ปีการศึกษา 2533

เครื่องกำเนิดไฟฟ้าแรงสูงกระแสตรง

โดย

นายสมโชค โกมล

นายรุ่ง นันทพานิช

นายสุชาติ สาธิตสิน

อาจารย์ที่ปรึกษา

ดร. นิพนธ์ สุขุม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

028738

12 มี.ค. 2534

ปริญญานิพนธ์ ปีการศึกษา 2533
ภาควิชา วิศวกรรมไฟฟ้า
คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า เจ้าคุณทหารลาดกระบัง
เรื่อง เครื่องกำเนิดไฟฟ้าแรงสูงกระแสตรง

ผู้จัดทำ
1. นายสมโชค โกมล NO. 301294
2. นายรุ่ง นันทพานิช NO. 301227
3. นายสุชาติ สาธิตสิน NO. 301313

.....อาจารย์ที่ปรึกษา
(ดร. นิพนธ์ สุขุม)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

028738

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	1
บทที่ 1. บทนำ	3
บทที่ 2. การผลิตไฟฟ้าแรงสูงและการใช้ประโยชน์	4
บทที่ 3. การสร้างแรงดันสูงกระแสตรง	9
บทที่ 4. ทรานส์ฟอร์เมอร์	21
บทที่ 5. VOLTAGE MULTIPLIER	37
บทที่ 6. เทคนิคการวัดแรงดันสูง	48
บทที่ 7. การทดสอบเครื่องผลิตไฟฟ้าแรงสูงกระแสตรง	51
บทที่ 8. สรุปและวิจารณ์ผลการทดสอบ	53
กิตติกรรมประกาศ	55
หนังสืออ้างอิง	56

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ แสดงถึงโครงสร้างของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแรงสูงกระแสตรง โดยที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้าแรงสูงกระแสตรงนี้ อาศัยหลักการพื้นฐานของวงจรพหูคูณค็อกครอฟ วอลตัน ซึ่งจะประกอบด้วย หม้อแปลงไฟฟ้าแปลงแรงดันให้แก่วงจรพหูคูณ และอุปกรณ์แบ่งแรงดัน จากทฤษฎีเราสามารถผลิตแรงดันได้สูงถึง 64.9 กิโลโวลต์ และยังได้อธิบายหลักการวัดแรงดันไฟฟ้าแรงสูง โดยอาศัยหลักการใช้ความต้านทานค่าสูงมากต่ออันดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ABSTRACT

This thesis present the construction of a High Volt Unit. The High Volt Unit employed the principle of Cockcroft Walton Voltage Multiplier. It consist a transformer use to step up Voltage to supply the multiplier curcuit and a multiplier potential divider chain. The Theoretical of the High Voltage Unit is 64.9 KV. And we discussed the principl of High Voltage Unit measurement by the ammeter in series with high impedance

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

การผลิตไฟฟ้าแรงสูงและการใช้ประโยชน์

ไฟฟ้าแรงสูงตามความหมายที่ระบุไว้ในมาตราฐานสากล หมายถึงแรงดันไฟฟ้าที่สูงตั้งแต่ 1000 โวลท์ ขึ้นไป มนุษย์ได้คุ้นเคยกับไฟฟ้าแรงสูงในชีวิตประจำวันมาแล้วตั้งแต่สมัยดึกดำบรรพ์โดยไม่รู้ตัว นั่นก็คือ ไฟฟ้าแรงสูงที่เป็นปรากฏการณ์ฟ้าผ่าตามธรรมชาติ อันเป็นผลของการเกิดดีสชาร์จหรือคายประจุไฟฟ้าที่สะสมอยู่ในก้อนเมฆ ซึ่งมีศักย์ไฟฟ้าสูงตั้งแต่ 10 ถึง 100 เมกกะโวลท์ จัดเป็นแรงดันสูงมากที่มนุษย์ยังไม่เคยสร้างได้สูงขนาดนี้ แรงดันสูงที่มนุษย์สร้างขึ้นด้วยเครื่องกำเนิดแรงดันอิมพัลส์จำลองแรงดันฟ้าผ่าเพื่อใช้ในการทดสอบอุปกรณ์ไฟฟ้าก็มีแรงดันสูงเพียง 6 เมกกะโวลท์ ส่วนแรงดันสูงที่สร้างขึ้นเพื่อใช้ในการส่งพลังงานไฟฟ้าในปัจจุบัน (2527) สูงเพียง 1500 กิโลโวลท์แรงดันกระแสตรง และ 765 กิโลโวลท์แรงดันกระแสสลับ

แม้จะเป็นที่ทราบกันดีว่าไฟฟ้าแรงสูงนั้นมีอันตรายมากเมื่อเทียบกับแรงดันต่ำที่ใช้ภายในบ้าน แต่ความจำเป็นทำให้ต้องนำเอาระบบไฟฟ้าแรงสูงมาใช้ในการส่งพลังงานไฟฟ้า ทั้งนี้เนื่องจากความต้องการใช้พลังงานได้เพิ่มขึ้นทุกวัน โดยเฉพาะอย่างยิ่งในประเทศอุตสาหกรรมมีความต้องการพลังงานไฟฟ้าขึ้นในอัตราสูง ตามปกติจะเพิ่มขึ้นเท่าตัวในเวลา 10 ปี สำหรับประเทศไทยแม้จะมิใช่ประเทศอุตสาหกรรมก็ตาม จากสถิติจะพบว่าความต้องการพลังงานไฟฟ้าจะเพิ่มขึ้นเท่าตัวในเวลาเพียง 7-8 ปี

เมื่อความต้องการใช้พลังงานไฟฟ้าเพิ่มมากขึ้นเช่นนี้ จึงเป็นหน้าที่ของผู้ผลิตจะต้องหาทางผลิตเพิ่มขึ้นให้เพียงพอกับความต้องการ สำรวจแสวงหาแหล่งกำเนิดพลังงานที่เหมาะสมมาใช้ พลังงานที่จะนำมาใช้ในการผลิตพลังงานไฟฟ้านั้น โดยทั่วไปได้แก่ พลังน้ำ น้ำมัน ถ่านหิน กาซ นิวเคลียร์ และพลังงานแสงอาทิตย์ สำหรับประเทศไทยในปัจจุบันนี้ (2527) ที่การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทยสามารถผลิตกำลังไฟฟ้าได้ถึง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5855.22 เมกะวัตต์

ได้จากแหล่งกำเนิดพลังงานหลัก 4 ประเภท คือ

1) พลังน้ำ 1509.1 MW (25.8%)

2) พลังไอน้ำ (น้ำมันและถ่านลิกไนท์) 2827.5 MW (56.8%)

3) กาซเทอร์ไบน์ (รวมคอมไบน์ไบเคิล) 985.0 MW (16.6%)

4) ดีเซล 33.6 MW (0.6%)

การตั้งโรงจักรผลิตพลังงานไฟฟ้ามักจะถูกกำหนดด้วยแหล่งกำเนิดพลังงาน ความเหมาะสมกับสภาวะแวดล้อม และเป็นไปตามหลักเศรษฐศาสตร์ กล่าวคือ เราไม่สามารถเลือกตั้งโรงไฟฟ้าให้อยู่ใกล้กัลศูนย์กลางผู้ใช้ไฟฟ้าได้ตามที่ต้องการเสมอไป โดยทั่วไปมักจะตั้งโรงจักรผลิตที่ใกล้ แหล่งกำเนิดพลังงาน เช่น พลังงานน้ำตกซึ่งอยู่ในภูมิประเทศที่เป็นภูเขา หรือเหมืองถ่านหินในภูมิภาคที่ห่างไกลย่านชุมชน นั่นคือจะต้องส่งพลังงานที่ผลิตได้ไปยังผู้ใช้ไฟฟ้าเป็นระยะทางไกล การส่งพลังงานปริมาณมาก ๆ และเป็นระยะทางไกล ๆ ย่อมจะเกิดกำลังงานสูญเสีย P_c เนื่องจากความต้านทาน R ในสายส่ง กำลังงานสูญเสียดังกล่าวนี้จะแปรตามกำลังสองของกระแส I คือ $P_c = I^2R$

การลดกำลังงานสูญเสียในสายส่งให้น้อยลง ทำได้โดยลดกระแสให้น้อยลง แต่ต้องเพิ่มแรงดันให้สูงขึ้น เพื่อให้สามารถส่งกำลังงานได้เท่าเดิม นี่คือเหตุผลที่ต้องใช้ระบบแรงดันสูงในการส่งพลังงาน (HIGH VOLTAGE TRANSMISSION SYSTER) ผลดีของการส่งพลังงานไฟฟ้าด้วยระบบแรงดันสูงก็คือ จะทำให้แรงดันตกในสายส่งลดน้อยลง ประสิทธิภาพของสายส่งดีขึ้นเสถียรภาพความเชื่อถือได้ต่อระบบสายส่งสูงขึ้น

ระดับแรงดันสูงที่ใช้ส่งพลังงานไฟฟ้าอยู่ในปัจจุบันนี้ อาจแบ่งออกได้เป็น 3 ช่วงด้วยกันคือ

1) แรงดันสูง (HIGH VOLTAGE = EV) หมายถึงแรงดันตั้งแต่ 1 kV ขึ้นไปจนถึง 230 kV

2) แรงดันสูงพิเศษ (EXTRA HIGH VOLTAGE = EHV) หมายถึงแรงดันสูงกว่า 230 kV จนถึง 765 kV

3) แรงดันสูงอุตรา (ULTRA HIGH VOLTAGE = UHV) หมายถึงแรงดันสูงกว่า 765 kV ขึ้นไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การใช้ประโยชน์แรงดันสูงกระแสตรง

แรงดันสูงกระแสตรงที่สร้างขึ้นมีที่ใช้ประโยชน์ คือ

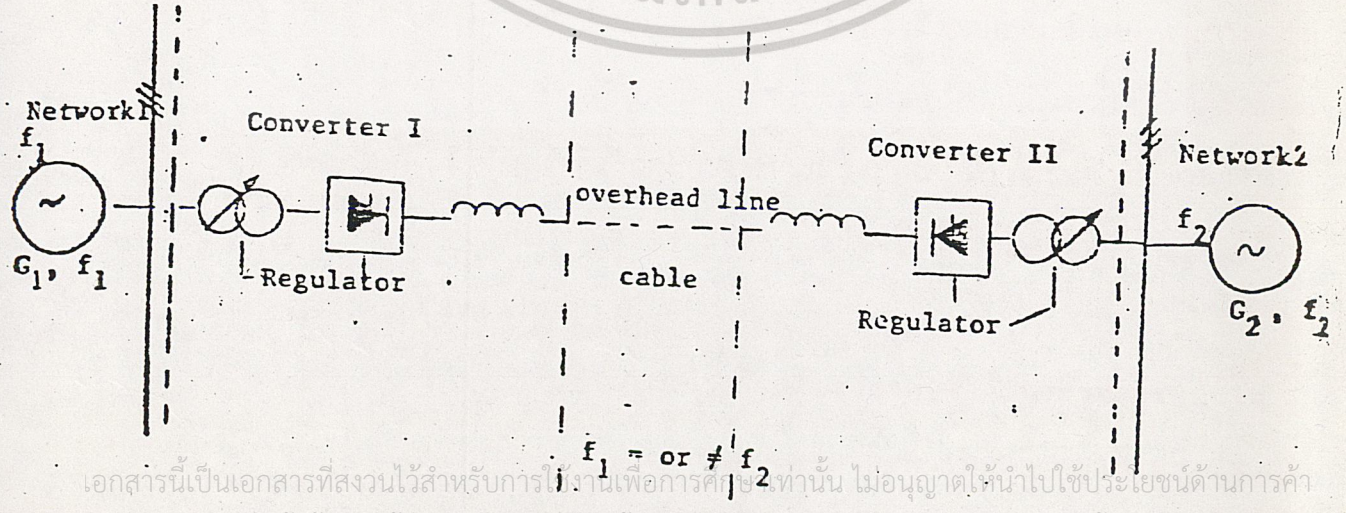
a) ใช้ส่งพลังงานไฟฟ้า

b) ใช้ทางฟิสิคส์และการแพทย์

c) ใช้ทดสอบวัสดุฉนวนและอุปกรณ์ไฟฟ้าแรงสูง

การสร้างแรงดันสูงกระแสตรงสำหรับส่งพลังงานไฟฟ้านับเป็นประโยชน์สำคัญประการแรก ปัจจุบันจะเห็นได้ว่ามีการสร้างระบบสายส่งแรงสูงกระแสตรงเพิ่มขึ้นมากมาย เพิ่มขึ้นถึงสามเท่าตัวในช่วงระยะ 10 ปี เมื่อเทียบกับระบบแรงดันสูงกระแสสลับจะเพิ่มขึ้นเท่าตัวในระยะ 10 ปี การพัฒนาระบบสายส่งแรงดันสูงกระแสตรงจะเป็นส่วนสำคัญยิ่งของการส่งพลังงานไฟฟ้าในอนาคต

วงจรหลักของระบบสายส่งแรงสูงกระแสตรง ประกอบด้วยสถานีเปลี่ยน AC เป็น DC และอีกสถานีหนึ่งเปลี่ยน DC กลับให้เป็น AC ในสถานีเปลี่ยนกระแสนี้ประกอบด้วยหม้อแปลงแรงดัน อุปกรณ์เปลี่ยนกระแส (CONVERTER) ซึ่งอาจจะเป็น MERCURY - ARC VALVE หรือ THYRISTOR ก็ได้ และรีแอคเตอร์ทำหน้าที่กรอง ดังในรูปที่ 1-2 (รายละเอียดดูในวิชา INVERTER ENGINEERING)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 1-2 วงจรสายส่งแรงสูงกระแสตรง

ข้อดีของระบบสายส่งกระแสตรงก็คือ ไม่มีกำลังงานสูญเสียในฉนวนที่เกิดจากการสลับขั้วของรูปคลื่นแรงดัน ยิ่งกว่านั้นยังสามารถใช้ดินหรือน้ำทะเลเป็นสายกลับของระบบได้อีกด้วย

สายส่งแรงดันกระแสสลับระยะทางไกล ๆ จำเป็นต้องใช้คะแปซิเตอร์, ริแอคเตอร์หรือเครื่องจักรกลซิงโครนัส เพื่อชดเชยหรือแก้แฟคเตอร์กำลังงาน (POWER FACTOR) ถ้าเป็นสายส่งแรงดันกระแสตรงไม่จำเป็นต้องมีการชดเชย ด้วยเหตุนี้เองจึงสามารถใช้เคเบิลเป็นสายส่งพลังงานในระยะทางไกล ๆ ได้โดยเฉพาะอย่างยิ่งสายเคเบิลที่เดินในทะเล ซึ่งในลักษณะเช่นนั้นไม่อาจใช้ตัวชดเชยดังกล่าวได้

ในกรณีเชื่อมโยงระหว่างระบบใหญ่ ๆ ที่มีความถี่ของระบบแรงดันกระแสสลับต่างกันทำได้โดยเชื่อมด้วยสายส่งแรงสูงกระแสตรง ดังเช่นการเชื่อมโดยระบบส่งจ่ายระหว่างประเทศอังกฤษกับประเทศฝรั่งเศส

ส่งพลังงานด้วยระบบแรงดันเท่ากับลักษณะสายส่งเหมือนกัน จะเกิดโคโรนาในระบบสายส่งกระแสสลับมากกว่า จึงทำให้เกิดคลื่นรบกวนต่อระบบสื่อสารมากกว่า

ข้อเสียของสายส่งแรงดันกระแสตรงก็คือ สถานีเปลี่ยนกระแส (CONVERTER STATION) นั้นราคาแพงมาก เฉพาะอุปกรณ์เปลี่ยนกระแสราคาประมาณ 30-40 % การแปลงแรงดันให้สูงขึ้นหรือต่ำลงทำไม่ได้อย่างระบบกระแสสลับ ที่สามารถแปลงแรงดันได้ด้วยหม้อแปลงไฟฟ้า การตัดวงจรโดยเซอรกิทเบรคเกอร์ต้องมีคุณลักษณะพิเศษ เพราะกระแสไม่ลดลงเป็นศูนย์สองครั้งในหนึ่งไซเคิลเหมือนอย่างกระแสสลับ ถึงทำให้เกิดความยุ่งยากในการตัดวงจรขณะที่มีโหลดปัญหาที่สำคัญอีกประการหนึ่งก็คือ เทคนิคการฉนวนซึ่งยังมีปัญหาที่แก้ไม่ได้ การฉนวนแรงดันสูงกระแสตรงในปัจจุบันยังไม่มีความมั่นใจได้เหมือนอย่างระบบสายส่งแรงดันกระแสสลับ

ในห้องทดลองวิจัยโดยทั่วไปมักจะทำการทดลองหาค่าความคงทนต่อแรงดันไฟฟ้าของฉนวนด้วยแรงดันกระแสตรง โดยเฉพาะอย่างยิ่งการทดลองกับฉนวนที่เป็นกาซ คุณลักษณะทางกายภาพ ความคงทนต่อแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับความถี่พลังงานอาจวิเคราะด้วยแรงดันกระแสตรงได้เช่นเดียวกัน สามารถหาผลการเปลี่ยนแปลงเนื่องจากขั้วของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารนี้

