของหม้อแปลงความถี่สูงแบบฟลายแบค



รูปที่ 4.9 หม้อแปลงตัวสมบูรณ์

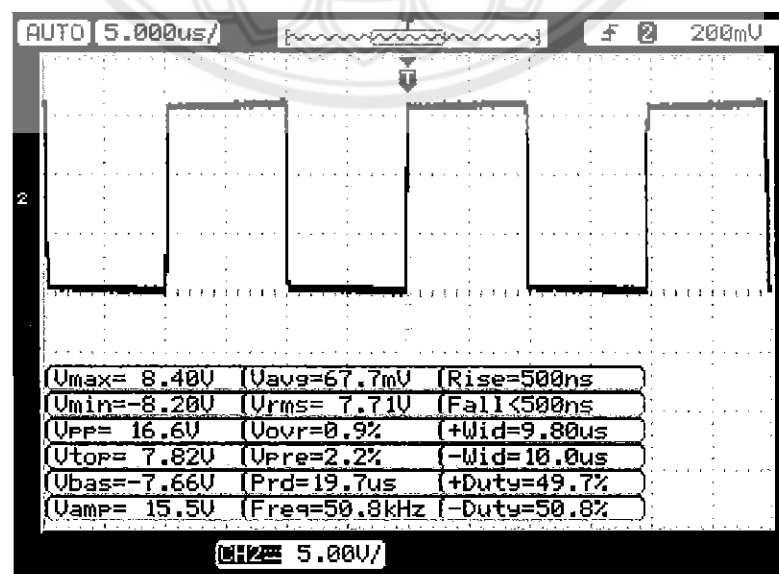
4.2 การทดสอบหม้อแปลงความถี่สูงแบบฟลายแบคในวงจรอัดประจุแบบเตอร์

ขั้นตอนนี้เป็น การประกอบหม้อแปลงความถี่สูงเข้ากับวงจรอัดประจุแบบเตอร์ และทำการทดสอบ ในขณะที่ไม่มีภาระโหลด (No Load) เพื่อสังเกตระดับแรงดันทางด้านอินพุต และลักษณะรูปร่างของสัญญาณของแรงดันเอาต์พุตเพื่อเปรียบเทียบค่าระหว่างหม้อแปลงอ้างอิงและหม้อแปลงตัวสมบูรณ์



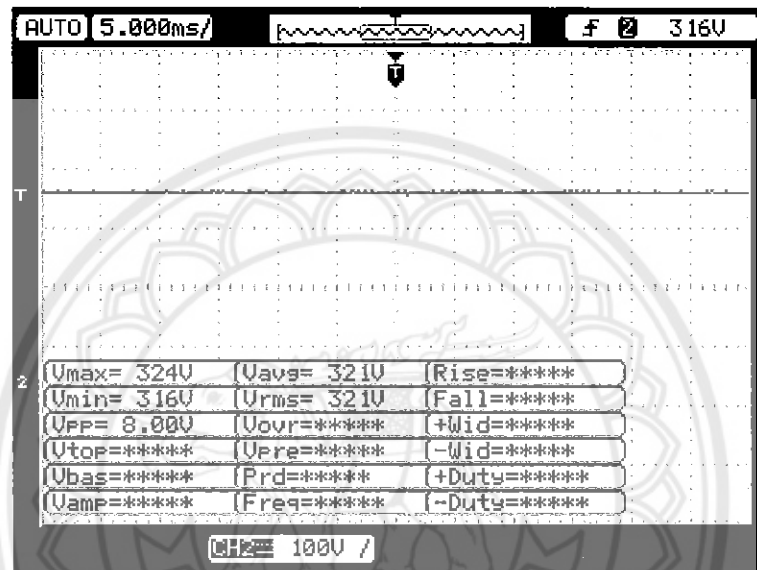
รูปที่ 4.10 วงจรอัดประจุแบบเตอร์

การทดสอบวัดค่าสัญญาณระดับแรงดันของหม้อแปลงความถี่สูงแบบฟลายแบคในวงจรอัดประจุขณะที่ไม่มีโหลด โดยใช้ออสซิลโลสโคป 100 series ทำการวัดสัญญาณจากวงจรควบคุมสัญญาณความถี่สูง โดยการวัดจากไอซี UC3844 พร้อมวัดระดับแรงดันอินพุตและแรงดันเอาต์พุตที่เกิดขึ้นจริงในวงจรอัดประจุและหม้อแปลงความถี่สูงแบบฟลายแบค



รูปที่ 4.11 สัญญาณควบคุมสวิตช์ของไอซี UC3844

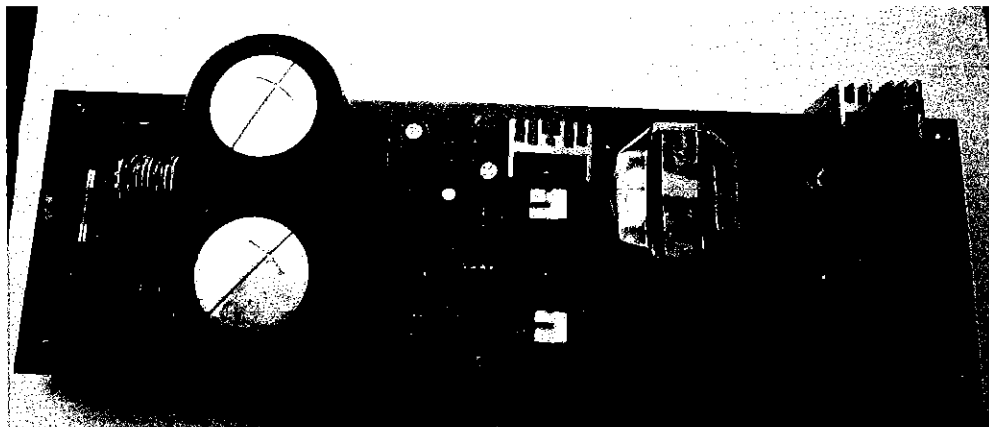
จากรูปได้ทำการวัดค่าความถี่ที่เกิดขึ้นจริง โดยการใช้ออสซิลโลสโคปวัดสัญญาณที่ขา 6 และขา 4 ของไอซี UC3844 พบว่าสัญญาณมีความถี่ 50.8 กิโลเฮิร์ตซ์ซึ่งเป็นสัญญาณความถี่การทำงานของหม้อแปลงความถี่สูงในวงจรอัดประจุแบบเตอร์ที่รับแรงดันเข้าระหว่าง 180 - 240 โวลต์ ความถี่ 50 เฮิร์ตซ์ เมื่อผ่านวงจรคอนเวอร์เตอร์แบบฟลายแบคแล้วจะปรับแรงดันจากไฟสลับ (AC) ปรับเป็นไฟตรง (DC) ที่แรงดัน 310 - 325 โวลต์ ดังรูปที่ 4.11 โดยคอนเวอร์จะทำการกรองสัญญาณและแปลงไฟสลับ (AC) ผ่านวงจรบริดเปลี่ยนเป็นไฟตรง (DC) และปรับแรงดันด้วยตัวควบคุมให้เป็น 310 - 325 โวลต์ เพื่อจ่ายให้หม้อแปลงความถี่สูงต่อไป



รูปที่ 4.12 ลักษณะของสัญญาณเอาต์พุตก่อนเข้าหม้อแปลง

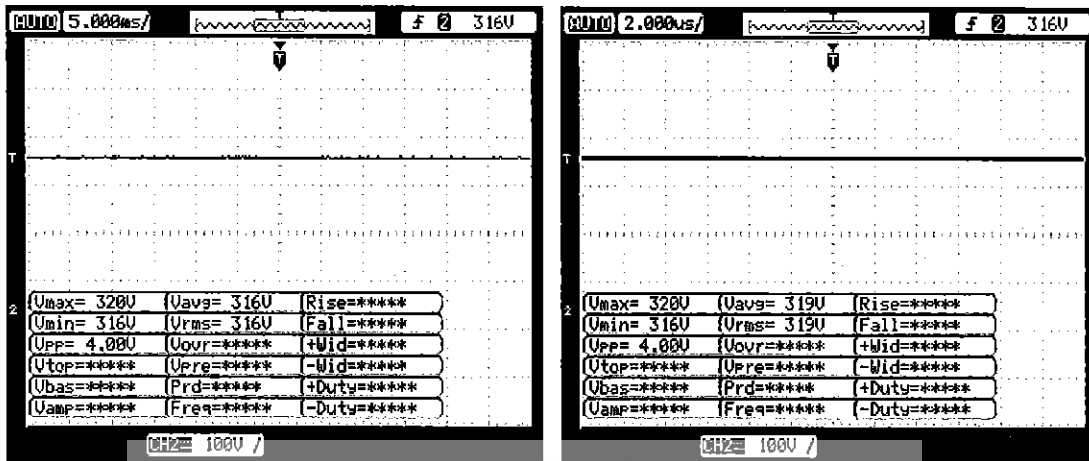
4.2.1 ผลการทดสอบหม้อแปลงความถี่สูงในวงจรอัดประจุ

