เครื่องกำเนิดพลาสมา

(Plasma Generator)

นำเสนอโดย

นายภิญโญ	ปวงตา	รหัสนักศึกษา	B5007127
นายวีระวุฒิ	วงศ์วาณิชวัฒนา	รหัสนักศึกษา	B5009282

รายงานนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาวิชา 427494 และ 427499 โครงงานศึกษาวิศวกรรมโทรคมนาคม

หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม หลักสูตรปรับปรุง พ.ศ. 2546

สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ประจำภาคการศึกษาที่ 2 ปีการศึกษา 2555

โครงงาน	เครื่องกำเนิดพลาสมา (Plasma Generator)	
จัดทำโดย	นายนายภิญโญ ปวงตา	รหัสนักศึกษา B5007127
	นายวีระวุฒิ วงศ์วาณิชวัฒนา	รหัสนักศึกษา B5026319
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชาญชัย	ทองโสภา
สาขาวิชา	วิศวกรรมโทรคมนาคม	
ภาคการศึกษาที่	2/2555	

บทคัดย่อ
(Abstract)

โครงงานนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาและประยุกต์การทำงานของวงจรทางอิเล็กทรอนิกส์ต่างๆอันได้แก่ วงจร Half-Bridge Converter , วงจรทวีแรงดันไฟฟ้า , วงจรเรียง-กระแสไฟฟ้า และนอกจากนี้ยังได้ศึกษา การสร้างหม้อแปลงไฟฟ้าชนิดแปลงแรงดันขึ้น(Step-Up transformer) เพื่อศึกษาปรากฏการณ์การกำเนิดพลาสมาจาก วงจร Half-Bridge Converter ซึ่งเป็นวงจรที่สร้างสัญญาณพัลส์ ที่ขนาดความถี่ 50 KHZ. และค่าแรงดันขาออกอยู่ที่ประมาณ 1500 V. และผ่านวงจร-ทวีแรงดันไฟฟ้า เพื่อทำให้แรงดันไฟฟ้าเพิ่มสูงขึ้นประมาณ 10 เท่า จากนั้นจึงทำการอาร์คโดยการนำขั้วไฟฟ้าบวกและขั้วไฟฟ้าลบมาตั้งห่างกันเป็นระยะประมาณ 5 มิลลิเมตร เพื่อทำให้เกิดการอาร์คพลาสมาเกิดขึ้น

กิตติกรรมประกาศ

(Acknowledgement)

โครงงานเครื่องกำเนิดพลาสมา ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี ผู้ทำโครงงานขอกราบขอบพระคุณ ผ.ศ.ดร.ชาญชัย ทองโสภา อาจารย์ที่ปรึกษาโครงงานที่กรุณาให้คำปรึกษา ชี้แนะ และให้การช่วยเหลือในการศึกษาโครงงานอย่างดีตลอดมา รวมถึงให้คำแนะนำในการเขียนและตรวจแก้โครงงานจนเสร็จสมบูรณ์

ขอขอบคุณนายอภิสิทธิ์ พุทธศรี และ เจ้าหน้าที่ประจำศูนย์เครื่องมือที่ 3 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ทุกท่านที่สละเวลาให้ความช่วยเหลือ และอำนวยความสะดวกแก่ผู้ทำโครงงาน

ข้าพเจ้าใคร่ขอขอบพระคุณผู้ที่มีส่วนเกี่ยวข้องทุกท่านที่มีส่วนร่วมในการให้ข้อมูล และเป็นที่ปรึกษาในการทำรายงานฉบับนี้จนเสร็จสมบูรณ์ ตลอดจนให้การดูแลและให้ความเข้าใจเกี่ยวกับพื้นฐานการใช้งานโปรแกรม ซึ่งข้าพเจ้าขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ ที่นี้ด้วย

นายนายภิญโญ ปวงตา

นายวีระวุฒิ วงศ์วาณิชวัฒนา

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

สารบัญ

เรื่อง	หน้า
บทคัดย่อ	ก
กิตติกรรมประกาศ	ข
สารบัญ	ค
สารบัญรูป	ฉ
สารบัญกราฟ	ฌ
สารบัญตาราง	ญ
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 บทนำ	1
1.2 วัตถุประสงค์	2
1.3 ขอบเขตการทำงาน	2
1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ	2
1.5 ขั้นตอนการดำเนินงาน	3
บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวกับพลาสมา	
2.1 ทฤษฎีพลาสมา	4
2.2 การเกิดไอออน	5
2.3 การทำให้เกิดอาร์คพลาสมา	7
2.4 สถานะของพลาสมา	10
2.5 การกระตุ้นการแตกตัวของโมเลกุลสสารด้วยสนามไฟฟ้าแรงสูง	11
2.6 สนามไฟฟ้าระหว่างขั้วอิเล็กโทรด	12
2.7 ทฤษฎีการแตกตัวของก๊าซ	13
2.8 การคำนวณพลังงานที่ใช้ในการสร้างพลาสมา	14
2.9 วงจรฮาล์ฟบริดจ์คอนเวอร์เตอร์ (Half-Bridge Converter)	17
2.9.1 การทำงานพื้นฐานของฮาล์ฟบริดจ์คอนเวอร์เตอร์	17
2.9.2 ตัวเก็บประจุเพื่อป้องกันการไม่สมมาตร ของฟลักซ์แม่เหล็ก(Blocking Capacitor)	19
2.10 คอมมิวเตติ้งไดโอด(Commutating Diode)	22

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

สารบัญ

เรื่อง หน้า

บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวกับพลาสมา(ต่อ)
2.11 ค่าเวลาเผื่อ....22
2.12 หม้อแปลงสวิตชิ่ง....23
2.12.1 แกนเฟอร์ไรต์ (Ferrite Core)....23
2.12.2 บอบบิ้น (Bobin)....23
2.13 ลวดทองแดงอาบน้ำยา (Enamelled Copper Wire)....24
2.14 เทปฉนวน (Insulation Tape)....25
2.15 แกนเฟอร์ไรต์และการเลือกใช้....25
2.16 ลักษณะสมบัติของเนื้อสารที่ใช้ทำแกนเฟอร์ไรต์....27
2.17 เส้นโค้งฮิสเตอร์รีซิส (Hysteresis Curve)....27
2.18 ค่าการสูญเสียในแกนเฟอร์ไรต์ (Core Loss)....29
2.19 การกำหนดค่าความหนาแน่นฟลักซ์แม่เหล็กสูงสุดในแกนหม้อแปลง....32
2.20 การเลือกขนาดแกนเฟอร์ไรต์ที่เหมาะสม....36
2.21 ช่องอากาศคั่นทางเดินแม่เหล็กในแกนเฟอร์ไรต์ (Air Gap)....39
2.22 ความสัมพันธ์ระหว่างขดไพรมารีและขดเซคั่นดารีของหม้อแปลงสวิตชิ่ง....40
บทที่ 3 การออกแบบเครื่องกำเนิดพลาสมา
3.1 วงจร Half-Bridge Driver Signal 50KHZ....43
3.2 วงจร Half - Bridge Converter....46
3.2.1 การออกแบบหม้อแปลงไฟฟ้าด้านไพรมารี่ (Primary Transformer Design)....48
3.2.2 การออกแบบหม้อแปลงไฟฟ้าด้านเซคั่นดารี่ (Secondary Transformer Design)....51
3.3 วงจรทวีแรงดัน (Voltage Multiplier)....55
3.3.1 วิธีการหาค่าตัวเก็บประจุในวงจรทวีแรงดัน....57
บทที่ 4 ผลการทดลอง
4.1 ผลการวัดสัญญาณเอาท์พุตของวงจร Half-Bridge Driver 50KHZ....58
4.2 ผลการวัดสัญญาณอินพุตของขดลวดหม้อแปลงด้านไพรมารี่....59
4.3 การทดลองหาแนวโน้มของค่าพลังงานพลาสมา....60

สารบัญ

เรื่อง **หน้า**

บทที่ 4 ผลการทดลอง(ต่อ)

4.4 การทดลองหาแนวโน้มของค่าความนำไฟฟ้าของพลาสมา.......................................61

4.5 รูปผลการทดลองของเครื่องกำเนิดพลาสมา…………………………………………….62

บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง

5.1 ส่วนประกอบของเครื่องกำเนิดพลาสมา..63

5.2 คุณสมบัติทั่วไปของเครื่องกำเนิดพลาสมา..63

5.3 ปัญหาที่พบจากการทำงาน...64

5.4 ผลที่ได้จากโครงงานนี้...64

5.5 วิเคราะห์ผลการทดลองและข้อดี-ข้อเสียจากเครื่องกำเนิดพลาสมา............................64

5.6 แนวทางในการพัฒนาต่อไป..65

บรรณานุกรม..66

ประวัติผู้เขียน..67

ภาคผนวก...68

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

สารบัญรูป

รายการ **หน้า**

รูปที่ 2.1 ลำดับการแยกตัวและการเกิดไอออไนซ์ของก๊าซ....4
รูปที่ 2.2 โมเลกุลของก๊าซไดอะตอมมิก เช่น ไฮโดรเจนและไนโตรเจนประกอบด้วยอะตอมสองอะตอมที่อยู่รวมกัน....5
รูปที่ 2.3 เมื่อโมเลกุลของก๊าซถูกทำให้ร้อน (Heat) โมเลกุลของก๊าซจะชนกันและแยกตัวออกเป็นอะตอมอิสระสองอะตอม....5
รูปที่ 2.4 ในอะตอมที่เป็นกลางของก๊าซจะมีประจุบวกและประจุลบจำนวนเท่ากัน....5
รูปที่ 2.5 อิเล็กตรอนที่อยู่วงนอกของอะตอมอาจถูกชนหลุดออกจากวงโคจรได้....6
รูปที่ 2.6 การเกิดสภาวะของพลาสมาก๊าซที่ถูกไอออไนซ์....6
รูปที่ 2.7 การเกิดอาร์คพลาสมาเมื่อก๊าซไฮโดรเจนผ่านการอาร์คไฟฟ้า....8
รูปที่ 2.8 การทำให้เกิดอาร์คพลาสมาโดยวิธีลัดวงจร....9
รูปที่ 2.9 สถานะต่างๆของพลาสมา....10
รูปที่ 2.10 การสร้างพลาสมาจากสนาม....11
รูปที่ 2.11 สนามไฟฟ้าที่เกิดการอาร์ค....12
รูปที่ 2.12 การไอออไนซ์เซชั่น....13
รูปที่ 2.13 แสดงวงจรพื้นฐานของฮาล์ฟบริดจ์คอนเวอร์เตอร์....17
รูปที่ 2.14 สนามไฟฟ้าที่เกิดการอาร์ค....18
รูปที่ 2.15 (ก) แสดงลักษณะของการไม่สมมาตรฟลักซ์เนื่องจาก Q_1 ใช้เวลานำกระแสมากว่า Q_2....19
รูปที่ 2.15 (ข) แสดงผลของการต่อตัวเก็บประจุบล็อคกิ้งเนื่อง C_b เข้ามาในวงจรเพื่อลดการไม่สมมาตรฟลักซ์....19
รูปที่ 2.16 แสดงลักษณะของการเกิดความลาด D_{roop} ขึ้นบนแรงดันที่ตกคร่อมขดไพรมารี่เมื่อต่อตัวเก็บประจุบล็อคกิ้ง C_b คั่นเข้ามาในวงจร....21
รูปที่ 2.17 แสดงตัวอย่างและขนาดมาตรฐานของบอบบิ้นแกนเฟอร์ไรต์แบบ EE, EC และETD…24
รูปที่ 2.18 แสดงตัวอย่างขนาดของแกนเฟอร์ไรต์แบบ EE, EI และ ETD....26

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

สารบัญรูป(ต่อ)

รายการ หน้า

รูปที่ 2.19(ก) แสดงเส้นโค้งฮิสเตอร์รีซิสของแกนเฟอร์ไรต์ที่เป็นเนื้อสารชนิด 3C8……………..28

รูปที่ 2.19(ข) แสดงเส้นโค้งฮิสเตอร์รีซิสของแกนเฟอร์ไรต์ที่เป็นเนื้อสารชนิด 3C6A………...…28

รูปที่ 2.20 แสดงลักษณะที่สมบูรณ์ของเส้นโค้งฮิสเตอร์รีซิสซึ่งจะมีลักษณะสมมาตร
ของกราฟซีกบนและซีกล่าง ปกติผู้ผลิตจะให้กราฟให้ซีกบนมาเท่านั้นดังรูปในรูปที่ 2.19……...29

รูปที่ 2.21 (ก) แสดงค่าการสูญเสียในแกนเฟอร์ไรต์ของเนื้อสารชนิด 3C8…………………....30

รูปที่ 2.21 (ข) แสดงค่าการสูญเสียในแกนเฟอร์ไรต์ของเนื้อสารชนิด 3C6A……………………..31

รูปที่ 2.22 (ก) กราฟเปรียบเทียบขนาดแกนเฟอร์ไรต์……………………………………………...33

รูปที่ 2.22 (ข) กราฟเปรียบเทียบขนาดแกนเฟอร์ไรต์……………………………………………...34

รูปที่ 2.22 (ค) กราฟเปรียบเทียบขนาดแกนเฟอร์ไรต์...35

รูปที่ 2.23 (ก) แสดงค่ากำลังงานที่เหมาะสมสำหรับแกนเฟอร์ไรต์ขนาดต่างๆ
เมื่อใช้กับฮาล์ฟบริดจ์คอนเวอร์เตอร์……………………………………………………………………37

รูปที่ 2.23 (ข) แสดงค่ากำลังงานที่เหมาะสมสำหรับแกนเฟอร์ไรต์ขนาดต่างๆ
เมื่อใช้กับฮาล์ฟบริดจ์คอนเวอร์เตอร์………………………………………………………………….....38

รูปที่ 2.24 แสดงกำหนดช่องอากาศคั่น ℓg ที่แกนกลาง (ก)..39
และการคั่นช่องอากาศ ℓg ระหว่างคู่ประกาอบของแกนเฟอร์ไรต์

รูปที่ 2.25 แสดงความสัมพันธ์พื้นฐานของหม้อแปลง…………………………………………..40

รูปที่ 3.1 แสดงวงจรเครื่องกำเนิดพลาสมา…………………………………….………………..42

รูปที่ 3.2 วงจร Half-Birdge Driver Signal 50KHZ……………………………………………....44

รูปที่ 3.3 แสดงวงจร Half-Birdge Driver Signal 50KHZ……………………………...…………..45

รูปที่ 3.4 วงจร Half - Bridge Converter…………………………………………………………...53

รูปที่ 3.5 แสดงวงจร Half – Bridge Converter…………………………………………..……....54

รูปที่ 3.6 วงจร Half – wave voltage doubler circuit……………………………………….......55

รูปที่ 3.7 การทำงานของวงจร Half wave voltage doubler circuit……………………………55

สารบัญรูป(ต่อ)

รายการ **หน้า**

รูปที่ 3.8 วงจรทวีแรงดัน 1 สเตจ (ขยายแรงดัน2เท่า)..........56
รูปที่ 3.9 แสดงวงจรทวีแรงดัน 5 สเตจ(ขยายแรงดัน10เท่า)..........56
รูปที่ 4.1 รูปแสดงการเกิดพลาสมาเมื่อยังไม่มีจ่ายกระแสไฟฟ้ามาควบคุมการเกิดพลาสมา..........62
รูปที่ 4.2 รูปแสดงการเกิดพลาสมาเมื่อมีจ่ายกระแสไฟฟ้าและแรงลมมาควบคุมการเกิดพลาสมา...62

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

สารบัญกราฟ

รายการ **หน้า**

กราฟที่ 3.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ความถี่ที่ใช้ในการสร้างวงจร และ ค่า R_T..................43

กราฟที่ 4.1 แสดง Duty Cycle ของสัญญาณเอาท์พุตที่วงจร Half-Bridge Driver 50KHZ...........58

กราฟที่ 4.2 แสดงสัญญาณและแรงดันอินพุตของขดลวดหม้อแปลงด้านไพรมารี่.....................59

กราฟที่ 4.3 แสดงความสัมพันธ์แรงดันอินพุตของตัวควบคุมการเกิดพลาสมา..............................60

กราฟที่ 4.4 แสดงความสัมพันธ์กระแสอินพุตของตัวควบคุมการเกิดพลาสมา........................61

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

สารบัญตาราง

รายการ **หน้า**

ตารางที่ 2.1 พลังงานพันธะของโมเลกุลก๊าซชนิดต่างๆ..14
ตารางที่ 3.1 แสดงตารางแกนแม่เหล็กเบอร์ต่างๆสำหรับการออกแบบหม้อแปลงไฟฟ้า………….47
ตารางที่ 3.2 แสดงเบอร์ของเส้นลวดเบอร์ต่างๆตามมาตรฐาน AWG (American Wire Gauge)….47

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

บทที่1

บทนำ

1.1 บทนำ

พลาสมาเป็นก๊าซที่นำไฟฟ้าได้และทำให้ร้อนได้เร็วมาก พลาสมาประกอบด้วย ไอออนบวก,ไอออนลบ,อะตอม และโมเลกุลที่ถูกกระตุ้นและเป็นกลาง พลาสมาเกิดจากการทำให้ก๊าซร้อนขึ้นที่อุณหภูมิ 4,000 องศาเซลเซียส ที่อุณหภูมิ ณ จุดนี้ ก๊าซจะแตกตัวและทำให้เกิดประจุไฟฟ้าขึ้น ซึ่งนอกจากพลาสมาจะมีพลังงานมหาศาลอยู่ภายในแล้ว พลาสมายังสามารถแปรสภาพเป็นตัวนำไฟฟ้าและปล่อยพลังงานความร้อนออกมาด้วยซึ่งเราสามารถใช้พลังงานความร้อนนี้ไปประยุกต์ใช้งานในรูปแบบต่างๆได้ อันได้แก่

-เทคโนโลยีการฝังกลบและระบบผลิตก๊าซชีวภาพจากหลุมฝังกลบขยะ (Landfill Gas to Energy)
-เทคโนโลยีเตาเผาขยะ (Incineration)
-เทคโนโลยีการผลิตก๊าซเชื้อเพลิงจากขยะชุมชน (Municipal Solid Waste Gasification : MSW)
-เทคโนโลยีย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจน (Anaerobic Digestion)
-เทคโนโลยีผลิตเชื้อเพลิงขยะ (Refuse Derived Fuel : RDF)
-เทคโนโลยีพลาสมาอาร์ค (Plasma Arc)

เทคโนโลยีพลาสมาอาร์ค (Plasma Arc)

เป็นเทคโนโลยีด้านพลังงานชั้นสูงที่ใช้ในการกำจัดขยะมูลฝอย ลักษณะโดยการสร้างเตาเผาระบบปิดซึ่งการเผาขยะจะมีอุณหภูมิสูงประมาณ 4,000 องศาเซลเซียสขึ้นไป และจะป้อนขยะมูลฝอยเข้าไปในเตาเผาโดยตรง อุณหภูมิสูงขนาดนี้จะสามารถแยกอะตอมของธาตุที่เป็นองค์ประกอบของขยะมูลฝอยออกได้ ทำให้ขยะมูลฝอยถูกความร้อนเผาทำลายลงหมด สามารถลดปริมาณสารไดออกซินที่ทำให้เกิดเป็นสารก่อมะเร็งจากเทคโนโลยีการเผาไหม้ขยะในปัจจุบันลงได้ ความร้อนที่ได้สามารถนำไปผลิตกระแสไฟฟ้าได้ส่วนหนึ่ง อย่างไรก็ตามระบบนี้ในปัจจุบันยังอยู่ในขั้นตอนของการศึกษาวิจัยและพัฒนาปรับปรุงเทคโนโลยีให้มีความเหมาะสม ปลอดภัยและความคุ้มทุนทางเศรษฐศาสตร์

จากปัญหาทางสิ่งแวดล้อมด้านขยะนี้เราจึงมีการศึกษาวิจัยในเรื่องของ เทคโนโลยีเรื่องพลาสมาอาร์ค (Plasma Arc) ซึ่งได้ศึกษาการเกิดปรากฏการณ์พลาสมาอาร์คจากวงจรทางอิเล็กทรอนิกส์ดังจะได้กล่าวถึงในบทถัดไป

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

1.2 วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาและค้นคว้าเกี่ยวกับการเกิดพลาสมาโดยวิธีการอาร์คทางไฟฟ้า
2. เพื่อศึกษาทำความเข้าใจหลักการการทำงานของวงจร Half-Bridge Driver
3. เพื่อศึกษาทำความเข้าใจหลักการการทำงานของวงจร Half-Bridge Converter
4. เพื่อศึกษาการสร้างหม้อแปลงสวิชชิ่งชนิดแปลงแรงดันขึ้น
5. เพื่อศึกษาทำความเข้าใจหลักการการทำงานของวงจรทวีแรงดันไฟฟ้า

1.3 ขอบเขตการทำงาน

1. ศึกษาการเกิดพลาสมาด้วยพลังงานทางไฟฟ้า
2. ศึกษาการทำงานของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ต่างๆ
3. ออกแบบวงจรของเครื่องกำเนิดพลาสมา

3.1 ออกแบบวงจร Half-Bridge Converter

3.2 ออกแบบวงจร Half-Bridge Driver

3.3 ออกแบบวงจรทวีแรงดัน

4. นำอุปกรณ์ที่ใช้งานในวงจรมาประกอบเข้าด้วยกันทั้งหมดบนแผงวงจรและทำการทดสอบเพื่อให้ได้ตามวัตถุประสงค์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

1. สามารถลดปัญหาสิ่งแวดล้อมทางด้านขยะของชุมชนได้
2. เป็นพลังงานทางเลือกอีกทางหนึ่งซึ่งจะลดการใช้เชื้อเพลิงจำพวกน้ำมันลงได้
3. สามารถนำความรู้ความเข้าใจทางทฤษฎีมาประยุกต์ใช้ในทางปฏิบัติหรือในการทำงานในอนาคตได้
4. สามารถทำงานร่วมกับผู้อื่น,วิเคราะห์งานและแก้ปัญหาอย่างเป็นระบบ
5. สามารถนำไปใช้เผาขยะติดเชื้อจากสถานพยาบาลหรือโรงพยาบาลได้ทุกแห่ง
6. สามารถนำพลังงานความร้อนที่เกิดขึ้นจากการเผาขยะติดเชื้อใช้ผลิตเป็นกระแสไฟฟ้าได้

1.5 ขั้นตอนการดำเนินงาน

1. ศึกษาการทำงานของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่จะใช้ในวงจร
2. ศึกษาทฤษฎีเกี่ยวกับการอาร์คพลาสมา
3. ศึกษาทฤษฎีที่ใช้ในการออกแบบวงจรได้แก่ วงจร Half-Bridge Converter
4. วงจร Half-Bridge Driver และวงจรทวีแรงดัน
5. ออกแบบหม้อแปลงสวิชชิ่งชนิดแปลงแรงดันขึ้นพร้อมทั้งคำนวณค่า Matching Transformer ต่างๆ
6. ออกแบบลายวงจรและทำการสร้างลายวงจรบนแผ่น PCB โดยการกัดแผ่นปริ๊นท์
7. จัดหาอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ต่างๆ ตามที่ออกแบบไว้
8. ทำการประกอบอุปกรณ์ทั้งหมดเข้าด้วยกัน
9. จ่ายไฟเลี้ยงให้แก่วงจร และทำการทดสอบการทำงานของวงจร
10. วิเคราะห์และสรุปผลการทำงานของวงจร
11. จัดทำรูปเล่มรายงาน

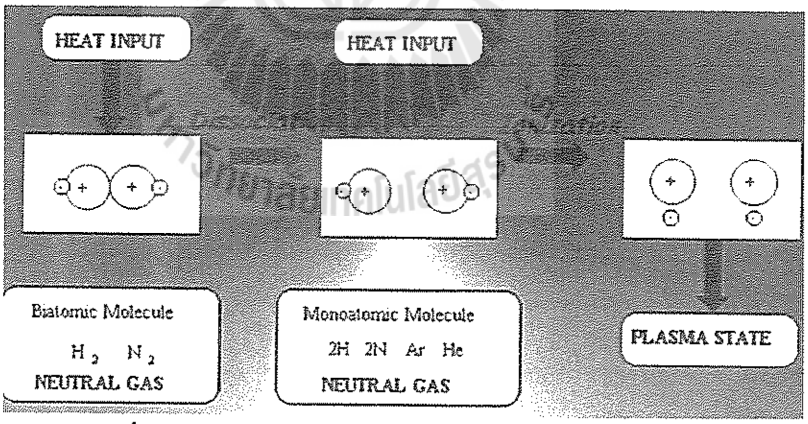
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

บทที่ 2

ทฤษฎีที่เกี่ยวกับพลาสมา

2.1 ทฤษฎีพลาสมา

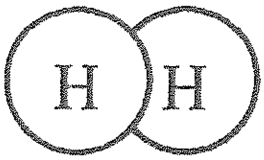
เมื่อพูดถึงพลาสมาทุกคนคงเคยได้ยินและคงนึกถึงพลาสมาที่เกี่ยวกับกลุ่มเลือดหรือไม่ก็ทีวีจอพลาสมาตามที่เคยได้ยิน ดังนั้นเพื่อความเข้าใจเบื้องต้นจึงขออธิบายเกี่ยวกับพื้นฐานและทฤษฎีการเกิดพลาสมา กล่าวคือ พลาสมา (Plasma) ที่เราเคยได้ยินกันนั้นตามหลักฟิสิกส์เราจะใช้เรียกกลุ่มก๊าซที่แตกตัวเป็นอะตอมอิสระและมีสภาพเป็นไอออน จึงถือได้ว่าเป็นสถานะที่ 4 ของสสารนอกเหนือจากสถานะที่เป็นของแข็ง ของเหลวและก๊าซ การที่พลาสมามีสภาพเป็นไอออน ดังกล่าวนี้ หมายความว่าจะมีอิเล็กตรอนอย่างน้อย 1 ตัวถูกดึงออกจากโมเลกุลเกิดเป็นประจุไฟฟ้าอิสระและทำให้พลาสมามีสภาพการนำไฟฟ้าเกิดขึ้น สถานะที่ 4 ของสสารที่กล่าวถึงนี้ มีการเอ่ยถึงครั้งแรก โดยเซอร์ วิลเลียม ครูกส์ (Sir William Crookes) เมื่อ ค.ศ. 1928 เนื่องจากเขานึกถึงพลาสมาของเลือด ซึ่งสถานะของสารโดยทั่วไปต้องต้องได้รับพลังงานหรือความร้อนที่สูงมากเพื่อที่จะเปลี่ยนเป็นสถานะนี้ได้ นั้นหมายถึงว่าการที่จะต้องใช้อุณหภูมิที่สูงมากที่จะทำให้เกิดการแตกตัวเปลี่ยนสถานะของสสารเป็นพลาสมาได้นั้นเอง ขบวนการดังกล่าวได้แสดงให้เห็นดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 ลำดับการแยกตัวและการเกิดไอออไนซ์ของก๊าซ

จากรูปที่ 2.1 จะเห็นได้ว่าโมเลกุลของก๊าซเมื่อได้รับความร้อนหรือพลังงานที่มากพอก็จะทำให้โมเลกุลของก๊าซเกิดการแยกตัวออกเป็นอะตอมที่ประกอบด้วยโปรตอนและอิเล็กตรอนที่มีจำนวนเท่าๆ กันหลังจากนั้นเมื่ออะตอมเหล่านี้ได้รับความร้อนหรือพลังงานที่มากขึ้นไปอีกก็จะทำให้อะตอมเกิดการแตกตัวเป็นไอออน ซึ่งขบวนการดังกล่าวเราเรียกว่า การเกิดไอออไนซ์ (Ionization) ของก๊าซหรือเป็นสภาวะของพลาสมานั่นเอง โดยจะอธิบายเพิ่มเติมได้ดังรูปที่ 2.6

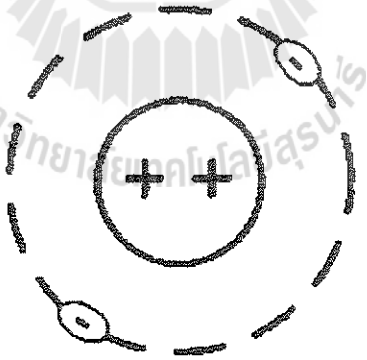
การแยกตัว (Dissociation)



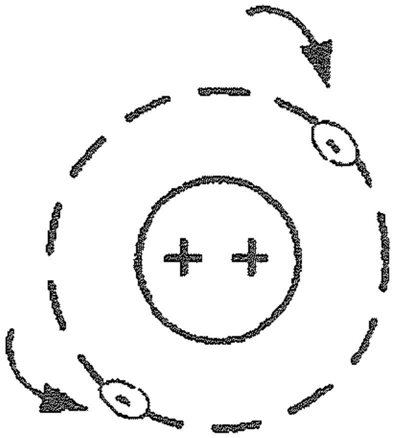
รูปที่ 2.2 โมเลกุลของก๊าซไดอะตอมมิก เช่น ไฮโดรเจนและไนโตรเจนประกอบด้วยอะตอมสองอะตอมที่อยู่รวมกัน

รูปที่ 2.3 เมื่อโมเลกุลของก๊าซถูกทำให้ร้อน (Heat) โมเลกุลของก๊าซจะชนกันและแยกตัวออกเป็นอะตอมอิสระสองอะตอม

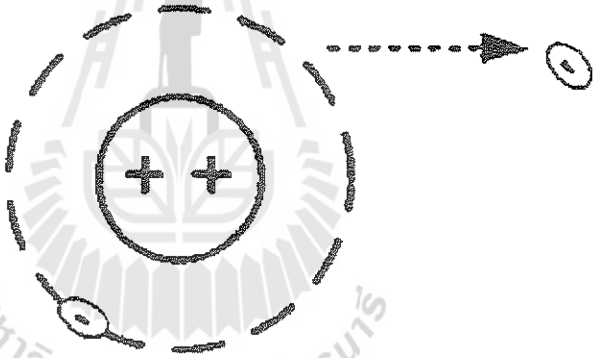
2.2 การเกิดไอออน (Ionization)