แรงดันได้อีกด้วย

การใช้ประโยชน์สำหรับเครื่องมือพิเศษทางฟิสิคส์ เช่น ปฏิกรณ์เร่งอนุภาค เครื่องผลิตรังสีเอ็กซ์ ซึ่งได้จากการยิงอีเลคตรอนที่ผ่านเครื่องเร่งอัตราเร็วลงบนแผ่นโลหะ (วุลแปรมและทองแดง เป็นต้น) เครื่องอีเลคโตรไมโครสโทป อุปกรณ์ดังกล่าวในปัจจุบันใช้แรงดันสูงอาจถึง 1000 kV ใช้ประโยชน์ในทางพลาสมากายภาพ (PLASMAPHYSICS) คือ สร้างพลาสมาด้วยอุณหภูมิสูงเพื่อทำการมิวชั่นนิวเคลียร์

ทางการแพทย์ใช้สำหรับเครื่องฉายรังสีต่าง ๆ เครื่องทำโอโซน ประโยชน์ทางด้านเทคนิค ใช้ทดลองเกี่ยวกับวัสดุเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางเคมีและฟิสิคส์ เช่น ทำครอสลิงโปลิทิลีน โดยการฉายรังสีลงบนวัสดุนั้น การพ่นสีโดยใช้อิเลคโตรสแตติกส์ ใช้กับเครื่องกรองเขม่าควัน เป็นต้น

ทางด้านการทดสอบอุปกรณ์ไฟฟ้าที่ใช้กับระบบแรงดันกระแสตรง ก็มีความจำเป็นต้องทดสอบการฉนวนด้วยแรงดันกระแสตรงเช่นเดียวกับการทดสอบด้วยแรงดันกระแสสลับ แม้แต่อุปกรณ์บางอย่างที่ใช้กับแรงดันกระแสสลับยังต้องทดสอบด้วยแรงดันกระแสตรงก็มี โดยเฉพาะอย่างย่องอุปกรณ์ที่มีค่าความจุไฟฟ้า (CAPACITANCE) สูง ๆ เช่น เคเบิลแรงสูงหรือคะแปซิเตอร์ที่ใช้ในระบบส่งจ่าย ในกรณีของเคเบิลแรงสูงจำต้องทดสอบด้วยแรงดันกระแสตรง เพราะว่าเคเบิลนั้นได้วางเสร็จเรียบร้อยแล้ว และมีความจุสูง ซึ่งไม่สามารถจะจัดหาตัวจ่ายกระแสสลับที่มีกำลังงานเพียงพอแก่การทดสอบได้ หากทดสอบด้วยแรงดันกระแสตรงสามารถทำได้ เพราะการทดสอบด้วยแรงดันกระแสตรงใช้กำลังไฟฟ้าน้อย เนื่องจากความต้านทานกระแสตรงของเคเบิลมีค่าสูงมาก การอัดประจุจึงเป็นไปอย่างช้า ๆ จึงสามารถจัดหาตัวจ่ายกระแสตรงได้ง่ายกว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

การสร้างแรงดันสูงกระแสตรง (DC HIGH VOLTAGE)

แรงดันสูงกระแสตรงอาจเกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ เช่น ในขณะเกิดพายุฝนฟ้าคะนองมีการเก็บสะสมประจุไฟฟ้าในก้อนเมฆ ทำให้เกิดความต่างศักย์ระหว่างก้อนเมฆ ทำให้เกิดความต่ายศักย์ระหว่างก้อนเมฆกับพื้นดิน ในทางภาคปฏิบัติเราสร้างแรงดันสูงกระแสตรงขึ้นเพื่อใช้ประโยชน์ได้โดย

1) เครื่องกำเนิดแรงดันไฟฟ้าสถิตย์ (ELECTROSTATIC GENERATOR)

2) เปลี่ยนแรงดันกระแสสลับเป็นแรงดันกระแสตรง ด้วยเรคติฟายเออร์

ลักษณะของแรงดันกระแสตรง อาจกำหนดหรืออธิบายได้ด้วย

- ขั้ว คือ ขั้วบวกหรือขั้วลบ
- ค่าเฉลี่ย
- ค่าสูงสุด
- แฟคเตอร์คลื่นระลอก (RIPPLE FACTOR)

เครื่องกำเนิดไฟฟ้าสถิตย์

เป็นวิธีการเปลี่ยนพลังงานกลไปสู่พลังงานไฟฟ้า โดยอาศัยสนามไฟฟ้าเก็บประจุไฟฟ้าไว้บนพื้นโลหะที่ยึดอยู่บนฉนวน ฉะนั้นถ้าใส่พลังงานกลเข้าไปทำงานเคลื่อนย้ายประจุไฟฟ้าไปรวมกันอยู่ในที่ที่กำหนดให้ได้มาก ๆ ก็จะทำให้ศักย์ไฟฟ้าสูงขึ้น ซึ่งอาจหาได้จากความสัมพันธ์

$$V = Q/C$$

เมื่อ V คือ ศักย์ไฟฟ้า

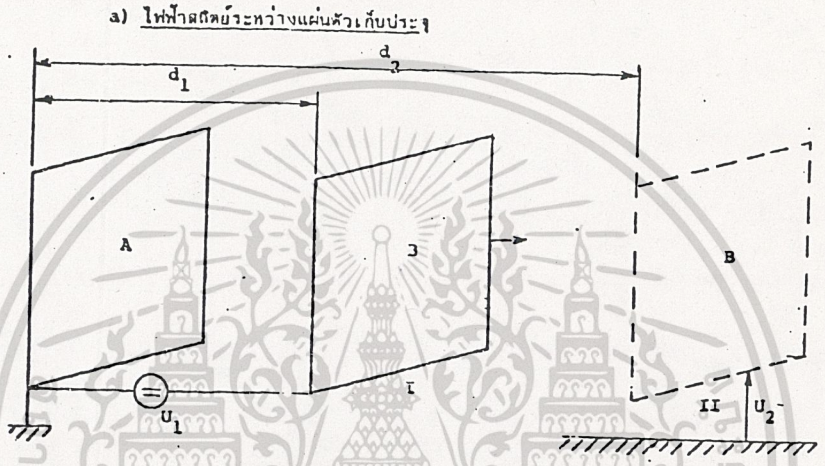
Q เป็นประจุไฟฟ้า

C เป็นความจุไฟฟ้าของตัวเก็บประจุ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
028738

จะเห็นได้ว่าศักย์ไฟฟ้านั้นขึ้นอยู่กับปริมาณของประจุ และถ้าหากสามารถทำให้ค่าความจุไฟฟ้าลดลงได้ โดยรักษาปริมาณประจุให้คงที่อยู่เท่าเดิมก็จะทำให้ศักย์ไฟฟ้าสูงขึ้นได้

a) ไฟฟ้าสถิตย์ระหว่างแผ่นตัวเก็บประจุ



รูป 1-18 การสร้างไฟฟ้าสถิตย์แรงสูงด้วยแผ่นเก็บประจุ

ในรูปมีแผ่นโลหะ A และ B ยึดอยู่บนฉนวนรองรับทำหน้าที่เป็นแผ่นตัวเก็บประจุ แผ่น A อยู่กับที่ แผ่น B เคลื่อนที่ได้ ป้อนแรงดันกระแสตรง U_1 เพื่ออัดประจุเข้าไประหว่างแผ่น A และ B ซึ่งวางห่างกันเท่ากันกับ d_1 แล้วเคลื่อนแผ่นโลหะ B ให้ห่างออกไปเป็นระยะ d_2 ถ้าหากประจุที่อัดอยู่บนแผ่นโลหะทั้งสองไม่สูญหายไปไหน จะทำให้ศักย์ไฟฟ้าสูงขึ้นถ้า d_2 มากกว่า d_1

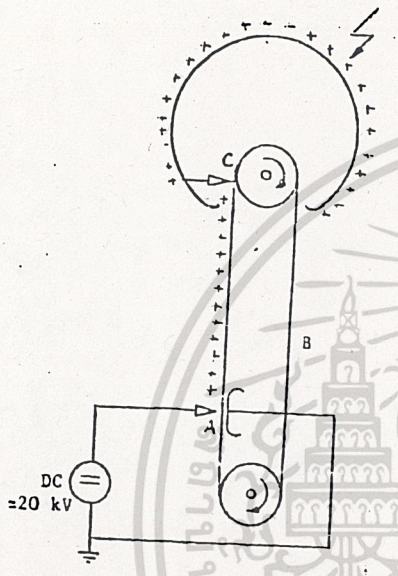
b) เครื่องกำเนิดไฟฟ้าสถิตย์ VAN DE CRAAFF

เป็นเครื่องสร้างแรงดันสูงไฟฟ้าสถิตย์ โดยวิธีเก็บสะสมประจุไว้บนพื้นผิวโล (VAN DE GRAAFF 1930 ดังในรูป 1-19 ประกอบด้วยอิเลคโตรด A แบบสนามไฟฟ้าไม่สม่ำเสมอสูง (HIGHLY NONUNIFORM) เป็นตัวทำให้เกิดโคโรน่าแยกประจุ มีอิเลคตรอนอิสระถ่ายเทลงบนสายพานฉนวน ที่หมุนเคลื่อนที่รอบล้อประจุจะเคลื่อนที่ตามสายพาน และถ่ายให้กับอิเลคโตรดแรงสูง HV โดยผ่านอิเลคโตรดเก็บประจุ C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครื่องกำเนิด VAN DE GRAAFF มีขีดจำกัด

- ความหนาแน่นของประจุบนสายพาน (ประมาณ 1.6 nC/cm^2)
- ความเครียดสนามไฟฟ้าตามแนวยาวของสายพาน E_t ถ้าสายพานอยู่ในอากาศ จะกำหนดด้วยความคงทนต่อแรงดันไฟฟ้าของอากาศ คือ $E_t < 10$ kV/cm ถ้าต้องการให้สามารถใช้กับ E_t สูงขึ้นต้องบรรจุไว้ในถังกาซอัดความดัน เช่น N_2 หรือ CO_2 ซึ่งมีความดันในช่วง 10...30 บาร์ หรือ SF_6 ความดัน 2.5...5 บาร์
- ความเร็วของสายพานน้อยกว่า 40 m/sec

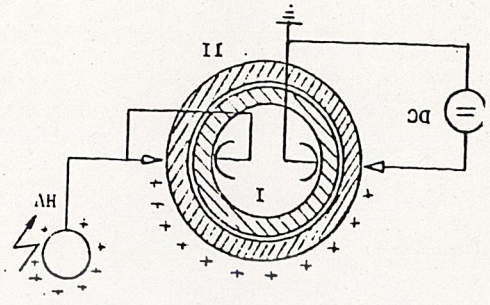


รูป 1-19 เครื่องกำเนิดไฟฟ้าสถิตย์ VAN DE GRAAFF

c) เครื่องกำเนิดไฟฟ้าสถิตย์ TROMMEL

เป็นเครื่องกำเนิดแรงสูงไฟฟ้าสถิตย์ ประดิษฐ์โดย FELICI เมื่อปี 1951 โดยเหตุที่เครื่องกำเนิดแบบ VAN DE GRAAFF ใช้สายพาน มีข้อเสียเกี่ยวกับการสั่นของสายพานในขณะใช้ความเร็วสูง ๆ และความเครียดสนามไฟฟ้าตามแนวสายพานกระจายไม่สม่ำเสมอ ปัญหาเหล่านี้อาจแก้ได้โดยกระบอกฉนวนร่วมสองชั้นตามแบบของ FELICI ดังในรูป 1-18 ประกอบด้วยกระบอกฉนวน I อยู่กับที่มีแกนร่วมกับกระบอกฉนวนนอก IJ ซึ่งหมุนได้ ประจุอิสระที่สร้างขึ้นในทำนองเดียวกับเครื่อง VAN DE GRAAFF จะถ่ายทอดผ่านตัวเก็บประจุนำออกไปสู่อิเลคโตรดแรงสูง HV

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารนี้ทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

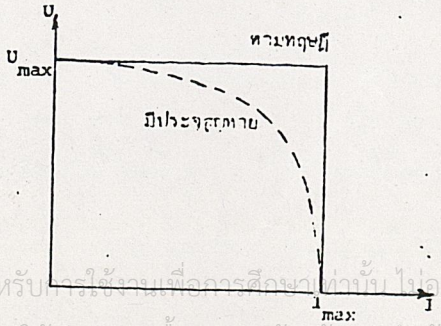


รูป 1-18 เครื่องกำเนิดไฟฟ้าสถิตย์แบบทรอมเมล

เครื่องกำเนิดแบบนี้ทนความเครียดสนามไฟฟ้าตามแนวผิวกระบอกฉนวนได้ 20 kV/cm (โดยบรรจุกาซอัด) ความเร็ว 45 m/sec เท่าที่สร้างขึ้นใช้งานในประเทศฝรั่งเศส สร้างแรงดันได้ถึง 400 kV กระแส 4 mA

ลักษณะของเครื่องกำเนิดแรงดันไฟฟ้าสถิตย์

โดยหลักการแล้วอาจถือได้ว่าเครื่องกำเนิดแรงดันไฟฟ้าสถิตย์ เป็นตัวจ่ายที่มีค่ากระแสคงที่ ถ้าหากว่าการถ่ายทอดประจุเป็นไปอย่างต่อเนื่องและคงตัว ดังนั้นการที่จะให้ได้แรงดันคงที่ได้นั้นจะต้องให้ตัวสร้างประจุป้อนให้กับสายพานฉนวน หรือกระบอกฉนวนปรับค่าได้ เส้นกราฟของแรงดันที่ผลิตสัมพันธ์กับกระแสจะได้ดังในรป 1-19



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูป 1-9 เส้นกราฟแสดงลักษณะของเครื่องกำเนิดแรงดันไฟฟ้าสถิตย์

I_{max} คือ กระแสเมื่ออิ่มตัวหรือลัดวงจร

U_{max} คือ แรงดันสูงสุดที่เครื่องกำเนิดสามารถสร้างขึ้น

แฟคเตอร์คลื่นระลอกของแรงดันกระแสตรงมีค่าต่ำมาก คือ น้อยกว่า 0.1% ข้อสังเกตุเนื่องจากกระแสลัดวงจรมีค่าต่ำ ฉะนั้นอันตรายจากกระแสไฟฟ้าจึงมีน้อย

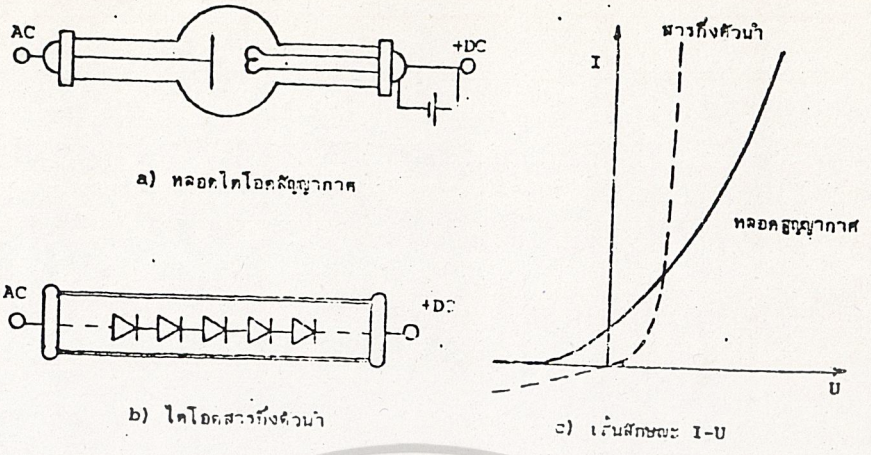
สร้างแรงดันสูงกระแสตรงด้วยวิธีเรคติฟายเออร์

การสร้างแรงดันสูงกระแสตรงด้วยวงจรเรคติฟายเออร์ที่ใช้กันในห้องทดลองไฟฟ้าแรงสูงนั้น ในสมัยก่อนนั้นใช้หลอดสูญญากาศ ดังรูป 1-19 a) เป็นตัวเรียงกระแส แต่ในปัจจุบันนี้โดยทั่วไปจะใช้ไดโอดสารกึ่งตัวนำมาต่ออันดับกันดังรูป 1-19 b) นอกเสียจากในกรณีที่ต้องการใช้กระแสสูง ๆ หลายแอมแปร์และแรงดันไม่เกิน 10 kv มักจะใช้เรคติฟายเออร์ไอปรอท

หลอดไดโอดสูญญากาศแรงสูงนี้ทำงานเหมือนหลอดไดโอดทั่วไป คือ อิเลคตรอนจะถูกปล่อยออกมาจากไส้แคโถด แล้วถูกเร่งวิ่งเข้าหาแอโนดด้วยอำนาจสนามไฟฟ้า หลอดสูญญากาศดังกล่าวนี้สามารถทนแรงดันสูงกลับทางค่ายอดได้ถึง 200 kv แต่มีค่าพิกัดกระแสต่ำประมาณ 0.1 A เมื่อเปรียบเทียบระหว่างหลอดสูญญากาศกับไดโอดสารกึ่งตัวนำ แบบหลังมีข้อดีตรงที่ไม่ต้องมีไส้หลอดร้อน แต่อย่างไรก็ดีไดโอดสารกึ่งตัวนำก็ยังมีกระแสไหลในขณะที่แรงดันกลับทาง (REVERSE VOLTAGE) และมีปัญหาในเรื่องแรงดันกระจายไม่สม่ำเสมอขณะที่แรงดันกลับทาง

a) หลอดไดโอดสูญญากาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



b) ไดโอดสารกึ่งตัวนำ c) เส้นลักษณะ I-U

รูป 1-10 ไดโอดแรงสูงและเส้นลักษณะ

ไดโอดควรจะนำกระแสอย่างเต็มที่ในทิศทางนำ แต่จะกั้นไม่ให้กระแสไหลในทิศทางแรงดันกลับทาง ในทางภาคปฏิบัติทำได้เพียงใกล้เคียงเท่านั้น ดังในรูป c) ไดโอดสารกึ่งตัวนำจะเกิดแรงดันตกคร่อมเล็กน้อยในทิศทางนำกระแส และยอมให้กระแสไหลเล็กน้อยในทิศทางที่แรงดันกลับทาง