ในขั้นตอนนี้จะทำการทดสอบหม้อแปลงความถี่สูงโดยการนำหม้อแปลงตัวอ้างอิงและหม้อแปลงตัวสมบูรณ์ ไปประกอบกับวงจรอัดประจุแบบเตอร์และทำการทดสอบค่าต่างๆ



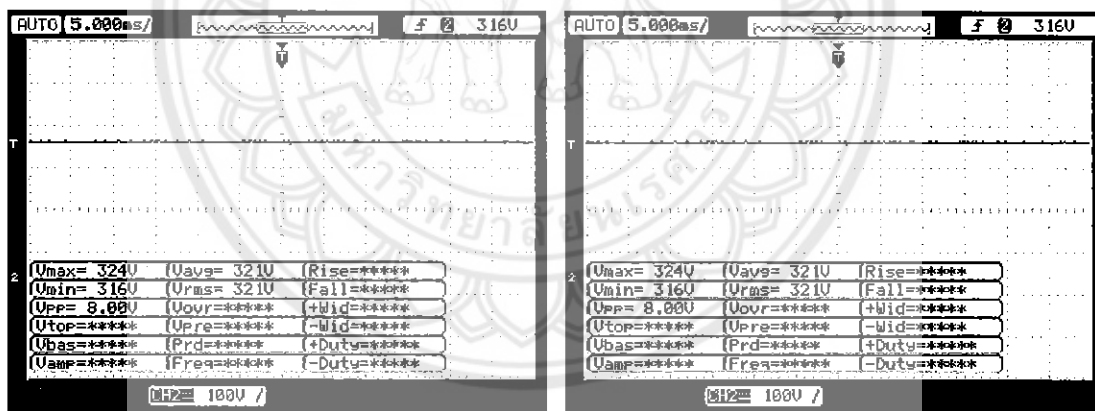
รูปที่ 4.13 ทดสอบหาค่าพารามิเตอร์หม้อแปลงตัวอ้างอิง

เมื่อทำการทดสอบวงจรอค์ประจุและทำการวัดค่าได้ดังนี้



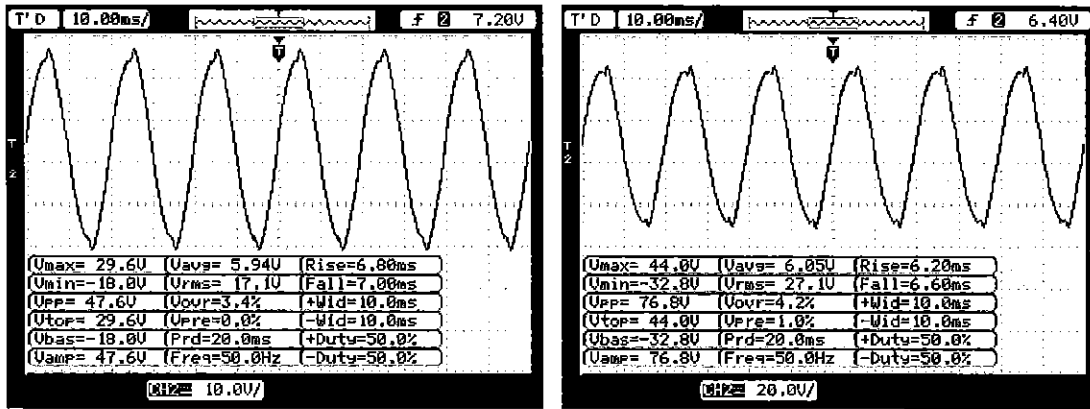
รูปที่ 4.14 ลักษณะแรงดันด้านปฐมภูมิตัวอ้างอิงและลักษณะแรงดันด้านปฐมภูมิตัวที่ออกแบบ

จากรูปเป็นลักษณะของแรงดันด้านอินพุตขาเข้าหม้อแปลงของหม้อแปลงอ้างอิงและหม้อแปลงตัวสมบรูณ์ โดยที่แรงดันอยู่ที่ 316 – 320 โวลต์ เป็นระดับแรงดันที่คอนเวอร์เตอร์จ่ายให้กับหม้อแปลงความถี่สูง



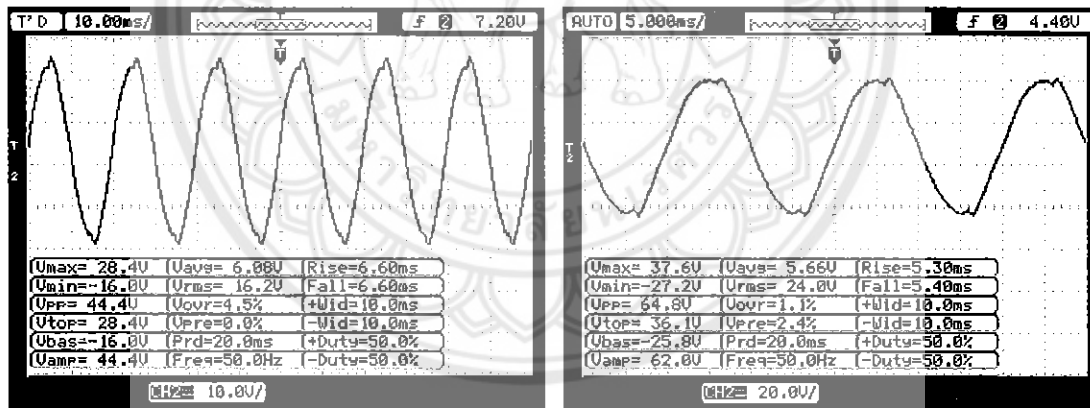
รูปที่ 4.15 ลักษณะแรงดันด้านขดลวดช่วยด้านปฐมภูมิตัวอ้างอิงและตัวออกแบบ

จากรูปเป็นลักษณะของแรงดันอินพุตด้านขดลวดช่วย มีแรงดันมีระดับแรงดันอยู่ในช่วงประมาณ 324 โวลต์ เท่ากันเป็นระดับแรงดันที่ส่งผ่านมาจากชุดคอนเวอร์เตอร์ที่รับไฟสลับ (AC) ที่ระดับแรงดันที่ 220 ผ่านวงจรกรอง แปลงเป็นไฟตรง (DC) ด้วยวงจรบริด และอัทแรงดันขึ้นเป็นประมาณ 315 – 230 โวลต์ ด้วยคาปาซิเตอร์ขนาด 2200 μF อนุกรมกัน 2 ตัว



รูปที่ 4.16 ลักษณะแรงดันด้านทุติยภูมิตัวอ้างอิงและลักษณะแรงดันด้านทุติยภูมิตัวสมบรูณ์

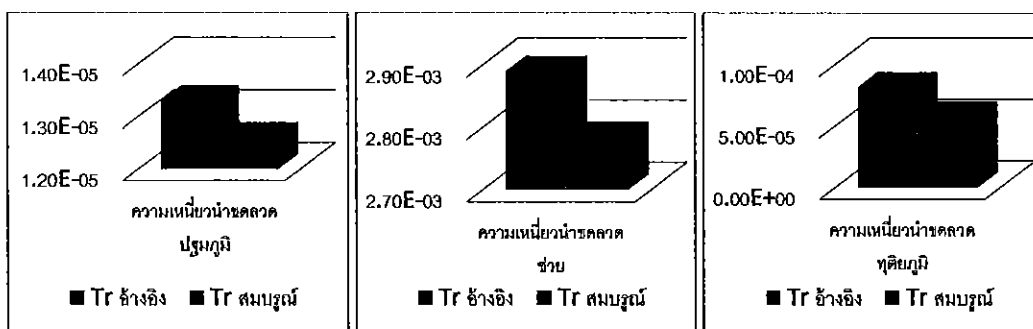
จากรูปเป็นลักษณะของสัญญาณทางด้านทุติยภูมิหลังจากที่ผ่านหม้อแปลงความถี่สูงแล้ว เอาต์พุตที่ได้ของหม้อแปลงทั้งสองเป็นลักษณะลูกคลื่นทราซเวปที่มีค่าแรงดันไม่เท่ากันเนื่องจากตัวอ้างอิงมีการใช้ขดลวดต่าง และรูปแบบการพันที่ต่างจากตัวสมบรูณ์ ซึ่งขดลวดลวดที่ตัวอ้างอิงใช้เบอร์ 24 จำนวน 2 เส้นประกบกันพันรอบบอบบิ้น ส่วนตัวสมบรูณ์ใช้ขดลวดเบอร์ 20 ที่มีขนาดใหญ่กว่าทนกระแสได้มากกว่า ทำให้มีค่าเอาต์พุตออกมาไม่เท่ากัน คือ ตัวอ้างอิงมีแรงดันเอาต์พุตออกมา 29.6 โวลต์ ส่วนตัวสมบรูณ์มีเอาต์พุตออกมา 44 โวลต์