รูปที่ 2.4 ในอะตอมที่เป็นกลางของก๊าซจะมีประจุบวกและประจุลบจำนวนเท่ากัน



รูปที่ 2.5 อิเล็กตรอนที่อยู่วงนอกของอะตอมอาจถูกชนหลุดออกจากวงโคจรได้



มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

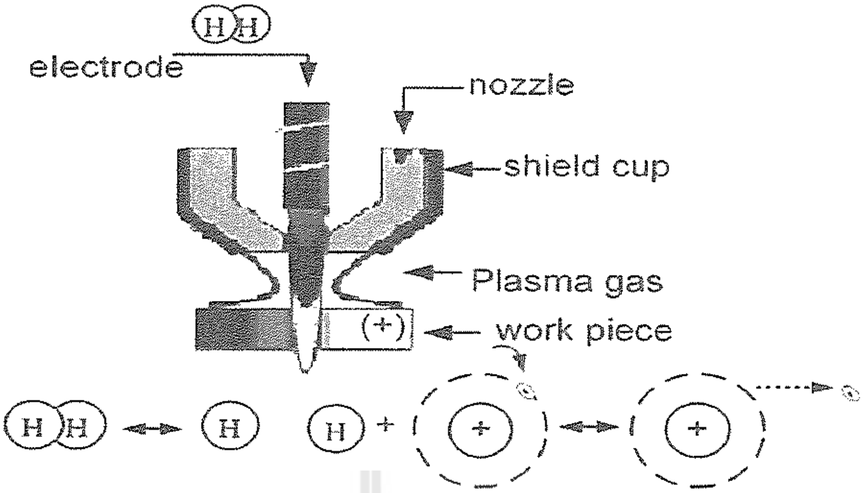
หลังจากสูญเสียอิเล็กตรอน อะตอมจะมีประจุสุทธิเป็นบวกและเป็นไอออนซึ่งจะรับพลังงานเพิ่มขึ้นไปอีกทำให้ก๊าซบางส่วนถูกไอออไนซ์ในสภาวะดังกล่าวจึงเรียกว่า "พลาสมา"(Plasma)

รูปที่ 2.6 การเกิดสภาวะของพลาสมาก๊าซที่ถูกไอออไนซ์

ดังที่ได้กล่าวไปแล้วนั้นในก๊าซที่ร้อนจัดประกอบด้วยโมเลกุล อะตอม ไอออน และอิเล็กตรอนที่เคลื่อนไหวไปมาอย่างไม่มีระเบียบ ทั้งนี้ก็มีเพราะว่าเมื่อก๊าซถูกทำให้ร้อน โมเลกุลของก๊าซจะเคลื่อนไหวได้เร็วขึ้นและมีโอกาสที่จะชนกันและแยกตัวออกเป็นอะตอมอิสระ(ดังรูปที่) ปรากฏการณ์ดังกล่าวเรียกว่าการแยกตัว (*Dissociations*) และเนื่องจากโมเลกุลของก๊าซมีความเร็วที่แตกต่างกัน ทำให้การแยกตัวขงก๊าซจะไม่เกิดที่อุณหภูมิที่แน่นอนแต่จะเกิดขึ้นในช่วงอุณหภูมิหนึ่งของก๊าซแต่ละชนิด เมื่อก๊าซมีอุณหภูมิหนึ่งที่สูงพอก็จะทำให้โมเลกุลของก๊าซมีพลังงานจลน์สูงพอที่จะทำให้เกิดการชนกันระหว่างโมเลกุลและแยกตัวออกเป็นอะตอมอิสระ หลังจากแยกเป็นอะตอมอิสระแล้วถ้าให้อะตอมมีความร้อนขึ้นไปอีกก็จะทำให้อิเล็กตรอนวิ่งไปรอบนิวเคลียสของอะตอมอิสระแล้วถ้าให้อะตอมมีความร้อนขึ้นไปอีกก็จะทำให้อิเล็กตรอนที่วิ่งรอบนิวเคลียสของอะตอมเปลี่ยนวงโคจาร โดยจะอยู่ในวงโคจรที่มีพลังงานสูงขึ้นและเมื่อพลังงานที่ก๊าซได้รับสิ้นสุดลงอิเล็กตรอนดังกล่าวจึงมีโอกาสกลับเข้าสู่วงโคจรเดิมและปลดปล่อยพลังงานส่วนเกินออก แต่ในกรณีที่ก๊าซได้รับพลังงานที่สูงมากจนทำให้อิเล็กตรอนที่วิ่งรอบๆ นิวเคลียสของอะตอมหลุดออกนอกวงโคจรได้ อะตอมในสภาพเช่นนี้จะเรียกว่าการถูกไอออไนซ์ โดยสภาวะดังกล่าวจะปลดปล่อยพลังงานในรูปต่างๆ ออกมาจนกระทั่งเกิดความสมดุลในพลาสมาและเกิดเป็นอาร์คพลาสมาที่มีพลังงานความร้อนสูงเมื่อนำไปผ่านช่องทางที่แคบลงหรือรูเล็กๆ ก็จะเกิดเป็นลำพลาสมาที่จะนำไปสู่การใช้ประโยชน์ต่อไป

2.3 การทำให้เกิดอาร์คพลาสมา

เนื่องจากอาร์คพลาสมาที่เกิดจากการไอออไนซ์ของก๊าซต้องได้รับพลังงานหรือความร้อนที่สูงมากดังนั้นเพื่อให้เกิดอาร์คพลาสมาที่มีความต่อเนื่องจึงนิยมใช้การอาร์คทางไฟฟ้าเป็นต้นกำเนิดพลังงาน โดยการให้ความร้อนกับก๊าซเพื่อให้เกิดอาร์คพลาสมาอย่างต่อเนื่อง กล่าวคือเมื่อก๊าซผ่านการอาร์คไฟฟ้าซึ่งมีอุณหภูมิประมาณ 6,000-11,000 องศาเคลวิน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่าน อาร์คก๊าซจะถูกทำให้ร้อนและเกิดไอออไนซ์ดังแสดงตัวอย่างในรูปที่ 2.7

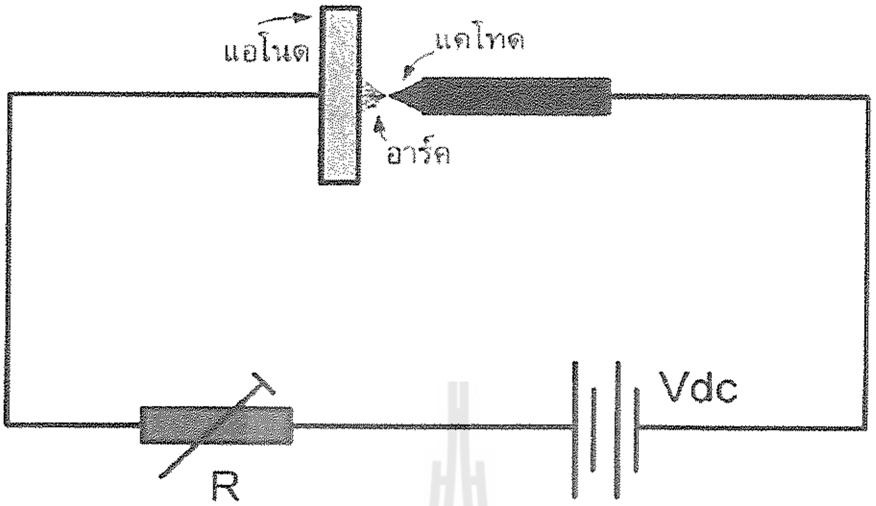


รูปที่ 2.7 การเกิดอาร์คพลาสมาเมื่อก๊าซไฮโดรเจนผ่านการอาร์คไฟฟ้า

อาร์คพลาสมาที่เกิดขึ้นจะมีอุณหภูมิที่สูงมาก อุณหภูมิในลำอาร์คพลาสมา(Plasma Torch)ก็ขึ้นอยู่กับรูปร่างของลำอาร์คพลาสมา กระแสที่ไหลผ่านอาร์ค รวมทั้งความเร็วของก๊าซที่ไหลผ่าน โดยทั่วไปอุณหภูมิในลำพลาสมาจะอยู่ระหว่าง 7,000 ถึง 10,000 องศาเคลวิน โดยที่อุณหภูมิที่แกนกลางของลำอาร์คพลาสมาอาจสูงถึง 20,000 ถึง 30,000 องศาเคลวิน และอุณหภูมิรอบนอกลำอาร์คพลาสมาอาจลดลงเหลือประมาณ 4,000 ถึง 5,000 องศาเคลวิน

การทำให้เกิดอาร์คพลาสมาด้วยไฟฟ้า สามารถทำได้สองวิธี วิธีแรกคือการลัดวงจรของขั้วไฟฟ้าซึ่งเป็นวิธีที่ง่ายที่สุดที่ทำให้เกิดการอาร์ค การใช้วิธีนี้เหมาสำหรับใช้ในงานเชื่อม แต่ไม่นิยมมาใช้ในงานตัดเนื่องจากกระแสที่ใช้ขณะอาร์คมีค่าสูงมากและคุณภาพการตัดยังมีคุณภาพต่ำ ดังรูปที่ 2.8 เป็นตัวอย่างการทำงานของการเกิดอาร์คพลาสมาด้วยการลัดวงจร โดยมีแคโทดที่ทำด้วยโลหะทังสเตนที่มีทอเรียมปะปนประมาณ 3% ถูกฝนปลายให้แหลมแนะนำไปแตะกับแท่งแอโนดซึ่งทำให้เกิดกระแสไฟฟ้าไหลผ่านจุดสัมผัสระหว่างแอโนดกับแคโทด โดยมีค่าความต้านทาน R_c เป็นความต้านทาน ณ จุดสัมผัส โดยสามารถหากำลังสูญเสีย ณ จุดสัมผัสได้จากสมการที่ 2.1

$$P_c = I^2 \times R_c \tag{2.1}$$



รูปที่ 2.8 การทำให้เกิดอาร์คพลาสมาโดยวิธีลัดวงจร

กำลังงานที่สูญเสียนี้จะทำให้จุดสัมผัสมีความร้อนสูงมากและทำให้ปลายแหลมที่สัมผัสบางส่วนอาจเป็นไอระเหยไปพร้อมกับมีอิเล็กตรอนถูกปล่อยจากปลายแหลมของแคโทดและเกิดความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้าตามกฎของริชาร์ดสัน(Richardson) อิเล็กตรอนที่ถูกปล่อยออกจากปลายแหลมจะถูกเร่งไปยังแอโนดและระหว่างทางจะชนกับโมเลกุลของก๊าซทำให้เกิดการแยกตัวเป็นอะตอมอิสระและไอออนเกิดเป็นพลาสมาในที่สุด อาร์คพลาสมาจึงทำหน้าที่เป็นตัวนำกระแสระหว่างแอโนดและแคโทด ในกรณีที่แอโนดและแคโทดถูกดึงให้ห่างออกจากกันลำอาร์คที่เกิดขึ้นแต่แรกจะยังคงเกิดเช่นเดิมเพราะลำอาร์คพลาสมาที่เกิดขึ้นเป็นตัวนำไฟฟ้าที่ดีจึงช่วยให้เกิดได้ง่ายขึ้นอย่างไรก็ตามระยะห่างระหว่างแคโทดและแอโนดที่ยังคงทำให้เกิดลำอาร์คพลาสมาอยู่ได้ก็ขึ้นอยู่กับพิกัดแรงดันของแหล่งจ่ายกำลังและค่าความต้านทาน ณ จุดสัมผัสด้วย

2.4 สถานะของพลาสมา

พลาสมาในทางเคมีและฟิสิกส์ คือ สถานะที่ 4 ของสสาร จากสถานะของสสาร-ทั้งหมด 5 สถานะ คือ

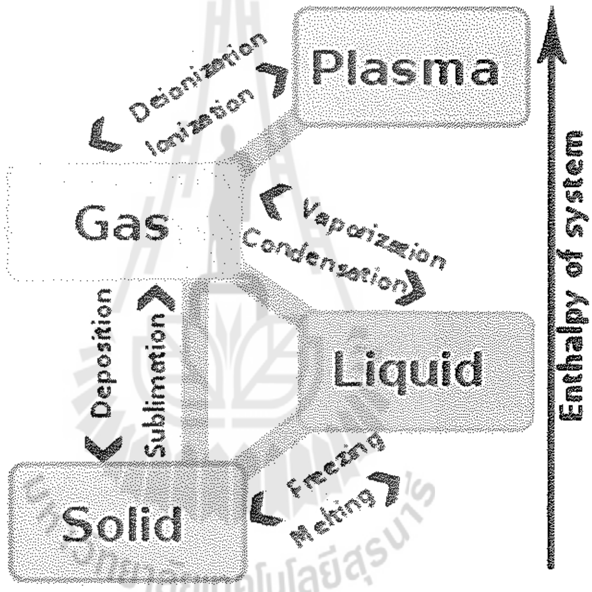
สถานะ 0 : Bose-Einstein condensate

สถานะ 1 : ของแข็ง (Solid)

สถานะ 2 : ของเหลว (Liquid)

สถานะ 3 : ก๊าซ (Gas)

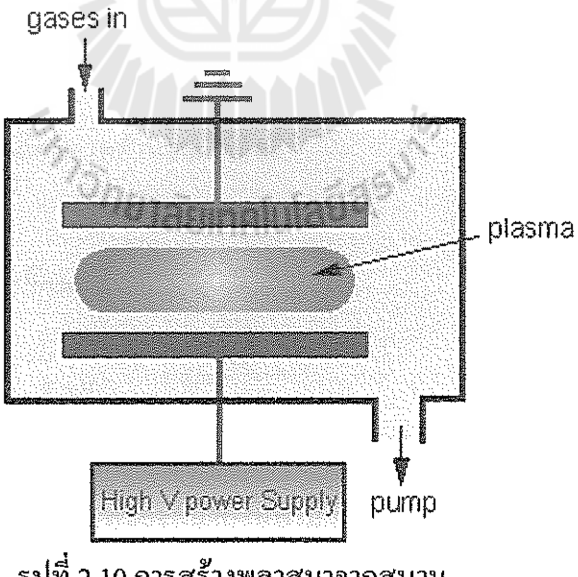
สถานะ 4 : พลาสมา (Plasma)



รูปที่ 2.9 สถานะต่างๆของพลาสมา

2.5 การกระตุ้นการแตกตัวของโมเลกุลสสารด้วยสนามไฟฟ้าแรงสูง

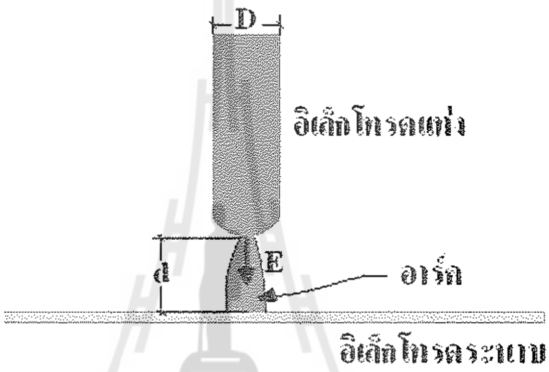
การให้ความต่างศักย์ไฟฟ้าระหว่างขั้วแอโนด (+) และ ขั้วแคโทด (-) สูงมากๆจะเกิดสนามไฟฟ้าแรงสูงทำให้ประจุลบ (Electron) จากขั้วแคโทด (-) แตกตัวและกระโดดสู่ขั้วแอโนด (+) ได้โดยไม่ต้องอาศัยตัวกลางทางไฟฟ้า ปรากฏการณ์นี้เกิดขึ้นได้ในธรรมชาติ เช่น การเกิดฟ้าผ่า เป็นต้น การที่ประจุลบแตกตัวออกจากโลหะที่ใช้ทำขั้วแคโทดทำให้เกิดพลาสมาที่เรียกว่า พลาสมาโลหะ (Iron Plasma) ซึ่งเป็นพลาสมาอุณหภูมิต่ำเนื่องจากโลหะเป็นของแข็งที่มีการจับตัวกันของอะตอมเป็นพันธะโลหะมีแรงยึดเหนี่ยวระหว่างอะตอมสูงจึงทำให้ประจุลบแตกตัวออกจากอะตอมได้ยากและมีปริมาณการแตกตัวน้อย แต่ถ้ามีการปล่อยก๊าซผ่านสนามไฟฟ้าแรงสูงดังกล่าวโมเลกุลของก๊าซจะถูกชนด้วยประจุลบที่แตกตัวออกจากโลหะที่ใช้ทำขั้วแคโทดจนโมเลกุลของก๊าซแตกตัวออกเป็นพลาสมาของก๊าซชนิดนั้น ทำให้ได้ความร้อนจากการแตกตัวสูงขึ้นมากเนื่องจากโมเลกุลของก๊าซแตกตัวได้ง่ายและหากมีความเข้มของสนามไฟฟ้าสูงมากพอโมเลกุลของก๊าซก็จะแตกตัวเกือบทั้งหมด ในกรณีของก๊าซที่นำมาปล่อยผ่านสนามไฟฟ้าแรงสูงดังกล่าวเป็นก๊าซเชื้อเพลิงด้วยแล้ว หากโมเลกุลของก๊าซเชื้อเพลิงแตกตัวเป็นประจุไม่หมดโมเลกุลของก๊าซที่ไม่แตกตัวเป็นพลาสมาก็จะเกิดการสันดาปขึ้นด้วยความร้อนที่ได้จากการแตกตัวของโมเลกุลอื่นทำให้ได้อุณหภูมิไอร้อนที่เพิ่มขึ้น



รูปที่ 2.10 การสร้างพลาสมาจากสนาม

2.6 สนามไฟฟ้าระหว่างขั้วอิเล็กโทรด

สนามไฟฟ้า (Electric Field) หมายถึง บริเวณโดยรอบประจุไฟฟ้า ซึ่งประจุไฟฟ้า สามารถส่งอำนาจไปถึง หรือบริเวณที่เมื่อนำประจุไฟฟ้าเข้าไปวางแล้วจะเกิดแรงกระทำบนประจุไฟฟ้านั้น จุดต่างๆ ในบริเวณสนามไฟฟ้าจะมีความเข้มของสนามไฟฟ้าแตกต่างกัน จุดที่อยู่ใกล้ประจุไฟฟ้าจะมีความเข้มของสนามไฟฟ้าสูงกว่าจุดที่อยู่ไกลออกไป นอกจากนั้น ณ จุดต่างๆ ในบริเวณสนามไฟฟ้าจะมีค่าศักย์ไฟฟ้าค่าต่างกันด้วย ซึ่งเป็นศักย์ไฟฟ้า ชนิดเดียวกันกับศักย์ไฟฟ้าที่เกิดจากประจุไฟฟ้าเจ้าของสนามไฟฟ้านั้นจุดที่อยู่ใกล้ประจุไฟฟ้าจะมีศักย์ไฟฟ้าสูงกว่าจุดที่อยู่ไกลออกไป



รูปที่ 2.11 สนามไฟฟ้าที่เกิดการอาร์ค

สนามไฟฟ้าระหว่างขั้วอิเล็กโทรดคำนวณได้ดังนี้

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

$$E_{max} = \frac{V_{max}}{\eta d}$$

เมื่อ E_{max} คือ สนามไฟฟ้าสูงสุด

Vmax คือ แรงดันไฟฟ้า

η คือ ประสิทธิภาพของสนามไฟฟ้ามีค่าตั้งแต่ 0.1

d คือ ระยะห่างระหว่างขั้วอิเล็กโทรด

2.7 ทฤษฎีการแตกตัวของก๊าซ

การทำให้ก๊าซแตกตัวเป็นพลาสมาจะต้องให้พลังงานในรูปแบบต่างๆ สถานะก๊าซในปริมาณที่มากพอเพื่อให้ก๊าซนั้นแตกตัวออกเป็นธาตุอะตอมเดี่ยวและให้พลังงานต่อเนื่องอย่างน้อยมากกว่าระดับพลังงานไอออไนเซชันลำดับที่ 1 ของก๊าซนั้นจึงจะทำให้ก๊าซเปลี่ยนสถานะเป็นพลาสมา

ตัวอย่าง การคำนวน

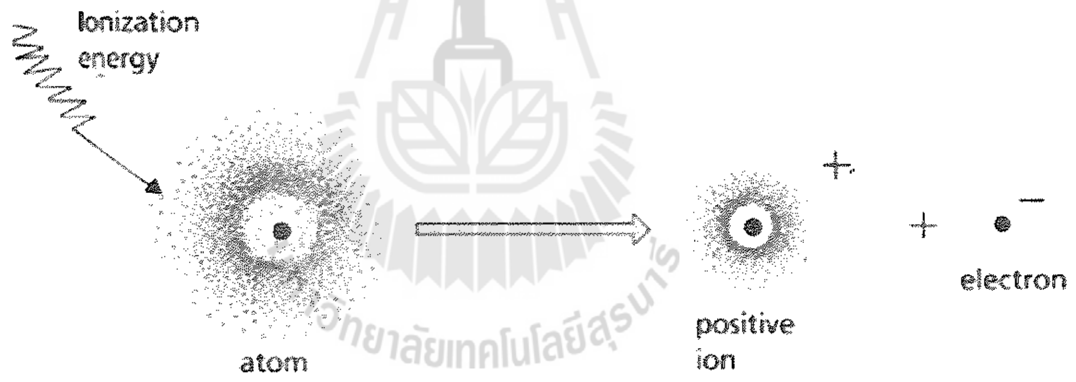
สมการเคมีของการทำให้ก๊าซ N2 แตกตัวเป็นพลาสมา

$$N_2 + E = 2N$$
$$2N + IE = \{2N^+ + 2e^-\}$$

E คือ พลังงานสลายพันธะ (Bound Energy)

IE คือ พลังงานไอออไนเซชัน (Ionization Energy, IE)

$\{2N^+ + 2e^-\}$ คือ ก๊าซแตกตัว (Ionized Gas) และอิเล็กตรอนอิสระที่อยู่ในสถานะพลาสมา



รูปที่ 2.12 การไอออไนซ์เซชั่น

2.8 การคำนวณพลังงานที่ใช้ในการสร้างพลาสมา

หัวเผาพลาสมาต้นแบบใช้หลักการทำให้อากาศแตกตัวเป็นพลาสมา โดยให้อากาศผ่านกระแสอาร์คที่เกิดขึ้นระหว่างขั้วแคโทด (Cathode) และแอโนด (Anode) ซึ่งพลังงานที่ใช้ในการทำให้อากาศแตกตัวเป็นพลาสมาได้นั้นคำนวณจาก พลังงานสลายพันธะ และ พลังงานไอออไนเซชันลำดับที่ 1 ของธาตุต่างๆ ที่เป็นองค์ประกอบในอากาศ

อากาศมีองค์ประกอบเป็นก๊าซไนโตรเจน (N_2) 77% ก๊าซออกซิเจน (O_2) 22 % และก๊าซอื่นๆ 1% โดยมวล ในการคำนวณพลังงานที่ใช้ในการทำให้อากาศแตกตัวเป็นพลาสมาครั้งนี้จะให้ก๊าซไนโตรเจน (N_2) และก๊าซออกซิเจน (O_2) เป็นตัวแทนขององค์ประกอบทั้งหมดของอากาศในอัตราส่วน 77% : 23 % โดยมวล ตามลำดับ การคำนวนพลังงานที่ใช้ในการทำให้อากาศแตกตัวเป็นพลาสมาทำได้ดังนี้

วิธีคำนวณ > ข้อมูลในการคำนวณ

Bond	*D* (kJ/mol)	*r* (pm)
N-N	167	145
N=N	418	125
N≡N	942	110
N-O	201	140
N=O	607	121
N-F	283	136
N-Cl	313	175

Bond	*D* (kJ/mol)	*r* (pm)
O-O	142	148
O=O	494	121
O-F	190	142
S=O	522	143
S-S (S_8)	226	205
S=S	425	149
S-F	284	156

ตารางที่ 2.1 พลังงานพันธะของโมเลกุลก๊าซชนิดต่างๆ

(1) คุณสมบัติทางเคมีของององค์ประกอบของอากาศ

- ก๊าซไนโตรเจน(N_2)

มวลโมเลกุล	28×10^{-3}	kg/mol
มวลอะตอม	14×10^{-3}	kg/mol
พลังงานพันธะ N≡N	942	kJ/$mol_{\text{โมเลกุล}}$
พลังงานไอออไนเซชันลำดับที่ 1	1402	kJ/$mol_{\text{อะตอม}}$

- ก๊าซออกซิเจน (O_2)

มวลโมเลกุล	32×10^{-3}	kg/mol
มวลอะตอม	16×10^{-3}	kg/mol
พลังงานพันธะ O = O	494	kJ/$mol_{\text{โมเลกุล}}$
พลังงานไอออไนเซชันลำดับที่ 1	1314	kJ/$mol_{\text{อะตอม}}$

(2) การคำนวณปริมาณองค์ประกอบของอากาศ ที่มีก๊าซไนโตรเจน (N_2) และก๊าซออกซิเจน (O_2) เป็นตัวแทนขององค์ประกอบทั้งหมดในอัตราส่วน 77 % : 23 % โดยมวล

$$m_{air} = m_{n_2} + m_{o_2}$$

$$m_{air} = 0.77m_{air} + 0.23m_{air}$$

- ก๊าซไนโตรเจน (N_2)

จำนวนโมลโมเลกุล $= \dfrac{0.77m_{air}}{28\times10^{-3}}$

จำนวนโมลอะตอม $= \dfrac{0.77m_{air}}{14\times10^{-3}}$

- ก๊าซออกซิเจน (O_2)

จำนวนโมลโมเลกุล $= \dfrac{0.23m_{air}}{32\times10^{-3}}$

จำนวนโมลอะตอม $= \dfrac{0.23m_{air}}{16\times10^{-3}}$

(3) การคำนวณมวลอากาศโดยกำหนดพลังงานที่จะใช้พลังงาน

- พลังงานสลายพันธะ

ก๊าซไนโตรเจน (N_2) $= \left(\frac{0.77m_{air}}{28\times10^{-3}}\right) \times 942$

ก๊าซออกซิเจน (O_2) $= \left(\frac{0.23m_{air}}{32\times10^{-3}}\right) \times 494$

- พลังงานไอออไนเซชันลำดับที่ 1

ก๊าซไนโตรเจน (N_2) $= \left(\frac{0.77m_{air}}{14\times10^{-3}}\right) \times 1402$

ก๊าซออกซิเจน (O_2) $= \left(\frac{0.23m_{air}}{16\times10^{-3}}\right) \times 1314$

- พลังงานที่ใช้ในการทำให้อากาศแตกตัวเป็นพลาสมาที่ระดับพลังงานไอออไนเซชันลำดับที่ 1

$$E = \left[\left(\frac{0.77m_{air}}{28\times10^{-3}}\right) \times 942\right] + \left[\left(\frac{0.23m_{air}}{32\times10^{-3}}\right) \times 494\right] + \left[\left(\frac{0.77m_{air}}{14\times10^{-3}}\right) \times 1402\right] + \left[\left(\frac{0.23m_{air}}{16\times10^{-3}}\right) \times 1314\right]$$

$$E = [(25.91 \times 10^3) + (3.55 \times 10^3) + (77.11 \times 10^3) + (18.89 \times 10^3)] \times m_{air}$$

$$E = (125.46 \times 10^3) \times m_{air}$$

พลังงานที่ทำให้อากาศแตกตัวเป็นพลาสมา 100 % ที่ระดับพลังงานไอออไนเซชันลำดับที่ 1 จะต้องใช้พลังงานเท่ากับ

$$E \geq (125.46 \times 10^3) \times m_{air}$$

เมื่อ

E คือ พลังงานที่ทำให้อากาศแตกตัวเป็นพลาสมา 100 % ที่ระดับพลังงานไอออไน-เซชันลำดับที่ 1 หน่วย kW

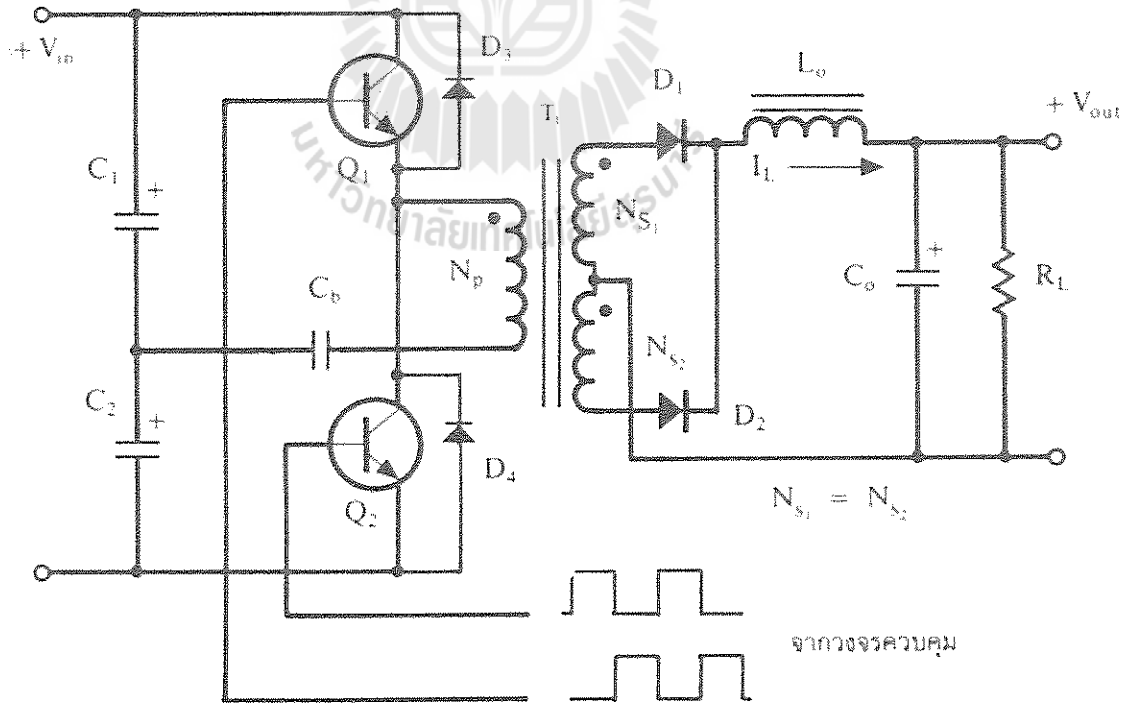
m_{air} คือ อัตตราการไหลเชิงมวลของอากาศ หน่วย kg/s

2.9 วงจรฮาล์ฟบริดจ์คอนเวอร์เตอร์ (Half-Bridge Converter)

จากกล่าวได้ว่าฮาล์ฟบริดจ์คอนเวอร์เตอร์ (Half-Bridge Converter) เป็นคอนเวอร์เตอร์ในตระกูลเดียวกับพุช-พูลคอนเวอร์เตอร์ แต่ลักษณะการจัดเรียงอุปกรณ์ของฮาล์ฟบริดจ์คอนเวอร์เตอร์จะทำให้เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ภายในวงจรมีแรงดันที่ตกคร่อมขณะหยุดนำกระแสเพียงค่าแรงดันอินพุตเท่านั้น ทำให้เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ที่ใช้มีราคาถูกและหาได้ง่ายกว่า ซึ่งจะลดข้อจำกัดต่างๆ เมื่อใช้กับระบบแรงดันไฟฟ้าสูงๆ เช่น ที่แรงดันไฟสลับ 220 โวลต์ลงได้มาก รวมทั้งฮาล์ฟบริดจ์คอนเวอร์เตอร์ยังสามารถหลีกเลี่ยงปัญหาการไม่สมมาตรฟลักซ์ในแกนเฟอร์ไรต์ของหม้อแปลงได้อีกด้วย ส่วนประกอบการทำงานของวงจรฮาล์ฟบริดจ์คอนเวอร์เตอร์ (Half-Bridge Converter) ประกอบไปด้วยการทำงานของส่วนต่างๆดังนี้