การพิจารณาเลือกไดโอดนั้นจะคำนึงถึงค่าพิกัดของ

- แรงดันกลับทาง (PEAK REVERSE VOLTAGE)
- กระแสที่กำหนด (PERMISSIBLE LOAD CURRENT)
- กระแสเสอร์จ (SURGE CURRENT)

เรคติไฟเออร์สารกึ่งตัวนำที่ใช้กันทั่วไปมีค่าพิกัดแรงดันกลับทาง และพิกัดกระแสโหลดเต็มที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อเปรียบเทียบไดโอด SE และ Si จะเห็นว่า SE ทนกระแสและทนแรงดันได้ต่ำจึงใช้ปริมาตรมาก แต่การทดสอบไฟฟ้าแรงสูงในห้องทดลองโดยทั่วไปจะใช้กระแสน้อย คือ ไม่เกิน 100 mA เช่นนี้ SE จะเหมาะแก่งานดังกล่าว เพราะว่าแต่ละเซลล์มีค่าความจุไฟฟ้าสูง ซึ่งจะเป็นผลดีในเรื่องการกระจายแรงดัน เมื่อนำเอาไดโอดมาต่ออันดับกันมาก ๆ กล่าวคือ สามารถใช้ต่ออันดับกันทนแรงดันกลับได้ถึง 600 kV โดยไม่ต้องใช้ตัวเก็บประจุต่อชดเชย และที่สำคัญอีกประการหนึ่งก็คือ ไม่ไวต่อกระแสเสอร์จ แต่ SE ต้องการปริมาตรสำหรับต่อวงจรมากจึงทำให้ประสิทธิภาพต่ำ ในกรณีที่ใช้กับกระแสสูง ๆ Si จะเหมาะกว่า

* <u>วงจรสร้างแรงดันกระแสตรง</u>

วงจรทั้งหลายที่ใช้เรคติฟายเออร์สำหรับเรียงกระแสสร้างแรงดันกระแสตรงทั้งแรงดันต่ำและแรงดันสูง จะมีวงจรพื้นฐานเป็นแบบ

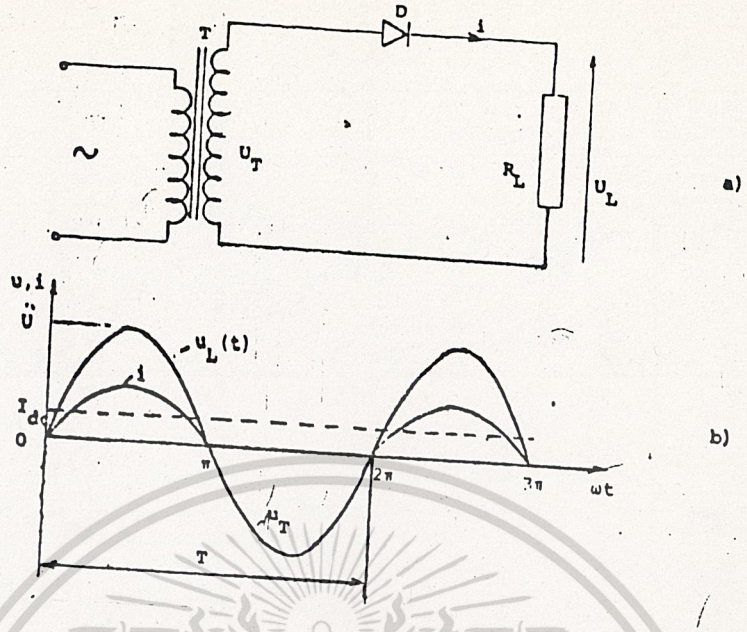
- วงจรเรคติฟายเออร์ครึ่งคลื่น
- วงจรเรคติฟายเออร์เต็มคลื่น

ในกรณีที่มีตัวจ่ายกระแสสลับแรงดันไม่สูงนัก จะสร้างแรงดันกระแสตรงสูงมาก ๆ ได้โดยใช้วงจรพื้นฐานมาต่อขั้นบันได ในห้องทดลองแรงสูงทั่วไปจะใช้วงจรเรคติฟายเออร์ครึ่งคลื่น

a) วงจรเรคติฟายเออร์ครึ่งคลื่น

วงจรที่ใช้สร้างแรงดันสูงกระแสตรงที่ง่ายที่สุดเป็นแบบเรียงกระแสเพียงครึ่งหนึ่งของคลื่นที่ป้อนเข้าไป อาจจะเป็นครึ่งบวกหรือครึ่งลบขึ้นอยู่กับขั้วของไดโอดที่ต่อไว้ ดังในรูป 1-21 เป็นวงจรเรียงกระแสช่วงครึ่งบวก วงจรประกอบด้วยหม้อแปลงแรงสูง T เป็นตัวจ่ายแรงดันรูปคลื่นไซน์ มีค่าแรงดันทางด้านจ่ายกำลังออกเท่ากับ U_T ต่อผ่านไดโอด D เรียงกระแสจ่ายให้กับโหลด R_L

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป 1-22 วงจรเรียงกระแสครึ่งคลื่น

a) วงจร

b) รูปคลื่นแรงดันกระแส

เมื่อผ่านไดโอดกระแสจะไหลทางเดียวเป็นกระแสตรงได้ค่าเฉลี่ย

$$I_{dc} = \hat{I}/\pi$$

แรงดันกระแสตรงคร่อม R_L คือ $U_L = I_{dc} R_L$

$$\bar{U}_L = \hat{U}/\pi$$

b) วงจรเรคติฟายเออร์เต็มคลื่น

ในวงจรเรคติฟายเออร์รู 1-23 เป็นวงจรเรียงกระแสเต็มคลื่น ซึ่งประกอบด้วยไดโอด 2 ตัว ซึ่งทำหน้าที่เรียงกระแสแต่ละตัวครึ่งคลื่น โดยได้รับแรงดันมาจากหม้อแปลงที่มีที่ต่อตรงกลางขดลวด วงจรแบบนี้จะมีประสิทธิภาพสูง แรงดันที่ได้จากหม้อแปลงตัวจ่ายกำลังออกที่ป้อนให้กับไดโอดทั้งสองจะมีเฟสต่างกัน 180 องศา คือ ข้างหนึ่งเป็นบวกอีกข้างหนึ่งเป็นลบนั่นคือขณะที่ U_1 เป็นบวก กระแสอัดประจุจะไหลผ่านไดโอด D_1 พอถึงช่วงคลื่นลบไดโอด D_1 จะไม่นำกระกส แต U_2 เป็นบวกไดโอด D_2

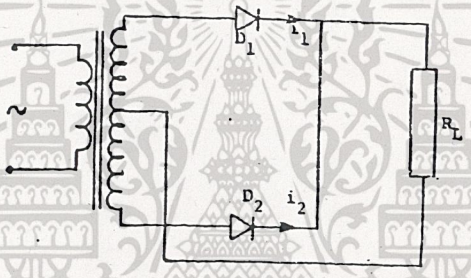
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จึงนำกระแส กระแสอัดประจุจะไหลผ่าน D_2 ไปยังโหลด R_L จะเท่ากับผลรวม $I_1 + I_2$

$$I_{dc} = 2I/\pi$$

$$I_{rms} = I/\sqrt{2}$$

เพราะฉะนั้นแฟคเตอร์ระลอก $r = \sqrt{(1.11)^2 - 1} = 0.48$ หรือ 48%

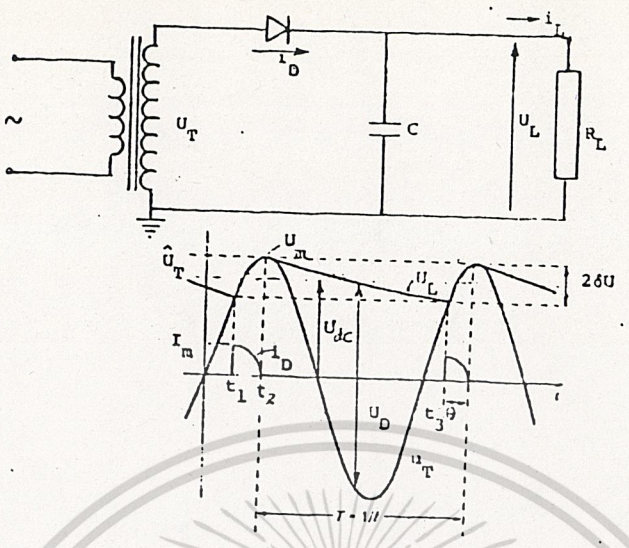


รูป 1-23 วงจรเรคติฟายเออร์เต็มคลื่น

ตัวเก็บประจุกรองกระแส (CAPACITOR FILTER)

เรคติฟายเออร์คลื่นเต็มทำให้แฟคเตอร์ระลอกลดลงเมื่อเทียบกับเรคติฟายเออร์ครึ่งคลื่นคือ จะลดลงจาก 121% ลดเหลือ 48% แต่ก็ยังนับว่ามีค่าสูงต่อการใช้งาน ปัญหานี้แก้ได้โดยใช้วิธีกรองกระแส ในที่นี้จะกล่าวถึงการใช้ตัวเก็บประจุกรองกระแสเพื่อลดแฟคเตอร์ระลอกให้น้อยลง ตัวเก็บประจุดังกล่าวนี้จะต่อคร่อมหรือขนาดกับโหลด จึงอัดประจุในช่วงที่ไดโอดนำกระแสและจะปล่อยหรือคายประจุให้กับโหลดในช่วงที่ไดโอดไม่นำกระแส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป 1-24 วงจรเรคติฟายเออร์มีตัวเก็บประจุกรองกระแส

ในรูป 1-24 a) แสดงถึงวงจรเรคติฟายเออร์ครึ่งคลื่น มีตัวเก็บประจุกรองกระแสให้คลื่นเรียบ ได้แรงดันออกมาดังในรูป 1-24 b) สมมติว่าไดโอดมีความต้านทานน้อย และวงจรทำงานถึงสภาพอยู่ตัว ที่ $t=0$ แรงดันตัวจ่าย U_T เป็นศูนย์ แต่แรงดันคร่อมโหลด R_L กับ C เป็น U_L และ U_L จะลดลงตามเวลาเนื่องจากคายประจุให้ R_L ในขณะที่แรงดันตัวจ่าย U เพิ่มขึ้น จนกระทั่ง U_T เริ่มจะสูงกว่า U_L เล็กน้อยที่ t_1 ไดโอดจะนำกระแส กระแสอัดประจุ I_D จะพุ่งขึ้นรวดเร็วเพื่อให้สอดคล้องกับความสัมพันธ์

$$I_D = C\, du/dt$$

กระแสอัดประจุนี้จะค่อย ๆ ลดลงจนเป็นศูนย์เมื่อแรงดันตัวจ่ายขึ้นสูงสุดถึงค่ายอด ขณะนั้นแรงดันอัดประจุคร่อม C จะเท่ากับค่ายอดของแรงดันตัวจ่าย U_T กระแส I_D จะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หยุดไหล เมื่อแรงดันตัวจ่าย U เริ่มลดลงต่ำกว่า U_L ที่ t_2ในช่วงอัดประจุ $t_1 < t < t_2$

$$U_L = U \sin \omega t$$

ในช่วงคายประจุ $t_2 < t < t_3$

$$U_L = U_m e^{-(t-t_2)/RC}$$

ในที่นี้ $U_m = U_T$

เมื่อถึง t_3 แรงดันตัวจ่ายเริ่มจะมากกว่า U_L ไดโอดก็เริ่มนำกระแสอีก ครบรอบและซ้ำเดิมต่อไป

กระแสที่ไหลผ่านโหลด R_L จะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับ U_L แต่จะไม่เป็นศูนย์ เพราะเมื่อ C หยุดอัดประจุ C จะคายประจุให้ R_L ต่อไป ค่าเฉลี่ยของกระแสจะสูงขึ้นมากเมื่อเทียบกับวงจรเรคติฟายเออร์ครึ่งคลื่นที่ไม่มีตัวเก็บประจุกรองกระแส และคลื่นกระแสสลับ(ระลอก)ก็จะต่ำลงแฟคเตอร์ระลอกจะต่ำลงมากด้วย

<u>การคำนวณหาแฟคเตอร์ระลอกเมื่อใช้วงจรมีตัวเก็บประจุกรองกระแส</u>

เมื่อมีตัวเก็บประจุกรองกระแส แรงดันเรียงกระแสแล้วหรือแรงดันกระแสตรงจะเรียบมากขึ้น มีค่าสูงสุด U_m เท่ากับค่ายอดของแรงดันตัวจ่าย คือ $U_m = U_T$

แรงดันคลื่นระลอกหรือคลื่นกระแสสลับที่ซ้อนอยู่ คือ δU

ฉะนั้นแรงดันเฉลี่ยของแรงดันกระแสตรง U_{dc} จะได้

$$U_{dc} = U_T - \delta U$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ช่วยระยะอัดประจุ $t_2 - t_1$ ยิ่งน้อยจะทำให้แรงดันที่เรียงกระแสแล้วเรียบมากขึ้น

ไดโอดจะนำกระแสในช่วงสั้น แต่ไดโอดจะต้องรับแรงดันในช่วงแรงดันกลับทาง หรือในช่วงที่ไดโอดไม่นำกระแสมีค่า 2 เท่าของค่ายอดของแรงดันตัวจ่าย คือ

$$U_D = 2U_T$$

เมื่อ U_D คือ แรงดันคร่อมไดโอด

เนื่องจากช่วงระยะเวลาอัดประจุ $t_d = t_2 - t_1 << T$

ฉะนั้นอาจคิดได้ว่าช่วงระยะเวลาที่แรงดันกลับทางเท่ากับ $T = 1/f$ และเพราะว่าแรงดันระลอก δU มีค่าน้อยเทียบกับ U_{dc} ($\delta U << U_{dc}$) ฉะนี้ฯกระแสที่ตัวเก็บประจุ C จ่ายให้กับโหลดคิดเป็นประจุถ่ายทอด Q หาได้จาก

$$Q = I_{dc} T = 2C\delta U \quad (I_{dc} = 1/T \int^{T} i_L \, dt)$$

$$\delta U = I_{dc}/2fC$$

ฉะนั้นแฟคเตอร์ระลอกคำนวณได้จากความสัมพันธ์

$$r = \delta U/U_{dc}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

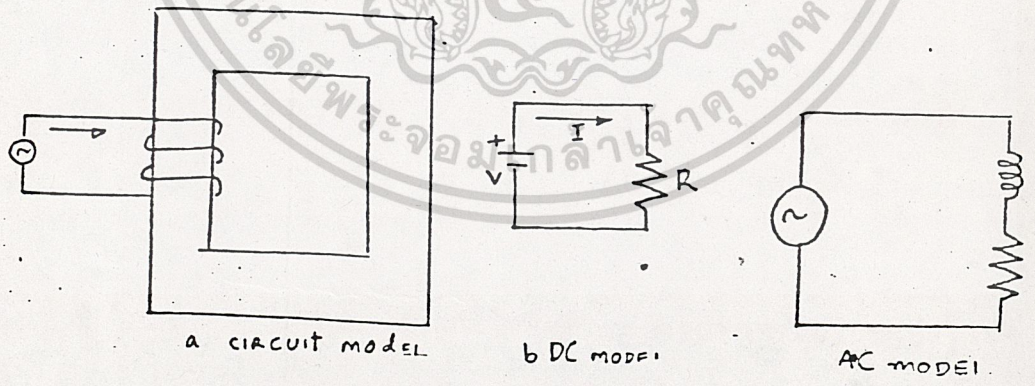
บทที่ 4

ทรานฟอร์เมอร์ (TRANFORMER)

ทรานฟอร์เมอร์ เป็นอุปกรณ์ที่ใช้โยกย้ายพลังงานไฟฟ้าจากวงจรหนึ่งไปยังอีกวงจรหนึ่ง โดยอาศัยสนามแม่เหล็กที่คล้องวงจรทั้งสองนั้น ทรานฟอร์เมอร์อาศัยหลักการของวงจรแม่เหล็กในการแปลงพลังงานมันเป็นตัวอย่างอันดีของการเหนียวนำ VOLTAGE โดยการเปลี่ยนแปลงของสนามแม่เหล็ก

AC EXCITATION OF MANETIC CIRCUITS

เมื่อ DC VOLTAGE คล่อม COIL ซึ่งพันรอบ MAGNETIC CORE กระแสที่ไหลจะถูกจำกัดโดย RESISTANCE ของขดลวด VOLTAGE (RI) ที่คล่อมความต้านทานจะเท่ากับ VOLTAGE ที่ SUPPLY และวงจรรูป 2.1 A จะถูกแทนโดย CIRCUIT MODEL ดังรูป 2.1 B



MAGNETIC FLUX (O) จะถูกสร้างขึ้นใน CORE โดยขึ้นอยู่กับค่าต่าง ๆ ดังนี้ MAGNETIZING FORCE (H) มีหน่วยเป็น AMPERE-TURNS PER METRE, คุณสมบัติของ CORE ซึ่งถูกกำหนดโดย B-H CURVE และพื้นที่หน้าตัด (A) ของ CORE