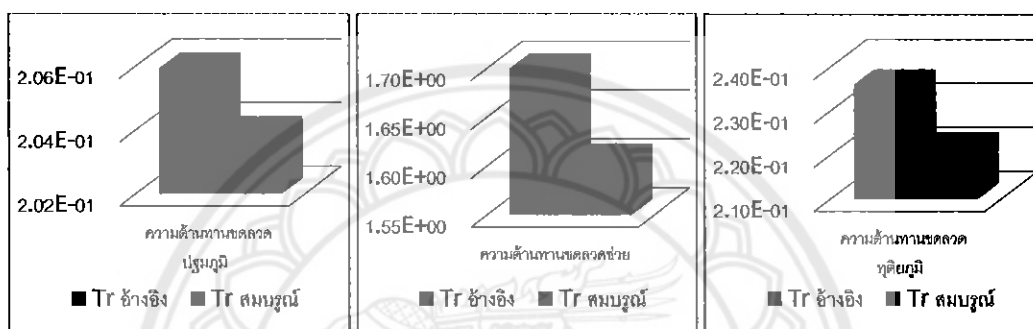
รูปที่ 4.17 ลักษณะแรงดันขาออกของวงจรอัดประจุของตัวอ้างอิงและตัวสมบรูณ์

จากรูปจะเห็นได้ว่าค่าเอาต์พุตที่ออกมาจากวงจรอัดประจุระหว่างหม้อแปลงตัวอ้างอิงและหม้อแปลงตัวสมบรูณ์ จะมีค่าที่ต่างกันตามแรงดันที่ออกด้านทุติยภูมิของหม้อแปลงตามลำดับ โดยหม้อแปลงความถี่สูงแบบฟลายแบคตัวอ้างอิง มีค่าออกมา 28.4 โวลต์ ซึ่งมีค่าระดับแรงดันที่ต่ำกว่าที่ออกแบบไวจิงไม่สามารถนำไปอัดประจุแบตเตอรี่ 12 โวลต์ จำนวน 3 ก้อน ตามที่ออกแบบไว้ได้ สำหรับหม้อแปลงตัวสมบรูณ์ความถี่สูงแบบฟลายแบคมีแรงดันออกมา 37.6 โวลต์ ซึ่งเป็นระดับแรงดันที่ได้ทำการออกแบบไวจิงสามารถนำไปใช้งานอัดประจุเข้าแบตเตอรี่ 3 ก้อนได้ซึ่งแบตเตอรี่ 3 ก้อนใช้ 36 โวลต์ได้ตามที่ได้ออกแบบไว้

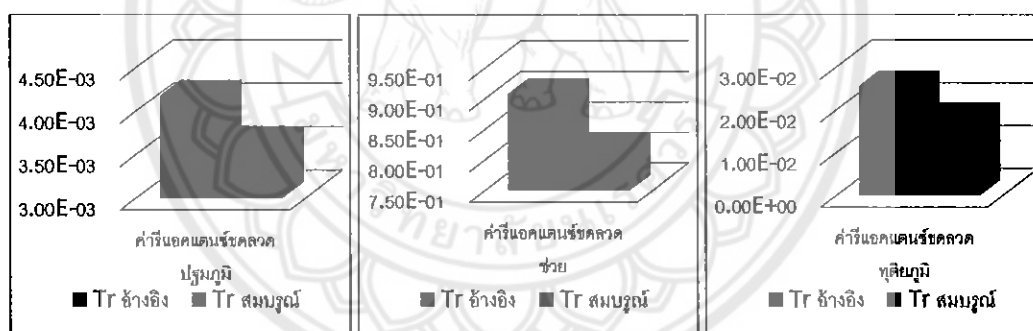
4.2.2 การเปรียบเทียบระหว่างหม้อแปลงตัวอ้างอิงและหม้อแปลงตัวสมบรูณ์



(ก) เปรียบเทียบค่าความเหนี่ยวนำของแต่ละชนิด



(ข) เปรียบเทียบค่าความต้านทานของแต่ละชนิด



(ค) เปรียบเทียบค่ารีแอกแตนซ์ของแต่ละชนิด

รูปที่ 4.18 เปรียบเทียบค่าระหว่างหม้อแปลงอ้างอิงกับหม้อแปลงตัวสมบรูณ์

จากรูปเปรียบเทียบค่าความเหนี่ยวนำ (L) ค่าความต้านทาน (R) และค่ารีแอกแตนซ์ (XL) ของขดลวดหม้อแปลงความถี่สูงระหว่างหม้อแปลงตัวอ้างอิง (Tr อ้างอิง) กับหม้อแปลงตัวสมบรูณ์ (Tr สมบรูณ์) แสดงเห็นว่าค่าเหนี่ยวนำสูงแปลงผันตรงค่ารีแอกแตนซ์สูงตาม และในขณะที่มีค่ารีแอกแตนซ์ และค่าความต้านทานมากส่งทำให้เกิดสูญเสียในขดลวดมากขึ้น ส่งผลให้ประสิทธิภาพของหม้อแปลงลดต่ำลงด้วย ในหม้อแปลงตัวสมบรูณ์ได้เลือกใช้ขดลวดเบอร์ใหญ่กว่า ทำให้กระแสไหลผ่านได้มากกว่า เลือกแกนเฟอร์ไรต์ที่ใหญ่กว่าทำให้มีพื้นที่ในการพันขดลวดมากกว่าจึงเป็นผลให้หม้อแปลงตัวสมบรูณ์เกิดความร้อนน้อยกว่าและมีประสิทธิภาพดีกว่าและยังสร้างแรงดันเอาต์พุตที่ออกมาจากวงจรมีค่าตามที่ออกแบบมากกว่า

บทที่ 5

สรุปผลและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการดำเนินงาน

ในโครงการเล่มนี้ได้การศึกษา สร้างและทดสอบหม้อแปลงความถี่สูงในแหล่งจ่าย สวิตชิงแบบฟลายแบคหรือที่เรียกกันอีกอย่างหนึ่งว่า หม้อแปลงความถี่สูงแบบฟลายแบค จากที่ได้ทำการสร้างและทดสอบหม้อแปลงความถี่สูงแบบฟลายแบคในลักษณะรูปแบบการพันต่างๆแล้วพบว่าปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพของหม้อแปลงความถี่สูงแบบฟลายแบคนี้ คือค่าความสูญเสียที่เกิดจากภายในขดลวดตัวนำของหม้อแปลงจะมีค่าเปลี่ยนแปลงตามลักษณะการพันของขดลวดตัวนำภายในของหม้อแปลง และค่าความสูญเสียภายในแกนเหล็ก โดยการสูญเสียภายในแกนเหล็กจะมีค่าไม่สูงนัก มีการเปลี่ยนแปลงตามขนาดของแกนเหล็กดังนั้นจึงเลือกขนาดของขดลวดตัวนำที่ใหญ่เพื่อให้กระแสไหลได้มากกว่า เลือกแกนเฟอร์ไรต์ที่ขนาดใหญ่กว่าเพื่อให้มีพื้นที่พันขดลวดมากขึ้น และทำการพัน โดยมีช่องอากาศคั่นทางเดินของฟลักแม่เหล็กเพื่อป้องกันการอิ่มตัวของแกนเฟอร์ไรต์ ทั้งได้มีการพันเทปฉนวนระหว่างชั้นของขดลวดด้วยเพื่อป้องกันการสัมผัสโดยตรงของขดลวดตัวนำและให้มีการระบายความร้อนด้วย

จากการทดสอบและใช้งานจริงในวงจรอัดประจุแบบพกพาแล้วพบว่า การทำงานของหม้อแปลงความถี่สูงแบบฟลายแบคตัวสมบูรณ์นี้มีประสิทธิภาพสูงกว่าหม้อแปลงความถี่สูงแบบฟลายแบคของตัวอย่างที่มีอยู่แล้ว จริงตามจุดประสงค์ที่ตั้งไว้ข้างต้น

5.2 ปัญหาและข้อเสนอแนะ

ไม่มีความหลากหลายมากพอในการออกแบบ เช่น ในลักษณะของแบบที่มีความซับซ้อนมากๆ เพราะใช้เวลามากในสร้าง ขาดอุปกรณ์บางอย่างที่หายาก และขุขยากการทดสอบเพื่อให้ได้ผลในแต่ละขั้นตอน

ดังนั้นจึงคาดหวังว่าควรมีเอาโปรแกรมมาช่วยออกแบบแล้ววิเคราะห์ผลข้างต้นก่อน เพื่อให้มีความหลากหลาย ลดการให้เวลา ลดการใช้อุปกรณ์

5.3 แนวทางในการพัฒนาโครงการต่อไป

ใช้โปรแกรมช่วยในการออกแบบให้มีความหลากหลายในการออกแบบหม้อแปลงในลักษณะต่างๆที่มากขึ้นซับซ้อน ทั้งนี้หวังว่าจะมีการพัฒนาต่อไปในเรื่องของการออกแบบหม้อแปลงนี้ เพื่อจะได้มีหม้อแปลงที่มีประสิทธิภาพสูงยิ่งขึ้นไปเรื่อยๆ นำไปสู่การประหยัดและลดการสูญเสียพลังงานมากขึ้น