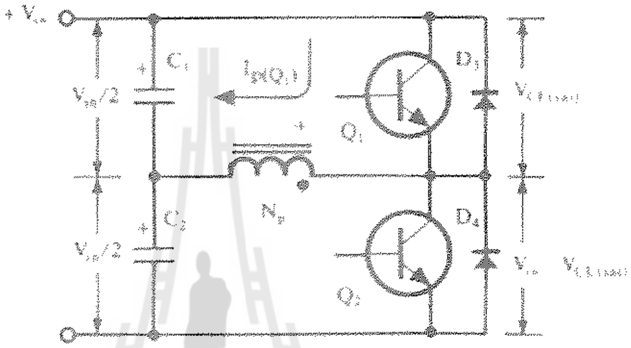
2.9.1 การทำงานพื้นฐานของฮาล์ฟบริดจ์คอนเวอร์เตอร์

วงจรพื้นฐานของฮาล์ฟบริดจ์คอนเวอร์เตอร์ดังแสดงในรูปที่ 2.13 การทำงานของวงจรจะเป็นดังนี้



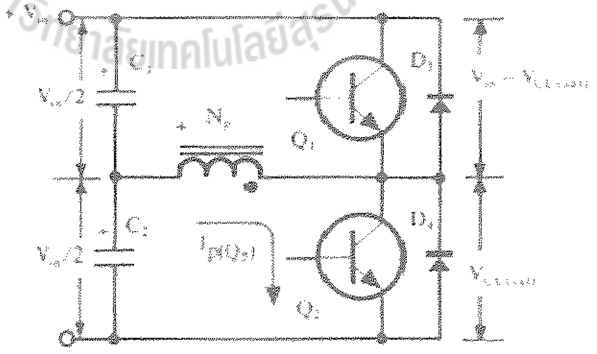
รูปที่ 2.13 แสดงวงจรพื้นฐานของฮาล์ฟบริดจ์คอนเวอร์เตอร์

เนื่องจากตัวเก็บประจุ C_1 และ C_2 ได้ถูกกำหนดให้มีค่าเท่ากันนำมาต่ออนุกรมกันทางด้านอินพุตเพื่อแบ่งครึ่งแรงดัน แรงดันตกคร่อม C_1 และ C_2 จึงมีค่าเท่ากับครึ่งหนึ่งของแรงดันที่อินพุต เพาเวอร์-ทรานซิสเตอร์ Q_1 และ Q_2 จะสลับกันทำงานคนละครึ่งคาบเวลาเช่นเดียวกับการทำงานของวงจรพุช-พูลคอนเวอร์เตอร์ และเพื่อให้ง่ายแก่การพิจารณาการทำงานของวงจร เราจะพิจารณาในกรณีที่ไม่มีตัวเก็บประจุ C_b ต่ออยู่ในวงจรเสียก่อน โดยให้ปลายของขดไพรมารี่ N_p ที่ต่ออยู่กับ C_b นั้นต่อโดยตรงเข้ากับจุดต่อระหว่างตัวเก็บประจุ C_1 และ C_2 ดังในรูปที่ 2.14



รูปที่ 2.14 (ก). ขณะที่ Q_1 นำกระแส Q_2 จะมีแรงดันตกคร่อมเท่ากับ V_{in}-$V_{CE(sat)}$ และแรงดันตกคร่อม N_p เท่ากับ V_{in} / 2-$V_{ce(sat)}$

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี



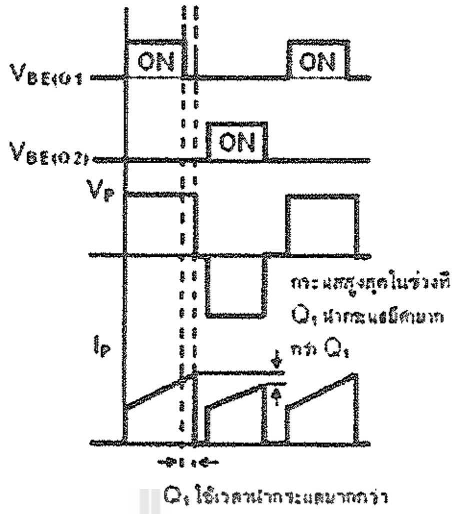
รูปที่ 2.14 (ข). ขณะที่ Q_2 นำกระแส Q_1 จะมีแรงดันตกคร่อมเท่ากับ V_{in}-$V_{CE(sat)}$ และแรงดันตกคร่อม N_p เท่ากับ V_{in} / 2-$V_{ce(sat)}$

เมื่อ Q_1 เริ่มนำกระแส และ Q_2 ไม่นำกระแส แรงดันตกคร่อม Q_2 จะมีค่าเท่ากับ V_{in}-$V_{CE(sat)}$ ส่วนแรงดันตกคร่อมของขดลวดไพรมารี่ N_p จะมีค่าเท่ากับ V_{c_1}-$V_{ce(sat)}$ หรือมีค่าเท่ากับ V_{in} / 2-$V_{ce(sat)}$ นั่นเอง ในทำนองเดียวกัน เมื่อ Q_2 นำกระแส และ Q_1 ไม่นำกระแส แรงดันตกคร่อม Q_1 จะมีค่าเท่ากับ V_{in}-$V_{CE(sat)}$ เช่นเดียวกัน แรงดันตกคร่อมที่ขดลวดไพรมารี่ N_p ก็ยังคงมีค่าเท่ากับ V_{in} / 2-$V_{ce(sat)}$ เนื่องจาก$V_{CE(sat)}$ มีค่าประมาณ 0.5-1 โวลต์ ดังนั้นจะเห็นได้ว่า แรงดันตกคร่อม Q_1 และ Q_2 ที่ขดลวดด้านเซคั่นดารี่จะมีลักษณะเดียวกับพุช-พูลคอนเวอร์เตอร์

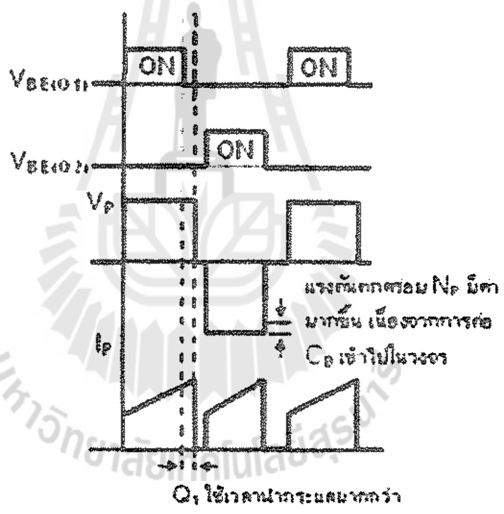
2.9.2 ตัวเก็บประจุเพื่อป้องกันการไม่สมมาตรของฟลักซ์แม่เหล็ก (Blocking Capacitor)

ตัวเก็บประจุบล็อคกิ้ง (Blocking Capacitor) C_b ที่ต่อเพิ่มเข้ามาในวงจรนั้น มีหน้าที่หลักคือป้องกันการไม่สมมาตรของฟลักซ์ขึ้นในแกนเฟอร์ไรต์ขณะที่วงจรทำงาน เพราะในทางปฏิบัติการต่อตัวเก็บประจุ C_1 และ C_2 เพื่อให้แรงดันที่ตกคร่อมตัวเก็บประจุทั้งสองมีค่าเท่ากันจริงๆนั้นทำได้ยากรวมทั้งการไม่แมตช์กันของเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ Q_1 และ Q_2 อาจก่อให้เกิดปัญหาการไม่สมมาตรของฟลักซ์ขึ้นได้ทั้งสิ้น

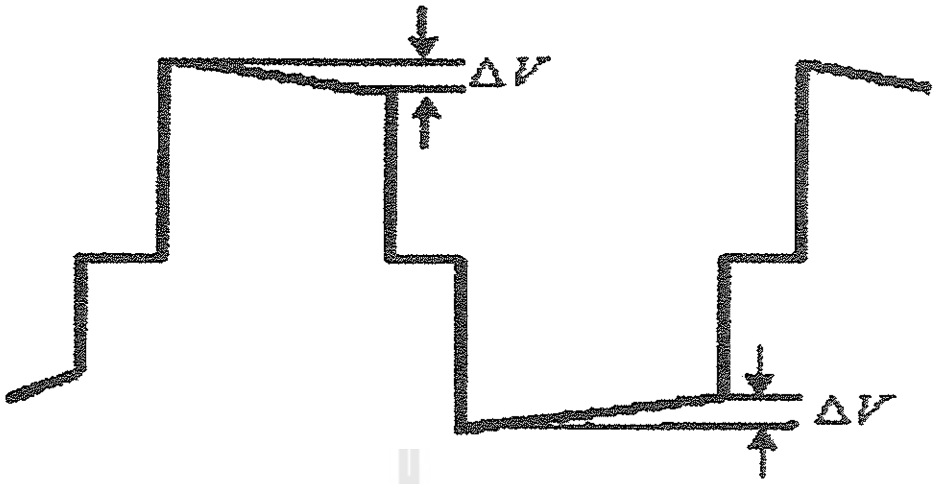
การต่อตัวเก็บประจุบล็อกกิ้ง C_b คั่นเข้ามาในวงจร จะทำให้ C_b มีการเก็บประจุและคายประจุสลับกันไปตามทิศทางของกระแสที่ไหลในขดลวดไพรมารี่ N_p ถ้าผลของการเกิดประจุสะสมทำให้ Q_1 และ Q_2 มีช่วงเวลานำกระแสไม่เท่ากัน ก็จะทำให้การเก็บประจุและคายประจุของ C_b ใช้เวลาไม่เท่ากันด้วยเป็นผลทำให้มีประจุเหลือค้างใน C_b และทำให้เกิดค่าแรงดันตกคร่อม C_b นั่นคือหากเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ตัวใดมีค่าช่วงเวลานำกระแสมากกว่า ในกรณีนี้ค่ากระแสสูงสุดจะมีค่ามากขึ้นตามช่วงเวลาที่เพิ่มขึ้นด้วย อย่างไรก็ตามก็จะทำให้มีประจุเหลือค้างใน C_b ดังนั้นเมื่อเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์อีกตัวเริ่มนำกระแส แรงดันที่ตกค้างใน C_b จะช่วยเพิ่มค่าแรงดันตกคร่อมขดลวดไพรมารี่ให้มีค่ามากขึ้น ค่าของกระแสสูงสุดก็จะมีค่าเท่ากันได้และจะไม่เกิดการไม่สมมาตรของฟลักซ์เกิดขึ้น ส่วนการทำงานของ C_b ในกรณีที่แรงดันตกคร่อม C_1 และ C_2 มีค่าไม่เท่ากันนั้นก็จะเป็นไปในทำนองเดียวกัน



รูปที่ 2.15 (ก) แสดงลักษณะของการไม่สมมาตรฟลักซ์เนื่องจาก Q_1 ใช้เวลานำกระแสมากกว่า Q_2



รูปที่ 2.15 (ข) แสดงผลของการต่อตัวเก็บประจุบล็อคกิ้งเนื่อง C_b เข้ามาในวงจรเพื่อลดการไม่สมมาตรฟลักซ์



รูปที่ 2.16 แสดงลักษณะของการเกิดความลาด D_{roop} ขึ้นบนแรงดันที่ตกคร่อมขดไพรมารี่เมื่อต่อตัวเก็บประจุบล็อคกิ้ง C_b คั่นเข้ามาในวงจร

อย่างไรก็ตามการต่อตัวเก็บประจุบล็อคกิ้ง C_b คั่นเข้าไปในวงจร จะทำให้แรงดันที่ตกคร่อมขดลวดไพรมารี่มีค่าลดลงตามเวลาหรือเกิดความลาด D_{roop} ขึ้นบนแรงดัน เนื่องจากแรงดันส่วนหนึ่งไปตกคร่อม C_b และจะมีผลต่อแรงดันทางด้านเซคั่นดารี่ทำให้เกิดการกระเพื่อมของแรงดันที่เอาท์พุตซึ่งไม่เป็นที่ต้องการเช่นกัน ดังนั้นจำเป็นต้องกำหนดค่า C_b ให้เหมาะสม เพื่อให้เกิดความลาดบนแรงดันที่ขดลวดไพรมารี่ที่ต่ำที่สุด การกำหนดค่าของ C_b อาจทำได้ดังนี้คือ

$$C_b = \frac{I_{p(PK)}(0.4T)}{\Delta V}$$

เมื่อ $I_{p(PK)}$ คือ ค่ากระแสสูงสุดที่ขดลวดไพรมารี่

ΔV คือ ค่าของความลาดแรงดันสูงสุดที่ยอมได้

T คือ ค่าคาบเวลาการทำงานของคอนเวอร์เตอร์

2.10 คอมมิวเตติ้งไดโอด (Commmutating Diode)

คอมมิวเตติ้งไดโอดมีหน้าที่ 2 ประการ คือ

1. ป้องกันการเกิดแรงดันสไปค์ในขณะที่เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์เริ่มหยุดนำกระแส เนื่องจากค่าความเหนี่ยวนำแฝงในหม้อแปลง โดยพลังงานที่สะสมอยู่ในตัวเหนี่ยวนำแฝงนี้จะถูกถ่ายเทออกไปยังภาคอินพุตด้วยคอมมิวเตติ้งไดโอด จึงไม่ทำให้เกิดแรงดันสไปค์เมื่อเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์เริ่มหยุดนำกระแส

2. ในขณะที่เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ Q_1 เริ่มหยุดนำกระแส ขดลวดไพรมารี่ N_p จะมีการกลับขั้วแรงดันเกิดขึ้น ถ้าไม่มีคอมมิวเตติ้งไดโอด Q_2 จะได้รับแรงดันตกคร่อมที่ขาคอลเลคเตอร์เป็นลบ ในขณะที่ Q_1 ก็จะมีแรงดันตกคร่อมมากกว่าค่า $\frac{V_{in}}{2}$ ในกรณีนี้ไดโอด D_4 จะอยู่ในลักษณะถูกไบแอสตรงจากแรงดันของขดลวดไพรมารี่และลดค่าแรงดันนี้ลงไป ในทำนองเดียวกันกับเมื่อ Q_2 เริ่มหยุดนำกระแส ไดโอด D_3 จะทำหน้าที่เช่นเดียวกัน เป็นการป้องกันเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์

***ข้อสังเกต** ไดโอดที่นำมาใช้เป็นคอมมิวเตติ้งไดโอดในตำแหน่ง D_3 และ D_4 ต้องเป็นชนิดฟาสรีคัฟเวอรี่ และต้องทนแรงดันย้อนกลับได้อย่างน้อย 2 เท่าของแรงดันตกคร่อมเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ขณะที่เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์หยุดนำกระแส

2.11 ค่าเวลาเผื่อ

ค่าเวลาเผื่อ T_D เพื่อกำจัดช่วงเวลานำกระแสสูงสุด $t_{ON(max)}$ ของเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ Q_1 และ Q_2 เป็นสิ่งสำคัญมากในวงจรฮาล์ฟบริดต์คอนเวอร์เตอร์ จะเห็นว่าการต่อกันอยู่ในวงจรของ Q_1 และ Q_2 ถ้าหาก Q_1 และ Q_2 นำกระแสพร้อมๆกัน จะเกิดการลัดวงจรของแรงดันอินพุตทันทีซึ่งจะเป็นอันตรายต่อเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์และอุปกรณ์อื่นๆในวงจรได้ ดังนั้นช่วงเวลานำกระแสสูงสุดของ Q_1 และ Q_2 จะต้องถูกกำจัดด้วยค่าเวลาเผื่อ t_D เช่นเดียวกับวงจรพุช-พูลคอนเวอร์เตอร์ โดยอาจจะกำหนดไว้ที่ 20 เปอร์เซ็นต์ของครึ่งหนึ่งของค่าคาบเวลา ดังนั้น

$$t_{ON(max)} = 0.4T$$

2.12 หม้อแปลงสวิตชิ่ง

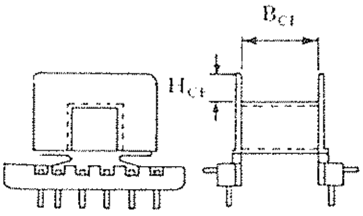
หม้อแปลงสวิตชิ่ง (Switching Transformer) จัดเป็นอุปกรณ์สำคัญสำหรับสวิตชิ่งเพาเวอร์-ซัพพลาย ผู้ออกแบบสวิตชิ่งเพาเวอร์ซัพพลายจึงจำเป็นต้องศึกษารูปแบบที่เป็นไปได้ในลักษณะต่างๆของหม้อแปลงสวิตชิ่ง ความเหมาะสมในการใช้งาน การคำนวณขนาดแกนเฟอร์ไรต์ขนาดลวดทองแดงรวมทั้งการกำหนดความปลอดภัยทางไฟฟ้า เพื่อความปลอดภัยและลดกำลังงานสูญเสียในหม้อแปลงสวิตซิ่งขณะทำงาน

2.12.1 แกนเฟอร์ไรต์ (Ferrite Core)

เฟอร์ไรต์เป็นวัสดุประเภทเฟอร์โรแมกเนติก (Ferromagnetic material) การเหนี่ยวนำแม่เหล็กบนแกนเฟอร์ไรต์มีผลทำให้เกิดความหนาแน่นฟลักซ์แม่เหล็กสูงกว่าการเหนี่ยวนำแม่เหล็กที่เกิดขึ้นบนแกนอากาศมาก เฟอร์ไรต์มีค่าจุดอิ่มตัวฟลักซ์แม่เหล็กค่อนข้างสูง ประมาณในช่วง 3,000 ถึง 4,000 เกาส์ และเกิดการสูญเสียในตัวมันต่ำที่ความถี่สูงๆ ดังนั้นหม้อแปลงสวิตชิ่งจึงนิยมใช้แกนเป็นเฟอร์ไรต์มากที่สุด เฟอร์ไรต์ที่นำมาใช้ทำแกนของหม้อแปลงสวิตชิ่งจะมีรูปร่างแตกต่างกันออกไปขึ้นอยู่กับการใช้งานและมาตรฐานในการออกแบบ

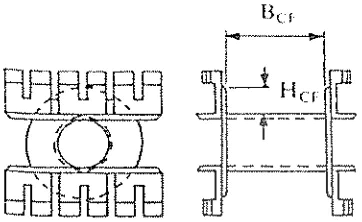
2.12.2 บอบบิ้น (Bobin)

บอบบิ้นหรือแบบรองพัน ปกติจะทำจากพลาสติกชนิดทนความร้อนได้สูงและไม่ติดไฟ บอบบิ้นจะช่วยให้การพันขดลวดบนแหนเฟอร์ไรต์สะดวกขึ้น และป้องกันปัญหาการลัดวงจรระหว่างขดลวดกับแกนเฟอร์ไรต์ได้ บอบบิ้นจะมีขนาดมาตรฐานตามมาตรฐานของแกนเฟอร์ไรต์ ตัวอย่างขนาดของบอบบิ้นดูได้จากรูปที่ 2.19 บอบบิ้นส่วนใหญ่จะถูกออกแบบให้มีขาพักลวดทองแดง เพื่อความสะดวกในการพันขดลวดและบัดกรีติดกับแผ่น PCB



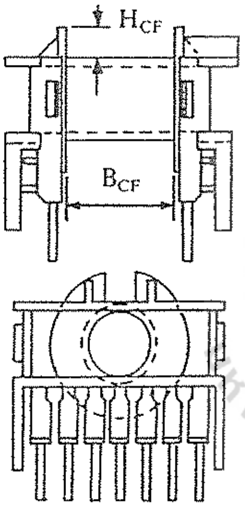
EE Bobbin

CORE TYPE	$A_w(cm^2)$	$B_{CF}(mm)$	$H_{CF}(mm)$	$\ell_{av}(mm)$
E 814E250	0.17	6.7	2.1	34.29
E 813E187	0.33	9.3	3.2	36.32
E 813E343	0.36	10.0	3.2	47.50
E 812E250	0.58	10.1	4.9	55.12
E 782E272	0.80	17.3	4.7	55.88
E 375	1.05	16.5	6.6	73.41
E 21	1.14	17.9	6.0	86.36
E 783E608	1.78	26.3	7.1	92.96
E 348E772	1.81	26.3	7.1	99.06
E 625	1.32	21.2	6.4	94.9
E 55	2.80	33.1	8.6	113.03
E 75	2.42	26.2	8.1	119.38



EC Bobbin

CORE TYPE	$A_W(cm^2)$	$B_{CF}(mm)$	$H_{CF}(mm)$	$\ell_{av}(mm)$
EC 35	0.97	21.5	4.8	50.04
EC 41	1.35	24.5	5.8	59.94
EC 52	2.13	28.3	7.7	72.90
EC 70	4.77	41.5	11.7	95.0



ETD Bobbin

CORE TYPE	$A_W(cm^2)$	$B_{CF}(mm)$	$H_{CF}(mm)$	$\ell_{av}(mm)$
ETD 34	1.23	21.0	6.0	59.94
ETD 39	1.74	25.6	6.9	68.58
ETD 44	2.13	29.6	7.3	76.2
ETD 49	2.71	32.8	8.4	85.09

A_w = พื้นที่ช่องพันขดลวด
B_{CF} = ความยาวแกนที่พันขดลวดได้
H_{CF} = ระยะจำกัดความสูงของขดลวด
ℓ_{av} = ความยาวเฉลี่ยของลวดทองแดงที่พันบนแกนต่อหนึ่งรอบ

รูปที่ 2.17 แสดงตัวอย่างและขนาดมาตรฐานของบอบบิ้นแกนเฟอร์ไรต์แบบ EE, EC และETD

2.13 ลวดทองแดงอาบน้ำยา (Enamelled Copper Wire)

การพันขดลวดทั้งไพรมารี่และเซคั่นดารี่ของหม้อแปลงสวิตชิ่งที่กำลังไม่สูงมากนัก ปกติจะใช้ลวดทองแดงอาบน้ำยาพันบนแกนบอบบิ้นเพื่อให้ได้จำนวนรอบตามต้องการ ขนาดของขดลวดทองแดงที่จะใช้พันนั้น ขึ้นอยู่กับค่ากระแสสูงสุดที่ผ่านขดลวด ความถี่และผลข้างเคียงอื่นๆ

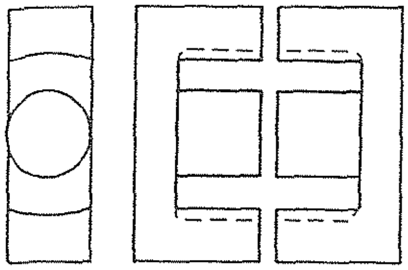
2.14 เทปฉนวน (Insulation Tape)

เทปฉนวนใช้พันสำหรับเป็นตัวรองระหว่างชั้นของขดลวดในหม้อแปลงสวิตชิ่ง และมีหน้าที่สำคัญในการแยกส่วนทางไฟฟ้าระหว่างขดไพรมารี่และขดเซคั่นดารี่ด้วยวัสดุที่ใช้ทำเทปฉนวนอาจเป็นพวกไมลาร์ (Mylar) หรือโพลีเอสเตอร์ (Polyester) ที่มีความหนาอยู่ในช่วง 0.05-0.1 มิลลิเมตร การเลือกใช้จะขึ้นอยู่กับการออกแบบและค่าความปลอดภัยที่ต้องการจากหม้อแปลงสวิตชิ่งเป็นหลัก

2.15 แกนเฟอร์ไรต์และการเลือกใช้

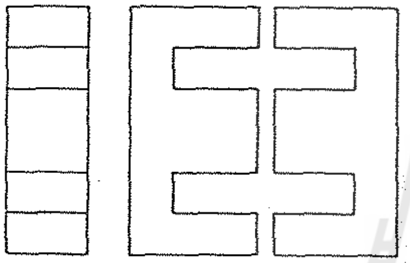
แกนเฟอร์ไรต์สำหรับหม้อปลงสวิตชิ่งโดยทั่วไป จะถูกผลิตออกมาที่ขนาดและรูปทรงต่างๆตามมาตรฐานเดียวกัน เช่น แกนแบบ EI, EE, ETD หรือแกนแบบ POT เป็นต้น ปกติผู้ผลิตจะทำแกนเฟอร์ไรต์ออกมาในลักษณะของคู่ประกบ เพื่อความสะดวกในการประกอบเข้ากับบอบบิ้น การประกบแกนเฟอร์ไรต์บนบอบบิ้นจะทำให้ทางเดินของฟลักซ์แม่เหล็กที่เกิดขึ้นในแกนเฟอร์ไรต์มีลักษณะเป็นวงบรรจบได้ ตัวอย่างขนาดของแกนเฟอร์ไรต์แบบต่างๆ แสดงไว้ในรูปที่ 2.18

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี



ETD

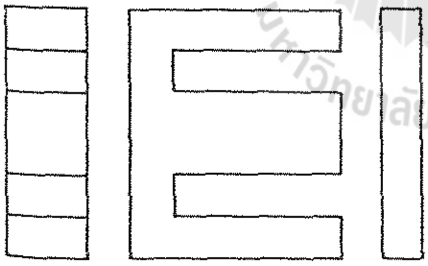
CORE TYPE	A_c (cm^2)	A_w (cm^2)	V_c (cm^3)	ℓ_c (mm)
ETD 34	0.971	1.220	7.64	78.6
ETD 39	1.250	1.740	11.50	92.2
ETD 44	1.740	2.130	18.00	103.0
ETD 49	2.110	2.710	24.20	114.0



EE

CORE TYPE	A_c (cm^2)	A_w (cm^2)	V_c (cm^3)	ℓ_c (mm)
EE 20/20/5	0.31	0.35	1.34	43.0
EE 30/30/7	0.59	0.78	4.00	66.9
EE 42/42/15	1.82	1.78	17.6	97.0
EE 42/42/20	2.36	1.78	23.1	97.4
EE 42/54/20	2.36	2.40	28.8	122.0
EE 42/66/20	2.36	3.40	34.5	143.0
EE 55/55/21	3.54	2.50	43.7	123.0
EE 55/55/25	4.20	2.50	52.0	123.0
EE 65/66/27	5.32	3.93	78.2	147.0

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี



EI

CORE TYPE	A_c (cm^2)	A_w (cm^2)	V_c (cm^3)	ℓ_c (mm)
EI 19	0.24	0.517	0.950	39.6
EI 22/19	0.41	0.44	1.630	39.3
EI 25/19	0.42	0.819	2.02	48.6
EI 28/20	0.85	0.725	4.11	48.4
EI 30/26	1.11	0.791	6.45	58.1
EI 35/29	1.21	1.36	8.18	67.6
EI 40/35	1.48	1.08	11.3	76.9
EI 50/42	2.30	1.7	21.8	94.8
EI 60/44	2.48	2.94	27.2	109.7

A_c = ขนาดพื้นที่หน้าตัดแกนเฟอร์ไรต์

A_w = ขนาดพื้นที่ช่องพันขดลวดของบอบบิ้น

V_c = ปริมาตรของแกนเฟอร์ไรต์

ℓ_c = ระยะทางเดินฟลักซ์แม่เหล็กในแกนเฟอร์ไรต์

รูปที่ 2.18 แสดงตัวอย่างขนาดของแกนเฟอร์ไรต์แบบ EE, EI และ ETD

แกนแบบ POT นั้นจะใช้กับหม้อแปลงสวิตชิ่งที่ไม่ต้องการกำลังสูง (ไม่เกิน 125 วัตต์) และในงานที่ต้องการสัญญาณรบกวน EMI/RFI ต่ำ เนื่องจากลักษณะรูปทรงของมันสามารถป้องกันการแพร่กระจายของสัญญาณรบกวนได้ดี แต่แกนแบบ POT มีช่องสำหรับให้ขดลวดลอดออกมาภายนอกได้ค่อนข้างเล็ก จึงเป็นอุปสรรคในการพันลวดทองแดงขนาดใหญ่เมื่อหม้อแปลงต้องการกำลังสูง แกนที่นิยมจากสามารถพันขดลวดรอบแกนบนบอบบิ้นได้สะดวก แกนในกลุ่มนี้จะมีขนาดต่างๆ ให้เลือกใช้งานได้เป็นจำนวนมาก โดยสามารถให้กำลังงานได้ตั้งแต่ 5 วัตต์ ไปจนถึง 10 กิโลวัตต์ อย่างไรก็ตาม สัญญาณรบกวน EMI/RFI ที่เกิดขึ้นจะมีค่ามากว่าแกนแบบ POT

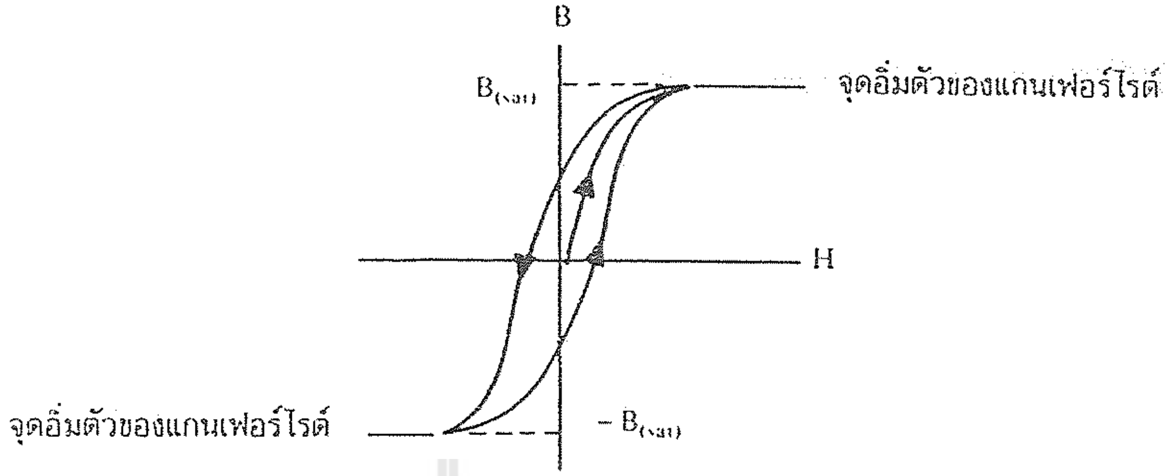
ยังมีแกนเฟอร์ไรต์ในแบบอื่นๆ ที่สามารถนำมาใช้งานได้อีก เช่น แกนแบบ RM, PQ และ LP แต่มักไม่ค่อยพบเห็นตามท้องตลาดทั่วไป และไม่ค่อยเป็นที่นิยม