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในทางตรงข้ามเมื่อ AC VOLTAGE คล่อม COIL ที่เหมือนกันกระแสจะถูกจำ

กัดโดยค่า IMPEDANCE ของขดลวด VOLTAGE DROP เนื่องมาจาก RESISTANCE น้อยมากและ VOLTAGE DROP เนื่องมาจาก INDUCTIVE REACTANCE จะประมาณเท่ากับ APPLIED VOLTAGE MAGNETIC FLUX ใน CORE ที่ต้องการเพื่อที่จะนำไปสร้าง VOLTAGE เหนี่ยวนำ ประมาณว่าเท่ากับ APPLIED VOLTAGE ใน CIRCUIT MODEL รูป 2.1 C ผลอันนี้จะถูกแทนโดย INDUCTANCE (L)

ศักย์ดาไฟฟ้าเหนี่ยวนำ (INDUCED VOLTAGE)

จากพื้นฐานของการทดลองของ ฟาราเดย์ สรุปว่า VOLTAGE ที่ถูกเหนี่ยวนำใน COIL หลาย COIL ที่คล้องการเปลี่ยนแปลงของสนามแม่เหล็กจะขึ้นอยู่กับจำนวนรอบ N ของ COIL และอัตราการเปลี่ยนแปลง FLUX (ϕ)

$$v = N\, d\phi/dt = d\underline{\lambda}/dt$$

เมื่อ $\underline{\lambda}$ เป็นจำนวนของ FLUX LINKAGE มีหน่วยเป็น WESER-TURNS ตัวอย่างเช่น ถ้าใน 10 รอบของ COIL มี 8 รอบ ที คล้อง FLUX 1 Wb และ 2 รอบคล้อง FLUX 0.9 Wb-t POLARITY ของ INDUCED VOLTAGE สามารถอธิบายโดย LENZ'S LAW ว่า

"VOLTAGE ที่ถูกเหนี่ยวนำขึ้นจะมีทิศทางในทิศที่ตรงข้ามกับการเปลี่ยนแปลงของ FLUX LINKAGE ที่สร้างมันขึ้นมา"

ถ้าเตรียม CLOSED PATH ไว้กระแสซึ่งเกิดจาก INDUCED VOLTAGE จะมีทิศทางในลักษณะเพิ่ม FLUX

โดยทั่วไป ความสัมพันธ์ระหว่าง FLUX และกระแสเป็นแบบ NON-LINEAR อย่างไรก็ตามเราจะคิดว่า ความสัมพันธ์ของมันเป็น LINEAR โดยไม่มี ERROR ถ้า FLUX ในวงจรแม่เหล็กเป็น SINE ดังนั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\phi = \phi_m \sin\omega t$$

INDUCED VOLTAGE ใน N รอบของ COIL เป็น

$$V = N\, d\phi/dt = N\omega \phi_m \cos\omega t$$

ค่า RMS ของ SINUSOIDAL จะเป็น

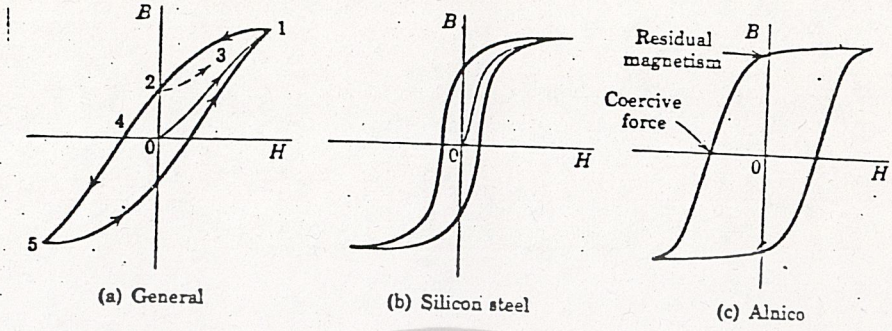
$$V = Vm/\sqrt{2} = N \phi_m/\sqrt{2}$$
$$= 2\pi/\sqrt{2}\ nf\phi_m$$
$$= 4.44\ nf\phi_m$$

สำหรับ AC EXCITATION FLUX (ϕ) ขึ้นอยู่กับความถี่และขนาดของ APPLIED VOLAGE ถ้าไม่คิด RESISTANCE DROP กระแสที่ไหลจะเป็นตัวสร้าง FLUX ที่ระบุใน EQUATION

HYSTERESES

ในการเป็นแม่เหล็กของ สสารพวก FERROMAGNETIC ผลที่เกิดขึ้นทั้งหมดเป็นแบบไม่ยืดหยุน เมื่อเอาสนามภายนอกออก สสารแม่เหล็กจะไม่สามารถกลับไปอยู่สถานะเริ่มต้นได้ ถ้าชิ้นเหล็กถูกทำให้อิ่มตัว (SATURATE) จุดที่ 1 ในรูป 22.4 A และแล้วเอาสนามออก (H=0) เงื่อนไขของแม่เหล็กจะเลื่อนตามเส้นจาก 1 ไป 2 ORDINATE ที่จุด 2 ถูกเรียกว่า RESIDUAL MAGNETISM

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(a) General (b) Silicon steel (c) Alnico

ถ้าค่า H ที่เป็นบวกถูกให้อีกครั้งหนึ่ง เงื่อนไขก็จะเคลื่อนตามทางจาก 2 ไป 3 NEGATIVE MAGNETIZING FORCE (COERCIVE FORCE) ถูกต้องการเพื่อจะทำให้ความหนาแน่นของ FLUX เป็นศูนย์ที่จุด 4 H ที่เป็นลบจำนวนมาก จะทำให้เกิดการอิ่มตัว (SATURATE) ในทิศทางตรงกันข้าม (จุด 5) และเมื่อให้ REVERSING MAGNETIZING FORCE จะทำให้เงื่อนไขแม่เหล็กเคลื่อนตามทางจาก 5 ไป 1 ถ้า MAGNETIXING FORCE เกิดเนื่องมาจากไฟกระแสสลับวงรอบของทางเดินจะเรียกว่า HYSTERISIS LOOP

ในขณะที่แผ่นโลหะถูกทำให้ร้อนโดยการหักงอไปมา สารแม่เหล็กถูกทำให้ร้อนเมื่อมันถูกทำให้ เป็นแม่เหล็กครบเป็นวงรอบ ในกรณีทั้งสองพลังงานจะปรากฏในรูปของอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นพลังงานที่ใส่เข้าไปให้กับตัวอย่าง เริ่มต้นที่ยังไม่ได้รับการทำให้เป็นแม่เหล็กจะเท่ากับพื้นที่ระหว่าง CURVE -1 และแกน B พลังงานย้อนกลับจะเท่ากับพื้นที่ระหว่าง CURVE 1-2 และแกน B ตามรูป 22.5 ผลต่างของพื้นที่ทั้งสองนี้จะแปลงไปเป็นความร้อนของกระวนการผันกลับไม่ได้ตามแนวเส้นของวงรอบที่สมบูรณ์พื้นที่ของ HYSTERESES LOOP จะเท่ากับพลังงานที่สูญเสียไปใน หนึ่งรอบสำหรับ SILICON STEEL LOOP จะผอม (รูป 22.4 B) และ HYSTERESIS จะน้อยสำหรับแม่เหล็กถาวร COERCIVE FORCE จะกว้างและ HYSTERESIS LOSS จะกว้าง (รูป 22.4 C) พื้นที่ของ LOOP จะเพิ่มอย่างไม่เป็นเชิงเส้นกับความหนาแน่นของฟลักที่มากที่สุด สูตรอย่างง่ายสำหรับหาค่า HYSTERESIS LOSS ในหน่วย วัตต์ คือ

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเชียงใหม่ สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$P_h = K_h f B_m^n$$

ที่ซึ่งค่า K_h เป็นค่าคงที่ N เปลี่ยนแปลงไปตามสสารที่ใช้ทำ CORE ปรกติ N จะสมมติให้เท่ากับ 1.6

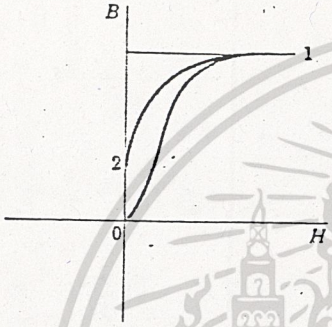


Figure 22.5 Hysteresis loss.

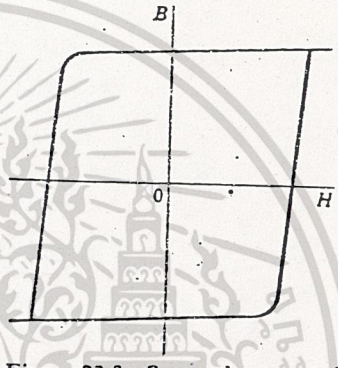


Figure 22.6 Square hysteresis loop.

สารแม่เหล็กบางชนิด HYSTERESIS LOOP เกือบจะเป็นสี่เหลี่ยมผืนผ้า (รูป 22.6)

EDDY CURRENT

ในเครื่องกำเนิดไฟฟ้ายุคแรก เกือบจะสามในสี่ของพลังงานผลที่ใส่เข้าไปจะเปลี่ยนเป็นความร้อนในวงจรแม่เหล็ก ส่วนเล็กน้อยของพลังงานที่สูญเสียนี้เนื่องมาจาก HYERESIS แต่ส่วนใหญ่เกิดเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงของ ฟลัก แม่เหล็กเหนี่ยวนำให้เกิด VOLTAGE ขึ้นใน CORE ของมันเองใน IRON CO9RE VOLTAGE ที่ถูกเหนี่ยวนำนี้จะเป็นสาเหตุให้เกิดกระแสเฉพาะที่เรียกว่า EDDY CURRENT และเป็นผลที่ให้พลังงาน $I^2R = V^2/R$ เปลี่ยนไปเป็นความร้อน ดังแสดงในรูป 22.7 A

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

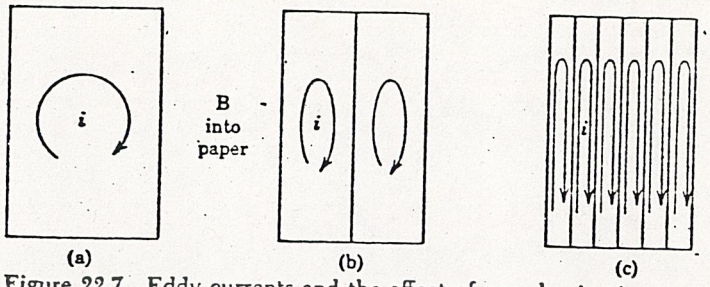


Figure 22.7 Eddy currents and the effect of core lamination.

การเปลี่ยนแปลงของ ฟลัก (มีทิศพุ่งเข้าไปในกระดาษ) จะเหนี่ยวนำให้เกิดกระแสสุทธิภายใน CORE กำลังที่สูญเสียสามารถถูกทำให้ลดลงโดยการลดค่า V และเพิ่มค่า R ถ้าแผน IRON CORE ตันด้วยแผ่นบาง ดังรูป 22.7 B ผลของ VIKTAGE ที่ถูกเหนี่ยวนำขึ้นจะถูกทำให้ลดน้อยลงและความต้านทานของ EFFECTIVE PATH จะถูกทำให้เพิ่มขึ้น การทำให้เป็นแผ่นบาง บางที 0.02 นิ้วและแต่ละชิ้นจะมีฉนวนกั้นซึ่งส่วนใหญ่จะใช้วานิช

กำลังที่สูญเสียเนื่องมาจาก EDDY CURRENT สามารถแทนโดย

$$P_e = K_e f^2 B_m^2$$

เพราะว่า VOLTAGE เหนี่ยวนำขึ้นโดยตรงกับค่า fB_m และการสูญเสียแปลตามกำลังสองของขนาด VOLTAGE เราคาดว่ากำลังที่สูญเสียจะแปลตามค่า $f^2B_m^2$ ค่า

โครงสร้าง (CONSTRUCTION)

ทรานฟอร์เมอร์เป็นตัวแปลงพลังงานแม่เหล็กไฟฟ้า ซึ่งการทำงานสามารถอธิบายในเทอมของการแสดงพฤติกรรม วงจรแม่เหล็กซึ่งถูกกระตุ้นโดยไฟกระแสสลับในรูปแบบที่ธรรมดาที่สุด ทรานฟอร์เมอร์ประกอบไปด้วย สองขดลวดซึ่งมีจำนวนรอบหลาย รอบพันอยู่บน CORE แม่เหล็กอันเดียวกัน แต่มีฉนวนแยกจากกันการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

เปลี่ยนแปลงของ ฟลัก โวลเตจที่ให้ที่อินพุทหรือขดลวดอันแรก (PRIMARY) เป็นสาเหตุให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของกระแสที่ไหลเป็นผลทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของ ฟลัก แม่เหล็กใน CORE เนื่องมาจากการเปลี่ยนแปลงของฟลัก โวลเตจจะถูกเหนี่ยวนำขึ้นทางด้านเอาท์พุทหรือ SECONDARY สิ่งจำเป็นก็คือจะไม่มีการเชื่อมต่อกันทางไฟฟ้าระหว่างอินพุทและเอาท์พุททรานฟอร์เมอร์อาจจะใช้เป็นฉนวนกั้นระหว่างวงจรหนึ่งกับวงจรอื่นโดยอนุญาติให้มีการแลกเปลี่ยนพลังงานระหว่างกันได้

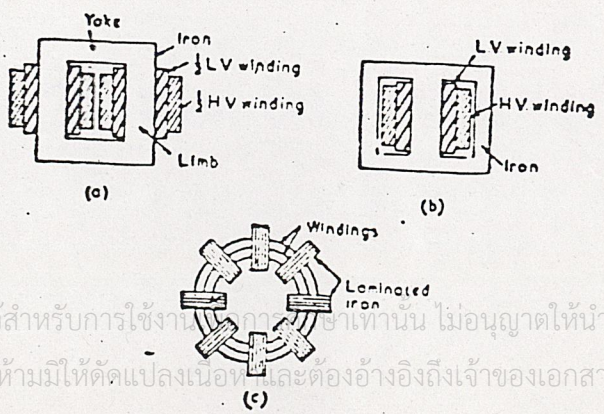
โดยการปรับแต่งจำนวนรอบของขดลวดทั้งสอง เราสามารถทำให้โวลเตจเพิ่มขึ้น หรือลดลงได้ในอุปกรณ์เดียวกันสามารถจะใช้เป็นทั้งการเพิ่มขึ้น (STEP UP) หรือลงลง (STEP DOWN) ก็ได้นอกจากการแปลงโวบเตจหรือกระแสทรานฟอร์เมอร์อาจจะใช้ในการแปลง อิมมีแดนซ์ เพื่อที่จะได้รับกำลังงานมากสุดส่งผ่าน IMPEDANCE MATCHING จากหลักการทำงานของทรานฟอร์เมอร์จะเห็นว่ามันเป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการแปลงพลังงานที่สำคัญจึงควรศึกษาอย่างระมัดระวัง

หม้อแปลงไฟฟ้า แบ่งเป็นชนิดใหญ่ ได้ 3 ชนิด โดยพิจารณาจากลักษณะของการวางหรือการจัดรูปของแกนเหล็ก แบ่งได้ดังนี้คือ

1. CORE TYPE เป็นแบบที่มีวงจรแม่เหล็กวงเดียว

2. SHELL TYPE เป็นแบบที่มีวงจรแม่เหล็ก 2 วงจร

3. BERRY TYPE เป็นแบบที่มีวงจรแม่เหล็ก กระจายออกไปโดยรอบทั้ง 3 แบบนี้ได้แสดงดังรูปข้างล่าง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูป 2.1 การแบ่งชนิดของหม้อแปลงไฟฟ้าตามลักษณะการวางแกนเหล็ก (core)
a) Core Type b) Shell Type c) Berry Type

แบบ CORE TYPE นั้นครึ่งหนึ่งของขดลวดทาง PRIMARY และ SECONDARY พันไว้รอบขาแต่ละข้างของแกนเหล็ก การพันแบบนี้ลดการรั่วไหลของเส้นแรงแม่เหล็ก (FLUX LEAKAGE) ที่เกิดจากขดลวดทั้งสองลงไปซึ่งทำให้ได้เส้นแรงแม่เหล็กที่คล้อง ขดลวดทั้งสองมากยิ่งขึ้นแต่ถ้าพันขด ปฐมภูมิและทุติยภูมิ แยกกันไว้บนขาของแกนเหล็กแต่ละข้างแล้วทำให้เกิดการรั่วไหลของ FLUX มากยิ่งขึ้น ซึ่งมีผลต่อการทำงานของหม้อแปลงอย่างจริงจัง ปรกติแล้วแบบ CORE TYPE นี้มักใช้กับหม้อแปลงขนาดใหญ่

แบบ SHELL TYPE นี้มีขดลวดทั้งปฐมภูมิและทุติยภูมิพันไว้ที่แกนกลางของแกนเหล็ก ส่วนที่เหลืออีก 2 ขานั้นก็ทำหน้าที่เป็น LOW RELUCTANCE FLUX PATH

สำหรับ BERRY TYPE นั้นมีแกนเหล็กวางอยู่เป็นวงรอบ ขดลวดแกนเหล็กนี้จำเป็นต้องมีโครงสร้างเป็นแบบ SHEL โดยมีแกนเหล็กกระจายออกไปรอบขดลวดเหล่านั้น