เอกสารอ้างอิง

- [1] รศ.ดร.วีระเชษฐ ชันเงิน, วุฒิพล ชาราธิรเศรษฐ์, 2547, อิเล็กทรอนิกส์กำลัง, ห้างหุ้นส่วนจำกัด วิเจ พรีนติ้ง พิมพ์ครั้งที่ 1 สืบค้นเมื่อ ตุลาคม 2554
- [2] สุวัฒน์ คั่น, 2537, เทคนิคและการออกแบบสวิตชิงเพาเวอร์ซัพพลาย, บริษัท เอนเทล ไทย จำกัด พิมพ์ครั้งที่ 1, สืบค้นเมื่อ ตุลาคม 2554.
- [3] นพพล หมุ่มมาก, “ตัวอับประจุแบตเตอรี่แบบพกพาสำหรับยานยนต์ขนาดเล็กสองล้อ”, ปรียญณานิพนธ์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร ปีการศึกษา 2552.
- [4] <http://wenku.baidu.com/view/87b9043283c4bb4cf7ecd11c.html>, สืบค้นเมื่อ เมษายน 2554
- [5] <http://wenku.baidu.com/view/8f369dd133d4b14e852468c4.html>, สืบค้นเมื่อ เมษายน 2554
- [6] <http://ecee.colorado.edu/~ecen4517/materials/flyback.pdf>, สืบค้นเมื่อ ตุลาคม 2554
- [7] <http://www.irf.com/technical-info/appnotes/an-1024.pdf>, สืบค้นเมื่อ ตุลาคม 2554
- [8] <http://wenku.baidu.com/view/b33c820d6c85ec3a87c2c50b.html>, สืบค้นเมื่อ ตุลาคม 2554
- [9] <http://www.ti.com/lit/ml/slup127/slup127.pdf>, สืบค้นเมื่อ ตุลาคม 2554
- [10] <http://www.stable.co.th/index.php?lay=show&ac=article&Id=539185370&Ntype=17>, สืบค้นเมื่อ ตุลาคม 2554



1) สวิตช์

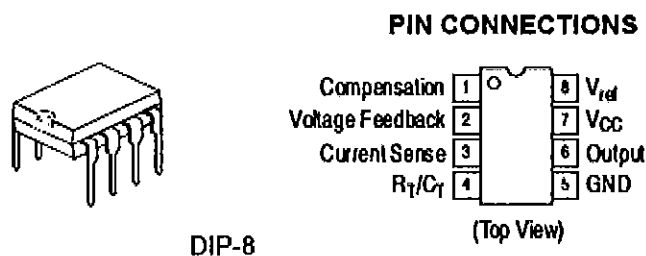
เนื่องจากคอนเวอร์เตอร์แบบฟลายแบคนั้นคือวงจรแปลงไฟตรงที่ใช้งานกับความถี่สวิตชิง ในโครงการเลือกใช้ความถี่อยู่ในช่วง 50 - 500 กิโลเฮิร์ตซ์ จึงเลือกใช้มอสเฟตแทนการใช้ทรานซิสเตอร์ เพราะมอสเฟตเหมาะกับการใช้งานที่ความถี่สวิตชิงสูงเมื่อเทียบกับสวิตช์กำลังชนิดอื่น และในที่นี้เลือกใช้มอสเฟต หมายเลข FQP7N80 ซึ่งทนกระแสได้ 6.6 แอมป์ และทนแรงดันได้ 800 โวลต์ N - Channel ตัวถังเป็นแบบ TO - 220



รูปที่ ก.1 ลักษณะมอสเฟตและขาต่างๆ [3]

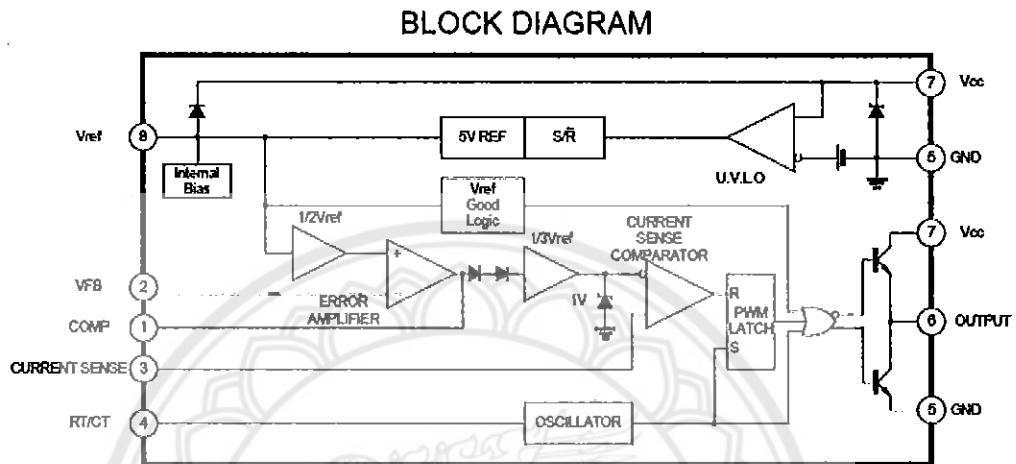
2) วงจรสร้างสัญญาณควบคุมสวิตช์

ในโครงการนี้ สวิตช์จะถูกควบคุมด้วยสัญญาณที่สร้างมาจากไอซี (Integrated Circuit, IC) หมายเลข UC3844 (ดูรูปที่ ก.1) ซึ่งใช้งานง่าย และเป็นไอซีที่ใช้ควบคุมในโหมดกระแสด้วย และมีข้อดีคือ ใช้กระแสเริ่มต้นต่ำ 0.5 มิลลิแอมป์ และสามารถทำงานที่ความถี่สูงถึง 500 กิโลเฮิร์ตซ์ ต้องการไฟเลี้ยง 16 โวลต์ มีค่าควิตซ์ไชเคิลสูงสุด 50% เหมาะสำหรับใช้งานในโหมดกระแสไม่ต่อเนื่อง



รูปที่ ก.2 ลักษณะไอซีและขาต่างๆ ของ UC3844 [3]

หลักการทํางานของ UC3844 แสดงได้ดังรูปที่ ก.2 โดยจะรับแรงคําน้ด้านเข้าทางขาที่ 7 และรับค่าแรงคําน้อ้างอิง 5 โวลต์ ทางขาที่ 8 และมีการต่อสายคินออกทางขาที่ 5 ภายในไอซีจะมี วงจรการมอดูเลตความกว้างพัลส์ (Pulse - width modulation, PWM) เพื่อรับสัญญาณต่างๆ มา ประมวลผลแล้วสร้างเป็นสัญญาณพัลส์ก่อนที่จะส่งสัญญาณออกทางขาที่ 6 เพื่อใช้ในการควบคุม มอสเฟต

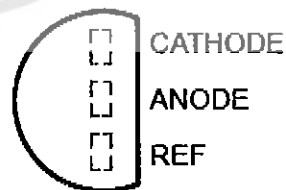


รูปที่ ก.3 วงจรภายในของไอซี UC3844 [3]

3) อุปกรณ์ที่ใช้วงจรควบคุมแรงคําน้และกระแส

ในครงงานนี้เลือกใช้ไอซีเบอร์ TL431 เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ควบคุมแรงคําน้และกระแส ตัวค้เป็นแบบ TO - 92 ซึ่งจะประกอบด้วยขาทั้งหมด 3 ขา ค้ือ ขาแอนโอด ขาแคโทด และขาอ้างอิง

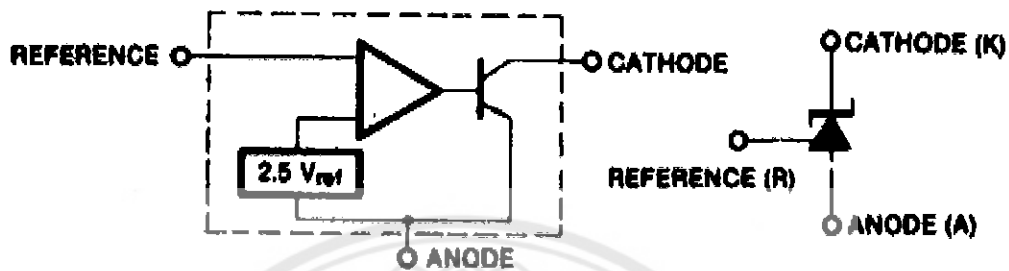
TO-92



1. Ref 2. Anode 3. Cathode

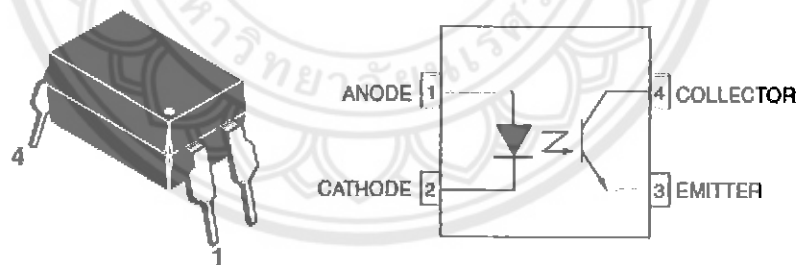
รูปที่ ก.4 ลักษณะไอซีและขาต่างๆ ของ TL431 [3]

ลักษณะการทำงานคล้ายกับซีเนอร์ไดโอด แต่แตกต่างกันตรงที่ TL431 จะทำงานเมื่อได้รับแรงดัน 2.5 โวลต์ป้อนเข้าที่ขาอ้างอิง เมื่อมีแรงดันป้อนเข้าที่ขาอ้างอิงถึง 2.5 โวลต์ จะทำให้กระแสสามารถไหลจากขั้วแคโทดไปแอโนดได้ จากการทำงานดังกล่าวจึงสามารถนำมาประยุกต์ใช้ในส่วนของการควบคุมแรงดันและกระแสได้