2.16 ลักษณะสมบัติของเนื้อสารที่ใช้ทำแกนเฟอร์ไรต์

ชนิดของเนื้อสารแกนเฟอร์ไรต์ที่แตกต่างกัน จะให้คุณสมบัติทางแม่เหล็กของแกนเฟอร์ไรต์แตกต่างกันด้วยถึงแม้จะมีขนาดเท่ากันทุกประการก็ตาม ในแผ่นข้อมูลเนื้อสารที่ให้มากับแกนเฟอร์ไรต์นั้น จะต้องมีรายละเอียดคุณสมบัติเนื้อสารแสดงไว้เสมอ ข้อมูลสำคัญที่ควรจะทำความเข้าใจและศึกษาไว้ก็คือ*เส้นโค้งฮิสเตอร์รีซิส (Hysteresis curve)* และ*ค่าการสูญเสียในแกนเฟอร์ไรต์* (Core Loss)

2.17 เส้นโค้งฮิสเตอร์รีซิส (Hysteresis Curve)

เส้นโค้งฮิสเตอร์รีซิสจะแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ค่าความความหนาแน่นฟลักซ์แม่เหล็ก (B) ที่เกิดขึ้นในแกนเฟอร์ไรต์ กับความเข้มของสนามแม่เหล็ก (H) ที่เกิดจากการเหนี่ยวนำของขดลวดที่พันบนแกนในรูปที่ และ   จะแสดงลักษณะของเส้นโค้งฮิสเตอร์รีซิสของเนื้อสารชนิด 3C8 และ 3C6A ตามลำดับ ซึ่งผลิตโดยผู้ผลิตคือ FERROXCUBE จากรูปจะเห็นว่า ค่าความหนาแน่นฟลักซ์



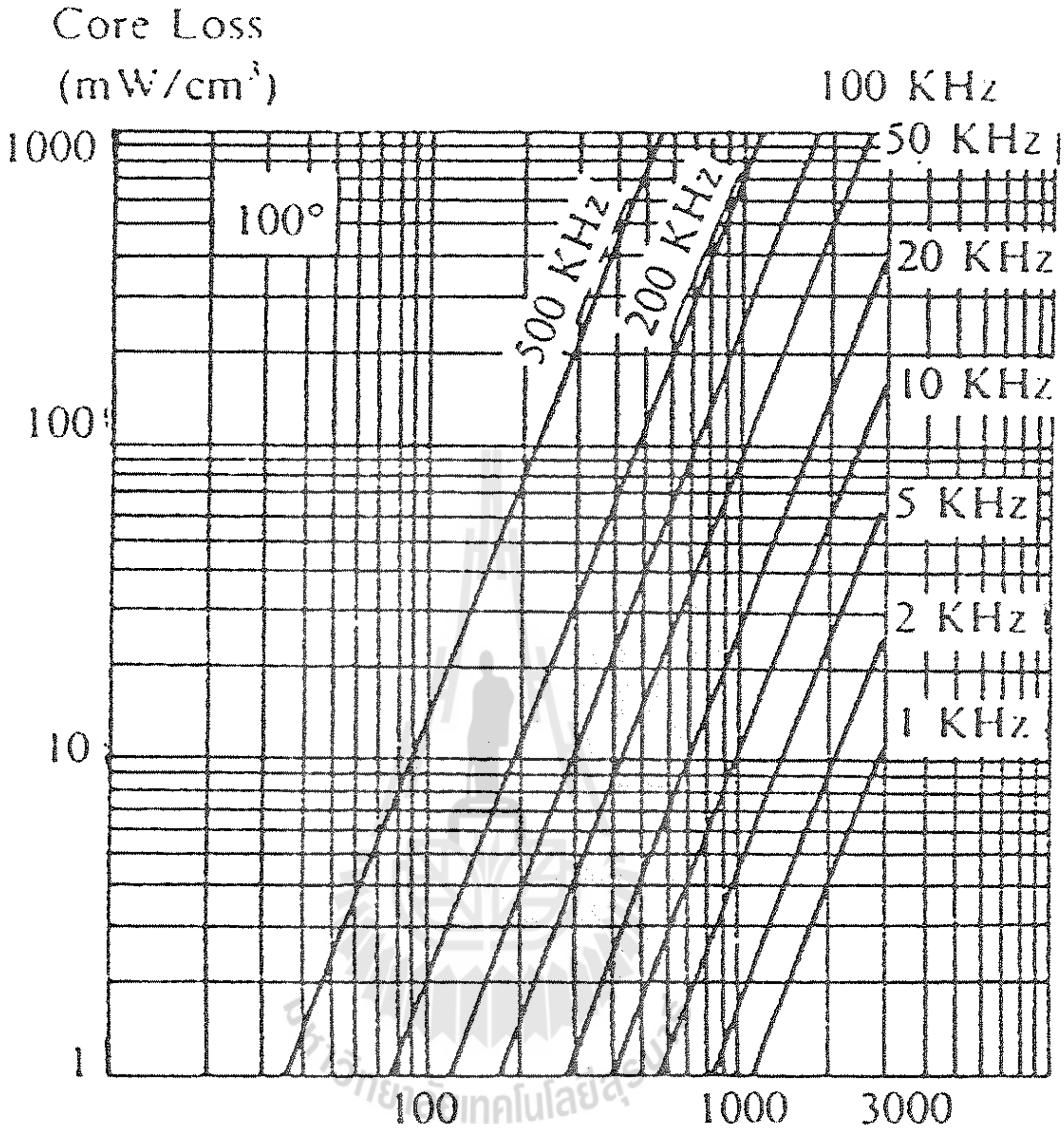
รูปที่ 2.20 แสดงลักษณะที่สมบูรณ์ของเส้นโค้งฮิสเตอร์รีซิสซึ่งจะมีลักษณะสมมาตรของกราฟซีกบนและซีกล่าง ปกติผู้ผลิตจะให้กราฟให้ซีกบนมาเท่านั้นดังรูปในรูปที่ 2.19

การใช้งานแกนเฟอร์ไรต์ในหม้อแปลงสวิตชิ่งจะต้องระวังไม่ทำให้แกนเฟอร์ไรต์เกิดการอิ่มตัวขึ้นได้ ดังนั้นโดยทั่วไปในการออกแบบหม้อแปลงสวิตชิ่ง จึงควรกำหนดค่าความหนาแน่นฟลักซ์แม่เหล็ก B ที่ยอมให้เกิดขึ้นได้ในแกนขณะทำงาน มีค่าไม่เกินครึ่งหนึ่งของค่าความหนาแน่นฟลักซ์แม่เหล็กสูงสุดก่อนอิ่มตัวของแกนเฟอร์ไรต์ เพื่อความปลอดภัย

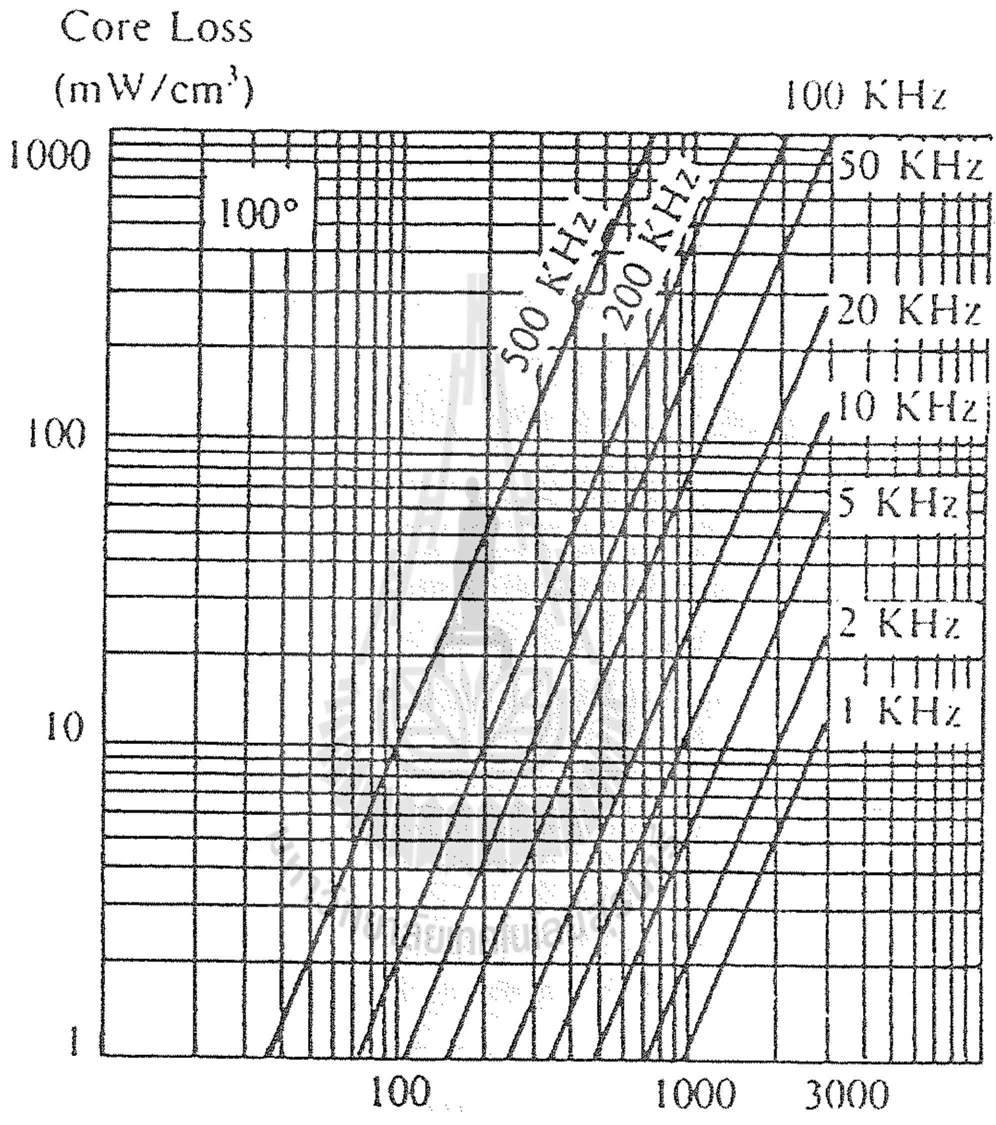
2.18 ค่าการสูญเสียในแกนเฟอร์ไรต์ (Core Loss)

การสูญเสียที่เกิดขึ้นในแกนเฟอร์ไรต์จะทำให้แกนเฟอร์ไรต์ร้อน ซึ่งมีสาเหตุหลัก 2 ประการคือ การสูญที่เกิดจากลักษณะฮิสเตอร์รีซิสของแกน (Hysteresis Loss) และการสูญเสียจากการเกิดกระแสไหลวนภายในแกนเฟอร์ไรต์ (Eddy Current Loss)

ที่ความถี่ต่ำกว่า 100 กิโลเฮิรตซ์ การสูญเสียจากการเกิดกระแสไหลวนในแกนจะมีค่าน้อยสำหรับแกนที่มีขนาดไม่ใหญ่มากนัก ดังนั้นการสูญเสียที่ก่อให้เกิดความร้อนในแกนอาจพิจารณาได้จากการสูญเสียทางฮิสเตอร์รีซิสเพียงอย่างเดียว ตัวอย่างกราฟแสดงค่าการสูญเสียที่เกิดขึ้นในแกนเฟอร์ไรต์แสดงไว้ในรูปที่ 2.21 (ก) และ 2.21 (ข) ปกติค่ากำลังสูญเสียจะถูกระบุไว้เป็นมิลิวัตต์ต่อหนึ่งลูกบาศก์เซนติเมตร (mw/cm3) และมีค่าความหนาแน่นฟลักซ์แม่เหล็ก ความถี่การใช้งานรวมถึงอุณหภูมิขณะใช้งานของแกนเฟอร์ไรต์



รูปที่ 2.21 (ก) แสดงค่าการสูญเสียในแกนเฟอร์ไรต์ของเนื้อสารชนิด 3C8



รูปที่ 2.21 (ข) แสดงค่าการสูญเสียในแกนเฟอร์ไรต์ของเนื้อสารชนิด 3C6A

2.19 การกำหนดค่าความหนาแน่นฟลักซ์แม่เหล็กสูงสุดในแกนหม้อแปลง

ค่าความหนาแน่นฟลักซ์แม่เหล็กในแกนของหม้อแปลง จะขึ้นอยู่กับจำนวนรอบของขดลวดไพรมารี่และขนาดของแกน จากกฎของฟาราเดย์จะได้ว่า

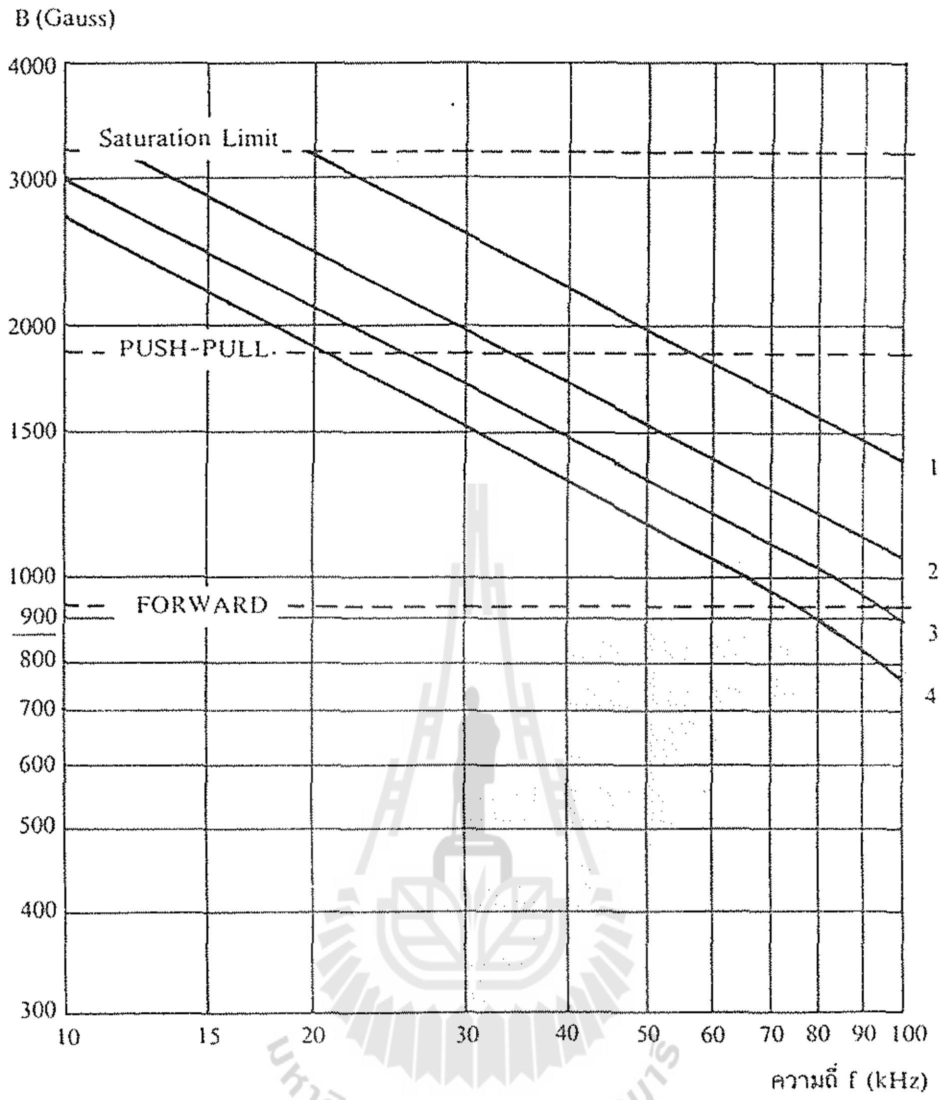
$$\Delta B = \frac{V \times t}{N_P \times A_e} \times 10^8$$

เมื่อ	ΔB	คือ	ค่าความหนาแน่นฟลักซ์แม่เหล็กที่เกิดขึ้นในแกน เป็นเกาส์
	V	คือ	ค่าแรงดันที่ตกคร่อมขดไพรมารี่ เป็นโวต์
	N_P	คือ	ค่าจำนวนรอบของขดไพรมารี่ เป็นรอบ
	A_e	คือ	ขนาดพื้นที่หน้าตัดของแกน เป็นตารางเซนติเมตร
	T	คือ	ช่วงเวลาที่มีการเปลี่ยนแปลงฟลักซ์แม่เหล็กเกิดขึ้น เป็นวินาที

จะเห็นได้ว่ายิ่งจำนวนรอบของขดลวดไพรมารี่มีค่าน้อยลง ค่าความหนาแน่นฟลักซ์ที่เกิดขึ้นจะยิ่งมีค่ามาก ซึ่งการลดจำนวนรอบของขดไพรมารี่ลงจะทำให้สามารถใช้ลวดทองแดงขนาดใหญ่ขึ้นได้ และสามารถทนกระแสได้สูงทำให้หม้อแปลงให้กำลังได้สูงขึ้น

อย่างไรก็ตาม หากค่าความหนแน่นฟลักซ์แม่เหล็กมีค่าเพิ่มขึ้นจนถึงจุดอิ่มตัว จะทำให้แรงดันตกคร่อม ขดไพรมารี่มีค่าลดลงอย่างรวดเร็ว แรงดันอินพุตจะไปตกคร่อมที่เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ขณะที่กำลังนำกระแสสูงๆแทน ทำให้เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์พังเสียหายได้ และความหนาแน่นฟลักซ์แม่เหล็กที่มีค่าสูงจะทำให้เกิดการสูญเสียภายในแกนสูงอีกด้วย ดังนั้นการกำหนดค่าความหนาแน่นฟลักซ์แม่เหล็กสูงสุดที่ยอมให้เกิดขึ้นในแกนเฟอร์ไรต์ของหม้อแปลงขณะทำงาน จึงมีข้อที่ควรคำนึงถึง 2 ประการคือ แกนเฟอร์ไรต์ต้องไม่เกิดอิ่มตัวขณะทำงานที่ค่าความหนาแน่นฟลักซ์แม่เหล็กสูงสุดที่เกิดขึ้นในแกนขณะทำงานจะต้องเกิดารสูญเสียในแกน-เฟอร์ไรต์ต่ำที่สุด

หมายเหตุ การกำหนดค่าความหนแน่นฟลักซ์แม่เหล็ก ΔB ให้กำหนดเป็น 2 เท่าของค่าที่อ่านได้จากกราฟ ($2 \times \Delta B$) และค่า ΔB ไม่ควรกำหนดเกินเส้นประในกราฟ ซึ่งแสดงขีดจำกัดของ ΔB สำหรับคอนเวอร์เตอร์

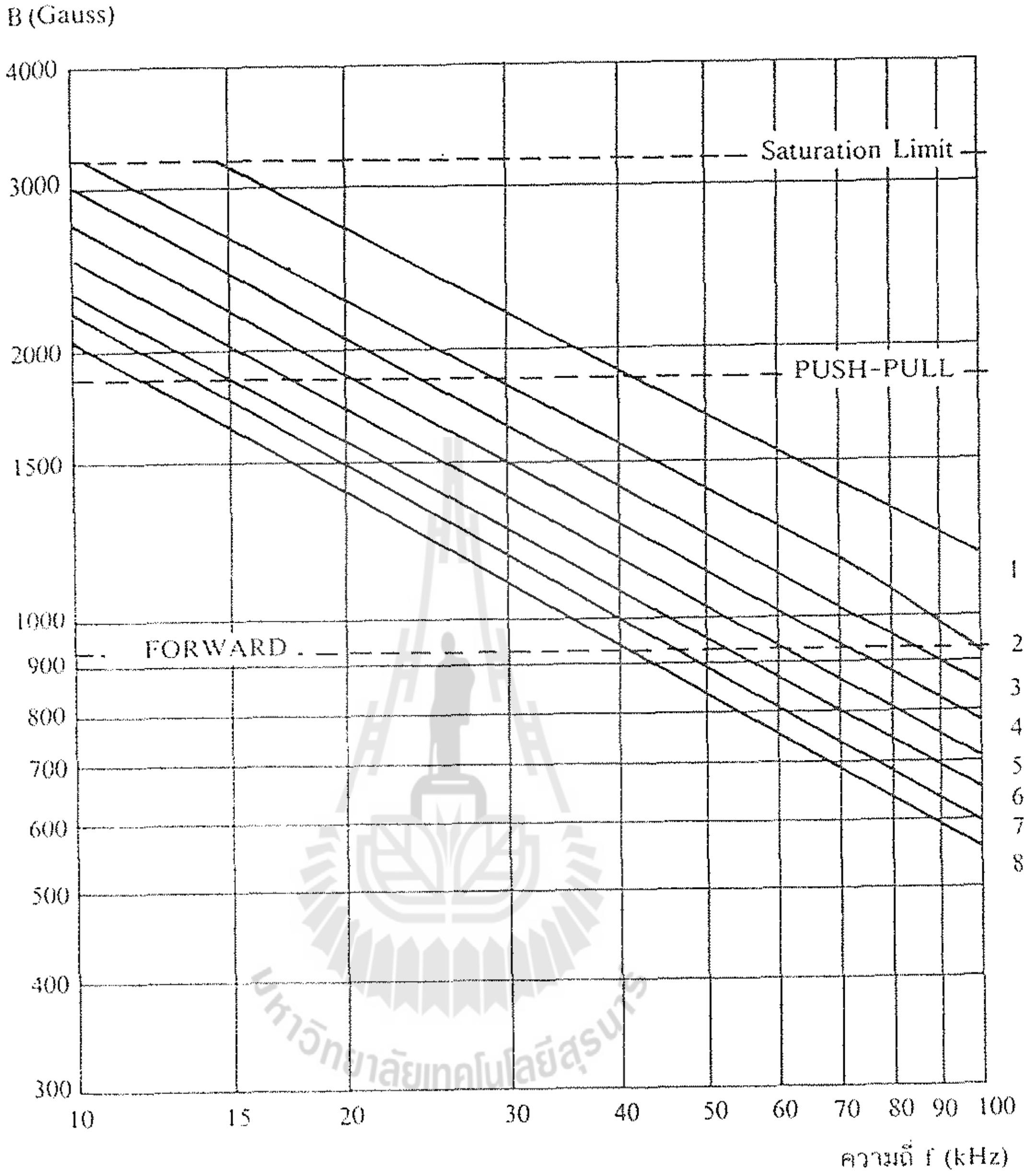


ขนาดแกนเฟอร์ไรต์ :

(1) UU 15/22/6, E 20/20/5 (2) UU 20/32/7, EE 25/25/7, EE 30/30/7

(3) UU 25/40/13 (4) UU 30/15/16

รูปที่ 2.22 (ก) กราฟเปรียบเทียบขนาดแกนเฟอร์ไรต์



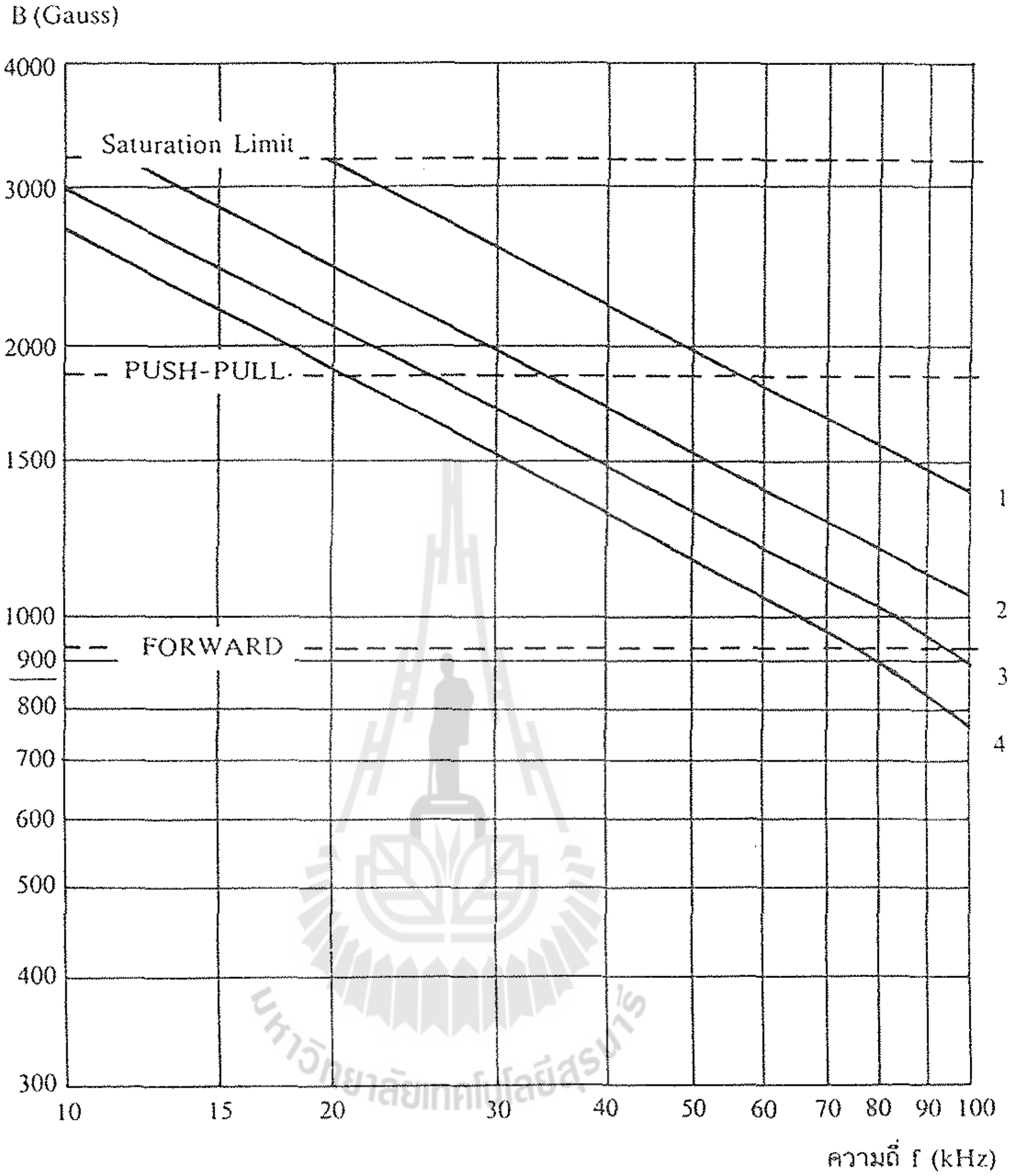
ขนาดแกนเฟอร์ไรต์ :

(1) EC 35 (2) EC 41, EC 52 (3) EC 70 (4) EE 42/42/15

(5) EE 42/42/20, EE 42/54/20, EE 42/66/20 (6) EE 55/55/21

(7) EE 55/55/25, UU 64/70/20 (8) EE 65/66/27

รูปที่ 2.22 (ข) กราฟเปรียบเทียบขนาดแกนเฟอร์ไรต์



ขนาดแกนเฟอร์ไรต์ : (1) ETD 34

(2) ETD 39

(3) ETD 44

(4) ETD 49

รูปที่ 2.22 (ค) กราฟเปรียบเทียบขนาดแกนเฟอร์ไรต์

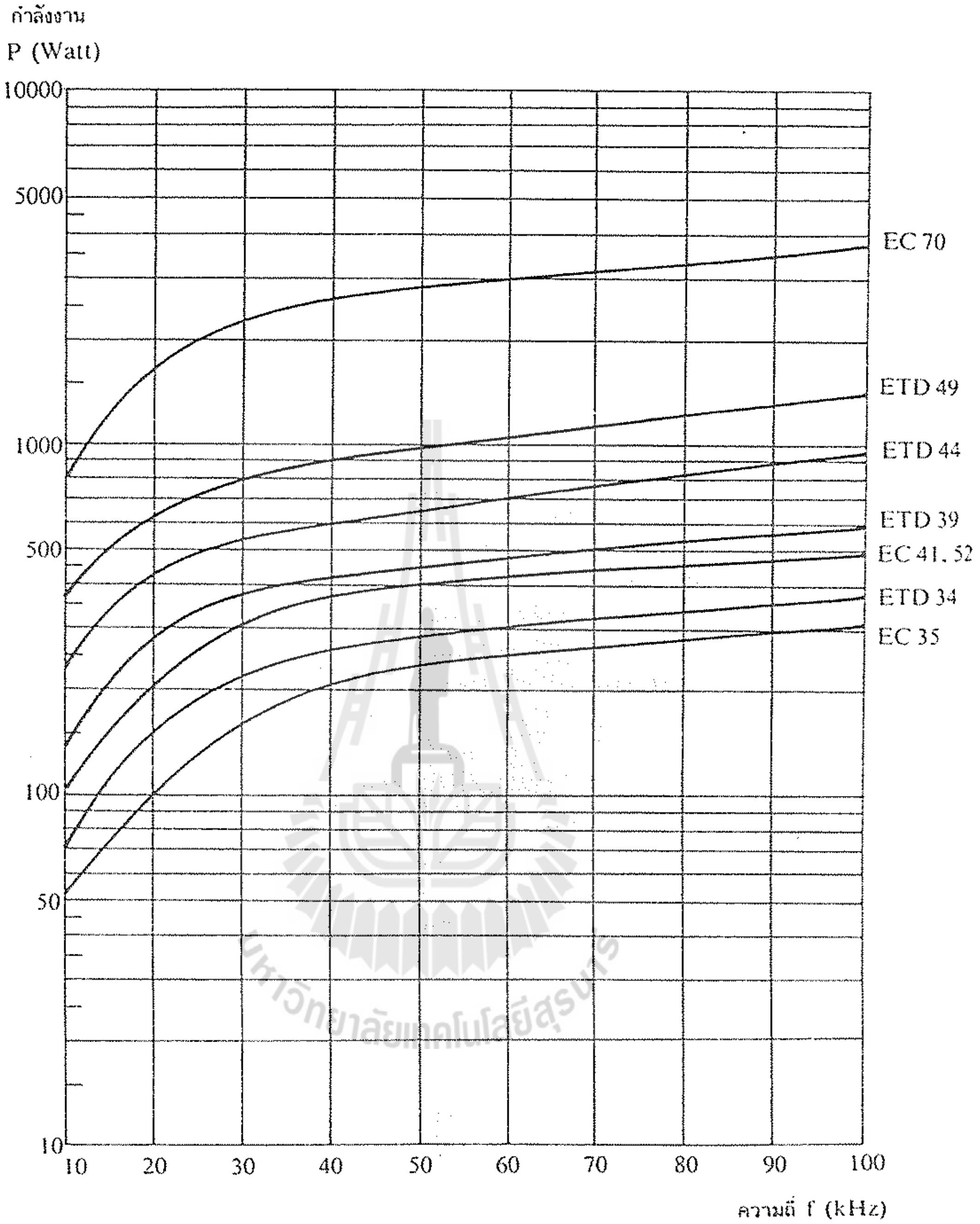
2.20 การเลือกขนาดแกนเฟอร์ไรต์ที่เหมาะสม

การใช้แกนเฟอร์ไรต์ที่มีขนาดใหญ่เกินไปสำหรับหม้อแปลงสวิตชิ่ง จะเป็นการสิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายโดยไม่จำเป็น ส่วนการใช้แกนเฟอร์ไรต์ที่มีขนาดเล็กเกินไป ขดลวดและแกนเฟอร์ไรต์จะร้อน กำลังงานสูงสุดที่เหมาะสมสำหรับแกนเฟอร์ไรต์ขนาดต่างๆ พิจารณาได้จากขนาดหน้าตัดของแกน (A_e) และขนาดช่องสำหรับพันขดลวดของบอบบิ้น (A_W) โดยอาจคำนวณได้จากสมการดังนี้ สำหรับแกนที่ใช้กับหม้อแปลงของฮาล์ฟบริดจ์และฟูลบริดจ์คอนเวอร์เตอร์