การพันขดลวด (WINDING)

การพันขดลวดของหม้อแปลงแบ่งได้เป็น 2 แบบใหญ่ๆ คือ

1.แบบ CONCENTRIC ที่เป็นรูปทรงกระบอก (CONCENTRIC CYLINDER) ดังรูปข้างล่าง แบบนี้มีขดลวดแรงต่ำอยู่ภายในทั้งนี้เนื่องจากปัญหาการทำฉนวนหุ้มเส้นลวดที่ใช้ทำขดลวดนั้นเอง ลวดที่ใช้ในการทำ COIL นั้นเป็นลวดทองแดงที่หุ้มฉนวน ฉนวนนี้อาจมีรอยขีดข่วนเนื่องมาจากการใส่ WINDING เข้าไปใน CORE ฉะนั้นเมื่อให้ด้านแรงต่ำ (L.V.SIDE) อยู่ข้างในจึงปลอดภัยกว่าและยังระบายความร้อนได้ดีอีกด้วย

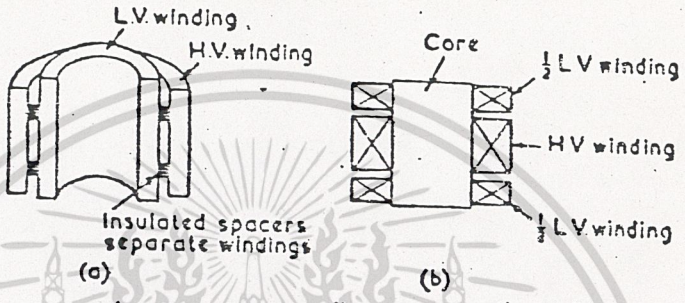
2.แบบประกอบซ้อนกัน (SAND WICH) แบบนี้ช่วยในการลดเส้นแรงแม่เหล็กที่รั่วไหล (LEAKAGE FLUX) ให้ลดลงไป ขดลวดแรงต่ำแบ่งเป็น 2 ส่วน แต่ละครึ่งของขดลวดแรงต่ำนั้นประกบหัวท้ายของขดลวดแรงสูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทฤษฎีและหลักการของหม้อแปลงไฟฟ้า

หลักการของหม้อแปลง (TRANFORMER'S PRINCIPLE)

หม้อแปลงประกอบด้วยขดลวด 2 ชุดที่พันอยู่บนแกนเหล็กดังรูปข้างล่างนี้



รูป 2.2 แบบของการพันขดลวดของหม้อแปลงไฟฟ้า
a) แบบ Concentric
b) แบบ Sandwich

ชุดที่ต่อไปยังแหล่งกำเนิดไฟฟ้าเรียกว่า ชุดปฐมภูมิ (PRIMARY WINDING) โดยที่มีแรงเคลื่อนไฟฟ้าตกคร่อมอยู่ V_p (V_1) โวลท์อีกชุดหนึ่งที่ต่อไปยังภาระไฟฟ้า (LOAD) ที่เรียกว่า ขดทุติยภูมิ (SECONDARY WINDING) โดยมีแรงเคลื่อนไฟฟ้าตกคร่อมที่โหลดเป็น V_s (V_2) โวลท์จำนวนของขดลวดทาง ปฐมภูมิและทุติยภูมิ มีจำนวนรอบเป็น N_p (N_1) รอบและ N_s (N_2) ตามลำดับด้านที่ได้รับกำลังไฟฟ้าอาจจะเป็นด้านแรงต่ำหรือแรงสูงก็ได้ทั้งนี้ขึ้นกับการใช้งาน

เมื่อหม้อแปลงได้รับแรงเคลื่อนไฟฟ้า V_p โวลท์เข้าไปที่ขดปฐมภูมิจะทำให้เกิดการเหนี่ยวนำแรงเคลื่อนไฟฟ้า V_s ทางด้าน ทุติยภูมิขึ้นถึงแม้ว่าจะไม่มีโหลดมาต่อก็ตาม ในกรณีนี้ $V_s = E_2 = V_2$

อัตราส่วนของแรงเคลื่อนและกระแสไฟฟ้า

เมื่อมีโหลดมาต่อทางด้าน ทุติยภูมิ ทำให้เกิดกระแส I_s ไหลอยู่ทางด้านทุติยภูมิ และมีแรงเคลื่อนไฟฟ้าตกคร่อมโหลดเท่ากับ V_s ($V_s = E_2$) ส่วนทางด้านปฐมภูมินั้นก็มีกระแส I_p และแรงเคลื่อนไฟฟ้า V_p ก็มาจากแหล่งจ่ายเมื่อ ทำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การสังเกตุต่อไปก็พบว่า อัตราส่วน V_p/V_s นั้นมีค่าใกล้เคียงกับอัตราส่วนของ N_p/N_s และมีค่าใกล้เคียงกับส่วนกลับของอัตราส่วน I_p/I_s นั้นก็คือ V_pI_p มีค่าใกล้เคียงกับ V_sI_s เมื่อมีการเปลี่ยนแปรของ I_s เกิดขึ้นทางทุติยภูมินั้นมีผลทำให้ I_p เปลี่ยนแปรด้วยนั่นคือ

$$V_pI_p \propto V_sI_s$$

เส้นแรงใหญ่ (ϕ) นี้คล้อง (LINK) ขดลวดของปฐมภูมิและทุติยภูมิ ดังนั้นจึงทำให้เกิดการเหนี่ยวนำแรงเคลื่อนไฟฟ้าขึ้นทั้ง 2 ขด (E_1&E_2) ซึ่งค่าของแรงเคลื่อนที่ไฟฟ้าที่เกิดขึ้นนี่เป็นสัดส่วนกับจำนวนรอบของขดลวดแต่ละขดซึ่งได้จากความสัมพันธ์ตามกฎของการเหนี่ยวนำดังสมการ

$$E = N\, d\phi/dt$$

เมื่อ E เป็นแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำขึ้นในขณะใดขณะหนึ่ง

N เป็นจำนวนรอบของขดลวดที่ได้รับอัตราการเปลี่ยนแปลงของเส้นแรงแม่เหล็กต่อหน่วยเวลา $d\phi/dt$ นั่นคือ $E_1,E_2 = N_p/N_s = A$ = อัตราส่วนของการเปลี่ยนแปลงของหม้อแปลง

A เรียกว่า TRANSFORMER RATIO

เมื่อ E_1 และ E_2 คือแรงเคลื่อนไฟฟ้าที่เกิดขึ้นในขดลวด ปฐมภูมิและทุติยภูมิตามลำดับ N_p กับ N_s ก็คือจำนวนรอบของขดลวดทางปฐมภูมิและทุติยภูมิทั้ง 2 ข้างนั้น แตกต่างจากแรงเคลื่อนไฟฟ้าที่เกิดจากการเหนี่ยวนำ ก็เพียงเล็กน้อยเท่านั้น ฉะนั้นจึงไม่ทำให้เวคเตอร์ของ V_p และ V_s มีมุมแตกต่างไปจาก เวคเตอร์ของ E_1 และ E_2 มากนัก ดังนั้นถ้าหากจะพิจารณาว่าแรงเคลื่อนไฟฟ้าที่ขั้วนั้นเป็นสัดส่วนโดยตรงกับจำนวนรอบของขดลวดโดยประมาณแล้วก็จะได้ความสัมพันธ์ว่า

$$V_p/V_s = N_p/N_s = \text{TRANFORMER RATIO}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ถ้าหากว่าการสูญเสียกำลังไฟฟ้าจากภายในหม้อแปลงนั้นมีจำนวนเล็กน้อย ก็ตัดค่าที่เสียนั้นทิ้งไปได้ นั่นก็คือ อาจจะพิจารณาได้ว่ากำลังไฟที่ได้รับกับกำลังไฟที่ใส่เข้าไปมีค่าเท่ากัน นั่นก็คือ

$$V_p I_p \cos\theta_p = V_s I_s \cos\theta_s$$

ค่า $\cos\theta_s$ นั้นหาได้จากชนิดของโหลดแต่เนื่องจากว่า POWER FACTOR ของปฐมภูมิและทุติยภูมิ มีความแตกต่างกันเล็กน้อยดังนั้นจึงกล่าวได้ว่า

$$V_p I_p = V_s I_s$$

หรือ $V_p/V_s = I_s/I_p = N_p/N_s$ ได้ $I_p N_p = I_s N_s$

หม้อแปลงนี้จะทำหน้าที่ต่อเมื่อไฟที่ใส่เข้าไปทางด้านปฐมภูมินั้นต้องเป็นไฟสลับหรือไฟที่มีการเปลี่ยนแปลงเป็นจังหวะ(PULSE) ถ้าเป็นไฟตรงก็แบบที่มีการเปลี่ยนการ กระเพื่อมขึ้นลง หรือมิฉะนั้นก็ให้มีการเปิดปิดไฟตรงด้วยอัตราเร็วอัตราใดอัตราหนึ่ง หรือหลายอัตราก็ได้ จึงจะทำให้เกิดการเหนี่ยวนำแรงเคลื่อนไฟฟ้าขึ้นทางทุติยภูมิอันเนื่องมาจากการเปลี่ยนแปรของเส้นแรงนั้น

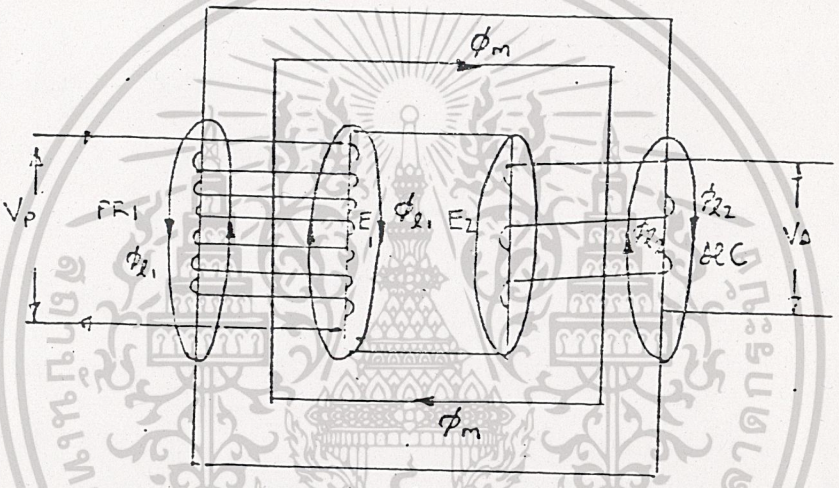
ทฤษฎีการทำงาน (THEORY OF OPERATION)

เพื่อความเข้าใจง่ายในทฤษฎีการทำงานของหม้อแปลงไฟฟ้า จึงใคร่ที่จะเริ่มต้นจากทฤษฎีที่ได้วางแนวคิดที่เป็นพื้นฐานไว้ก่อน ฉะนั้นจึงจะกล่าวถึงหม้อแปลงไฟฟ้าตามความคิดฝัน หม้อแปลงชนิดนี้ไม่คิดการสูญเสียชนิดต่างๆ ที่เกิดขึ้นในหม้อแปลงดังนั้นจึงเป็นการวาดภาพพจน์ของหม้อแปลงไฟชนิดนี้ขึ้นในความฝันเท่านั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หม้อแปลงตามความคิดฝัน (ideal transformer) ทำให้เกิดมีหลักการทำงานดังนี้

เมื่อใส่ไฟ V_p เข้าไปทำให้เกิดกระแส I_p กระแสนี้ทำให้เกิดเส้นแรงแม่เหล็กทั้งหมด ϕ เส้นแรงนี้จะเหนี่ยวนำขดลวดของมันเองและขดลวดของทุติยภูมิให้เกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้า E_1 และ E_2 ขึ้นพร้อมๆ กัน นั่นคือ E_1 และ E_2 ที่เกิดขึ้นที่เป็นไปตามกฎของ LENZ และ FARADAY นั่นคือ $V_p = E_1$ และ $E_2 = V_2$ ในกรณีที่เป็น IDEAL TRANFORMER เท่านั้นส่วนหม้อแปลงจริง นั้นมีหลักการทำงานดังรูปข้างล่างนี้คือ



เมื่อใส่ไฟสลับ V_p เข้าไปที่ด้านปฐมภูมิทำให้มีกระแส I_p ไหลผ่านขดลวดนี้ไปยังวงจรภายนอก ทำให้เกิดเส้นแรงแม่เหล็ก (ϕ) ขึ้นที่ขดลวด PRIMARY ϕ_1 นี้ประกอบไปด้วย MUTUAL FLUX (ϕ_{1m}) และ LEAKAGE FLUX ϕ_{l1} ขณะที่ ϕ_1 เปลี่ยนแปรไปตามการเปลี่ยนแปรของกระแสทำให้เกิดการเหนี่ยวนำ E.M.F (ELECTROMOTIVE FORCE) ขึ้นภายในขดลวดปฐมภูมิและมีทิศทางตรงข้ามกับ V_p (ตามกฎของ LENZ) ให้ไฟที่จ่ายเข้าไปเป็น SINUSOIDAL WAVEFORM เพราะฉะนั้น ϕ_1 เป็น SINE WAVE ด้วย (ไม่คิด LOSS ต่างๆ และ LAG IMPRESSED VOLTAGE V_p ไป 90 องศา) นั่นคือ

$$\phi_1 = \phi_{1max} \cos \omega t = \phi_{1m} + \phi_{l1}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตามกฎของ LENZ ได้ $C_1 = -N_1 \, d\phi_1/dt$

$= N_1 \omega \phi_{1max} \, SIN \, \omega t$

$E_{1max} = N_1 \omega \phi_{1max}$

$E_1 = N_1 \, 2f_1 \phi_{max}$

$= 4.44 \, N_1 f_1 \phi_{1max}$

เมื่อ E_1 = EFFECTIVE VALUE หรือ R.M.S VALUE ของแรงเคลื่อนไฟฟ้าที่เหนี่ยวนำขึ้นใน PRIMARY และมีทิศทางตรงกันข้ามกับ V_p

= BACK E.M.F

N_1 = จำนวนขดลวดทางปฐมภูมิ (รอบ)

f_1 = ความถี่ของไฟสลับที จ่ายให้กับขดลวดปฐมภูมิ รอบ/นาที

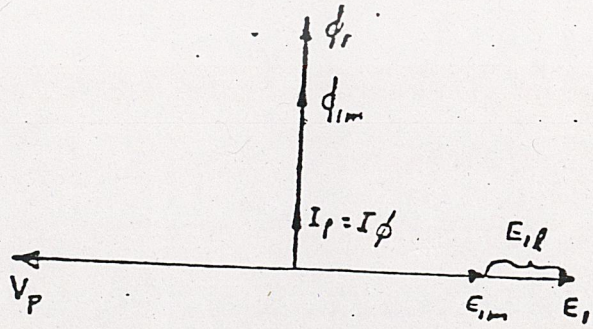
ϕ_{1max} = FLUX ทั้งหมดที่เกิดขึ้นทางปฐมภูมิขณะที่มีค่าสูงสุด (WEBER)

ϕ_{1m} = เส้นแรงแม่เหล็กร่วมที่ขดปฐมภูมิ

ϕ_m = เส้นแรงแม่เหล็กร่วมที่เกิดขึ้นทั้งทางปฐมภูมิและทุติยภูมิ

$= \phi_{1m}$

แรงเคลื่อนไฟฟ้า E_1 นี้ประกอบด้วย E_{1m} และ E_{11} ซึ่งเกิดจาก ϕ_{1m} และ ϕ_{11} ทั้ง E_{1m} และ E_{11} นี้มีเฟสเดียวกันดังรูปข้างล่างนี้



รูป 2.4–3 การเหนี่ยวนำแรงเคลื่อนไฟฟ้าที่เกิดขึ้นกับ Ideal Transformer เมื่อไม่มี load

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เพราะฉะนั้น $E_{1m} + E_{11} = V_p$

เมื่อ E_{1m} = การเหนี่ยวนำที่เกิดจาก MUTUAL FLUX

E_{11} = การเหนี่ยวนำที่เกิดจาก SELF INDUCTANCE หรือเส้นแรงแม่เหล็กรั่ว

สำหรับทางด้านทุติยภูมิ นั้นก็เกิดการเหนี่ยวนำแรงเคลื่อนไฟฟ้า E_2 ขึ้นในขณะเดียวกันกับที่ E_1 เกิดขึ้นและมีทิศทางไปทางเดียวกันด้วยแต่ E_2 นี้เกิดขึ้นจาก ϕ_m เท่านั้น ดังนั้นขนาดของ E_2 จึงขึ้นอยู่กับจำนวน N_2 และ ϕ_m ที่มาคล้องขดลวด SECONDARY E_2 ที่เกิดขึ้นตามกฎของ FARADAY

$$E_2 = 4.44 N_2 f_1 \phi_{max}$$

เมื่อ $E_2 = V_s$ (ไม่มีโหลด)