รูปที่ ก.5 วงจรภายในและสัญลักษณ์ของ TL431 [3]

4) อุปกรณ์ที่ใช้ในการส่งสัญญาณระหว่างอินพุตและเอาต์พุต
 อุปกรณ์ที่ใช้ในการส่งสัญญาณระหว่างอินพุตและเอาต์พุต มีหน้าที่ทำให้เกิดการแยกกันทางไฟฟ้า (Isolated) เพื่อความปลอดภัยของผู้ใช้งาน ในโครงการนี้เลือกใช้ไอซี FOD817

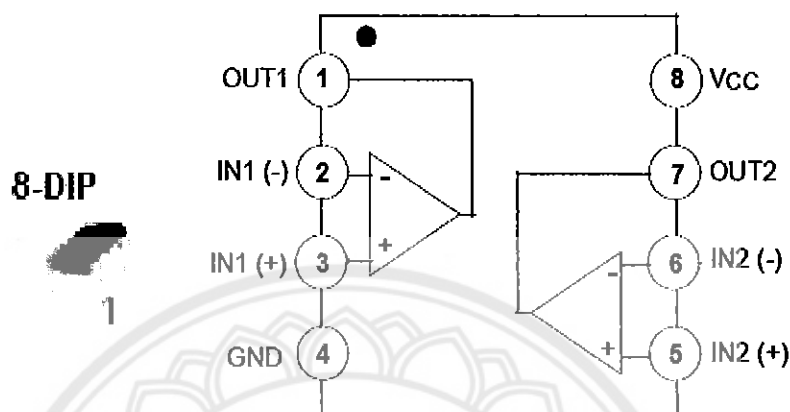


รูปที่ ก.6 ลักษณะไอซีและวงจรภายในของ FOD817 [3]

ไอซี FOD817 ประกอบด้วยขาทั้งหมด 4 ขา ภายในของ FOD817 จะประกอบไปด้วยโฟโตทรานซิสเตอร์และไดโอดเปล่งแสง มีหลักการทำงานคือ โฟโตทรานซิสเตอร์จะนำกระแสมาขึ้นขึ้นอยู่กับความเข้มแสงที่ถูกปล่อยออกมาจากไดโอดเปล่งแสง ส่วนแสงที่ถูกปล่อยออกมาจากไดโอดเปล่งแสงจะขึ้นอยู่กับปริมาณกระแสที่ไหลผ่านไดโอดเปล่งแสง ถ้ามีกระแสไหลผ่านไดโอดเปล่งแสงมากจะทำให้โฟโตทรานซิสเตอร์นำกระแสตามไปด้วย

5) อุปกรณ์ที่ใช้ในการขยายสัญญาณ

เนื่องจากวงจรควบคุมกระแสใช้ตัวต้านทาน (R Sense) ที่มีความต้านทานต่ำมาก ทำให้สัญญาณที่ส่งมาเพื่อควบคุม TL431 มีค่าน้อยมาก ดังนั้นเพื่อการขยายสัญญาณให้ได้ตามที่ต้องการ จึงใช้ออปแอมป์ (Operational Amplifier) เพื่อขยายสัญญาณ ซึ่งออปแอมป์ที่เลือกใช้คือ LM358

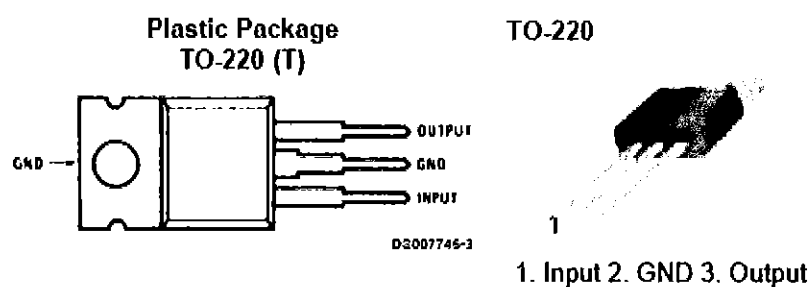


รูปที่ ก.7 ลักษณะ ไอซีและวงจรภายในของ LM358 [3]

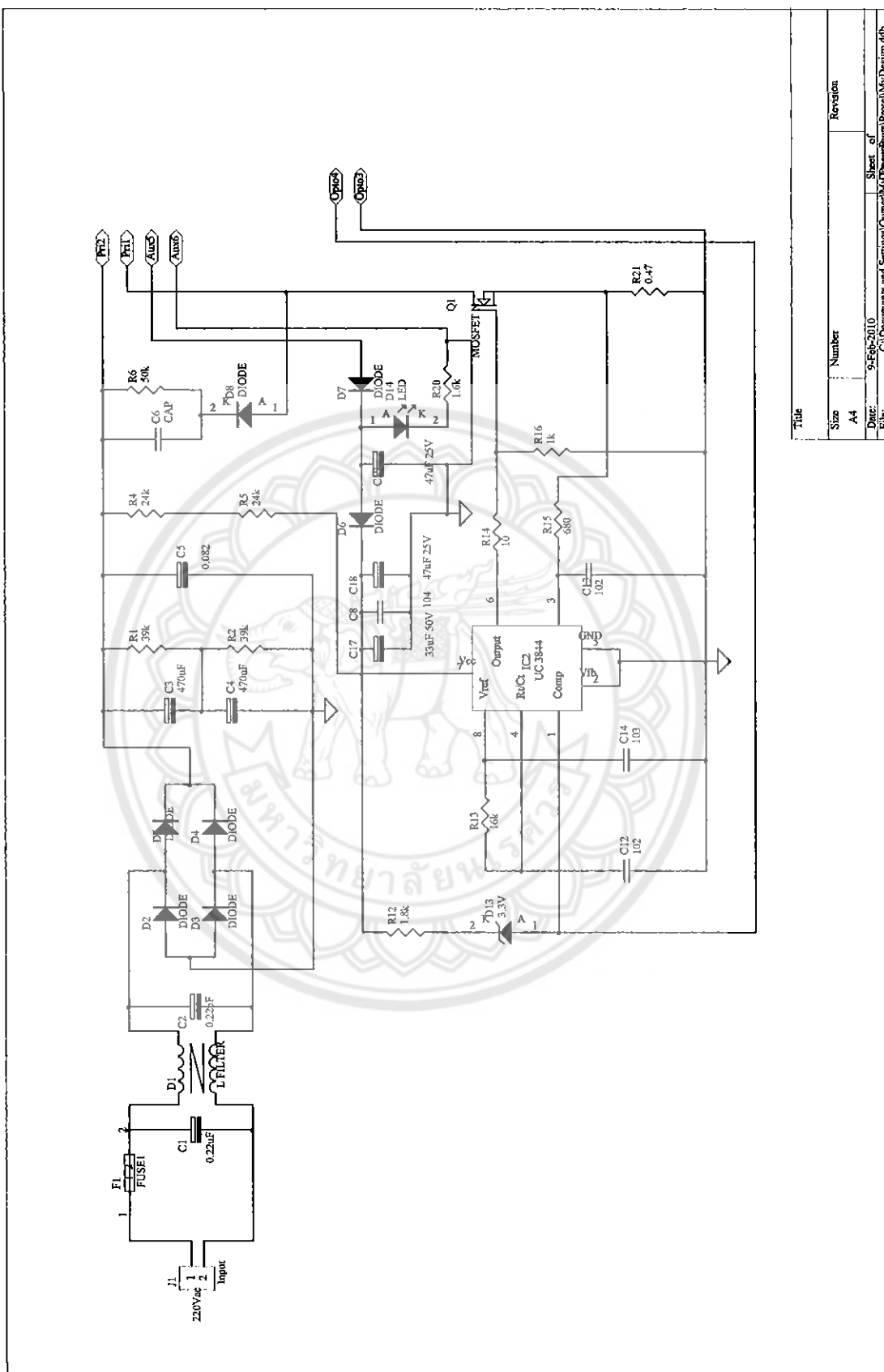
ออปแอมป์เบอร์ LM358 เป็นออปแอมป์ที่สามารถใช้ไฟเลี้ยงได้ตั้งแต่ 3 - 32 โวลต์ ซึ่งเป็นออปแอมป์ที่ใช้ไฟเลี้ยงเป็นไฟบวกเพียงอย่างเดียวเท่านั้น ภายในประกอบด้วยออปแอมป์จำนวนสองชุด ขาอินพุตสามารถรับค่าแรงดันได้ตั้งแต่ 0.3 - 32 โวลต์

6) อุปกรณ์ที่ใช้ในการเรกกูเลทแรงดัน (Voltage Regulator)