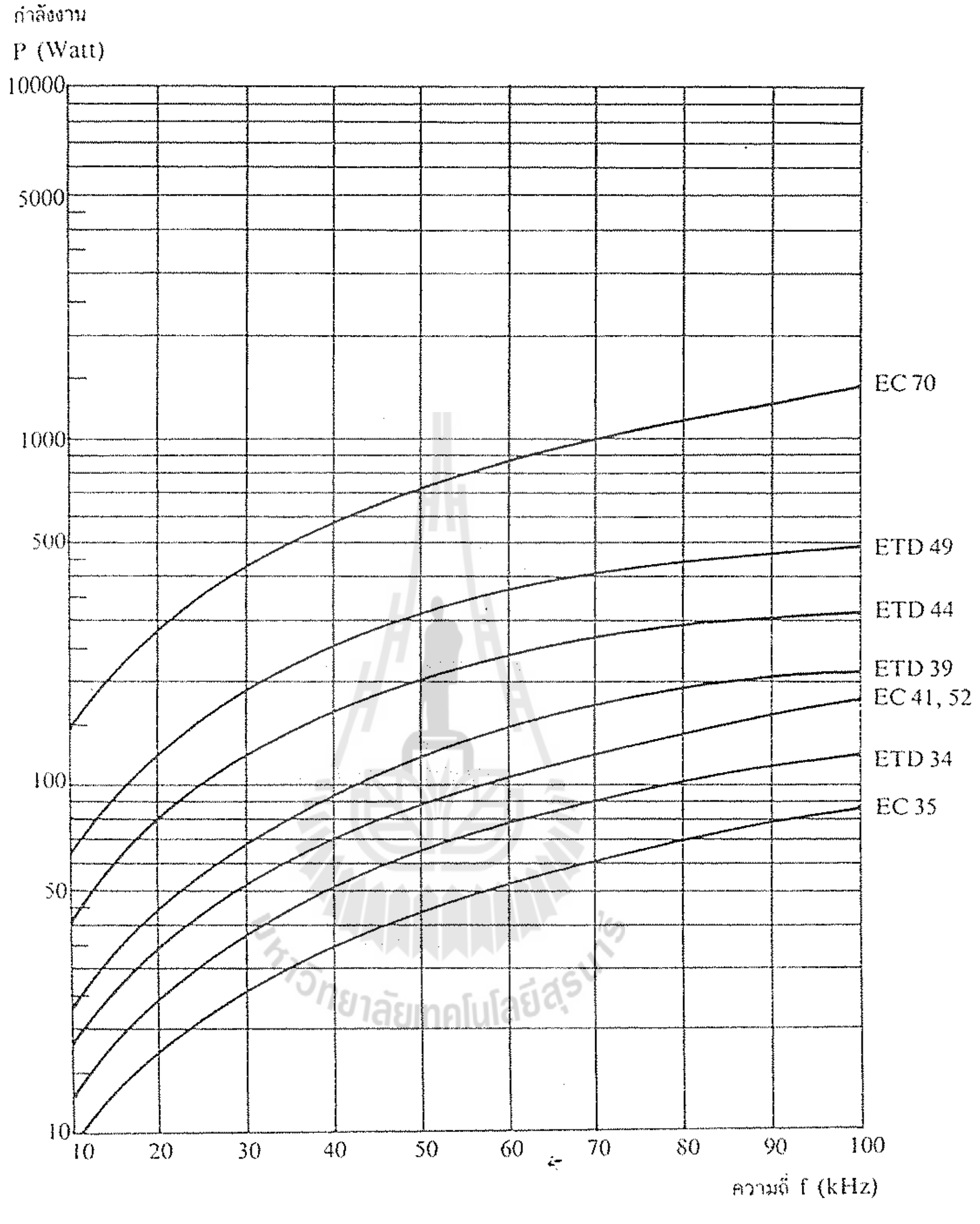
$$P = \frac{1.4\Delta B_{(max)} \times f \times A_c \times A_W}{D} \times 10^{-3} \qquad (2.2)$$

$\Delta B_{(max)}$ = ค่าความหนาแน่นฟลักซ์สูงสุดในแกนเฟอร์ไรต์ เป็นเกาส์
F = ค่าความถี่การทำงานของแฟนเฟอร์ไรต์ เป็นเฮิรตซ์
A_c = พื้นที่หน้าตัดของแกนเฟอร์ไรต์ เป็นตารางเซนติเมตร
A_W = พื้นที่ช่องสำหรับพันขดลวดของบอบบิ้น เป็นตารางเซนติเมตร
D = ค่าความหนาแน่นกระแสไขดไพรมารี เป็นเซอร์คูลาร์มิลต่อแอมป์
P = กำลังงานสูงสุดที่ได้จากแกนเฟอร์ไรต์ เป็นวัตต์

ค่าของ $\Delta B_{(max)}$ ที่เหมาะสมหาได้จากรูปที่ 2.22 (ก), (ข) และ (ค) ส่วนค่าของ A_c และ A_W เป็นขนาดมาตรฐานของแกนเฟอร์ไรต์ที่ใช้ โดยดูได้จากข้อมูลจากผู้ผลิตที่ให้มากับแกนเฟอร์ไรต์ ค่าของ D กำหนดได้จากขนาดของลวดทองแดงที่ใช้พัน รูปที่ 2.21 แสดงค่ากำลังที่เหมาะสมสำหรับแกนขนาดต่างๆ ในการใช้งานที่ความถี่ 20 กิโลเฮิรตซ์ถึง 100 กิโลเฮิรตซ์ ซึ่งคำนวณจากสมการที่ 2.2 โดยกำหนดค่าความหนาแน่นกระแส D ไว้ที่ 500 เซอร์คูลาร์มิลต่อหนึ่งแอมป์



รูปที่ 2.23 (ก) แสดงค่ากำลังงานที่เหมาะสมสำหรับแกนเฟอร์ไรต์ขนาดต่างๆ เมื่อใช้กับฮาล์ฟบริดจ์คอนเวอร์เตอร์

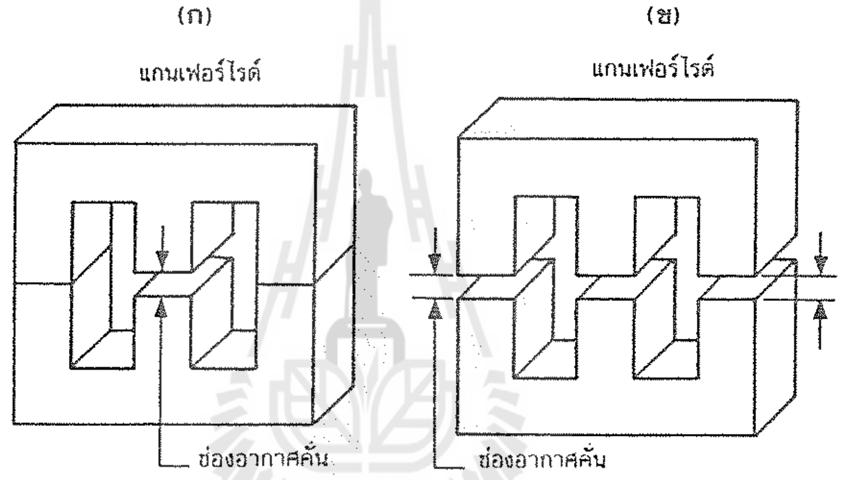


รูปที่ 2.23 (ข) แสดงค่ากำลังงานที่เหมาะสมสำหรับแกนเฟอร์ไรต์ขนาดต่างๆ เมื่อใช้กับฮาล์ฟบริดจ์คอนเวอร์เตอร์

2.21 ช่องอากาศคั่นทางเดินแม่เหล็กในแกนเฟอร์ไรต์ (Air Gap)

การกำหนดช่องอากาศคั่นทางเดินแม่เหล็ก (Air Gap) ในแกนเฟอร์ไรต์ เป็นวิธีการอย่างหนึ่งที่ใช้ป้องกันการอิ่มตัวของแกนเฟอร์ไรต์ และช่วยให้การสะสมพลังงานของขดลวดในหม้อแปลงสวิตซึ่งมีค่ามากขึ้นได้ด้วย อย่างไรก็ตาม ช่องอากาศคั่นในแกนเฟอร์ไรต์จะทำให้เกิดการแพร่กระจายสัญญาณรบกวน EMI ออกมา และอาจรบกวนอุปกรณ์ภายนอกได้เช่นกัน

สำหรับแกนเฟอร์ไรต์แบบ EE, EI, ETD หรือแบบ POT สามารถกำหนดลักษณะของช่องอากาศคั่นในแกนได้ 2 ลักษณะ ดังรูปที่ 2.24 คือการกำหนดช่องอากาศคั่นที่แกนกลางอย่างเดียว และการคั่นแกนด้วยช่องอากาศระหว่างคู่ประกบ



รูปที่ 2.24 แสดงกำหนดช่องอากาศคั่น ℓ_g ที่แกนกลาง (ก) และการคั่นช่องอากาศ ℓ_g ระหว่างคู่ประกาอบของแกนเฟอร์ไรต์

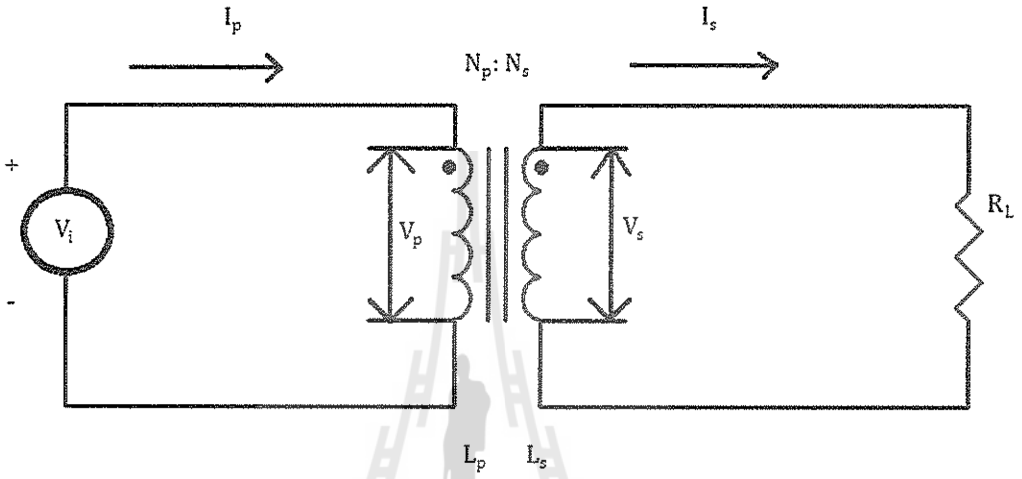
การคั่นแกนด้วยช่องอากาศระหว่างคู่ประกบสามารถทำได้ง่ายกว่าการคั่นช่องอากาศที่แกนกลาง ซึ่งทำได้โดยการใช้แผ่นฉนวนที่มีความหนาเป็นครึ่งหนึ่งของระยะช่องอากาศคั่นที่ต้องการ นำมาคั่นระหว่างแกนนอกของคู่ประกบ ส่วนการกำหนดช่องอากาศคั่นที่แกนกลางต้องสั่งโดยตรงจากผู้ผลิตแกนเฟอร์ไรต์หรือขัดแกนกลางออกเองเพื่อให้ได้ระยะช่องอากาศคั่นตามต้องการ

มีข้อสังเกตคือ การคั่นช่องอากาศระหว่างคู่ประกบ ความหมายของแผ่นฉนวนคั่นที่ใช้จะมีค่าเพียงครึ่งหนึ่งของระยะช่องอากาศคั่นที่ต้องการเท่านั้น เนื่องจากช่องอากาศที่เกิดขึ้นจะคั่นทางเดินฟลักซ์แม่เหล็กถึงสองครั้งในแกน ดังนั้นระยะช่องอากาศคั่นที่ได้จึงเป็นผลรวมของระยะ-ช่องอากาศที่เกิดขึ้นทั้งหมด

2.22 ความสัมพันธ์ระหว่างขดไพรมารีและขดเซคั่นดารีของหม้อแปลงสวิตชิ่ง

หม้อแปลงสวิตชิ่งจะมีความสัมพันธ์ของขดไพรมารี่และขดเซคั่นดารี่เป็นไปตามทฤษฎีหม้อแปลงทั่วไป ผลของจำนวนรอบและค่าของแรงดันที่เกิดขึ้นในวงจรจากรูปที่ 2.25

$$\frac{V_P}{V_S} = \frac{N_P}{N_S} = \frac{I_S}{I_P}$$



รูปที่ 2.25 แสดงความสัมพันธ์พื้นฐานของหม้อแปลง

$$\frac{N_P}{N_S} = \sqrt{\frac{L_P}{L_S}}$$

N_P คือ จำนวนรอบของขดไพรมารี่

N_S คือ จำนวนรอบของขดเซคั่นดารี่

V_P คือ ค่าแรงดันตกคร่อมขดไพรมารี่

V_S คือ ค่าแรงดันตกคร่อมขดเซคั่นดารี่

L_P คือ ค่าความเหนี่ยวนำของขดไพรมารี่

L_S คือ ค่าความเหนี่ยวนำของขดเซคั่นดารี่

I_P คือ ค่ากระแสที่ไหลผ่านขดไพรมารี่

I_S คือ ค่ากระแสที่ไหลผ่านขดเซคั่นดารี่

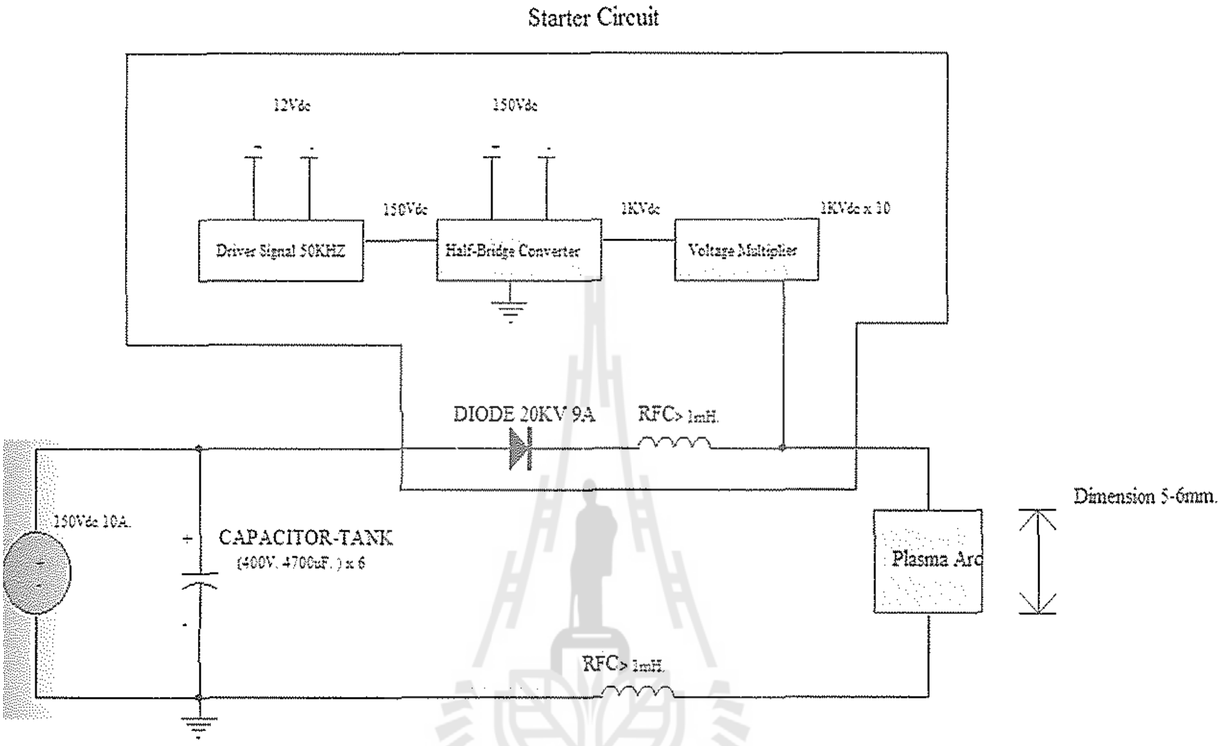
มีข้อสังเกตคือ แรงดัน V_p เป็นค่าแรงดันที่ตกคร่อมขดไพรมารี่ซึ่งเกิดจากการเปลี่ยนแปลงของฟลักซ์แม่เหล็กภายในแกนของหม้อแปลงเนื่องจากมีกระแสไหลผ่านขดไพรมารี่ ไม่ใช่ค่าแรงดันอินพุต V_i โดยที่ V_p จะมีค่าเป็นไปตามสมการ

$$V_P = N_P \times A_e \left(\frac{dB}{dt}\right) \times 10^{-8}$$

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

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

บทที่ 3 การออกแบบเครื่องกำเนิดพลาสมา



รูปที่ 3.1 แสดงวงจรเครื่องกำเนิดพลาสมา

ส่วนประกอบของเครื่องกำเนิดพลาสมาดังรูปที่ 3.1 ประกอบด้วย 2 ส่วน ได้แก่

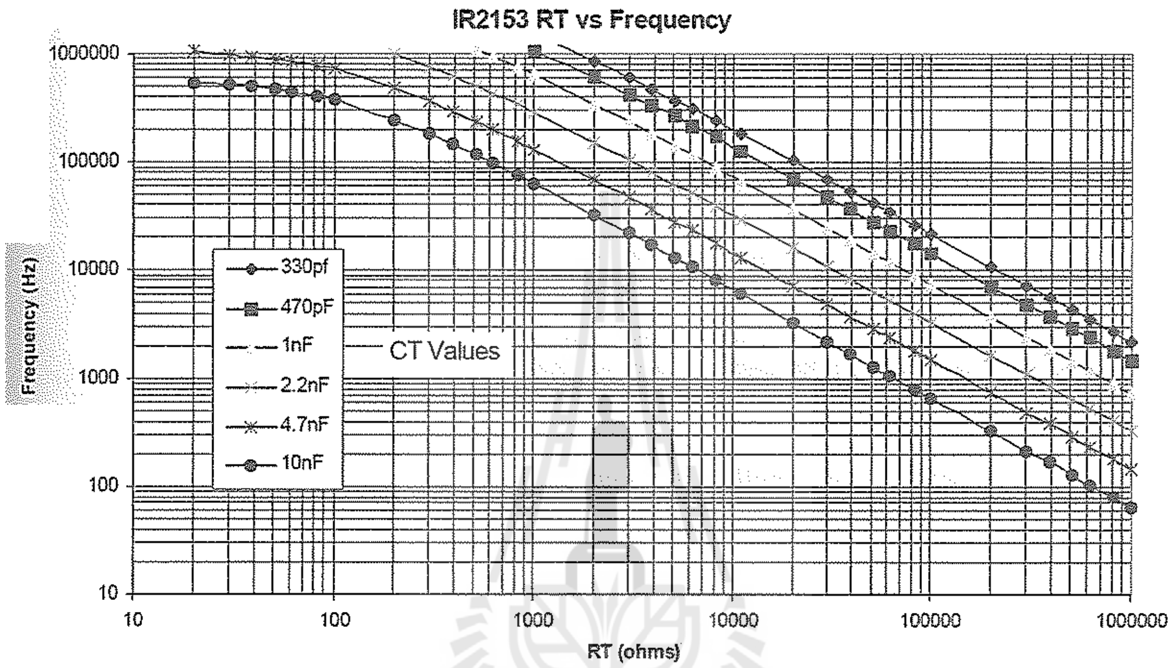
ส่วนที่ 1 Starter Circuit เป็นส่วนที่ทำหน้าที่ควบคุมการสร้างพลาสมาอาร์ค จะทำหน้าที่พร้อมๆกันทั้ง 3 วงจร

ส่วนที่ 2 ภาคแหล่งจ่ายกระแสไฟฟ้า 10A. โดยผ่านการชาร์ตประจุจาก Capacitor Tank จากนั้นผ่านไดโอด เพื่อทำการเรียงกระแส และผ่านตัว RFC เพื่อป้องกันกระแสไหลย้อนกลับเข้าแหล่งกำเนิดไฟฟ้า

ซึ่งในการทดสอบการอาร์คพลาสมานี้ เราจะเปิดแหล่งจ่ายไฟฟ้าให้แก่ส่วนที่ 1 เพื่อทำให้เกิดการอาร์ค หลังจากนั้นแล้วเปิดแหล่งจ่ายไฟฟ้าให้แก่ส่วนที่ 2 เพื่อเป็นการเพิ่มกระแสไฟฟ้ากระตุ้นให้กับหัวอาร์คพลาสมา

3.1 วงจร Half-Bridge Driver Signal 50KHZ.

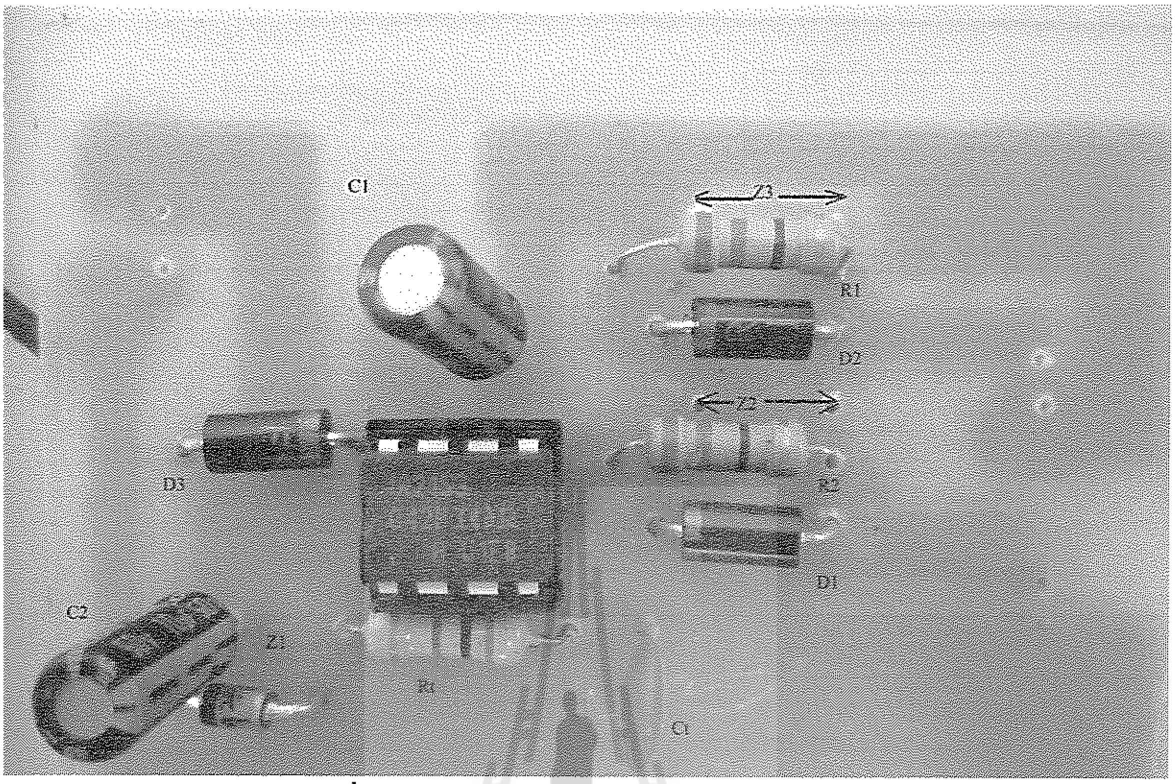
การทำงานของไอซีเบอร์ IR2153 ซึ่งไอซีเบอร์นี้สามารถสร้างความถี่ 50KHZ. โดยที่ค่าความถี่สามารถคำนวณได้จากค่า R_t และ C_t ซึ่งค่า R_t และ C_t สามารถอ่านค่าได้จากข้อมูลกราฟที่ 3.1



กราฟที่ 3.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ความถี่ที่ใช้ในการสร้างวงจร และ ค่า R_t

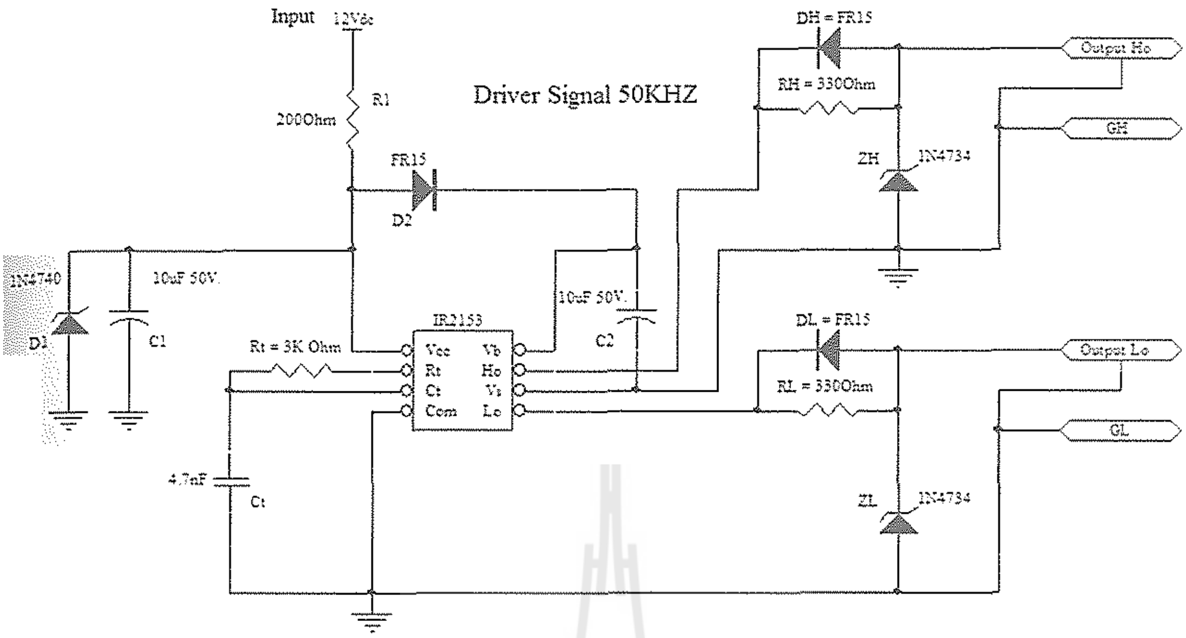
จากกราฟที่ 3.1 สำหรับการออกแบบวงจร Half-Birdge Driver

จะเลือกใช้ค่า C_t = 4.7uF และค่า R_t = 3KΩ



รูปที่ 3.2 วงจร Half-Birdge Driver Signal 50KHZ.

ลำดับ	รายการอุปกรณ์	จำนวน
1	ไอซีเบอร์ IR2153	1
2	Z1 ซีเนอร์ไดโอดเบอร์ 1N4740	1
3	Z2,Z3 ซีเนอร์ไดโอดเบอร์ 1N4734	2
4	D1,D2,D3 ไดโอดเบอร์ FRI5	3
5	C1,C2 ตัวเก็บประจุขนาด 10uF 50V.	2
6	Ct ตัวเก็บประจุขนาด 4.7uF	1
7	Rt ตัวต้านทานขนาด 3K Ohm	1
8	R1,R2 ตัวต้านทานขนาด 330 Ohm	2
9	ตัวต้านทานขนาด 200 Ohm (ก่อนเข้าวงจร)	1



รูปที่ 3.3 แสดงวงจร Half-Birdge Driver Signal 50KHZ.

อธิบายหน้าที่การทำงานของอุปกรณ์ต่างๆในวงจร Half-Birdge Driver Signal 50KHZ.

R_1 ทำหน้าที่ ป้องกันกระแสเกินจากแหล่งจ่ายไฟฟ้า 12 V. ที่เข้าวงจร

D_1 , C_1 ทำหน้าที่ คงค่าแรงดันอินพุต

D_2 , C_2 ทำหน้าที่ เป็นแหล่งจ่ายเสมือน

ชุดอุปกรณ์ D_H , R_H , Z_H , D_L ,R_L, Z_L ทำหน้าที่ ในการควบคุมแรงดันรูปคลื่นของเอาท์พุตทั้ง 2 ด้าน โดยที่

ถ้าค่า R_H , R_L เหามะสมจะทำให้รูปสัญญาณพัลส์เป็นสี่เหลี่ยม

ถ้าค่า R_H , R_L มากเกินไป จะทำให้เกิดความลาดเอียงของสัญญาณ

ถ้าค่า R_H , R_L น้อยเกินไป จะทำให้ IC เสีย

G_H , G_L ทำหน้าที่ เป็นกราวด์เสมือน

3.2 วงจร Half - Bridge Converter

<u>การออกแบบหม้อแปลงสวิตชิ่งในวงจรฮาล์ฟบริดจ์คอนเวอร์เตอร์</u>

ความถี่ที่ใช้งาน f = 50 KHZ.

คำนวณหาความลึกผิว (ε)

$$\varepsilon = \frac{6.62}{\sqrt{f}}$$

$$\varepsilon = \frac{6.62}{\sqrt{50000}}$$

$\varepsilon = 0.0296$ cm.

คำนวณหาขนาดของเส้นลวด (D_{AWG}) และ หาพื้นที่หน้าตัดของเส้นลวด (A_W)

หาขนาดของเส้นลวด (D_{AWG})

$$D_{AWG} = 2(\varepsilon)$$

$$D_{AWG} = 2(0.0296)$$

$D_{AWG} = 0.0592$ cm.