ϕ_{1max} = MAXIMUM MUTUAL FLUX ที่มา LINK หรือคล้องขด SECONDARY

N_2 = จำนวนรอบของขดลวดทางด้าน SECONDARY

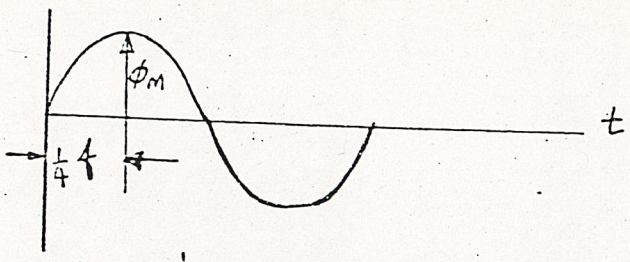
ขณะไม่มีโหลดนี้ก็จะได้ความสัมพันธ์ของกระแสดังนี้

$$I_p = I_o \text{ (NO LOAD CURRENT)} = I_\phi \text{ (MAGNETIZING CURRENT)}$$

โดยที่ $I\phi$ นี้ LAG V_p ไป 90 องศาและ INPHASE กับ ϕ_1, ϕ_m สำหรับหม้อแปลงอุดมคติขณะที่ทาง SECONDARY ไม่มี LOAD นั้น $I_p = I_o$ แต่เมื่อมีโหลดเพิ่มขึ้น I_p ไม่เท่ากับ I_o แล้วแต่ I_o ก็ยังคงที่อยู่ตลอดเวลาแม้ว่าโหลดทาง SECONDARY จะเปลี่ยนแปรไปก็ตาม

ในการหาสมการเหนี่ยวนำแรงเคลื่อนไฟฟ้า ที่เกิดขึ้นในหม้อแปลงนี้สามารถหาได้จากคำจำกัดความของ ฟาราเดย์ ได้เช่นเดียวกันโดยพิจารณาการเปลี่ยนแปรของ FLUX ที่เกิดขึ้นต่อหนึ่งหน่วยเวลาจากการพิจารณาจากรูปของ SINE WAVE พบว่ามีการเปลี่ยนแปรเส้นแรงแม่เหล็กจากศูนย์จากศูนย์ถึงค่าสูงสุดคือ ϕ_{max} ภายในเวลา 1/4f วินาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป การเปลี่ยนแปลงของ flux แม่เหล็ก

เพราะฉะนั้นแรงเคลื่อนไฟฟ้าเฉลี่ยในช่องเวลา 1/4f สำหรับตัวนำ 1 รอบมีค่าเท่ากับ ϕ_{max} / 1/4f

เพราะฉะนั้น E.M.F/รอบ = ϕ_{max} / 1/4f

= $4f\ \phi_{max}$

ค่าเฉลี่ยของ E.M.F สำหรับ N รอบ = $4Nf\ \phi_{max}$

สำหรับ SINE WAVE นั้นมีค่า FORM FACTOR = 1.11

FORM FACTOR = 1.11 = R.M.S VALUE/AVERAGE VALUE

เพราะนั้น R.M.S VALUE OF E.M.F สำหรับ N รอบ = $4.44f\ \phi_{max}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การออกแบบหม้อแปลงไฟฟ้า

จากการศึกษาและคำนวณทางด้าน PRIMARY ที่ต่อกับ VOLTAGE MULTIPLIER CIRCUIT นั้น เราพบว่า หม้อแปลงต้องจ่ายพลังงานเพื่อชดเชยแรงดันตกในตัวเก็บประจุและไดโอด และจ่ายให้แก่โหลดประมาณ 225 VA ดังนั้นเราจึงกำหนดให้หม้อแปลงที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้มีขนาดพิกัด 250 VA ซึ่งเผื่อค่าสูญเสียต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นและสามารถรองรับโหลดได้อย่างเพียงพอ

จาก $E = 4.44 N*f*B*A$

โดยที่ E เป็นแรงดันมีหน่วยเป็น โวลต์

N จำนวนรอบของขดลวด

f ความถี่

B ความหนาแน่นของฟลักซ์แม่เหล็กไฟฟ้า TESLA

A พื้นที่หน้าตัดของแกนเหล็ก ตารางเมตร

ในการวิจัยครั้งนี้เรากำหนดให้

E_1 = 220 Volt

E_2 = 2700 Volt

f = 50 Hz

B = 1 tesla

A = 3 ตารางนิ้ว

ดังนั้นจะได้

PRIMARY N_1 = 512 รอบ ใช้ขดลวด # 22 SWG.

SECONDARY N_2 = 6280 รอบ ใช้ขดลวด # 32 SWG.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

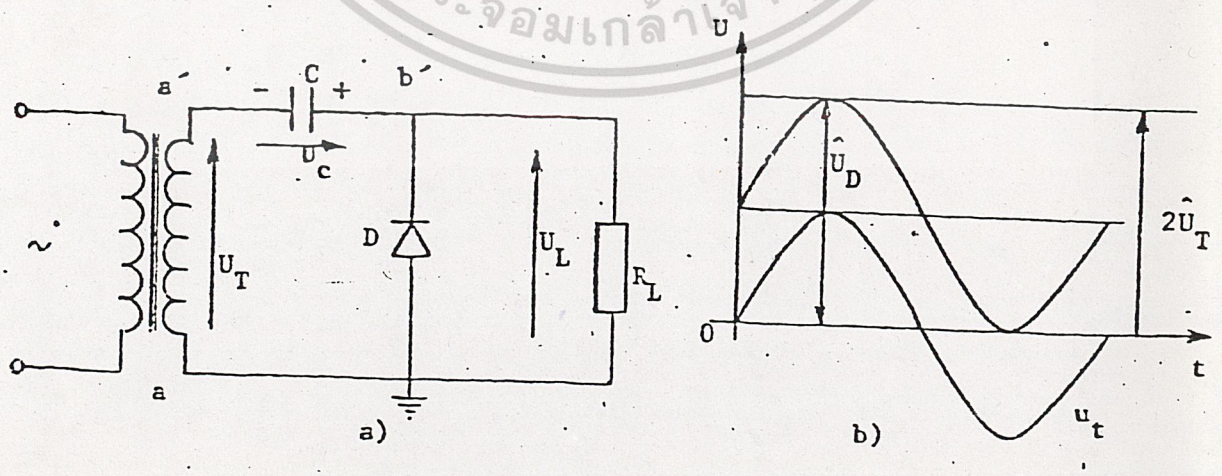
VOLTAGE MULTIPLIER

วงจรขั้นบันไดสร้างแรงดันกระแสตรง (CASCADE CIRCUIT FOR DC HIGH VOLTAGE)

การสร้างแรงดันสูงกระแสตรงสูงมาก ๆ ทำได้โดยอาศัยวงจรพื้นฐานสร้างแรงดันสองเท่า จากรูป 1-26) มาต่อซ้อนกันเข้าเป็นขั้นบันไดตามหลักการของวงจร GRCINACH (1920) หรือ COCKCROFTWALTON

วงจรแรงดันสองเท่า (VOLTAGE DOUBLER CIRCUIT)

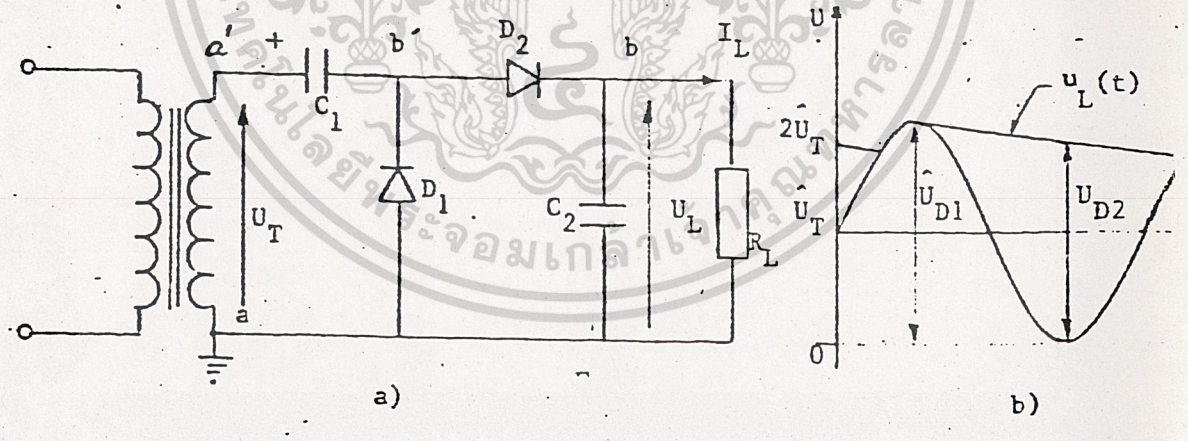
ตามวงจรของ VILLARD ดังแสดงในรูป 1-25 a) ซึ่งประกอบด้วยไดโอดและตัวเก็บประจุอย่างละตัวจะช่วงให้สามารถสร้างแรงดันขึ้นเป็น 2 เท่าของค่ายอดแรงดันด้านจ่ายออกของหม้อแปลง ดังในรูป 1-25 b)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูป 1-25 วงจรสร้างแรงดันสองเท่า

จากรูป 1-25 a) เมื่อจุด a เป็นลบ (ครึ่งไซเกิ้ลลบ) ตัวเก็บประจุ C จะอัดประจุจนถึงค่ายอดของแรงดันหม้อแปลง คือ $U_c = U_t$ เมื่อจุด a เป็นศูนย์และเพิ่มขึ้น (ในเครื่องไซเกิ้ลบวก) จะทำให้แรงดันจุด b' ซึ่งเท่ากับผลรวมของแรงดันหม้อแปลงกับแรงดันคร่อม C ถ้าแรงดันหม้อแปลงเพิ่มจนถึงค่ายอด U_T แรงดันที่จุด b' คือ U_L จะมีค่าสูงสุดเป็น 2 เท่า คือ $2U_T$ ดังนั้นไดโอดจะต้องทนแรงดันได้อย่างน้อยเท่ากับ $2U_T$ แรงดันที่ได้ที่โหลดจะแปรค่าตั้งแต่ 0 ถึง $2U_T$ ฉะนั้นถ้าเอาแรงดันนี้ไปผ่านเรคติฟายเออร์และตัวเก็บประจุกรองกระแสดังในรูป 1-26 a) ก็จะทำให้ได้แรงดันกระแสสูงเป็น 2 เท่าของแรงดันค่ายอดของหม้อแปลงด้านจ่ายกำลังออก



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูป 1-26 วงจรสร้างแรงดันกระแสตรงแบบแรงดันสองเท่า

ในขณะที่ไม่มีโหลดจะได้แรงดันกระแสตรงคร่อมตัวเก็บประจุ C_2 ซึ่งมีโอกาสขึ้นถึง $2U_T$ ฉะนั้นไดโอด D_1 และ D_2 จะต้องรับแรงดันสูงถึงสองเท่าเช่นเดียวกัน คือ

$$U\hat{}_{D1} = U\hat{}_{D2} = 2U\hat{}_T$$

การอัดประจุ C_2 เป็นไปดังนี้ คือ เมื่อตัวเก็บประจุ C_1 จะได้รับอัดประจุเนื่องจากแรงดันจากหม้อแปลงผ่านไดโอด D_1 ($Q_1 = UC_1$) แรงดันคร่อมตัวเก็บประจุ C_1 (คือ $U_{b\ a}$) รวมเข้ากับแรงดันของหม้อแปลงที่ a

ถ้าเมื่อใด $U_{b\ a}$ = $U_{b\ a\ -1}$ + U_a มีค่าสูงกว่า U_b เนื่องจากแรงดันของหม้อแปลงเพิ่มสูงขึ้น ไดโอด D_2 จะนำกระแส และ C_2 จะได้รับอัดประจุจาก C_1 กระบวนการจะดำเนินต่อไปจนกระทั่งถึงภาวะอยู่ตัว ขณะที่ไม่มีโหลด ศักย์ไฟฟ้าที่จุด b คือ แรงดันคร่อม C_2 จะเป็นสองเท่า คือ

$$U_b = 2U\hat{}$$

และที่จุด b จะมีศักย์ไฟฟ้า U_b มีค่าเป็น

$$U_b = U\hat{}(1 + \cos \omega t)$$

<u>วงจรขั้นบันไดสร้างแรงดันกระแสตรง</u> (CASCADE CIRCUIT FOR DC HIGH VOLTAGE)

การสร้างแรงดันสูงกระแสตรงสูงมาก ๆ ทำได้โดยอาศัยวงจรพื้นฐานสร้างแรงดันสองเท่า (จากรูป 1-26 a) มาต่อซ้อนกันเข้าเป็นขั้นบันไดตามหลักการของวงจร GRCINACH (1920) หรือ COCKCROFT - WALTON

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

a) แรงดันวงจรขั้นบันไดเมื่อไม่มีโหลด

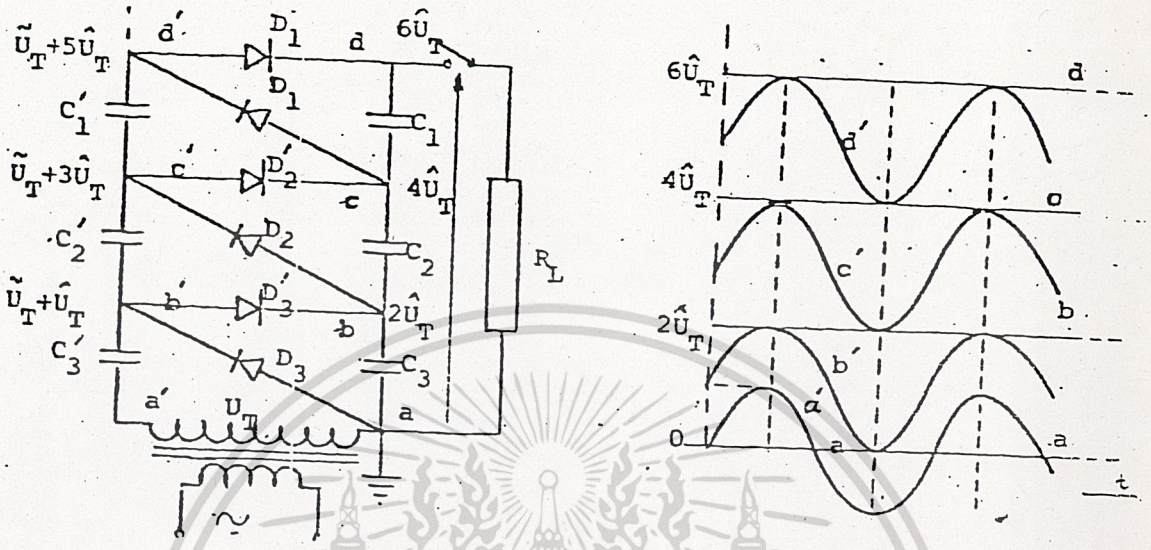
ในรูป 1-27 a แสดงถึงวงจรขั้นบันไดที่ได้จากการเอาวงจรสร้างแรงดันกระแสตรง 2 เท่ามาต่อซ้อนกัน 3 ชั้น คือ แต่ละขั้นจะประกอบด้วยตัวเก็บประจุ 2 ตัว และไดโอด 2 ตัว โดยที่ตัวเก็บประจุตัวหนึ่งเป็นตัวเก็บพักประจุ และอีกตัวหนึ่งเป็นตัวกรองให้ได้แรงดันกระแสตรง ดังเช่นวงจร a a' b b' เป็นวงจรสร้างแรงดัน 2 เท่าหนึ่งชั้น C'_1, C'_2, C'_3 และ C_1, C_2, C_3 เป็นตัวเก็บประจุพักประจุและตัวกรองกระแสตามลำดับ แต่ละขั้นจะสร้างแรงดันได้สองเท่าของค่ายอดแรงดันที่ได้จากหม้อแปลงตัวจ่าย คือเป็น $2U^\wedge_T$ และ C_3 จะได้รับแรงดันอัดประจุเป็น $2U^\wedge_T$ ผ่านไดโอด D'_3 จุด b จะมีศักย์ไฟฟ้าคงตัว $2U^\wedge_T$ และแรงดันอัดประจุให้ C'_2 ผ่านไดโอด D_2 จะเปลี่ยนแปลงระหว่าง $2U^\wedge_T$ กับศูนย์ ฉะนั้น C_2 จะได้รับแรงดันอัดประจุถึง $2U^\wedge_T$ คือ ไฟฟ้าที่จุด C จะเปลี่ยนแปลงระหว่าง $2U^\wedge_T$ ถึง $4U^\wedge_T$ และ C_2 จะได้รับแรงดันอัดประจุผ่านไอโอด D'_2 เท่ากับ $2U^\wedge_T$ ซึ่งจะทำให้จุด C มีศักย์ไฟฟ้าสูงถึง $4U^\wedge_T$ เช่นกัน นั่นคือจุด d จะมีศักย์ไฟฟ้าเมื่อเทียบกับดินจะเท่ากับ $6U^\wedge_T$

จะเห็นได้ว่าการที่เราใช้หลาย ๆ ขั้นต่อกันจะช่วยให้สามารถสร้างแรงดันสูงมาก ๆ ได้ โดยที่ตัวเก็บประจุและไดโอดแต่ละตัวจะต้องทนแรงดันเพียงสองเท่าของค่ายอดแรงดันหม้อแปลงตัวจ่าย ยกเว้นตัวเก็บประจุตัวล่างสุด (ในที่นี้คือ C_3) จะได้รับแรงดันสูงสุดเพียง U_T เท่านั้น แรงดัน ณ จุดต่าง ๆ ในขณะที่ไม่มีโหลดแสดงอยู่เทอมของเวลาจะได้ดังในรูป 1-27 b

b) แรงดันวงจรขั้นบันไดเมื่อมีโหลด

วงจรขั้นบันไดสร้างแรงดันกระแสตรงจะสามารถสร้างได้ประมาณสองเท่าของค่ายอดแรงดันด้านจ่ายออกของหม้อแปลงตัวจ่ายคูณด้วยจำนวนขั้น ถ้าหากไม่มีโหลดหรือไม่มีแรงดันตกแก่เมื่อมีโหลดจะมีแรงดันตกในไดโอด ในหม้อแปลง และในตัวเก็บประจุเอง ฉะนั้นในวงจรรูป 1-27 จะได้แรงดันที่จุด d น้อยกว่า $6U^\wedge_T$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