เนื่องจากต้องการไฟเลี้ยง ไปจ่ายให้ออปแอมป์ 15 โวลต์ จึงต้องมีการเรกกูเลทแรงดันเพื่อนำมาใช้เป็นไฟเลี้ยงออปแอมป์ ดังนั้นจึงเลือกใช้ไอซี 7815 ตัวถังแบบ TO - 220 ซึ่งเป็นไอซีที่ใช้งานง่าย สามารถเรกกูเลทจากแรงดันอินพุตในช่วง 17.7 - 35 โวลต์และสามารถจ่ายกระแสได้สูงสุด 1 แอมป์ ให้เอาต์พุตออกมา 15 โวลต์ ไอซีประกอบด้วยขาทั้ง 3 ขา ได้แก่ อินพุต เอาต์พุต และกราวด์

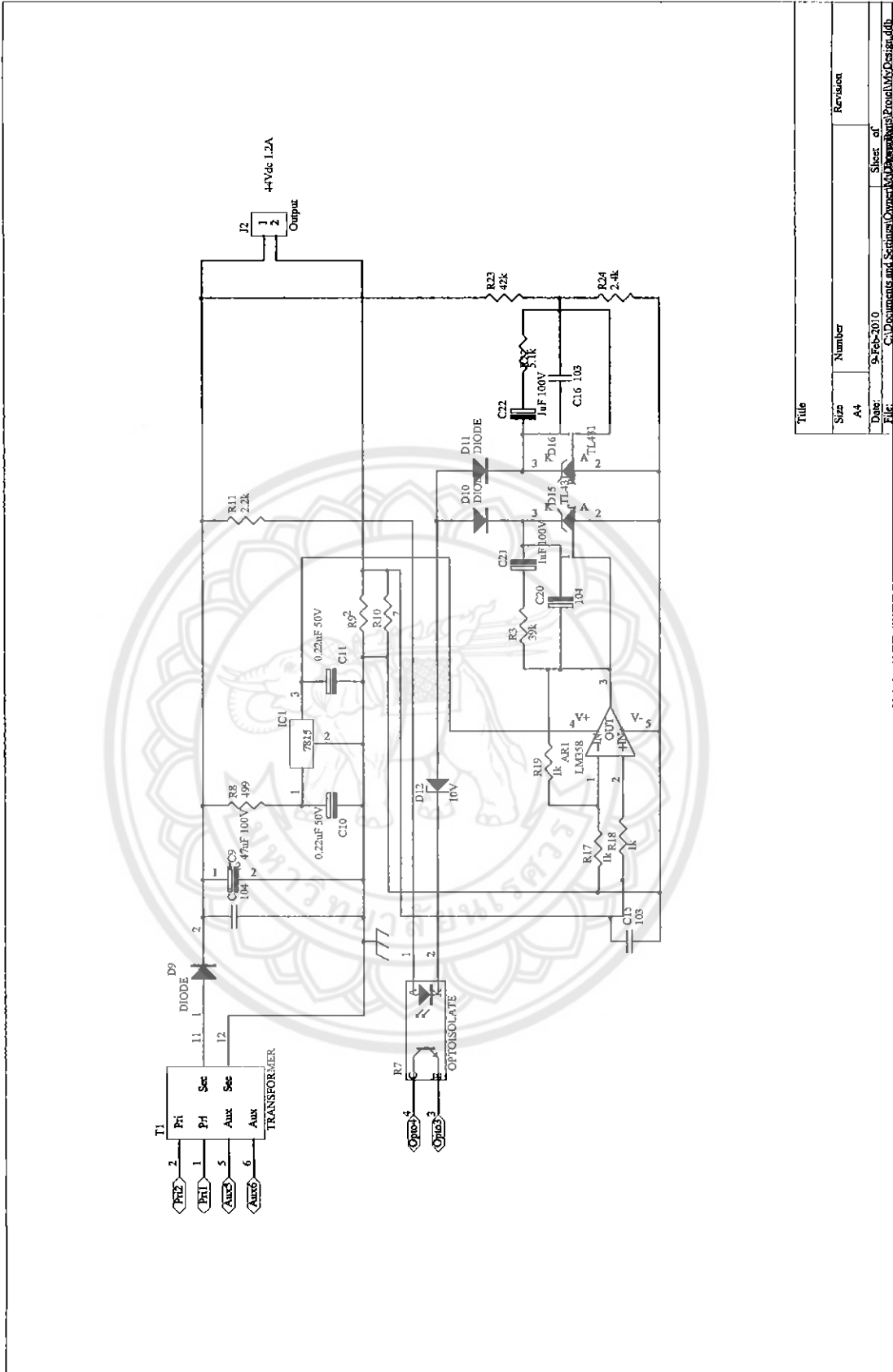


รูปที่ ก.8 ลักษณะ ไอซีและขาต่างๆ ของ 7815 [3]



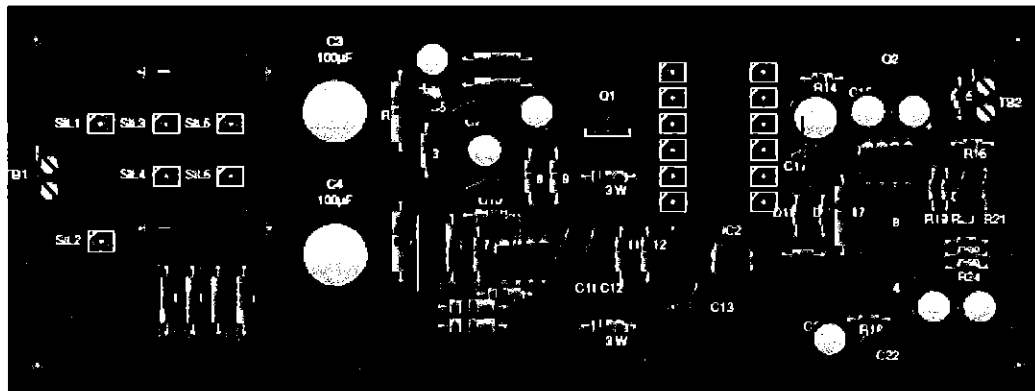
รูปที่ ก.10 วงจรอัตรประจุตัวอินพุต [3]

Title		Revision	
Size	A4	Number	
Date	9-Feb-2010	Sheet of	
File	C:\Documents and Settings\Chantana\Documents\Engineering\Project\Nov\Design.dtb		

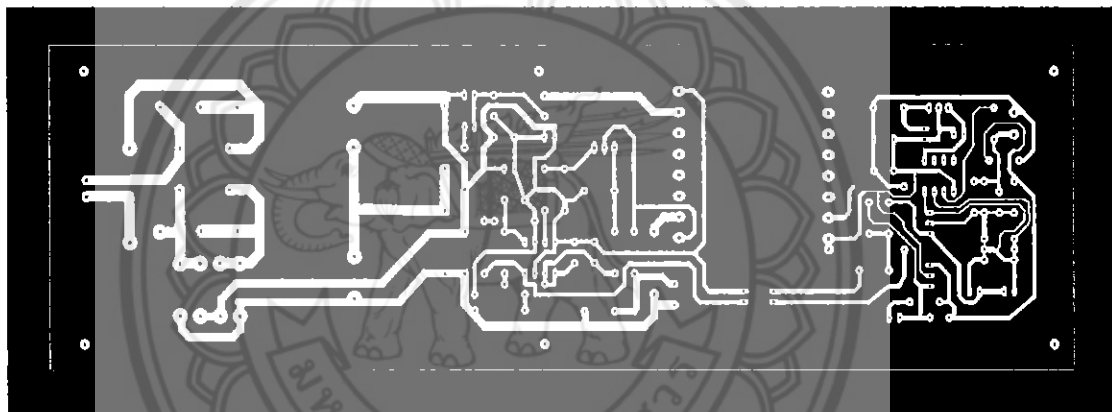


Title	
Size	Number
A4	
Date	Revision
9-Feb-2010	
Sheet of	
C:\Documents and Settings\Conner\My Documents\Project\WV\Design\406	
File	

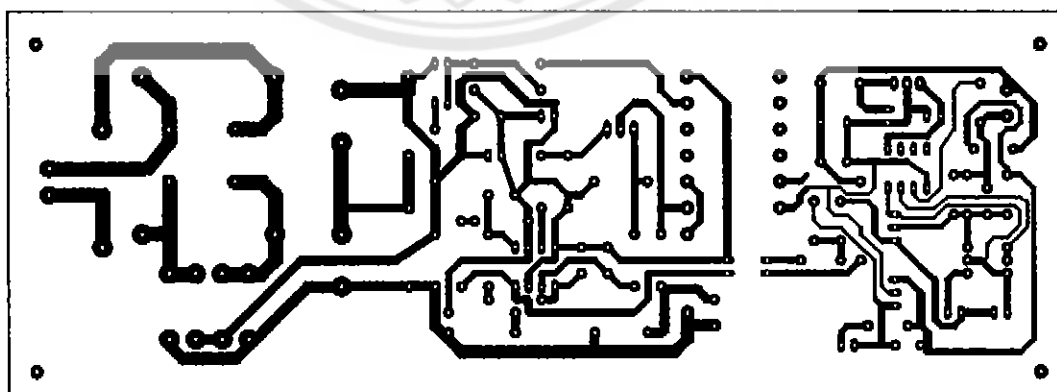
รูปที่ ก.11 วงจรอัดประจุส่วนเอาต์พุต [3]