หาพื้นที่หน้าตัดของเส้นลวด (A_W)

$$(A_W) = \frac{\pi(D^2_{AWG})}{4}$$

$$(A_W) = \frac{\pi(0.0592)^2}{4}$$

$(A_W) = 0.002752$ cm.^{2}

สำหรับในโครงงานเครื่องกำเนิดพลาสมาจะเลือกใช้

ชนิดของแกนแม่เหล็กเป็นแกนเฟอร์ไรต์ เบอร์ EE-21

และใช้เส้นลวดทองแดงเบอร์ AWG 26

EE, Ferrite Cores (Magnetics)											
Part No.	W_{tcu} grams	W_{tfe} grams	MLT cm	MPL cm	$\frac{W_a}{A_c}$	A_c cm^2	W_a cm^2	A_p cm^4	K_g cm^5	A_t cm^2	*AL mh/1K
EE-187	6.8	4.4	3.8	4.01	2.219	0.228	0.506	0.116	0.0028	14.4	500
EE-2425	13.9	9.5	4.9	4.85	2.068	0.384	0.794	0.305	0.0095	23.5	767
EE-375	36.4	33.0	6.6	6.94	1.875	0.821	1.539	1.264	0.0624	45.3	1167
EE-21	47.3	57.0	8.1	7.75	1.103	1.490	1.643	2.448	0.1802	60.9	1967
EE-625	64.4	103.0	9.4	8.90	0.808	2.390	1.930	4.616	0.4700	81.8	2767
EE-75	111.1	179.0	11.2	10.70	0.826	3.390	2.799	9.487	1.1527	118.0	3467

*This AL value has been normalized for a permeability of 1K. For a close approximation of AL for other values of permeability, multiply this AL value by the new permeability in kilo-perm. If the new permeability is 2500, then use 2.5.

ตารางที่ 3.1 แสดงตารางแกนแม่เหล็กเบอร์ต่างๆสำหรับการออกแบบหม้อแปลงไฟฟ้า

Wire Table												
AWG	Bare Area		Resistance μΩ/cm 20°C	Heavy Synthetics								
				Area		Diameter		Turns-Per		Turns-Per		Weight
	$cm^2(10^{-3})$	cir-mil		$cm^2(10^{-3})$	cir-mil	cm	Inch	cm	Inch	cm^2	$Inch^2$	gm/cm
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
10	52.6100	10384.00	32.7	55.9000	11046.00	0.2670	0.105	3.9	10	11	69	0.46800
11	41.6800	8226.00	41.4	44.5000	8798.00	0.2380	0.094	4.4	11	13	90	0.37500
12	33.0800	6529.00	52.1	35.6400	7022.00	0.2130	0.084	4.9	12	17	108	0.29770
13	26.2600	5184.00	65.6	28.3600	5610.00	0.1900	0.075	5.5	13	21	136	0.23670
14	20.8200	4109.00	82.8	22.9500	4556.00	0.1710	0.068	6.0	15	26	169	0.18790
15	16.5100	3260.00	104.3	18.3700	3624.00	0.1530	0.060	6.8	17	33	211	0.14920
16	13.0700	2581.00	131.8	14.7300	2905.00	0.1370	0.054	7.3	19	41	263	0.11840
17	10.3900	2052.00	165.8	11.6800	2323.00	0.1220	0.048	8.2	21	51	331	0.09430
18	8.2280	1624.00	209.5	9.3260	1857.00	0.1090	0.043	9.1	23	64	415	0.07474
19	6.5310	1289.00	263.9	7.5390	1490.00	0.0980	0.039	10.2	26	80	515	0.05940
20	5.1880	1024.00	332.3	6.0650	1197.00	0.0879	0.035	11.4	29	99	638	0.04726
21	4.1160	812.30	418.9	4.8370	954.80	0.0785	0.031	12.8	32	124	800	0.03757
22	3.2430	640.10	531.4	3.8570	761.70	0.0701	0.028	14.3	36	156	1003	0.02965
23	2.5880	510.80	666.0	3.1350	620.00	0.0632	0.025	15.8	40	191	1234	0.02372
24	2.0470	404.00	842.1	2.5140	497.30	0.0566	0.022	17.6	45	239	1539	0.01884
25	1.6230	320.40	1062.0	2.0020	396.00	0.0505	0.020	19.8	50	300	1933	0.01498
26	1.2800	252.80	1345.0	1.6030	316.80	0.0452	0.018	22.1	56	374	2414	0.01185
27	1.0210	201.60	1687.0	1.3130	259.20	0.0409	0.016	24.4	62	457	2947	0.00945
28	0.8046	158.80	2142.0	1.0515	207.30	0.0366	0.014	27.3	69	571	3680	0.00747

ตารางที่ 3.2 แสดงเบอร์ของเส้นลวดเบอร์ต่างๆตามมาตรฐาน AWG (American Wire Gauge)

<u>ค่าพารามิเตอร์ที่นำมาใช้ในการออกแบบ</u>

แรงดันอินพุต	V_i = 150 V.
แรงดันเอาท์พุต	V_o = 1500 V.
กระแสอินพุต	I_i = 2 A.
ความถี่ที่ใช้งาน	f = 50 KHZ.
ประสิทธิภาพของหม้อแปลง	n = 80% = 0.8
ค่าดิวตี้ไซเคิล	D_{max} = 45% = 0.45
สัมประสิทธิ์แกนเหล็ก	K_g = 0.1802 $cm.^5$
สัมประสิทธิ์รูปแบบคลื่น	K_f = 4.0 (Square Wave) , 4.4 (Sine Wave)
พื้นที่แกนเหล็ก	A_c = 1.490 $cm.^5$
กำลังไฟฟ้าอินพุต	$P_i = I_iV_i = (2)(150) = 300$ W.
กำลังไฟฟ้าเอาท์พุต	$P_o = nP_i = (0.8)(300) = 240$ W.
กำลังไฟฟ้ารวม	$P_t = P_o + P_i = 240 + 300 = 540$ W.
กระแสเอาท์พุต	$I_o = \frac{P_o}{V_o} = \frac{240}{1500} = 0.16$ A.

3.2.1 การออกแบบหม้อแปลงไฟฟ้าด้านไพรมารี่ (Primary Transformer Design)

กำหนด B_{ac}= 0.126 T

<u>1.หาความหนาแน่นของฟลักซ์แม่เหล็ก</u>

$$N_p = \frac{V_i(10^4)}{K_f B_{ac} f A_c}$$

$$N_p = \frac{150(10^4)}{(4)(0.126)(50\times10^3)(1.49)}$$

$$N_p = 40$$

2.หาความหนาแน่นของกระแส

$$J = \frac{P_t(10^4)}{K_f K_u B_{ac} f A_p}$$

$$J = \frac{540(10^4)}{(2)(0.289)(0.126)(50\times10^4)(2.448)}$$

$J = 302.88\ A/cm.^2$

3.หาพื้นที่หน้าตัดของเส้นลวดด้านไพรมารี่

$$A_{WP} = \frac{I_i\sqrt{D_{max}}}{J}$$

$$A_{WP} = \frac{(4)\sqrt{0.45}}{302.88}$$

$A_{WP} = 0.00221\ cm.^2$

4.หาจำนวนเส้นลวดด้านไพรมารี่

กำหนด A_B = พื้นที่หน้าตัดของลวดเบอร์ AWG 26

$$S_{np} = \frac{A_{WP}}{A_B}$$

$$S_{np} = \frac{0.00221}{0.00128}$$

$S_{np} = 1.72$ เส้น กำหนดใช้ 2 เส้น

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

<u>5.หาค่าความต้านทานใหม่ของเส้นลวดด้านไพรมารี่ต่อเซนติเมตร</u>

$$(\text{New})\ \mu\Omega / \text{cm.} = \frac{\mu\Omega/\text{cm.}}{S_{np}}$$

$$(\text{New})\ \mu\Omega / \text{cm.} = \frac{1345}{2}$$

$$(\text{New})\ \mu\Omega / \text{cm.} = 672.5$$

<u>6.หาความต้านทานด้านไพรมารี</u>

ค่า MLT ของแกนเหล็กเบอร์ EE-21 = 8.1

$$R_p = MLT(N_p)\left(\frac{\mu\Omega}{\text{cm.}}\right)(10^{-6})$$

$$R_p = (8.1)(40)(672.5)(10^{-6})$$

$$R_p = 0.217\ \Omega$$

<u>7.หากำลังงานที่สูญเสียในเส้นลวดด้านไพรมารี่</u>

$$P_p = I_p^2 R_p$$

$$P_p = (2^2)(0.217)$$

$$P_p = 0.868\ \text{W.}$$

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

3.2.2 การออกแบบหม้อแปลงไฟฟ้าด้านเซคั่นดารี่ (Secondary Transformer Design)

8.หาจำนวนรอบของเส้นลวดด้านเซคั่นดารี่

$$N_s = \frac{N_p V_s}{V_i}\left(1+\frac{\alpha}{100}\right)$$

$$N_s = \frac{40(1500.3)}{150}\left(1+\frac{0.5}{100}\right)$$

N_s = 402.08 รอบ กำหนดใช้ 403 รอบ

9.หาพื้นที่หน้าตัดของเส้นลวดด้านเซคั่นดารี่

$$A_{WS} = \frac{I_o\sqrt{D_{max}}}{J}$$

$$A_{WS} = \frac{(0.16)\sqrt{0.45}}{302.88}$$

$A_{WS} = 0.000354$ cm.^{2}

10.หาจำนวนเส้นลวดด้านเซคั่นดารี่

กำหนด A_B = พื้นที่หน้าตัดของลวดเบอร์ AWG 26

$$S_{ns} = \frac{A_{WS}}{A_B}$$

$$S_{ns} = \frac{0.000354}{0.00128}$$

S_{ns} = 0.277 เส้น กำหนดใช้ 1 เส้น

11.หาความต้านทานใหม่ของลวดด้านเซคั่นดารี่ต่อเซนติเมตร

$$(New)\ \mu\Omega / cm. = \frac{\mu\Omega/cm.}{S_{ns}}$$

$$(New)\ \mu\Omega / cm. = \frac{1345}{1}$$

$$(New)\ \mu\Omega / cm. = 1345$$

12.หาความต้านทานด้านเซคั่นดารี่

ค่า MLT ของแกนเหล็กเบอร์ EE-21 = 8.1

$$R_s = MLT(N_s)(\frac{\mu\Omega}{cm.})(10^{-6})$$

$$R_s = (8.1)(403)(1345)(10^{-6})$$

$$R_s = 4.39\ \Omega$$

13.หากำลังงานที่สูญเสียในเส้นลวดด้านเซคั่นดารี่

$$P_s = I_s^2 R_s$$

$$P_s = (0.16^2)(4.39)$$

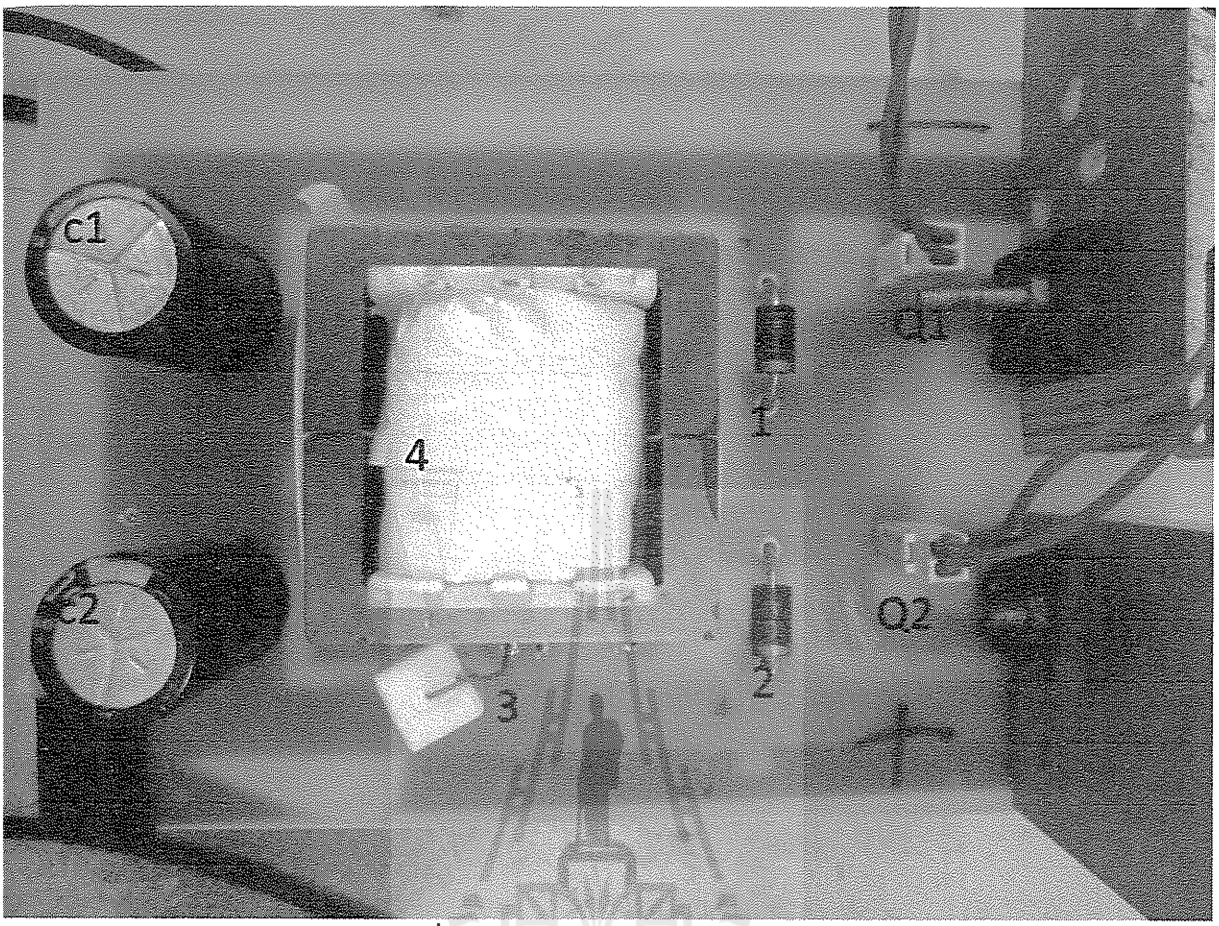
$$P_s = 0.112\ W.$$

14.หากำลังงานที่สูญเสียรวมทั้งหม้อแปลงไฟฟ้า

$$P_{cu} = P_p + P_s = 0.868 + 0.112 = 0.98\ W.$$

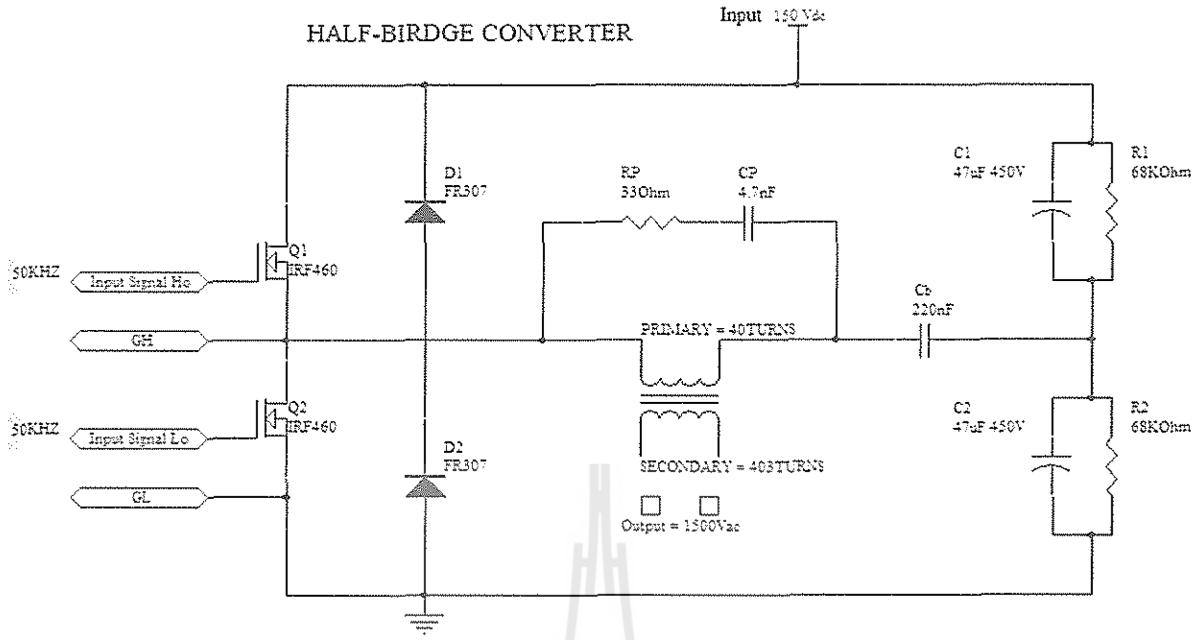
15.หาเปอร์เซ็นต์ค่าประสิทธิผลของหม้อแปลงไฟฟ้า

$$x = \frac{P_{cu}}{P_o}(100) = \frac{0.98}{240}(100) = 0.4083\ \%$$



รูปที่ 3.4 วงจร Half - Bridge Converter

ลำดับ	รายการอุปกรณ์	จำนวน
1	4 หม้อแปลงไฟฟ้าแกนเหล็กเบอร์ TR – EE 40	1
2	Q1,Q2 MOSFET IRF460 ชนิด N-CHANEL	2
3	c1,c2 ตัวเก็บประจุ ขนาด 450 V 47 uF	2
4	3 ตัวต้านทาน 330 Ohm	1
5	1,2 ไดโอด FR307	2
6	ตัวเก็บประจุ ขนาด 4.7 nF (ด้านล่างวงจร)	1
7	ตัวเก็บประจุ ขนาด 220 nF (ด้านล่างวงจร)	1
8	ตัวต้านทาน 68 KOhm (ด้านล่างวงจร)	2



รูปที่ 3.5 แสดงวงจร Half - Bridge Converter

อธิบายหน้าที่การทำงานของอุปกรณ์ต่างๆในวงจร Half - Bridge Converter

อัตราส่วนความสัมพันธ์ของจำนวนขดลวดด้านไพรมารี่และเซคั่นดารี่ Ratio = $\frac{N_s}{N_p} = \frac{403}{40}$ = 10.075 เท่า

Q_1, Q_2 เป็นมอสเฟตทำหน้าที่ในการนำกระแสเข้าสู่ขดลวดไพรมารี่ จะทำงานที่ย่านความถี่ 50KHZ และนำกระแสไฟฟ้า 10A.

R_p , C_p เป็นวงจรสนับเปอร์ เพื่อลดค่ายอดแรงดันและการแกว่งของแรงดันขณะมอสเฟตหยุดนำกระแส

C_b ทำหน้าที่ เป็นตัวควบคุมการไหลผ่านของกระสไฟฟ้าจากมอสเฟต

ถ้าตัวเก็บประจุมีค่ามาก กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านเข้าขดลวดไพรมารี่ก็จะมีค่ามาก

ถ้าตัวเก็บประจุมีค่าน้อย กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านเข้าขดลวดไพรมารี่ก็จะมีค่าน้อยตามไปด้วย

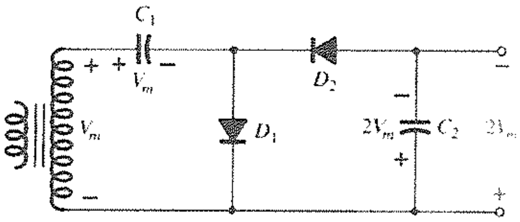
C_1, C_2, R_1, R_2 เป็นชุดอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่เป็นแหล่งจ่ายเสมือนในวงจร Half - Bridge Converter

G_H , G_L ทำหน้าที่ เป็นกราวด์เสมือน

3.3 วงจรทวีแรงดัน (Voltage Multiplier)

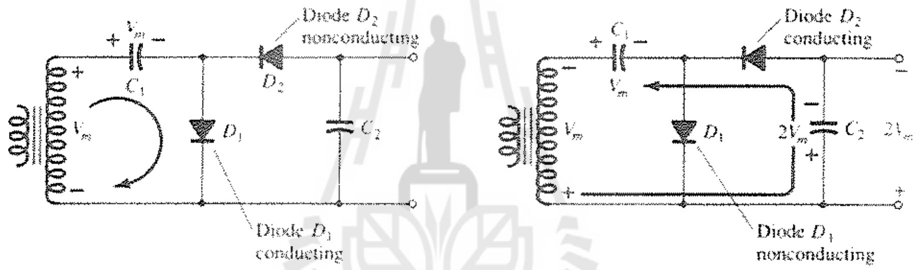
วงจรทวีแรงดัน หรือวงจรเพิ่มแรงดันไฟฟ้าในที่นี้เราได้ใช้วงจรแบบ

Half – voltage doubler circuit



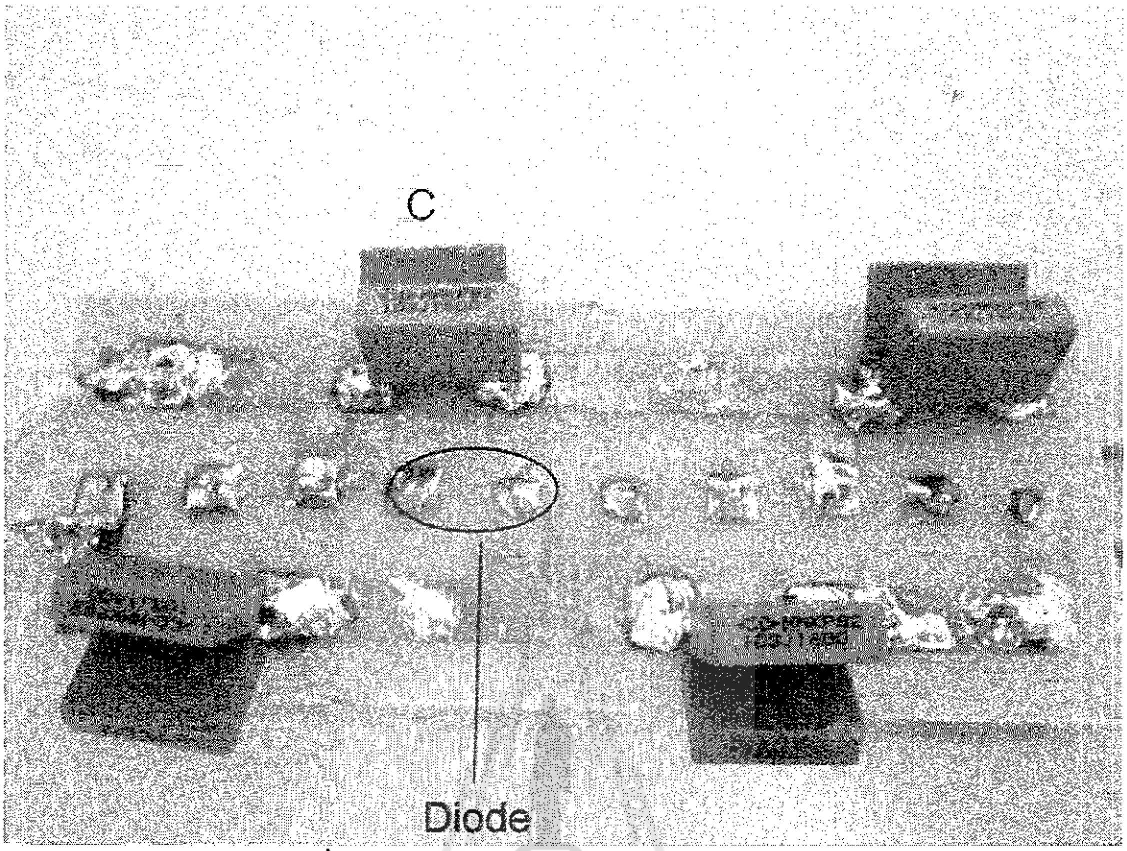
รูปที่ 3.6 รูปวงจร Half – wave voltage doubler circuit

จากรูปที่ 3.6 ผลการทำงานจะได้แรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่มีค่า 2 Vm ที่ด้านเอาท์พุตโดยมีหลักการทำงานตามที่แสดงที่รูปที่ 3.7



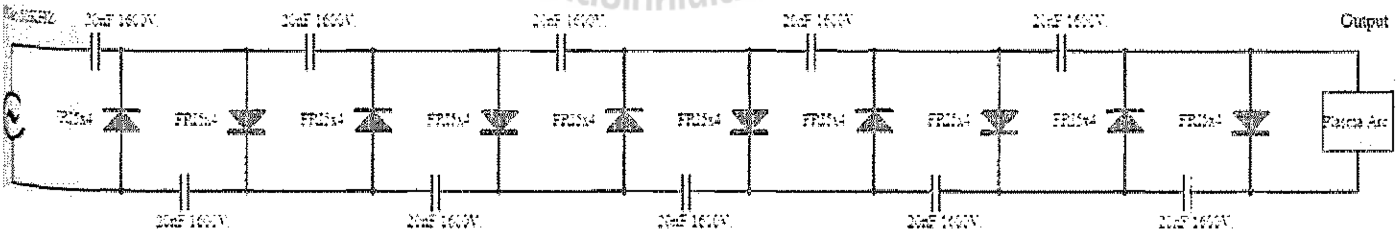
รูปที่ 3.7 การทำงานของวงจร Half wave voltage doubler circuit

จากรูปที่ 3.6 ในขณะที่ด้านบนของขดลวดทุติยภูมิเป็น บวก(+) จะทำให้ไดโอด D1 ได้รับแรงดันไบแอสไปหน้า(forward bias) ไดโอด D1 จึงทำงานและมีผลให้ ตัวเก็บประจุ C1 จะเก็บ ประจุไว้มีค่าเท่ากับ Vm ในขณะที่ไดโอด D2 จะหยุดทำงาน ใน ครึ่งไซเกิลลบ (negative half-cycle) ต่อมาตามรูปที่ 3.7 เมื่อด้านบนของขดลวดทุติยภูมิเป็น ลบ(-) จะทำให้ไดโอด D1 ได้รับ แรงดัน ไบแอสย้อนกลับ (reverse bias) ไดโอด D1 จึงหยุดทำงาน แต่ขณะนี้แรงดันไฟฟ้าที่สะสมไว้ใน ตัวเก็บประจุ C1 จะขั้วของมีค่าแรงดันไฟฟ้าต่ออนุกรมและเสริมกับ แรงดันที่เข้ามาที่ขดลวดทุติยภูมิ จึงมี ผลทำให้ไดโอด D2 ได้รับแรงดัน ไบแอสไปหน้า ไดโอด D2 จึงทำงาน แล้วมีผลให้ตัวเก็บประจุ C2 จะ เก็บประจุไว้มีค่าเท่ากับ 2Vm ซึ่งเป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง พร้อมที่จ่ายให้กับโหลด(Load) ต่อไป



รูปที่ 3.8 วงจรทวีแรงดัน 1 สเตจ (ขยายแรงดัน2เท่า)

ลำดับ	รายการอุปกรณ์	จำนวน
1	ตัวเก็บประจุ MMKP825 ขนาด 10 nF 1600 V	40
2	ไดโอด FRI5 1000 V 3A	20



รูปที่ 3.9 แสดงวงจรทวีแรงดัน 5 สเตจ(ขยายแรงดัน10เท่า)

3.3.1 วิธีการหาค่าตัวเก็บประจุในวงจรทวีแรงดัน

ทำการหาค่า V_{out} ดังนี้

กำหนดให้ $V_i = 1500$ V. , $n = 5$

เมื่อ

n คือ จำนวนสเตจ V_{out} คือ แรงดันเอาท์พุตของวงจรทวีแรงดัน V_i คือ แรงดันอินพุตของวงจรทวีแรงดัน

จะได้

$$V_{out} = 2nV_i$$
$$V_{out} = (2)(5)(1500)$$
$$V_{out} = 15 \text{ KV.}$$

ค่าตัวเก็บประจุ(C)จะหาได้จากสูตร$\Delta V = \frac{I_o}{fc}\left(\frac{2n^3}{3} + \frac{n^2}{2} - \frac{n}{6}\right)$ เมื่อเกิดการลัดวงจรหรือการอาร์คที่บริเวณเอาท์พุตระหว่างขั้วบวกกับขั้วลบ ΔV จะมีค่าเท่ากับ V_o เนื่องจาก แรงดันที่ตกคร่อมด้านอินพุตเมื่อเกิดการลัดวงจรจะมีค่าเข้าใกล้ 0

$I_o = 0.16$ A.

$$\Delta V = \frac{I_o}{fc}\left(\frac{2n^3}{3} + \frac{n^2}{2} - \frac{n}{6}\right)$$

$$c = \frac{I_o}{\Delta Vf}\left(\frac{2n^3}{3} + \frac{n^2}{2} - \frac{n}{6}\right)$$

$$c = \frac{0.16}{(50\times10^3)(15\times10^3)}\left(\frac{(2)(5^3)}{3} + \frac{(5^2)}{2} - \frac{5}{6}\right)$$

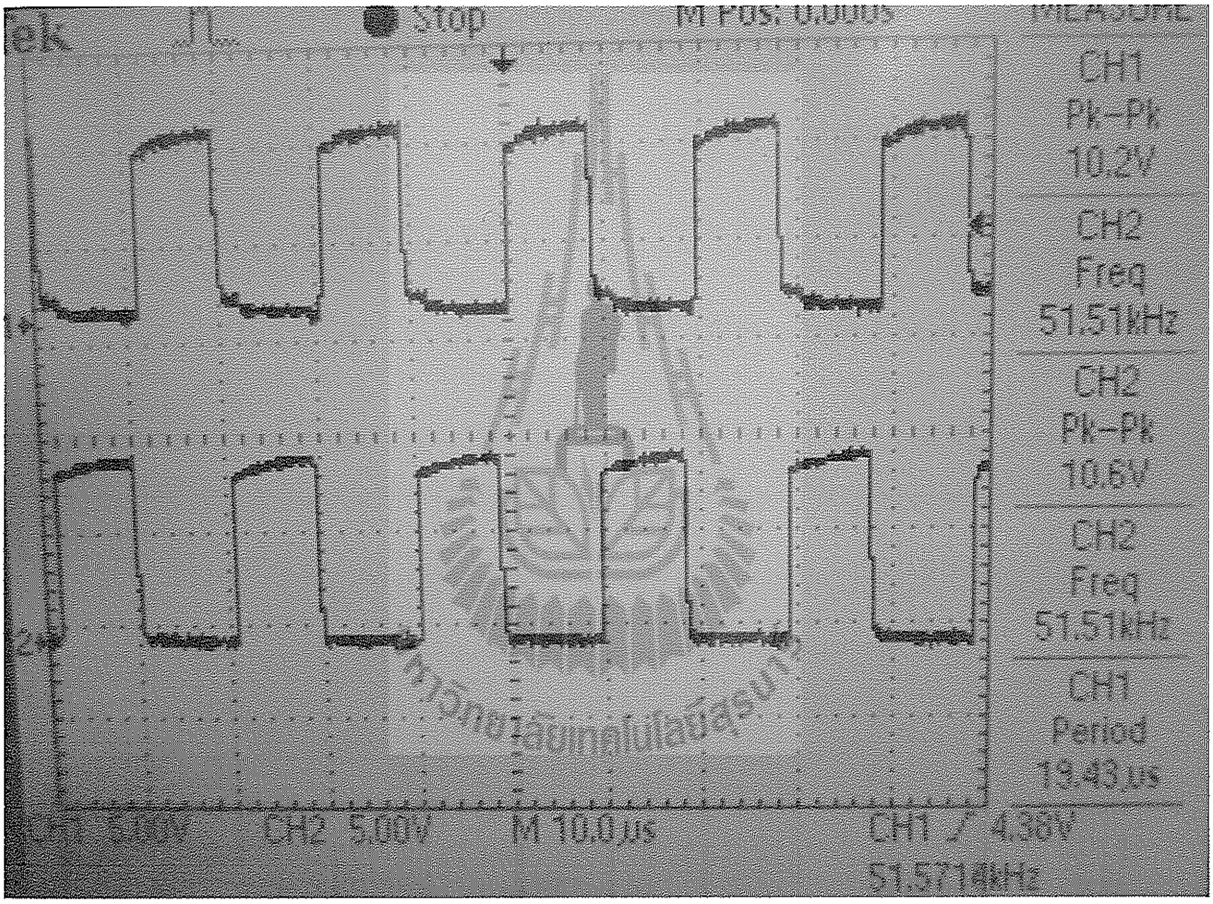
$$c = 20 \text{ nF.}$$

บทที่ 4 ผลการทดลอง

การทดสอบการทำงานของเครื่องกำเนิดพลาสมาจะประกอบด้วยวงจรหลายๆส่วนดังนี้ประกอบด้วย

4.1 ผลการวัดสัญญาณเอาท์พุตของวงจร Half-Bridge Driver 50KHZ.