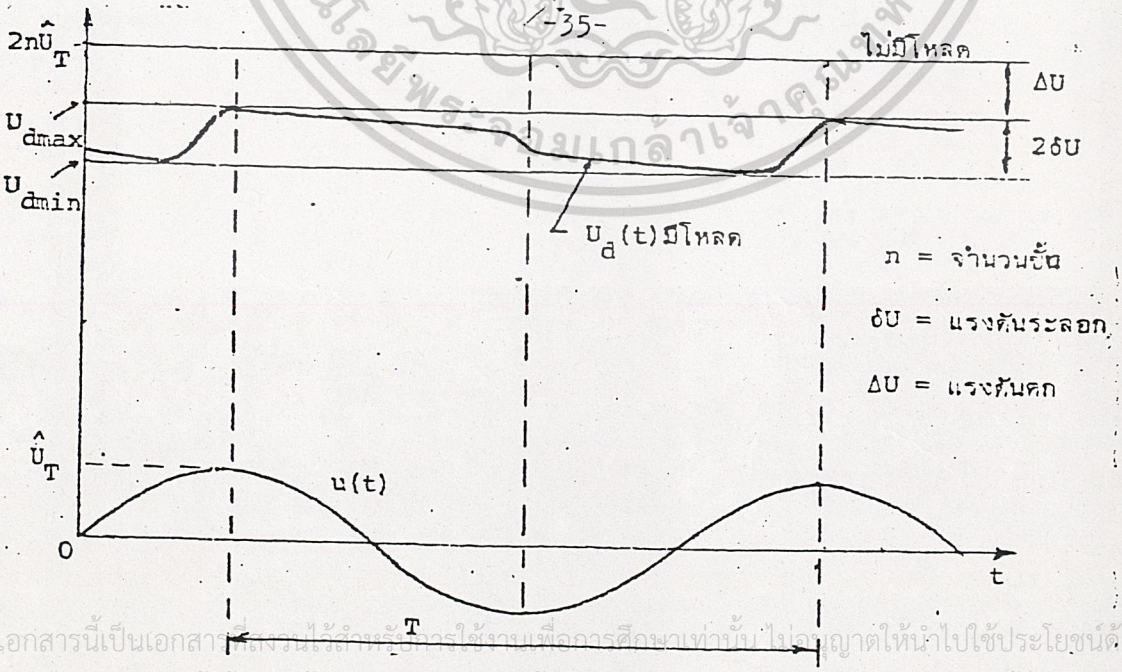


รูป 1-27 วงจรขั้นบันไดสร้างแรงดันกระแสตรงตามวงจรของ GREINACH

a) รูปวงจรขั้นบันได

b) รูปคลื่นแรงดัน ณ จุดต่าง ๆ ขณะไม่มีโหลด

-35-



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูป 1-28 รูปคลื่นแรงดันกระแสตรงที่ได้จากวงจรขั้นบันไดในขณะมีโหลด

ในรูป 1-34 แสดงถึงรูปคลื่นแรงดันกระแสตรงที่เปลี่ยนแปลงไปตามเวลา $U_d(t)$ ของวงจรนั้นบันไดเมื่อมีโหลด แรงดันที่ได้ที่ปลายแรงสูงจะต่ำกว่าค่าอุดมการ ทั้งนี้เนื่องจากแรงดันตก ΔU และแรงดันระลอก δU

(1) <u>การคำนวณหาแรงดันระลอก</u>

แรงดันกระแสตรงที่ได้จากการเรคติฟายจากแรงดันกระแสสลับ โดยใช้ไดโอดเรียงกระแส และมีตัวเก็บประจุกรองกระแสเพื่อให้ได้คลื่นเรียบ แต่คลื่นที่ได้ก็ยังเป็นระลอกดังที่ได้กล่าวแล้วในวงจรพื้นฐาน แรงดันระลอกของวงจรขั้นบันไดก็อาจหาได้เช่นเดียวกับวงจรที่มีไดโอดและตัวเก็บประจุกระแสอย่างละตัว (รูป 1-24) ซึ่งมีความสัมพันธ์ คือ

$$\delta U = I_d / 2fC$$

เมื่อ I_d คือ กระแสตรงที่จ่ายให้โหลด

f คือ ความถี่ของแรงดันกระแสสลับที่จะแปลงเป็นกระแสตรง

C คือ ความจุไฟฟ้าของตัวเก็บประจุกรองกระแส

ในกรณีวงจรขั้นบันไดดังในรูป 1-27 ตัวเก็บประจุกรองกระแส C_1, C_2, และ C_3 ซึ่งมีความจุไฟฟ้าทุกตัวเท่ากับ C สมมติว่าทุก ๆ ไซเคิลวงจรจ่ายกระแสให้กับโหลดที่ปลายแรงสูงจุด d เท่ากับ I_d นั่นคือ C_1 จะจ่ายประจุออกไปเท่ากับ $Q = I_d/f$ จึงทำให้เกิดแรงดันตกไป

$$\delta U_1 = I_d / 2fC_1$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในขณะเดียวกัน C_2 ต้องจ่ายประจุให้กับโหลดเท่ากับ Q และถ่ายทอดประจุให้ตัวเก็บป

ระจุ C'_2 เท่ากับ Q ฉะนั้น C_2 จะจ่ายประจุออกไปเท่ากับ $2Q = 2I_d/fC$ จึงทำให้เกิดแรงดันตกไป

$$\delta U_2 = 2I_d/2fC_2$$

และ C_3 ก็ต้องถ่ายทอดประจุไปให้โหลดเท่ากับ Q และให้กับ C'_2 เท่ากับ Q และถ่ายทอดให้ C_2 เท่ากับ Q ฉะนั้นแรงดันจะตกไปใน C_3 คือ

$$\delta U_3 = 3I_d/2fC_3$$

แรงดันตกในตัวเก็บประจุกรองกระแสเหล่านี้ทำให้แรงดันระลอกทั้งหมดรวมเป็น

$$\delta U = \delta U_1 + \delta U_2 + \delta U_3$$

$$= I_d/2f\ (1/C_1+2/C_2+3/C_3)$$

ถ้าตัวเก็บประจุทุกตัวมีค่าความจุไฟฟ้าเท่ากับ C

ฉะนั้น $\delta U = I_d/2fC\ (1+2+3+...+n)$

ถ้าวงจรขั้นบันไดมี n ชั้น จะได้แรงดันระลอกรวม

$$\delta U = I_d/2fC\ (1+2+3+...+n)$$

$$= I_d/2fC\ n\ (n+1/2)$$

$$\delta U = n(n+1)/4\ ,\ I_d/fC$$

จะเห็นได้ว่าตัวเก็บประจุล่างสุดเป็นตัวที่ถ่ายทอดออกหรือจ่ายประจุออกไปมากที่สุด จึงนับว่าเป็นตัวที่มีผลต่อแรงดันระลอกอย่างยิ่ง ฉะนั้นความจุไฟฟ้าของตัวเก็บประจุกรองกระแสตัวล่างสุดควรมีค่าสูงกว่าตัวถัดไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(2) <u>การคำนวณแรงดันตก ΔU</u>

ในขณะที่วงจรจ่ายโหลดกระแส I_d (หรือประจุ $Q=I_d/f$) ทุก ๆ ไซเคิลจะมีการถ่ายทอดประจุจากตัวเก็บประจุ (C'_1, C'_2, C'_3) ไปให้กับตัวเก็บประจุกรองกระแส (C_1, C_2, C_3) จึงทำให้เกิดแรงดันตกในตัวเก็บประจุพัก (C'_1, C'_2, และ C'_3) ในทำนองเดียวกันการถ่ายทอดประจุจากตัวเก็บประจุกรองกระแสไปยังตัวเก็บประจุพัก (C'_1, C'_2, C'_3) ก็ย่อมทำให้เกิดแรงดันตกเช่นกัน สรุปแล้วตัวเก็บประจุทุกตัวจะได้รับแรงดันอัดประจุน้อยกว่าค่าอุดมการยกเว้นตัวเก็บประจุพักตักล่างสุดที่มีโอกาสได้รับแรงดันอัดประจุเท่ากับต่ายอดของแรงดันจ่ายสออกของหม้อแปลงตัวจ่าย

จากวงจรขั้นบันไดในรูป 1-27 ถ้าจ่ายโหลดกระแส I_d ออกไปที่จุด d หรือประจุ Q ทุก ๆ ไซเคิล ในช่วงครึ่งไซเคิลบวกไดโอด D'_1, D'_2, และ D'_3 นำกระแส ตัวเก็บประจุ C'_3 จะถ่ายทอดประจุออกไปทั้งหมด $3I_d/f$ จึงทำให้เกิดแรงดันตกใน C_3 ดังนั้น C_3 จะได้รับแรงดันอัดประจุสูงสุดเพียง

$$2U_T - 3I_d/fC$$

แรงดันนี้ที่ C'_2 จะได้รับประจุจาก C_3 แต่เมื่อ C_3 ถ่ายทอดประจุให้ C_2 เท่ากับ $2I_d/f$ และให้โหลด I_d/f จึงทำให้เกิดแรงดันตกใน C_3 เอง ฉะนั้น C'_2 จะได้รับประจุจาก C_3 ด้วยแรงดันอัดประจุเพียง

$$(U_{c\cdot 2})_{max} = 2U_T - 3I_d/fC - 3I_d/fC$$

ในครึ่งไซเคิลต่อมา C'_2 จะต้องถ่ายทอดประจุออกไปให้ C_2 จึงทำให้แรงดันตกไปอีก $2I_d/fC$ แรงดันของ C'_2 จะเหลือเพียง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$(U_{c\cdot 2})_{min} = 2U^{\wedge}_{T} - 6I_d/fC - 2I_d/fC$$

ทำนองเดียวกับแรงดันที่ C_2 จะได้รับ

$$(U_{c2})_{max} = 2U^{\wedge}_{T} - 6I_d/fC - 2I_d/fC$$

$$(U_{c2})_{min} = (U_{c2})_{max} - 2I_d/fC$$

$$= 8U_T - 8I_d/fC$$

ฉะนั้นแรงดันตกทั้งหมดจะเท่ากับผลรวมของแรงดันตกในตัวเก็บประจุแต่ละตัว ถ้าวงจรขั้นบันไดมี n ขั้น จะได้

$$\Delta U = I_d/fC\ (2/3\ n^3 + 1/2\ n^2 - 1/6\ n)$$

เมื่อตัวเก็บประจุทุกตัวมีค่าความจุไฟฟ้าเท่ากันหมด คือ C แรงดันที่ผลิตออกมาได้ที่ปลายแรงสูงจะกระเพื่อมอยู่ระหว่างค่าสูงและค่าจำ คือ

$$(U_d)_{max} = 2nU^{\wedge}_{T} - \Delta U$$

$$(U_d)_{min} = 2nU^{\wedge}_{T} - \Delta U - 2\Delta U$$

ถ้าจำนวนขั้นของวงจรขั้นบันไดมีมากพอ คือ $n^3 > n^2$ เช่น $n > 3$ ค่าแรงดันตกอาจคำนวณค่าโดยประมาณจากความสัมพันธ์

$$\Delta U = I_d/f.C\ ,\ 2/3\ n^3$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ฉะนั้นแรงดันกระแสตรงที่ได้จากวงจรขั้นบันไดจึงหาค่าโดยประมาณได้จากสมการ

$$U_d = 2nU^{\wedge}_T - 2/3\ n^3\ ,\ I_d/fC$$

จะเห็นได้ว่าถ้าต้องการลดแรงดันตกให้น้อยลง หรืออีกนัยหนึ่งก็คือเพิ่มแรงดันกระแสตรงได้โดยการเพิ่มค่าความจุไฟฟ้า หรือเพิ่มความถี่ของแรงดันกระแสสลับที่จ่ายออกจากหม้อแปลงตัวจ่าย

จำนวนขั้นบันไดที่พอเหมาะ

การสร้างแรงดันกระแสตรงด้วยวงจรขั้นบันได เราอาจสร้างแรงดันให้สูงขึ้นได้โดยการเพิ่มจำนวนขั้น ในทางภาคปฏิบัติถ้าหากกำหนดค่ากระแสโหลด I_d ให้จากค่าความจุไฟฟ้าที่มี ความถี่ของตัวจ่ายที่กำหนด จะพบว่าถ้ายิ่งเพิ่มจำนวนขั้นสูงมากเกินไป จะทำให้แรงดันตกมาก แรงดันที่ได้ออกมาที่โหลดกลับต่ำลง แสดงว่าจำนวนขั้นของวงจรมีขีดจำกัดหรือมีค่าที่พอเหมาะที่สามารถสร้างแรงดันได้สูงสุด ซึ่งหาได้จาก

$$dU_d/dn = 0$$

เมื่อ U_d เป็นแรงดันกระแสตรงที่โหลด

จำนวนขั้นที่พอเหมาะ คือ

$$n_{opt} = \sqrt{U^{\wedge}_T . f . C/I_d}$$

ฉะนั้น $(U_d)_{opt} = 4/3\ n_{opt}\ U^{\wedge}_T$

$$= 2/3\ (2n_{opt}\ U_T)$$

นั่นคือแรงดันกระแสตรงที่สร้างได้จะมีค่าเพียง 67% ของค่าทฤษฎีเท่านั้น และยิ่งกว่านั้นตามความเป็นจริงแล้ว ถึงมีแรงดันตกเนื่องจากไดโอดอัด แรงดันที่ได้ออกมาจะยิ่งต่ำลงไปอีก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้ง

การออกแบบ COCKCROFT - WALTON VOLTAGE MULTIPLIER CIRCUIT

จากการที่ได้ศึกษาทฤษฎีและข้อมูลต่าง ๆ ในการออกแบบ HIGH VOLTAGE DC GENERATOR โดยที่เราต้องการแรงดันที่โหลด 56 กิโลโวลต์ ใช้วงจรแรงดันสองเท่าต่อซ้อนกัน 9 ชั้น ได้กระแสที่จ่ายโหลด 200 ไมโครแอมป์ โดยอาศัยสมการ

$$U_d = 2nU_T - 2n^3 I_d / 3fC$$

เราได้ค่าแรงดันเอาท์พุตหม้อแปลง U_T = 3820 VOLT PEAK ดังนั้น ไดโอดและตัวเก็บประจุจะต้องทนแรงดันได้ 7640 VOLT PEAK

ซึ่งในงานวิจัยครั้งนี้ได้ออกแบบ COCKCROFT - WALTON VOLTAGE MULTIPLIER CIRCUIT ไว้ดังนี้

C = 0.25 µF	8000 VOLT	จำนวน	17	ตัว
DIODE ขนาด	8000 VOLT	จำนวน	17	ตัว
จำนวนชั้น			9	ชั้น
โหลดความต้านทาน	280 เมกกะโอห์ม			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 6

เทคนิคการวัดแรงดันสูง

การวัดแรงดันสูงมีข้อแตกต่างจากการวัดแรงดันต่ำที่สำคัญก็คือ อุปกรณ์ตัวชี้ (INDICATORS) หรือผู้สังเกตุจะต้องอยู่ห่างจากจุดที่ต้องการวัดมากพอที่จะไม่เกิดอันตราย และต้องอาศัยการฉนวนที่ถูกต้องเหมาะสม ซึ่งขึ้นอยู่กับขนาดแรงดันที่จะวัด ถ้าแรงดันสูงมากขึ้นระยะการฉนวน และระยะห่างของผู้วัดจะต้องมากขึ้น การวัดแรงดันสูงจึงต้องใช้เทคนิคพิเศษบางประการ โดยอาศัยอุปกรณ์และเครื่องวัดช่วย ลักษณะสมบัติที่ต้องการของอุปกรณ์และเครื่องวัดที่สำคัญได้แก่ ความถูกต้องเที่ยงตรง ความไวต่อสัญญาณที่ต้องการวัด ความเชื่อถือได้ ขีดความสามารถของเครื่องวัด ความเร็วของเครื่องวัดที่จะติดตามการเปลี่ยนแปลงของแรงดัน โดยเฉพาะอย่างยิ่งการวัดแรงดันที่เกิดขึ้นในช่วงระยะเวลาสั้น เช่น แรงดันอิมพัลส์ เป็นต้น

เทคนิคการวัดแรงดันสูงขึ้นอยู่กับชนิดของแรงดัน ซึ่งแบ่งออกเป็น 3 ชนิด คือ แรงดันกระแสสลับ แรงดันกระแสตรง และแรงดันอิมพัลส์ ซึ่งสองชนิดหลังนี้มักจะหมายถึงแรงดันที่สร้างขึ้นในห้องปฏิบัติการทดลอง ส่วนชนิดแรก (แรงดันกระแสสลับ) นั้นจะมีการวัดทั้งภายในห้องปฏิบัติการและในระบบส่งจำหน่าย ในที่นี้จะได้แยกวิธีการวัดตามการแบ่งชนิดของแรงดัน

การวัดแรงดัน

การวัดแรงดันกระแสสลับภายในห้องปฏิบัติการอาจวัดได้ด้วยวิธีดังต่อไปนี้ คือ

1) โวลท์มีเตอร์แบบอิเลคโตรสแตติกส์ (ELECTROSTATIC VOLTMETER)

2) ช่องว่างทรงกลม (SPHERE GAP)

3) อิมพีแด๊นซ์ต่ออันดับ (SERIES IMPEDANCE)

4) โวลเตจดิไวเดอร์ (VOLTAGE DIVIDER)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TABLE 3.1
(*Note* "+" *means* "*in combination with*")

Quantity \ Type of voltage	d.c. voltages	a.c. voltages	Impulse voltages
Mean value	3.3 (3.6.4 A) 3.4	not applicable	not applicable
r.m.s. value	3.2 3.6.4 A + 3.2	3.2 3.6.4 B } + 3.2 3.6.4 C }	not applicable
Crest values	3.1 3.4 (special des.) Mean value + Ripple by CRO + 3.6.4 B } 3.6.4 C }	3.1 3.4 (special des.) 3.5.1 3.5.2 A 3.5.3	3.1 3.6.4 (spec. des.) + 3.5.2 B } 3.5.3 }
Voltage shape	3.4 (special des.) CRO + 3.6.4 B	3.4 (special des.) CRO + { 3.6.4 C / 3.6.4 B }	CRO + 3.6.4 (spec. des.)