ก) แผงวงจรอัดประจุฟลายแบค



ข) ลายพิมพ์แผงวงจรอัดประจุ



ค) ลายพิมพ์แผงวงจรอัดประจุ

รูปที่ ก.12 ลายพิมพ์แผงวงจรอัดประจุ



ภาคผนวก ค

รายละเอียดของมอสเฟต FQP7N80 ในวงจรอัดประจุ

UC3842/UC3843/UC3844/UC3845

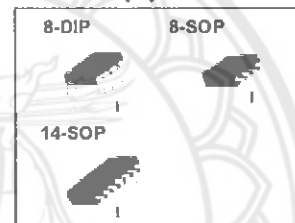
SMPS Controller

Features

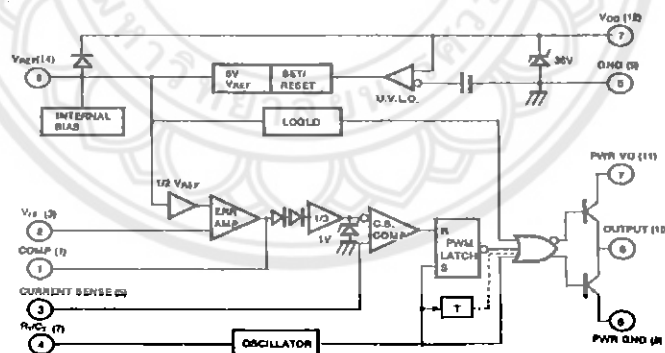
- Low Start up Current
- Maximum Duty Clamp
- UVLO With Hysteresis
- Operating Frequency up to 500KHz

Description

The UC3842/UC3843/UC3844/UC3845 are fixed frequency current-mode PWM controller. They are specially designed for Off-Line and DC to DC converter applications with minimum external components. These integrated circuits feature a trimmed oscillator for precise duty cycle control, a temperature compensated reference, high gain error amplifier, current sensing comparator and a high current totempole output for driving a Power MOSFET. The UC3842 and UC3844 have UVLO thresholds of 16V (on) and 10V (off). The UC3843 and UC3845 are 8.5V (on) and 7.9V (off). The UC3842 and UC3843 can operate within 100% duty cycle. The UC3844 and UC3845 can operate with 50% duty cycle.



Internal Block Diagram



- NORMALLY 8DIP/8SOP PIN NO.
- () IS 14SOP PINNO.
- TOGGLE FLIP FLOP USED ONLY IN UC3844, UC3845

UC3842/UC3843/UC3844/UC3845

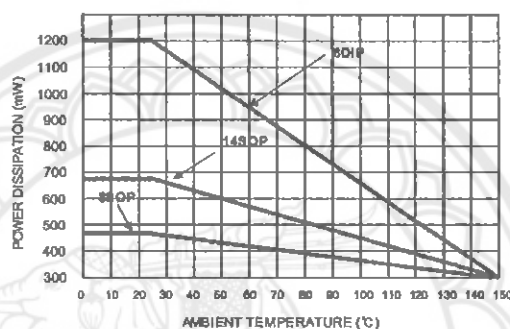
Absolute Maximum Ratings

Parameter	Symbol	Value	Unit
Supply Voltage	VCC	30	V
Output Current	IO	±1	A
Analog Inputs (Pin 2,3)	V(ANA)	-0.3 to 6.3	V
Error Amp Output Sink Current	ISINK (E.A)	10	mA
Power Dissipation at TA≤25°C (8DIP)	PD(Note 1,2)	1200	mW
Power Dissipation at TA≤25°C (8SOP)	PD(Note 1,2)	460	mW
Power Dissipation at TA≤25°C (14SOP)	PD(Note 1,2)	680	mW
Storage Temperature Range	TSTG	-65 ~ +150	°C
Lead Temperature (Soldering, 10sec)	TLEAD	+300	°C

Note:

1. Board Thickness 1.6mm, Board Dimension 76.2mm x114.3mm, (Reference EIA / JSED51-3, 51-7)
2. Do not exceed PD and SOA (Safe Operation Area)

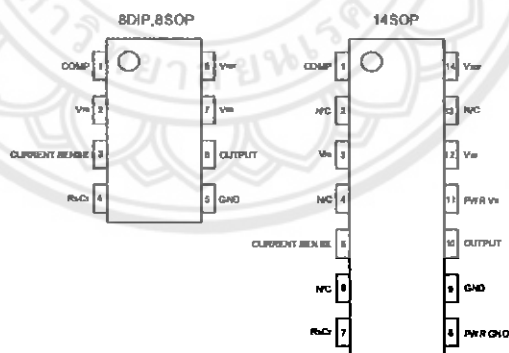
Power Dissipation Curve



Thermal Data

Characteristic	Symbol	8-DIP	8-SOP	14-SOP	Unit
Thermal Resistance Junction-ambient	Rthj-amb(MAX)	100	265	180	°C/W

Pin Array



Electrical Characteristics

($V_{CC}=15V$, $R_T=10k\Omega$, $C_T=3.3nF$, $T_A=0^\circ C$ to $+70^\circ C$, unless otherwise specified)

Parameter	Symbol	Conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit
REFERENCE SECTION						
Reference Output Voltage	V_{REF}	$T_J = 25^\circ C$, $I_{REF} = 1mA$	4.90	5.00	5.10	V
Line Regulation	ΔV_{REF}	$12V \leq V_{CC} \leq 25V$	-	6	20	mV
Load Regulation	ΔV_{REF}	$1mA \leq I_{REF} \leq 20mA$	-	8	25	mV
Short Circuit Output Current	I_{SC}	$T_A = 25^\circ C$	-	-100	-180	mA
OSCILLATOR SECTION						
Oscillation Frequency	f	$T_J = 25^\circ C$	47	52	57	kHz
Frequency Change with Voltage	$\Delta f/\Delta V_{CC}$	$12V \leq V_{CC} \leq 25V$	-	0.05	1	%
Oscillator Amplitude	V_{OSC}	-	-	1.6	-	V _{P-P}
ERROR AMPLIFIER SECTION						
Input Bias Current	I_{BIAS}	-	-	-0.1	-2	μA
Input Voltage	$V_{I(E>A)}$	$V_{pin1} = 2.5V$	2.42	2.50	2.58	V
Open Loop Voltage Gain	G_{VO}	$2V \leq V_O \leq 4V$ (Note3)	65	90	-	dB
Power Supply Rejection Ratio	PSRR	$12V \leq V_{CC} \leq 25V$ (Note3)	60	70	-	dB
Output Sink Current	I_{SINK}	$V_{pin2} = 2.7V$, $V_{pin1} = 1.1V$	2	7	-	mA
Output Source Current	I_{SOURCE}	$V_{pin2} = 2.3V$, $V_{pin1} = 5V$	-0.6	-1.0	-	mA
High Output Voltage	V_{OH}	$V_{pin2} = 2.3V$, $R_L = 15k\Omega$ to GND	5	6	-	V
Low Output Voltage	V_{OL}	$V_{pin2} = 2.7V$, $R_L = 15k\Omega$ to Pin 8	-	0.8	1.1	V
CURRENT SENSE SECTION						
Gain	G_V	(Note 1 & 2)	2.85	3	3.15	V/V
Maximum Input Signal	$V_{I(MAX)}$	$V_{pin1} = 5V$ (Note 1)	0.9	1	1.1	V
Power Supply Rejection Ratio	PSRR	$12V \leq V_{CC} \leq 25V$ (Note 1,3)	-	70	-	dB
Input Bias Current	I_{BIAS}	-	-	-3	-10	μA
OUTPUT SECTION						
Low Output Voltage	V_{OL}	$I_{SINK} = 20mA$	-	0.08	0.4	V
		$I_{SINK} = 200mA$	-	1.4	2.2	V
High Output Voltage	V_{OH}	$I_{SOURCE} = 20mA$	13	13.5	-	V
		$I_{SOURCE} = 200mA$	12	13.0	-	V
Rise Time	t_R	$T_J = 25^\circ C$, $C_L = 1nF$ (Note 3)	-	45	150	ns
Fall Time	t_F	$T_J = 25^\circ C$, $C_L = 1nF$ (Note 3)	-	35	150	ns
UNDER-VOLTAGE LOCKOUT SECTION						
Start Threshold	$V_{TH(ST)}$	UC3842/UC3844	14.5	16.0	17.5	V
		UC3843/UC3845	7.8	8.4	9.0	V
Min. Operating Voltage (After Turn On)	$V_{OPR(MIN)}$	UC3842/UC3844	8.5	10.0	11.5	V
		UC3843/UC3844	7.0	7.6	8.2	V

UC3842/UC3843/UC3844/UC3845

Electrical Characteristics (Continued)(V_{CC}=15V, R_T=10kΩ, C_T=3.3nF, T_A= 0°C to +70°C, unless otherwise specified)

Parameter	Symbol	Conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit
PWM SECTION						
Max. Duty Cycle	D(Max)	UC3842/UC3843	95	97	100	%
	D(Max)	UC3844/UC3845	47	48	50	%
Min. Duty Cycle	D(MIN)	-	-	-	0	%
TOTAL STANDBY CURRENT						
Start-Up Current	I _{ST}	-	-	0.45	1	mA
Operating Supply Current	I _{CC(OPR)}	V _{pin3} =V _{pin2} =ON	-	14	17	mA
Zener Voltage	V _Z	I _{CC} = 25mA	30	38	-	V

Adjust V_{CC} above the start threshold before setting at 15V**Note:**

- Parameter measured at trip point of latch
- Gain defined as:

$$A = \frac{\Delta V_{pin1}}{\Delta V_{pin3}}, 0 \leq V_{pin3} \leq 0.8V$$

- These parameters, although guaranteed, are not 100 tested in production.