วงจรชุดนี้เป็นวงจรที่สร้างความถี่เท่ากับ 50 กิโลเฮิรตซ์ จำนวน 2 เอาท์พุต ซึ่งมีไอซีเบอร์ IR2153 ซึ่งไอซีเบอร์นี้มีคุณสมบัติพิเศษคือเป็นตัวสร้างความถี่ 50 กิโลเฮิรตซ์ ขึ้นมาโดยที่ค่าความถี่จะขึ้นอยู่กับค่า R_T = 3 กิโลโอห์ม และค่า C_T = 4.7 นาโนฟารัด ซึ่งหาข้อมูลนี้ได้จากการอ่านกราฟที่ 3.1 ในบทที่ 3



กราฟที่ 4.1 แสดง Duty Cycle ของสัญญาณเอาท์พุตที่วงจร Half-Bridge Driver 50KHZ.

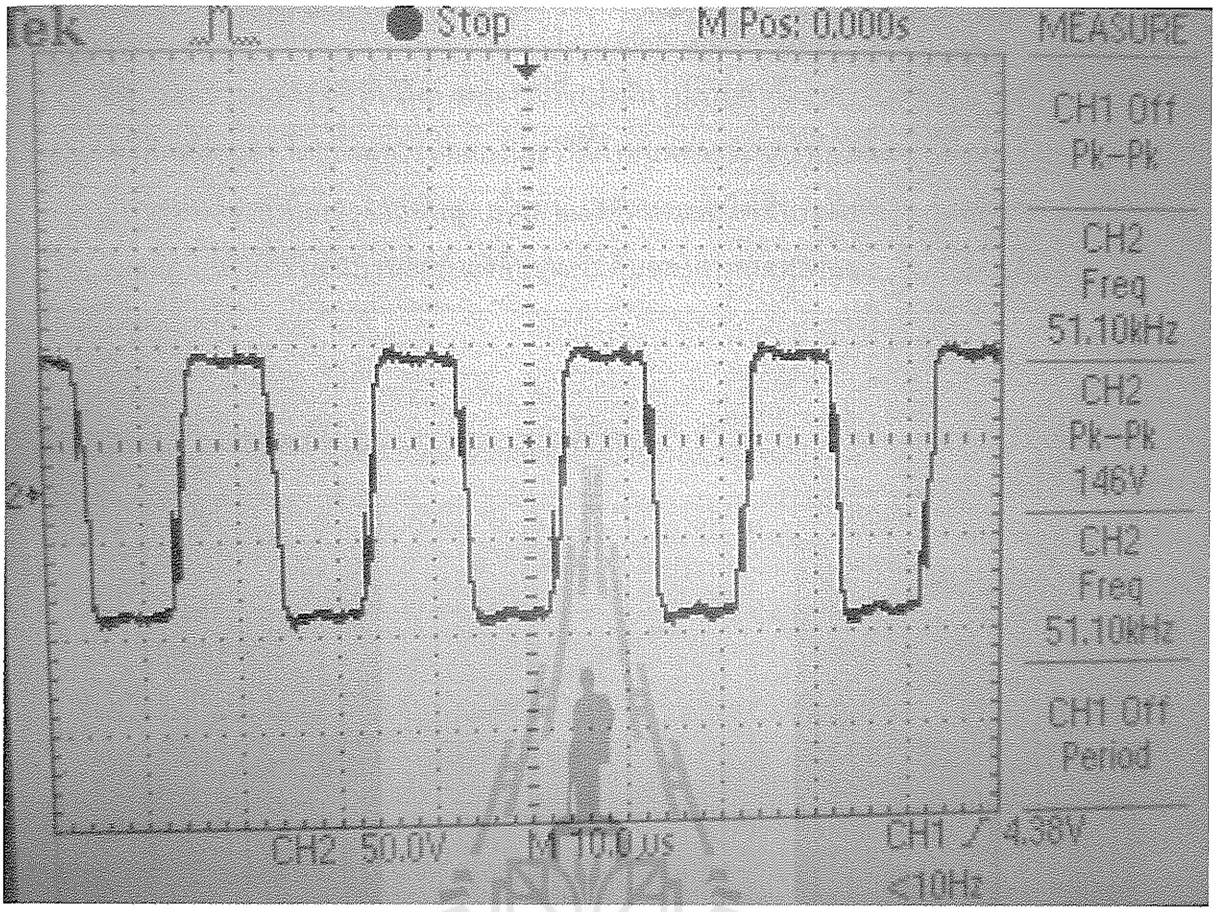
จากกราฟที่ได้ทำการวัดดังนี้

Chanel 1 อ่านค่า V_{pp} = 10.2 โวลต์ Duty Cycle On = 0.45 Off = 0.55

Chanel 2 อ่านค่า V_{pp} = 10.6 โวลต์ Duty Cycle On = 0.45 Off = 0.55

และสัญญาณที่วัดทั้งสองช่องสัญญาณจะมีความต่างเฟสกันอยู่ 180 องศา

4.2 ผลการวัดสัญญาณอินพุตของขดลวดหม้อแปลงด้านไพรมารี่



กราฟที่ 4.2 แสดงสัญญาณและแรงดันอินพุตของขดลวดหม้อแปลงด้านไพรมารี่

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ขณะที่เกิดการอาร์คสามารถอ่านค่า V_{pp} = 146 โวลต์ ที่ความถี่ 50 กิโลเฮิรตซ์ และจากความสัมพันธ์ของอัตราส่วนระหว่างแรงดันไฟฟ้าด้านไพรมารี่ต่อแรงดันไฟฟ้าด้านเซคั่นดารี่มีค่าเท่ากับอัตราส่วนจำนวนรอบของหม้อแปลงไฟฟ้าดังนี้

$$\frac{V_s}{V_p} = \frac{N_s}{N_p}$$

จะได้ว่า $V_p = NV_s$ = (10.075)(146) = 1,470.95 V. ซึ่งเป็นแรงดันเอาท์พุตของวงจร Half-Bridge Converter เมื่อ

V_p คือ แรงดันไฟฟ้าด้านไพรมารี่ V_s คือ แรงดันไฟฟ้าด้านเซคั่นดารี่

N_p คือ จำนวนขดลวดด้านไพรมารี่ N_s คือ จำนวนขดลวดด้านเซคั่นดารี่

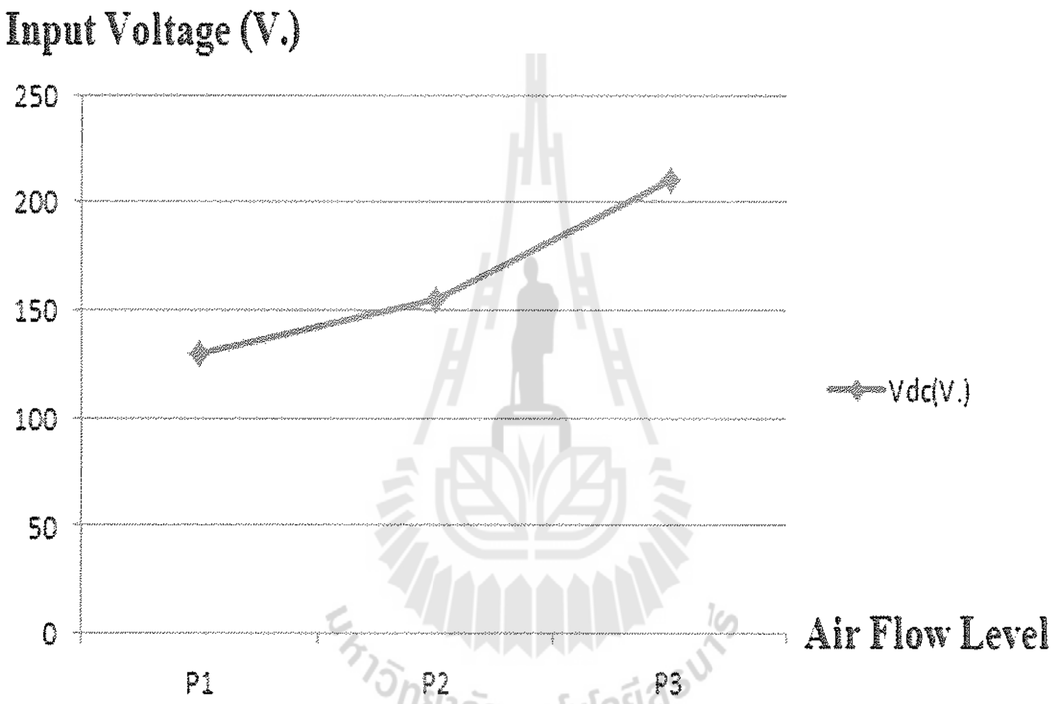
N คืออัตราส่วนระหว่างจำนวนขดลวดด้านเซคั่นดารี่ต่อจำนวนขดลวดด้านไพรมารี่

4.3 การทดลองหาแนวโน้มของค่าพลังงานพลาสมา

ในการทดลองนี้แสดงให้เห็นว่าแนวโน้มของการเกิดพลาสมาเป็นไปตามสมการ

$$E = (125.46 \times 10^3) \times m_{air}$$

ซึ่งในสมการแสดงให้เห็นถึงค่าพลังงานที่แปรผันไปตามค่าอัตราการไหลเชิงมวลของก๊าซที่จะทำให้เกิดพลาสมา โดยที่ในการทดลองนี้เราได้กำหนดค่ากระแสให้คงที่และปรับแรงลมเป็น 3 ระดับ คือ ระดับต่ำ ระดับกลาง ระดับสูง เพื่อหาแรงดันกระแสไฟฟ้าเริ่มต้นที่จะเกิดพลาสมาซึ่งค่าแรงดันกระแสไฟฟ้านี้เป็นตัวบ่งบอกกำลังอินพุตเริ่มต้นของการเกิดพลาสมา

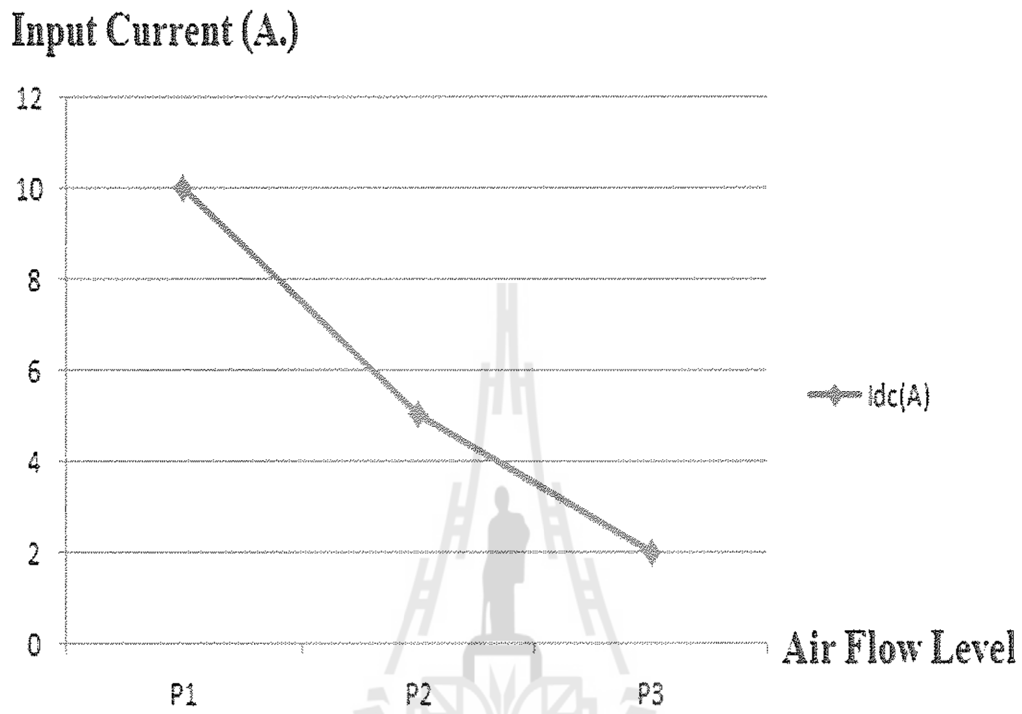


กราฟที่ 4.3 แสดงความสัมพันธ์แรงดันอินพุตของตัวควบคุมการเกิดพลาสมา

จากกราฟจะเห็นได้ว่าค่าแรงดันอินพุตจะเพิ่มขึ้นตามระดับความแรงของลม ซึ่งเป็นไปตามสมการข้างต้นดังที่กล่าวมา โดยที่ค่าพลังงานอินพุตจะแปรผันตรงกับปริมาณของก๊าซที่เราเพิ่มเข้าไป

4.4 การทดลองหาแนวโน้มของค่าความนำไฟฟ้าของพลาสมา

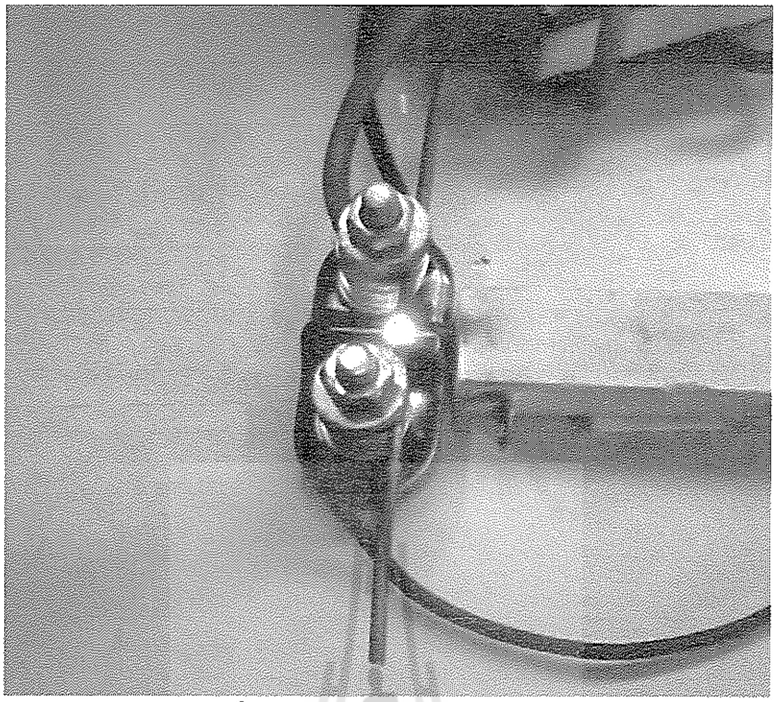
การทดลองนี้แสดงให้เห็นถึงค่าความนำไฟฟ้าของพลาสมา โดยการกำหนดค่าแรงดันอินพุตเป็น 150 โวลต์คงที่ และทำการปรับระดับแรงดันลมเป็น 3 ระดับคือ ระดับต่ำ ระดับกลาง ระดับสูง เพื่อเป็นการแสดงให้เห็นถึงการนำไฟฟ้าของการเกิดพลาสมา



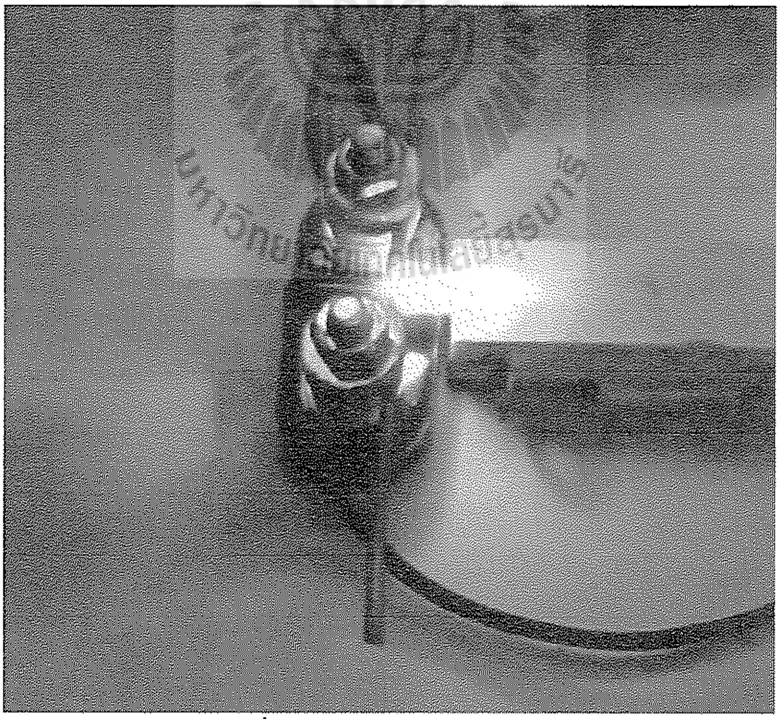
กราฟที่ 4.4 แสดงความสัมพันธ์กระแสอินพุตของตัวควบคุมการเกิดพลาสมา

จากกราฟจะเห็นว่าค่ากระแสอินพุตจะลดลงตามระดับความแรงลม มีความหมายดังนี้
เมื่อปรับแรงลมระดับต่ำ เครื่องกำเนิดพลาสมาจะใช้กระแสไฟฟ้าสูงเกือบ 10 แอมป์
เมื่อปรับแรงลมระดับกลาง เครื่องกำเนิดพลาสมาจะใช้กระแสไฟฟ้าระดับปานกลาง
เมื่อปรับแรงลมระดับสูง เครื่องกำเนิดพลาสมาจะใช้กระแสไฟฟ้าระดับต่ำ
สรุปคือ ค่าความนำของพลาสมาแปรผกผันกับปริมาณการไหลของก๊าซ (m_{air})

4.5 รูปผลการทดลองการเกิดพลาสมา



รูปที่ 4.1 รูปแสดงการเกิดพลาสมาเมื่อยังไม่จ่ายกระแสไฟฟ้าและแรงลมมาควบคุมการเกิดพลาสมา



รูปที่ 4.2 รูปแสดงการเกิดพลาสมาเมื่อจ่ายกระแสไฟฟ้าและมีแรงลมมาควบคุมการเกิดพลาสมา

บทที่ 5 สรุปและวิจารณ์

ในบทนี้จะกล่าวถึงข้อมูลโดยรวมของระบบทั้งหมด โดยอธิบายส่วนประกอบของเครื่องกำเนิดพลาสมา ผลการทดลองโดยรวม รวมทั้งปัญหาที่เกิดขึ้นและแนวทางในการพัฒนาต่อไป

5.1 ส่วนประกอบของเครื่องกำเนิดพลาสมา

เครื่องกำเนิดพลาสมาประกอบด้วย

1.วงจร Half-Bridge Driver 50KHZ.

2.วงจร Half-Bridge Converter

3.วงจรทวีแรงดัน

4.ถังรวมตัวเก็บประจุ(Capacitor-Tank)

5.2 คุณสมบัติทั่วไปของเครื่องกำเนิดพลาสมา

แยกตามส่วนประกอบได้ดังนี้

1.วงจร Half-Bridge Driver 50KHZ.

-ใช้แรงดัน 12โวลต์

-ความถี่ที่สร้างขึ้นมีค่า 50 กิโลเฮิรตซ์ จำนวน2ความถี่

2.วงจร Half-Bridge Converter

-ใช้ความถี่ 50 กิโลเฮิรตซ์ จากวงจร Half-Bridge Driver 50KHZ จำนวน 2 ความถี่

-แรงดันอินพุตที่ใช้ป้อนเข้ามอสเฟต 150 โวลต์

-แรงดันเอาท์พุต 1,000 โวลต์

3.วงจรทวีแรงดัน

-ใช้แรงดันเอาท์พุต 1,000 โวลต์ จากวงจร Half-Bridge Converter

-แรงดันเอาท์พุต 10,000 โวลต์ ใช้ในการอาร์คพลาสมาเบื้องต้น

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

5.3 ปัญหาที่พบจากการทำงาน

-เกิดความร้อนจากหม้อแปลงเนื่องจากการไม่แมตช์กันของขดลวดด้านไพรมารี่กับความถี่ที่ใช้งาน

-มอสเฟตที่นำมาใช้ในการทดลองทนกระแสได้ไม่ดีพอจึงทำให้เกิดการพังได้ง่าย

-วงจร Half-Bridge Converter ที่ได้จากการออกแบบจะต้องทนต่อสภาวะการลัดวงจรที่โหลด

-วงจร Half-Bridge Converter เป็นวงจรที่มีหม้อแปลงชนิด Step up จึงทำให้เป็นอุปสรรคต่อการวางวงจรป้องกันกระแสเกินด้านเอาท์พุตซึ่งเป็นอุปสรรคต่อการออกแบบวงจร

5.4 ผลที่ได้จากโครงงานนี้

1. ทำให้มีความรู้ความเข้าใจในหลักการทำงานของเครื่องเกิดพลาสมา
2. สามารถนำความรู้ที่ได้นำไปประยุกต์ในอนาคตได้
3. ทำให้มีความรู้ในการออกแบบวงจร
4. สามารถใช้เครื่องมือวัดได้หลายชนิด
5. ได้เรียนรู้ออกแบบวงจรและขั้นตอนการออกแบบผลิตภัณฑ์ได้
6. มีความรู้ความเข้าใจในการทำงานและวิธีการออกแบบจากการศึกษาข้อมูลของไอซีและมอสเฟตแต่ละตัว
7. รู้จักการคิด การวิเคราะห์ อย่างเป็นระบบ
8. สามารถแก้ไขปัญหาต่างๆที่เกิดขึ้นในการปฏิบัติงานได้

5.5 วิเคราะห์ผลการทดลองและข้อดี-ข้อเสียจากเครื่องกำเนิดพลาสมา

จากการทดลองจะเห็นว่า

1. อัตราการไหลเชิงมวลของอากาศมีผลต่อการควบคุมการเกิดพลาสมาซึ่งแปรผันตามค่ากำลังอินพุตเป็นหลัก
2. เมื่อต้องการปริมาณการเกิดพลาสมาที่มากขึ้นจะต้องเพิ่มพลังงานอินพุตมากขึ้น ซึ่งเป็นไปตามสมการ $E = (125.46\times10^3) \times m_{air}$

<u>ข้อดี</u>

1. เครื่องกำเนิดพลาสมามีโครงสร้างวงจรที่ไม่ซับซ้อน ทำความเข้าใจได้ง่าย
2. วัสดุอุปกรณ์ที่นำมาใช้สามารถหาซื้อได้ภายในประเทศ

<u>ข้อเสีย</u>

1. การสูญเสียพลังงานในระบบค่อนข้างมากเนื่องจากมีการใช้ไดโอดต่ออนุกรมกันเป็นจำนวนหลายตัว
2. ข้อจำกัดทางด้านเครื่องมือวัดแรงดันสูงทางด้านเอาท์พุต และเครื่องมือวัดอุณหภูมิของพลาสมาทำให้ไม่สามารถวัดค่าที่ต้องการได้อย่างละเอียด

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

5.6 แนวทางในการพัฒนาต่อไป

แนวทางในการพัฒนาต่อไปคือ การนำพลังงานความร้อนสูงที่ได้จากการอาร์คพลาสมามาใช้ในการเผาขยะติดเชื้อจากสถานพยาบาลหรือโรงพยาบาลต่างๆตามชุมชนที่ใช้เตาเผาขยะเป็นระบบปิด และสามารถลดปริมาณสารไดออกซินซึ่งเป็นสารที่ก่อให้เกิดมะเร็งซึ่งจะเป็นอันตรายต่อบุคคลเป็นอย่างยิ่ง

จากโครงงานเรื่องเครื่องกำเนิดพลาสมาที่สร้างขึ้นมาและได้ทำการทดสอบพบว่าผลการทดลองเป็นที่น่าพอใจตามวัตถุประสงค์ที่ได้กำหนดไว้คือ ศึกษาการเกิดพลาสมาและสร้างเครื่องกำเนิดพลาสมาต้นแบบ แต่ก็ยังคงมีปัญหาบางประการอันได้แก่

-ไม่สามารถวัดอุณหภูมิของพลาสมาที่สร้างขึ้นมาได้

-ข้อจำกัดทางเวลาของการศึกษาโครงงาน

จากปัญหาที่ได้กล่าวมาข้างต้นที่จะต้องแก้ไขและยังขาดประสบการณ์ในการทำงานด้านการเกิดพลาสมานี้อีกด้วย

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

บรรณานุกรม

[1] เทคนิคและการออกแบบ สวิตชิ่งเพาเวอร์ซัพพลาย พิมพ์ครั้งที่ 2 , สุวัฒน์ ดั่น , กรุงเทพ 2537

[2] TRANSFORMER AND INDUCTOR DESIGN HANDBOOK

From: http://www.intalek.com/Index/Projects/Research/Permeability.PDF

[3] IRFP460. 20A, 500V, 0.270 Ohm, N-Channel Power MOSFET, Available

From: http://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/pdf/67546/INTERSIL/IRFP460.html

[4] IR2153 Data Sheet No. PD60062 revO 600V Duty Cycle 50%

From: http://www.datasheetcatalog.com/datasheets_pdf/I/R/2/1/IR2153.shtml

[5] พลาสมา (สถานะของสสาร) From: วิกิพีเดีย ค้นหาหัวข้อเรื่อง พลาสมา (สถานะของสสาร)

[6] สวิตชิ่งเพาเวอร์ซัพพลายเบื้องต้น, เรียบเรียงโดย พงศ์ธวัช ชีพพิมลชัย อโณ โชติมณี

From: http://www.cpe.ku.ac.th/~yuen/204471/power/switching_regulator/

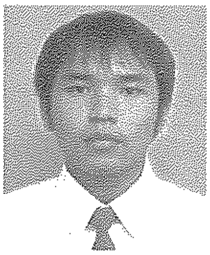
[7] Magnetoplasma Project , Matthew Krolak's , Worcester Polytechnic Institute in 2006

From: http://www.myelectricengine.com/

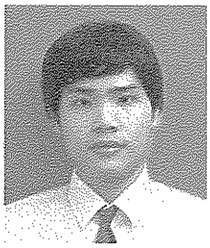
[8] วิทยานิพนธ์เรื่อง การพัฒนาหัวเผาพลาสมาความร้อนสำหรับการจัดการขยะอิเล็กทรอนิกส์ , นายปริญ คงกระพันธ์ , มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ 2551

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ประวัติผู้เขียน



นายภิญโญ ปวงตา เกิดเมื่อวันที่ 6 มกราคม พ.ศ. 2531 ภูมิลำเนาเดิม บ้านเลขที่ 85/4 ตำบล ท่าน้ำาว อำเภอภูเพียง จังหวัดน่าน จบระดับมัธยมศึกษา-ตอนปลายจากโรงเรียนศรีสวัสดิ์วิทยาคาร จังหวัดน่าน ปีการศึกษา 2549 ปัจจุบันกำลังศึกษาอยู่ชั้นปีที่ 6 สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี จังหวัดนครราชสีมา