ตาราง 3.1

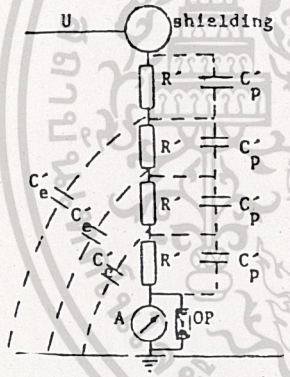
ในการทดลองวิจัยครั้งนี้เราใช้วิธีการวัดโดยวิธีการ VOLTAGE DIVIDER โดยใช้อิมพีแด๊นซ์ค่าสูงมาต่ออันดับกัน ซึ่งมีวิธีการและรายละเอียดดังนี้

<u>ความต้านทานต่ออันดับ</u> (HIGH OHMIC SERIES RESISTORS)

ในกรณีที่ใช้ความต้านทานต่ออันดับ ความต้านทานควรมีค่าโอห์มสูงมากพอที่จะจำกัดกระแสไหลผ่านที่แรงดันกำหนดอยู่ในช่วงเป็นร้อย ๆ ไมโครแอมป์ อย่างมากที่สุดไม่ควรเกิน 1 มิลลิแอมป์ นั่นคือใช้ความต้านทานอย่างต่ำขนาด 1 mΩ 1 W (1 mΩ/kV) ในทางภาคปฏิบัติอาจใช้ความต้านทานย่อยที่ทำด้วยคาร์บอนหรือฟิล์มโลหะมาต่ออันดับกันหรือใช้เส้นลวดความต้านทานทนความร้อนสูง เช่น เส้นลวด N_1-C_r มาพันแบบไร้ค่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ความเหนี่ยวนำ (NONINDUCTIVE RESISTOR) ยึดอยู่บนฉนวนจุ่มลงในน้ำมันหม้อแปลง เพื่อช่วยระบายความร้อนและเพิ่มการฉนวนตามผิวของฉนวนยึดหรือรองรับแรงดันตกคร่อมขดลวดแต่ละรอบหรือความต้านทานย่อยแต่ละตัว จะต้องไม่เกินความคงทนของการฉนวน มิฉะนั้นจะทำให้เกิดวาบไฟตามผิวได้ กล่าวคือต้องออกแบบให้แรงดันตกคร่อมดังกล่าวไม่เกิน 2 kV/cm ในอากาศ และ 15 kV/cm ในน้ำมัน เนื่องจากมีผลของสเตรตะแปซิแต้นซ์ทำให้เกิดความผิดพลาดของมุมและขนาดที่วัดเมื่อวัดแรงดันกระแสสลับ จะมีลักษณะแบบ R ผสม C จึงมีใช้กันน้อย ผลกระทบนี้จะมีผลน้อยลงเมื่อความต้านทานน้อยลง ถ้า C_p มากกว่า C_e มาก ๆ จะทำให้ความผิดพลาดของมุมลดลง ซึ่งทำได้โดยใช้ซีลด์อิเลคโตรด (SHIELDING ELECTRODE) หรือซิลด์ความต้านทาน



รูปที่ 2-7 วัดแรงดันสูงด้วยความต้านทานต่ออันดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 7

การทดสอบเครื่องผลิตไฟฟ้าแรงสูงกระแสตรง

จากการที่ได้ศึกษาขั้นตอนต่าง ๆ ในการออกแบบ และสร้างเครื่องผลิตไฟฟ้าแรงสูงกระแสตรงตัวต้นแบบ และได้นำมาทำการศึกษาทดลองดูคุณสมบัติต่าง ๆ ของเครื่องผลิตไฟฟ้าแรงสูงกระแสตรงนี้ ได้แบ่งแยกการศึกษาออกเป็น 3 ขั้นตอน ตามทฤษฎีที่ได้กล่าวมาแล้วคือ

- การทดสอบหม้อแปลงไฟฟ้า
- การทดสอบวงจร VOLTAGEC MULTIPLIER
- การวัดค่าโดยใช้ HIGH IMPEDCNCE

ซึ่งจะได้กล่าวในรายละเอียดต่อไป ซึ่งในการทดสอบครั้งนี้เราทดสอบโดย Test หม้อแปลงอย่างหนึ่งและในข้อการทดสอบวงจรและการวัดค่านั้นก็จะกล่าวโดยรวมกันไป

1) การทดสอบหม้อแปลง

VIN โวลต์	VOUT (โวลต์)
0	0
50	600
100	1200
150	1800
200	2400
220	2600
230	2700

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2) การทดสอบ COCKROFT - WALTON

U_T(in)	U_T(out)	I_d	U_d		ΔU	$\wedge U$
0	0	0	0		0	0
50	600	15	4.2		0.5	56
100	1200	60	16.8		2.0	140
150	1800	100	28.0		3.3	224
200	2400	150	42.0		5.0	280
220	2600	180	50.4		5.9	308
230	2700	200	56.0		6.6	336
						(323)

U_T(in) เป็นแรงดันที่จ่ายให้แก่หม้อแปลง (โวลต์)

U_T(out) เป็นแรงดันที่หม้อแปลงจ่ายให้ Multiplicr circuit (โวลต์)

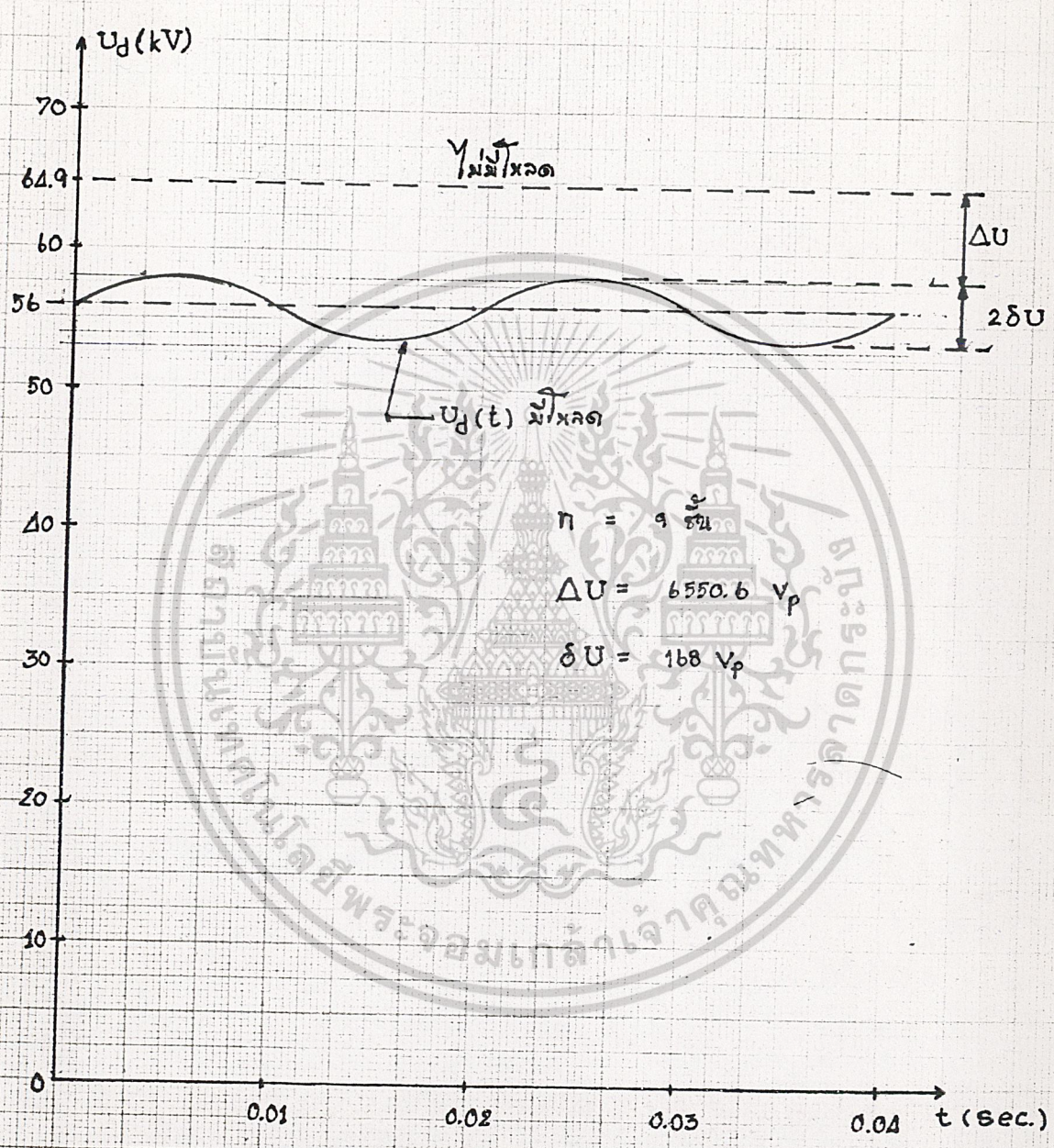
I_d เป็นกระแสที่เอาท์พุตของวงจร Multiplicr (ไมโครแอมป์)

U_d เป็นแรงดันที่เอาท์พุตของวงจร Multiplicr (โวลต์ พีค)

ΔU เป็นแรงดันตก เนื่องจาก Loss ต่าง ๆ (โวลต์พีค)

$\wedge U$ เป็นแรงดันระลอก (โวลต์)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้


U_d(kV)
70
64.9
60
56
50
40
30
20
10
0
$V_{ไม่มีโหลด}$
ΔU
2δU
$U_d(t)$ มีโหลด
n = 9 ชั้น
ΔU = 6550.6 V_p
δU = 168 V_p
0.01
0.02
0.03
0.04
t (sec.)

บทที่ 8

สรุปและวิจารณ์ผลการทดสอบ

จากการออกแบบและสร้างเครื่องผลิตไฟฟ้าแรงสูงกระแสตรง ในปริญญานิพนธ์ฉบับนี้เราอาศัยหลักการแรงดันสองเท่ามาต่อกันหลาย ๆ ชั้น เพื่อเพิ่มแรงดันให้สูงขึ้น โดยเราใช้วงจรแรงดันสองเท่ามาต่อกัน 9 ชั้น ซึ่งเราสามารถที่จะผลิตไฟฟ้ากระแสตรงแรงสูงได้ประมาณ 56 กิโลโวลต์ ซึ่งเราใช้เทคนิคการวัด โดยใช้หลักการของโวลเตจดิไวเดอร์ ซึ่งใช้โหลดความต้านทาน ขนาด 280 แมกกะโอห์ม ต่ออนุกรมกับแอมป์มิเตอร์ ขนาด 0-500 ไมโครแอมป์ ซึ่งเราได้กระแสออกมาประมาณ 200 ไมโครแอมป์ เกิดแรงดันตก 6550.67 Voltpeak และแรงดันระลอก 323 โวลต์

การทดสอบหม้อแปลงที่ใช้ในงานวิจัยครั้งนี้ เราไม่ค่อยสนใจคำนึงถึงประสิทธิภาพของม้อแปลงเท่าไหร่นัก ต้องการเพียงค่าแรงดันที่จ่ายออกมาด้านเอาท์พุต ให้ถึงค่าที่ได้คำนวณไว้แล้วและจ่ายกระแสได้เพียงพอแค่นั้น

ส่วนผลของการทดสอบเครื่องผลิตไฟฟ้าแรงสูงกระแสตรง ถ้าพิจารณาถึงทฤษฎีเครื่องผลิตไฟฟ้าแรงสูงกระแสตรงเป็นแบบอุดมคติ เราจะได้แรงดันที่จ่ายออกมาที่เอาท์พุตประมาณ 64.9 กิโลโวลต์ แต่ในปริญญานิพนธ์ครั้งนี้ คณะผู้จัดทำมีความตั้งใจที่จะผลิตไฟฟ้าแรงสูงกระแสตรงเพียง 56 กิโลโวลต์เท่านั้น ซึ่งการเกิดแรงดันตกและแรงดันระลอกเป็นขั้นตอนหนึ่งที่ได้ตั้งใจไว้แล้วว่าควรจะมี และได้พิจารณาเผื่อค่าแรงดันตกและแรงดันระลอกไว้แล้ว ค่าแรงดันตกที่ได้จากการทดสอบนั้น มีค่าประมาณเท่ากับค่าที่ควรจะได้จากการคำนวณ ส่วนค่าแรงดันระลอกมีค่ามากกว่าแรงดันระลอกจากการคำนวนเล็กน้อย ซึ่งจากรูปคลื่นจะเห็นว่า คลื่นที่ได้จะเป็นรูปซายด์เรฟ อันเนื่องมาจากว่า การวัดค่าในขั้นตอนการทดสอบนั้น ได้ใช้ความต้านทานค่าสูงมากเป็นโหลด แต่ต่างกันตรงที่ว่ามีแรงดันตกเกิดขึ้น ซึ่งแรงดันตกนี้เกิดจากแรงดันตกในตัวเก็บประจุ และในไดโอด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการจัดทำปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ แม้จะได้ผลการทดสอบมีค่าใกล้เคียงกับค่าที่ควรได้จริง แต่ถ้าหากพิจารณาดูแล้วจะเห็นว่าประสิทธิภาพของเครื่องผลิตไฟฟ้าแรงสูงกระแสตรงที่ใช้ในงานวิจัยในครั้งนี้ ยังมีประสิทธิภาพที่ยังต่ำอยู่คือ ยังมีแรงดันตกและแรงดันระลอกสูงอยู่ ซึ่งไม่เป็นข้อที่พึงปราถนาในการศึกษาวิจัยในด้านวิศวกรรมไฟฟ้าแรงสูง อย่างไรก็ดีคณะผู้จัดทำหวังเป็นอย่างยิ่งว่า ผลการทดลองคนคว้าโครงงานวิจัยสร้างเครื่องผลิตไฟฟ้าแรงสูงกระแสตรงในครั้งนี้ พอที่จะเป็นประโยชน์และเป็นแนวทางสำหรับผู้อ่านและผู้ที่สนใจในสาขาวิศวกรรมไฟฟ้าแรงสูง สามารถนำไปศึกษาค้นคว้าทดลอง เพื่อที่จะพัฒนาให้ได้เครื่องผลิตที่มีประสิทธิภาพที่ดียิ่ง ๆ ขึ้นไปในอนาคต.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

การจัดทำปริญญานิพนธ์เรื่อง เครื่องผลิตไฟฟ้าแรงแสงกระแสตรง (High Voltage DC Gencrator) ฉบับนี้ ได้รับความสำเร็จอย่างดียิ่ง ซึ่งคณะผู้จัดทำมีความรู้สึกขอบพระคุณอย่างสูงยิ่ง ต่อ รศ.ดร. นิพนธ์ สุขุม ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษา ที่ได้ให้ความรู้ให้คำปรึกษาอธิบายและให้การสนับสนุนในการจัดทำปริญญานิพนธ์ในครั้งนี้ คณะผู้จัดทำขอขอบพระคุณ อาจารย์ ศิริวัฒน์ โพธิเวชกุล อาจารย์ จงรักษ์ ตลอดจน คณาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าทุกท่าน ที่ได้ให้ความรู้และเสนอแนะแนวทางในการแก้ไขจุดบกพร่อง และปัญหาที่เกิดขึ้นในการจัดทำครั้งนี้

และขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ ที่ภาควิศวกรรมไฟฟ้าทุกท่าน ที่ได้อำนวยความสะดวกอย่างดีตลอดมา

สุดท้ายก็ขอขอบคุณเพื่อน ๆ พี่ ๆ ทุกคน โดยเฉพาะพี่ป้อม(อาจารย์ป้อม) ที่ให้กำลังใจและแนะนำข้อคิดเห็นบางประการ

ขอขอบพระคุณ

คณะผู้จัดทำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หนังสืออ้างอิง

1) ดร. สำรวย สังข์สะอาด, "วิศวกรรมไฟฟ้าแรงสูง", คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 434 หน้า, 2528

2) K B Raina, K C singal, Y K Anand, Transmission and Distribution of Electrical Power, Tata McGraw-Hill Publishing Co.,Ltd. 1985

3) Kuffle, E., Abdullah, M, Pergamon Press, 1977

4) Naidu, M.S. Kamaraju, V, High Voltage Engineering, Tata Mc Book Gompany, 1982Graw-Hill

5) Nathan R. Grossner, Transformers for Electronic Circuits, McGraw-Hill Book Company, 1982

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้