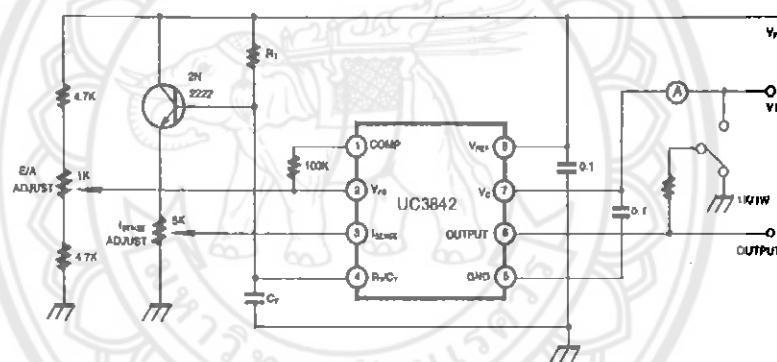


Figure 1. Open Loop Test Circuit

High peak currents associated with capacitive loads necessitate careful grounding techniques. Timing and bypass capacitors should be connected close to pin 5 in a single point ground. The transistor and 5kΩ potentiometer are used to sample the oscillator waveform and apply an adjustable ramp to pin 3.



ภาคผนวก ข

รายละเอียดของไอซี UC3844 ในวงจรอัดประจุ

FAIRCHILD
SEMICONDUCTOR®

QFET™

FQP7N80C/FQPF7N80C

800V N-Channel MOSFET

General Description

These N-Channel enhancement mode power field effect transistors are produced using Fairchild's proprietary, planar stripe, DMOS technology.

This advanced technology has been especially tailored to minimize on-state resistance, provide superior switching performance, and withstand high energy pulse in the avalanche and commutation mode. These devices are well suited for high efficiency switch mode power supplies.

Features

- 6.6A, 800V, $R_{DS(on)} = 1.9\Omega @ V_{GS} = 10V$
- Low gate charge (typical 27 nC)
- Low C_{rss} (typical 10 pF)
- Fast switching
- 100% avalanche tested
- Improved dv/dt capability



Absolute Maximum Ratings $T_C = 25^\circ\text{C}$ unless otherwise noted

Symbol	Parameter	FQP7N80C	FQPF7N80C	Units
V_{DSS}	Drain-Source Voltage	800		V
I_D	Drain Current	- Continuous ($T_C = 25^\circ\text{C}$)	8.6	8.6 *
		- Continuous ($T_C = 100^\circ\text{C}$)	4.2	4.2 *
I_{DM}	Drain Current - Pulsed (Note 1)	28.4	28.4 *	A
V_{GSS}	Gate-Source Voltage	± 30		V
E_{AS}	Single Pulsed Avalanche Energy (Note 2)	580		mJ
I_{AR}	Avalanche Current (Note 1)	6.8		A
E_{AR}	Repetitive Avalanche Energy (Note 1)	16.7		mJ
dv/dt	Peak Diode Recovery dv/dt (Note 3)	4.5		V/ns
P_D	Power Dissipation ($T_C = 25^\circ\text{C}$) - Derate above 25°C	167	56	W
		1.33	0.44	W/ $^\circ\text{C}$
T_J, T_{STG}	Operating and Storage Temperature Range	-55 to +150		$^\circ\text{C}$
T_L	Maximum lead temperature for soldering purposes, 1/8" from case for 5 seconds	300		$^\circ\text{C}$

* Drain current limited by maximum junction temperature.

Thermal Characteristics

Symbol	Parameter	FQP7N80C	FQPF7N80C	Units
$R_{\theta JC}$	Thermal Resistance, Junction-to-Case	0.75	2.25	$^\circ\text{C}/\text{W}$
$R_{\theta JS}$	Thermal Resistance, Case-to-Sink Typ.	0.5	--	$^\circ\text{C}/\text{W}$
$R_{\theta JA}$	Thermal Resistance, Junction-to-Ambient	62.5	62.5	$^\circ\text{C}/\text{W}$

Electrical CharacteristicsT_C = 25°C unless otherwise noted

Symbol	Parameter	Test Conditions	Min	Typ	Max	Units
Off Characteristics						
BV _{DSS}	Drain-Source Breakdown Voltage	V _{GS} = 0 V, I _D = 250 μA	800	--	--	V
ΔBV _{DSS} / ΔT _J	Breakdown Voltage Temperature Coefficient	I _D = 250 μA, Referenced to 25°C	--	0.93	--	V/°C
I _{DSS}	Zero Gate Voltage Drain Current	V _{DS} = 800 V, V _{GS} = 0 V	--	--	10	μA
		V _{DS} = 640 V, T _C = 125°C	--	--	100	μA
I _{GSSF}	Gate-Body Leakage Current, Forward	V _{GS} = 30 V, V _{DS} = 0 V	--	--	100	nA
I _{GSSR}	Gate-Body Leakage Current, Reverse	V _{GS} = -30 V, V _{DS} = 0 V	--	--	-100	nA
On Characteristics						
V _{GS(th)}	Gate Threshold Voltage	V _{DS} = V _{GS} , I _D = 250 μA	3.0	--	5.0	V
R _{DS(on)}	Static Drain-Source On-Resistance	V _{GS} = 10 V, I _D = 3.3 A	--	1.57	1.9	Ω
g _{FS}	Forward Transconductance	V _{DS} = 50 V, I _D = 3.3 A (Note 4)	--	5.5	--	S
Dynamic Characteristics						
C _{iss}	Input Capacitance	V _{DS} = 25 V, V _{GS} = 0 V,	--	1290	1680	pF
C _{oss}	Output Capacitance	f = 1.0 MHz	--	120	165	pF
C _{rss}	Reverse Transfer Capacitance		--	10	13	pF
Switching Characteristics						
t _{d(on)}	Turn-On Delay Time	V _{DD} = 400 V, I _D = 6.6 A, R _G = 25 Ω	--	35	80	ns
t _r	Turn-On Rise Time		--	100	210	ns
t _{d(off)}	Turn-Off Delay Time	(Note 4, 5)	--	50	110	ns
t _f	Turn-Off Fall Time		--	60	130	ns
Q _g	Total Gate Charge	V _{DS} = 640 V, I _D = 6.6 A,	--	27	35	nC
Q _{gs}	Gate-Source Charge	V _{GS} = 10 V	--	8.2	--	nC
Q _{gd}	Gate-Drain Charge	(Note 4, 5)	--	11	--	nC
Drain-Source Diode Characteristics and Maximum Ratings						
I _S	Maximum Continuous Drain-Source Diode Forward Current		--	--	6.6	A
I _{SM}	Maximum Pulsed Drain-Source Diode Forward Current		--	--	26.4	A
V _{SD}	Drain-Source Diode Forward Voltage	V _{GS} = 0 V, I _S = 6.6 A	--	--	1.4	V
t _{rr}	Reverse Recovery Time	V _{GS} = 0 V, I _S = 6.6 A,	--	650	--	ns
Q _{rr}	Reverse Recovery Charge	di _F / dt = 100 A/μs (Note 4)	--	7.0	--	μC

Notes:

1. Repetitive Rating: Pulse width limited by maximum junction temperature
2. L = 25mH, I_{GS} = 6.6A, V_{DD} = 50V, R_G = 25 Ω, Starting T_J = 25°C
3. I_{SD} ≤ 8A, di_F / dt ≤ 200A/μs, V_{DD} ≤ 8V_{DSS}, Starting T_J = 25°C
4. Pulse Test: Pulse width ≤ 300μs, Duty cycle ≤ 2%
5. Essentially Independent of operating temperature

ประวัติผู้ดำเนินโครงการ



ชื่อ นายพรมินทร์ ตี้อคำ
ภูมิลำเนา 125 หมู่ 8 ต.ลำปางหลวง อ.เกาะคา จ.ลำปาง
ประวัติการศึกษา
– จบระดับมัธยมศึกษาจากโรงเรียนมัธยมวิทยา
– ปัจจุบันกำลังศึกษาระดับปริญญาตรี ชั้นปีที่ 4
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยรัตนนคร

E-mail: Poramin_prise@hotmail.com



ชื่อ นายอนรรักษ์ เมืองวงศ์
ภูมิลำเนา 189 หมู่ 9 ต.บ้านด้า อ.เมือง จ.พะเยา
ประวัติการศึกษา
– จบระดับมัธยมศึกษาจากโรงเรียนพะเยาประสาธน์วิทย์
– ปัจจุบันกำลังศึกษาระดับปริญญาตรี ชั้นปีที่ 4
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยรัตนนคร

E-mail: anurak.eexv@hotmail.com