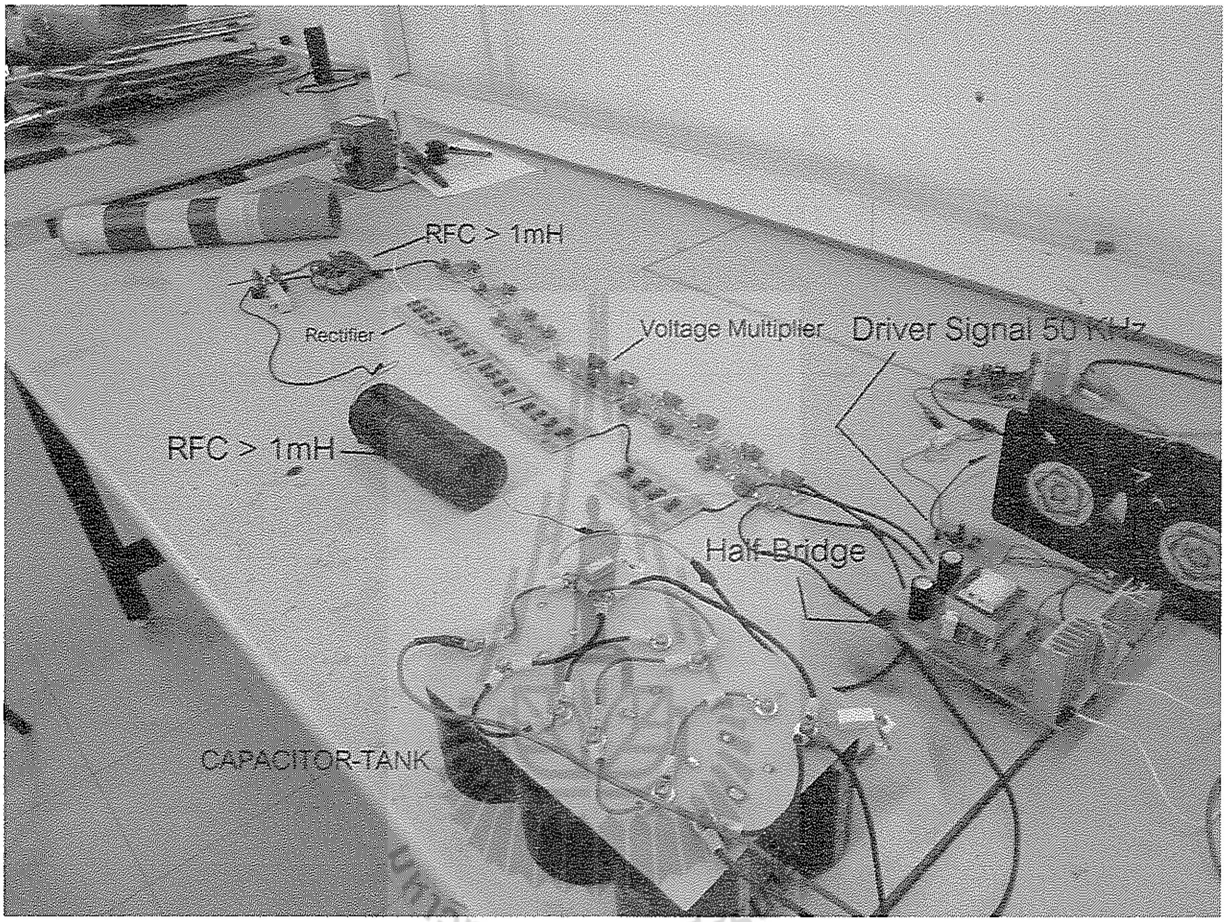


นายวีระวุฒิ วงศ์วาณิชวัฒนา เกิดเมื่อวันที่ 5 มกราคม พ.ศ. 2532 ภูมิลำเนาเดิม บ้านเลขที่ 78/2 หมู่ที่ 4 ตำบล หนองไขว่ อำเภอ หล่มสัก จังหวัดเพชรบูณ์ จบระดับมัธยมศึกษาตอนปลายจากโรงเรียนกาญจนาภิเษกวิทยาลัย เพชรบูณ์ ปีการศึกษา 2549 ปัจจุบันกำลังศึกษาอยู่ชั้นปีที่ 6 สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี จังหวัดนครราชสีมา

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

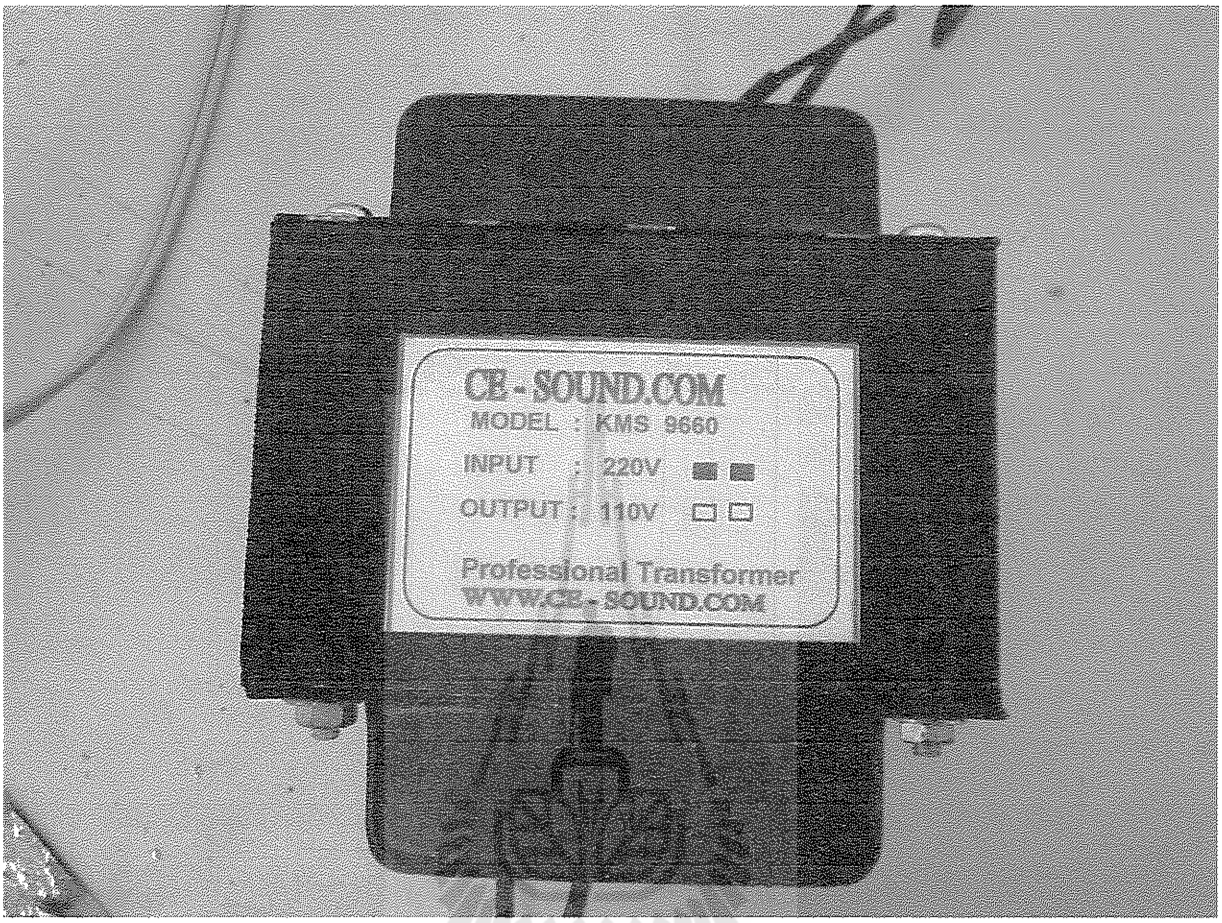
ภาคผนวก

เครื่องกำเนิดพลาสมา



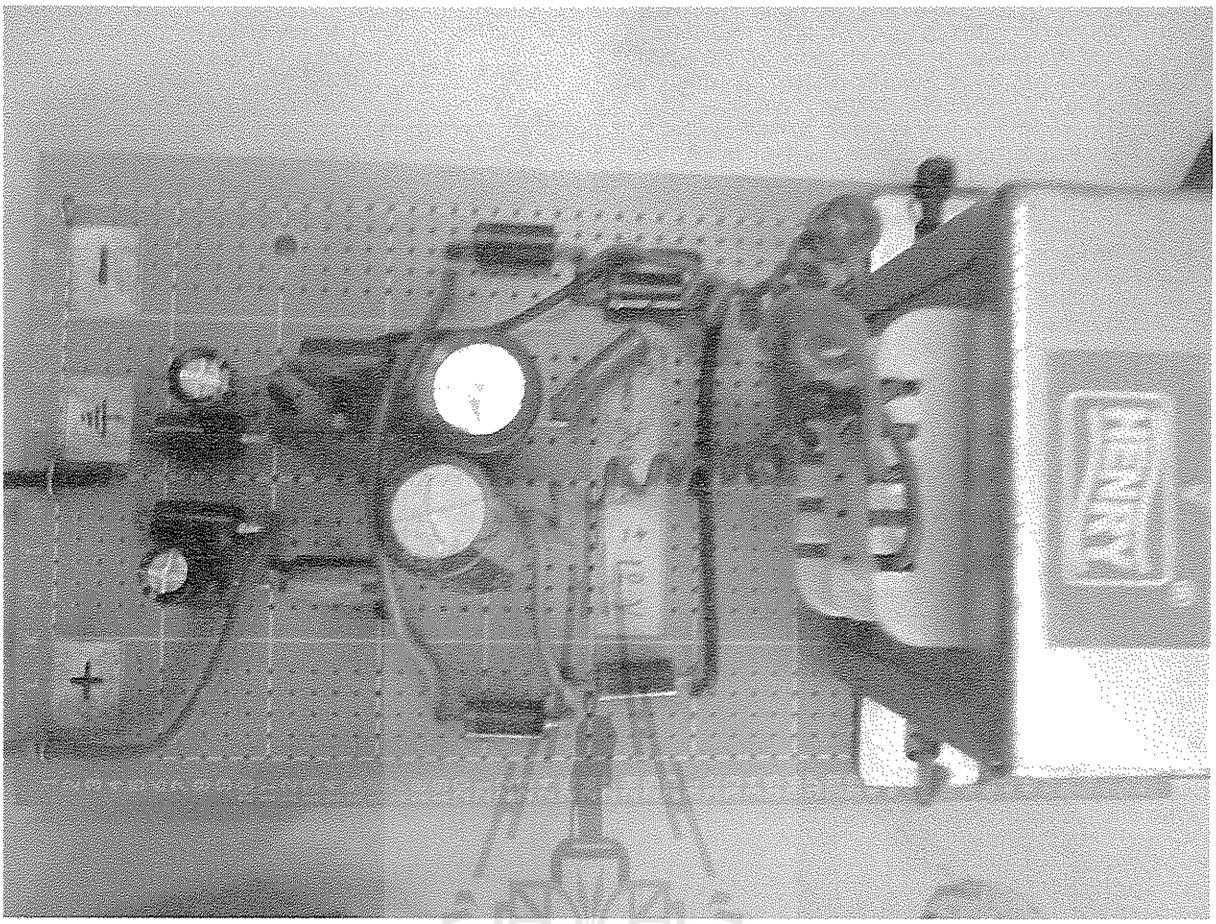
รูปวงจรกำเนิดพลาสมา

อุปกรณ์อื่นๆที่นำมาใช้กับเครื่องกำเนิดพลาสมา



รูปหม้อแปลงไฟฟ้าเอาท์พุต 110V จ่ายแรงดันไฟฟ้าให้กับวงจร Half – Bridge Converter

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

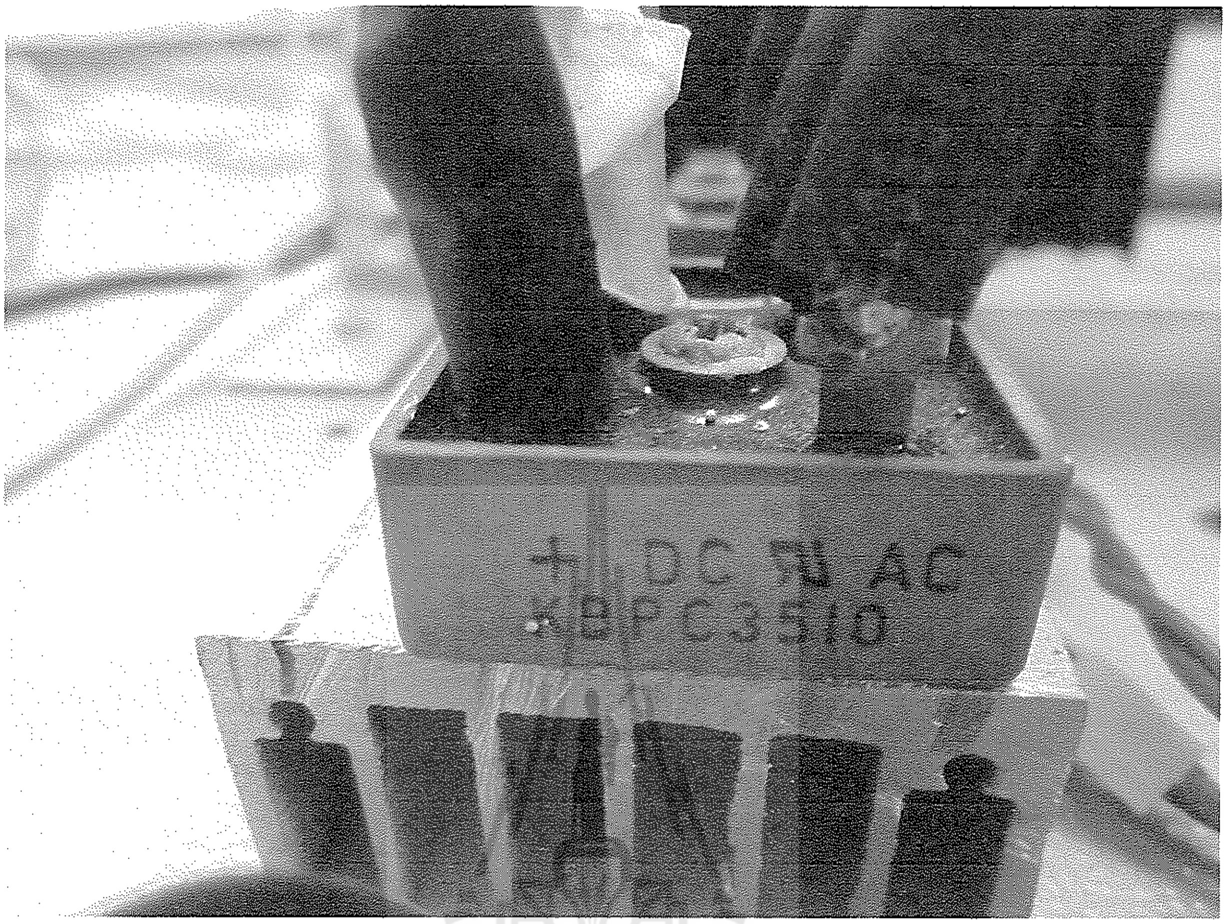


รูปวงจรจ่ายไฟเลี้ยงให้แก่ Half-Bridge Driver 50KHZ.

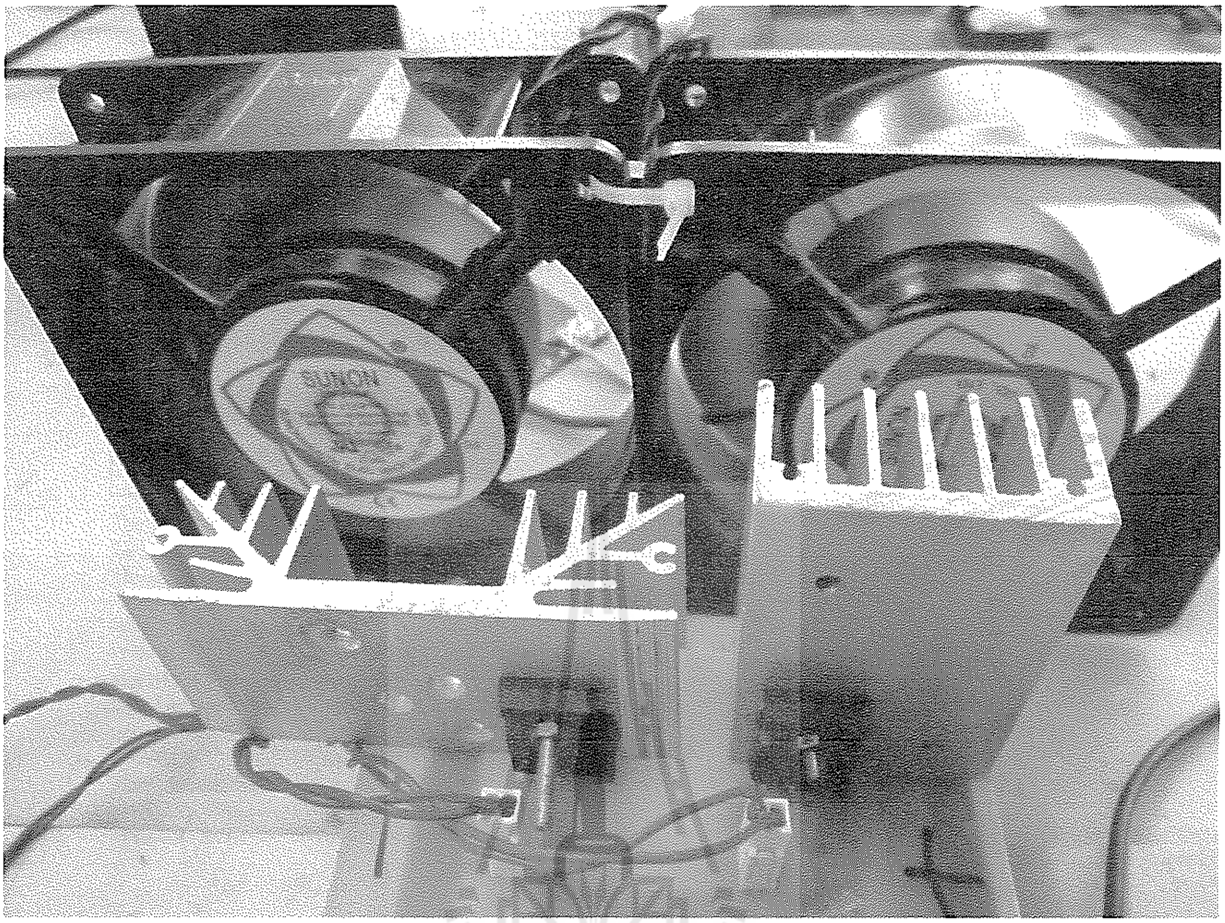
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

รูป CAPACITOR–TANK ทำหน้าที่เก็บประจุไฟฟ้าในการอาร์คพลาสมา

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี



รูป วงจรบริดจ์ไดโอดสำเร็จรูปทำหน้าที่แปลงกระแสไฟฟ้าจาก AC ให้เป็น DC
เพื่อที่จะต่อเข้ากับ Capacitor-Tank



รูป ชุดพัดลมคู่คอยระบายความร้อนให้แก่ทรานซิสเตอร์มอสเฟต 2ตัว

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ข้อมูลของมอสเฟตเบอร์ IRF460

PD-90467

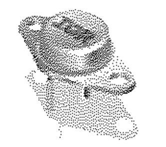
International
IOR Rectifier

REPETITIVE AVALANCHE AND dv/dt RATED
HEXFET® TRANSISTORS
THRU-HOLE (TO-204AA/AE)

IRF460
500V, N-CHANNEL

Product Summary

Part Number	BVDSS	$R_{DS(on)}$	I_D
IRF460	500V	0.27Ω	21


TO-3

The HEXFET® technology is the key to International Rectifier's advanced line of power MOSFET transistors. The efficient geometry and unique processing of this latest "State of the Art" design achieves: very low on-state resistance combined with high transconductance; superior reverse energy and diode recovery dv/dt capability.

The HEXFET transistors also feature all of the well established advantages of MOSFETs such as voltage control, very fast switching, ease of paralleling and temperature stability of the electrical parameters.

They are well suited for applications such as switching power supplies, motor controls, inverters, choppers, audio amplifiers and high energy pulse circuits.

Features:
- Repetitive Avalanche Ratings
- Dynamic dv/dt Rating
- Hermetically Sealed
- Simple Drive Requirements
- Ease of Paralleling

Absolute Maximum Ratings

	Parameter		Units
I_D @ V_{GS} = 0V, T_C = 25°C	Continuous Drain Current	21	A
I_D @ V_{GS} = 0V, T_C = 100°C	Continuous Drain Current	14	
I_{DM}	Pulsed Drain Current ①	84	
P_D @ T_C = 25°C	Max. Power Dissipation	300	W
	Linear Derating Factor	2.4	W/°C
V_{GS}	Gate-to-Source Voltage	±20	V
E_{AS}	Single Pulse Avalanche Energy ②	1200	mJ
I_{AR}	Avalanche Current ①	21	A
E_{AR}	Repetitive Avalanche Energy ①	30	mJ
dv/dt	Peak Diode Recovery dv/dt ③	3.5	V/ns
T_J T_{STG}	Operating Junction Storage Temperature Range	-55 to 150	°C
	Lead Temperature	300 (0.063 in. (1.6mm) from case for 10s)	
	Weight	11.5(typical)	g

For footnotes refer to the last page

01/24/01

Electrical Characteristics @ Tj = 25°C (Unless Otherwise Specified)

	Parameter	Min	Typ	Max	Units	Test Conditions
BV_{DSS}	Drain-to-Source Breakdown Voltage	500	—	—	V	V_{GS} = 0V, I_D = 1.0mA
$\Delta BV_{DSS}/\Delta T_J$	Temperature Coefficient of Breakdown Voltage	—	0.78	—	V/°C	Reference to 25°C, I_D = 1.0mA
$R_{DS(on)}$	Static Drain-to-Source On-State Resistance	—	—	0.27	Ω	V_{GS} = 10V, I_D = 14A ④
		—	—	0.31		V_{GS} = 10V, I_D =21A ④
$V_{GS(th)}$	Gate Threshold Voltage	2.0	—	4.0	V	V_{DS} = V_{GS}, I_D =250µA
g_{fs}	Forward Transconductance	13	—	—	S (Ʊ)	V_{DS} > 15V, I_{DS} = 14A ④
I_{DSS}	Zero Gate Voltage Drain Current	—	—	25	µA	V_{DS}=400V, V_{GS}=0V
		—	—	250		V_{DS} =400V V_{GS} = 0V, T_J = 125°C
I_{GSS}	Gate-to-Source Leakage Forward	—	—	100	nA	V_{GS} = 20V
I_{GSS}	Gate-to-Source Leakage Reverse	—	—	-100		V_{GS} = -20V
Q_g	Total Gate Charge	84	—	190	nC	V_{GS} = 10V, ID=21A V_{DS} = 250V
Q_{gs}	Gate-to-Source Charge	12	—	27		
Q_{gd}	Gate-to-Drain ('Miller') Charge	60	—	135		
$t_{d(on)}$	Turn-On Delay Time	—	—	35	ns	V_{DD} =250V, I_D =21A R_G =2.35Ω
t_r	Rise Time	—	—	120		
$t_{d(off)}$	Turn-Off Delay Time	—	—	130		
t_f	Fall Time	—	—	98		
$L_S + L_D$	Total Inductance	—	6.1	—	nH	Measured from drain lead (6mm/0.25in. from package) to source lead (6mm/0.25in. from package)
C_{iss}	Input Capacitance	—	4300		pF	V_{GS} = 0V, V_{DS} = 25V f = 1.0MHz
C_{oss}	Output Capacitance	—	1000	—		
C_{rss}	Reverse Transfer Capacitance	—	250	—		

Source-Drain Diode Ratings and Characteristics

	Parameter	Min	Typ	Max	Units	Test Conditions
I_S	Continuous Source Current (Body Diode)	—	—	21	A	
I_{SM}	Pulse Source Current (Body Diode) ①	—	—	84		
V_{SD}	Diode Forward Voltage	—	—	1.8	V	T_J = 25°C, I_S = 21A, V_{GS} = 0V ④
t_{rr}	Reverse Recovery Time	—	—	580	nS	T_J = 25°C, I_F = 21A, di/dt ≤ 100A/µs V_{DD} ≤ 50V ④
Q_{RR}	Reverse Recovery Charge	—	—	8.1	µC	
t_{on}	Forward Turn-On Time	Intrinsic turn-on time is negligible. Turn-on speed is substantially controlled by $L_S + L_D$.				

Thermal Resistance

	Parameter	Min	Typ	Max	Units	Test Conditions
R_{thJC}	Junction to Case	—	—	0.42	°C/W	
R_{thJA}	Junction to Ambient	—	—	30		Typical socket mount

For footnotes refer to the last page

ข้อมูลของไอซีเบอร์ IR2153

International
IOR Rectifier

Data Sheet No. PD60062 revO
(NOTE:For new designs, we recommend IR's new product IRS2153D)

IR2153(D)(S) &(PbF)

SELF-OSCILLATING HALF-BRIDGE DRIVER

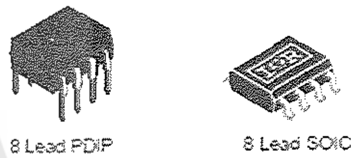
Features

- Integrated 600V half-bridge gate driver
- 15.6V zener clamp on Vcc
- True micropower start up
- Tighter initial deadtime control
- Low temperature coefficient deadtime
- Shutdown feature (1/6th Vcc) on C_T pin
- Increased undervoltage lockout Hysteresis (1V)
- Lower power level-shifting circuit
- Constant LO, HO pulse widths at startup
- Lower di/dt gate driver for better noise immunity
- Low side output in phase with R_T
- Internal 50nsec (typ.) bootstrap diode (IR2153D)
- Excellent latch immunity on all inputs and outputs
- ESD protection on all leads
- Also available LEAD-FREE

Product Summary

V_{OFFSET}	600V max.
Duty Cycle	50%
T_r/T_p	80/40ns
V_{clamp}	15.6V
Deadtime (typ.)	1.2 µs

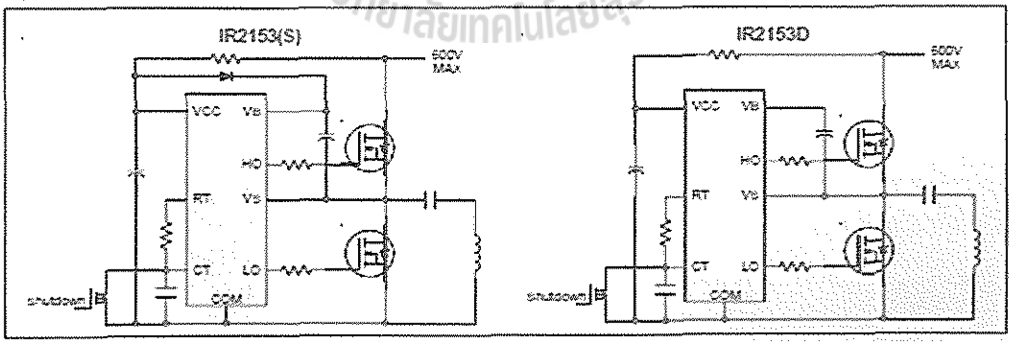
Packages



Description

The IR2153D(S) are an improved version of the popular IR2155 and IR2151 gate driver ICs, and incorporates a high voltage half-bridge gate driver with a front end oscillator similar to the industry standard CMOS 555 timer. The IR2153 provides more functionality and is easier to use than previous ICs. A shutdown feature has been designed into the C_T pin, so that both gate driver outputs can be disabled using a low voltage control signal. In addition, the gate driver output pulse widths are the same once the rising undervoltage lockout threshold on V_{CC} has been reached, resulting in a more stable profile of frequency vs time at startup. Noise immunity has been improved significantly, both by lowering the peak di/dt of the gate drivers, and by increasing the undervoltage lockout hysteresis to 1V. Finally, special attention has been payed to maximizing the latch immunity of the device, and providing comprehensive ESD protection on all pins.

Typical Connections



IR2153(D)(S) & (PbF)

NOTE:For new designs, we recommend IR's new product IRS2153D

International IOR Rectifier

Absolute Maximum Ratings

Absolute maximum ratings indicate sustained limits beyond which damage to the device may occur. All voltage parameters are absolute voltages referenced to COM, all currents are defined positive into any lead. The thermal resistance and power dissipation ratings are measured under board mounted and still air conditions.

Symbol	Definition		Min.	Max.	Units
V_B	High side floating supply voltage		-0.3	625	V
V_S	High side floating supply offset voltage		V_B - 25	V_B + 0.3	
V_{HO}	High side floating output voltage		V_S - 0.3	V_B + 0.3	
V_{LO}	Low side output voltage		-0.3	V_{CC} + 0.3	
V_{RT}	R_T pin voltage		-0.3	V_{CC} + 0.3	
V_{CT}	C_T pin voltage		-0.3	V_{CC} + 0.3	
I_{CC}	Supply current (note 1)		—	25	mA
I_{RT}	R_T pin current		-5	5	
dV_s/dt	Allowable offset voltage slew rate		-50	50	V/ns
P_D	Maximum power dissipation @ $T_A \leq +25°C$	(8 Lead DIP)	—	1.0	W
		(8 Lead SOIC)	—	0.625	
Rth_{JA}	Thermal resistance, junction to ambient	(8 Lead DIP)	—	125	°C/W
		(8 Lead SOIC)	—	200	
T_J	Junction temperature		-55	150	°C
T_S	Storage temperature		-55	150	
T_L	Lead temperature (soldering, 10 seconds)		—	300	

Recommended Operating Conditions

For proper operation the device should be used within the recommended conditions.

Symbol	Definition	Min.	Max.	Units
V_{BS}	High side floating supply voltage	V_{CC} - 0.7	V_{CLAMP}	V
V_S	Steady state high side floating supply offset voltage	-3.0 (note 2)	600	
V_{CC}	Supply voltage	10	V_{CLAMP}	
I_{CC}	Supply current	(note 3)	5	mA
T_J	Junction temperature	-40	125	°C

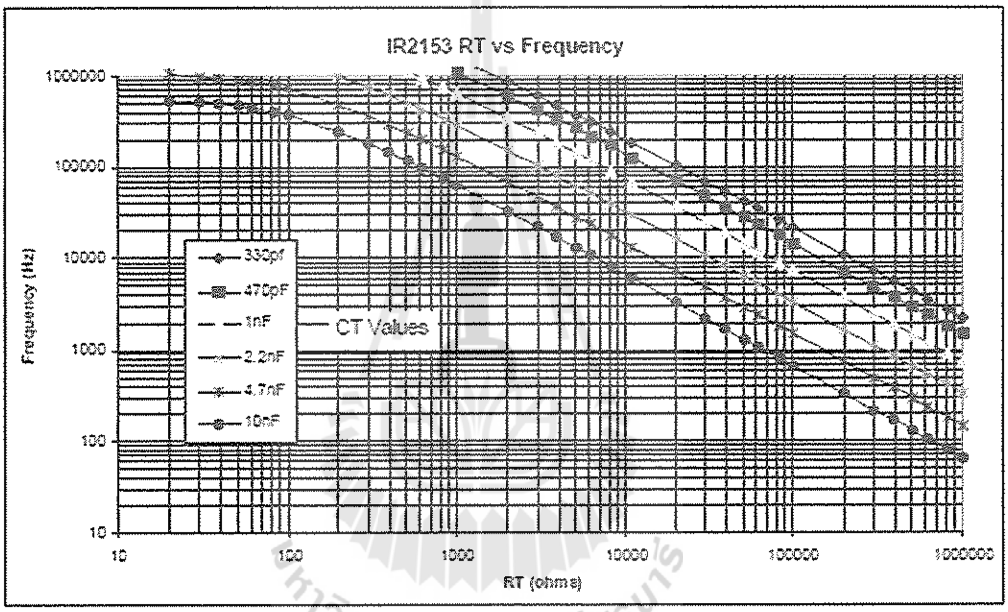
Note 1: This IC contains a zener clamp structure between the chip V_{CC} and COM which has a nominal breakdown voltage of 15.6V. Please note that this supply pin should not be driven by a DC, low impedance power source greater than the V_{CLAMP} specified in the Electrical Characteristics section.

Note 2: Care should be taken to avoid output switching conditions where the V_S node flies inductively below ground by more than 5V.

Note 3: Enough current should be supplied to the V_{CC} pin of the IC to keep the internal 15.6V zener diode clamping the voltage at this pin.

Recommended Component Values

Symbol	Component	Min.	Max.	Units
R_T	Timing resistor value	10	—	kΩ
C_T	C_T pin capacitor value	330	—	pF



มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี