

ภาคผนวก ก

คุณลักษณะของแกนแม่เหล็กความถี่สูงและตัวเก็บประจุ

และการตรวจสอบการอิ่มตัวของแกนแม่เหล็ก

(ข้อมูลการออกแบบและการทำงานของวงจรกรองสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้า)

คุณลักษณะของแกนแม่เหล็กความถี่สูง

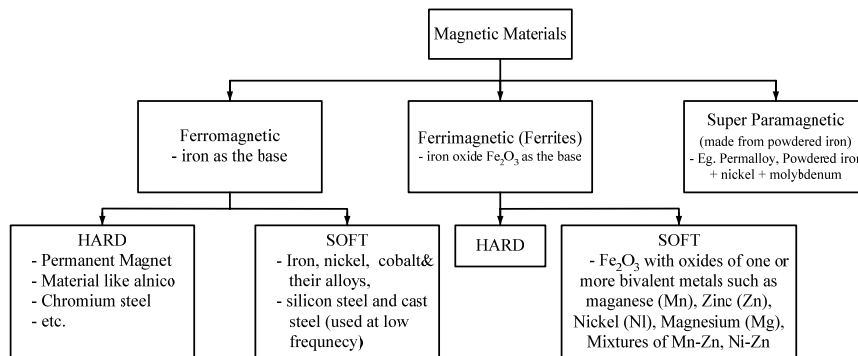
แกนแม่เหล็กมีหน้าที่หลักคือ เป็นเส้นทางเดินหลักสำหรับเส้นแรงแม่เหล็กในการเชื่อมโยงระหว่างอุปกรณ์แม่เหล็ก หรืออาจจะกล่าวได้ว่าทำหน้าที่เป็นเส้นทางเชื่อมต่อระหว่างแหล่งจ่ายพลังงานแม่เหล็กกับโหลดทางแม่เหล็กนั่นเอง เช่น สำหรับในกรณีหม้อแปลงไฟฟ้า แหล่งจ่ายพลังงานแม่เหล็กจะได้แก่ขดลวดทองแดงทางด้านปฐมภูมิ ซึ่งหมายรวมถึงแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับ และโหลดทางแม่เหล็กจะได้แก่ขดลวดทองแดงทางด้านทุติยภูมิ

สารแม่เหล็กที่ใช้ทำเป็นแกนแม่เหล็กในวงจรอิเล็กทรอนิกส์กำลังจะต้องมีคุณสมบัติที่มีค่าความซาบซึมได้สัมพัทธ์สูงๆ ดังแสดงแผนผังในรูปที่ 1 แสดงสารแม่เหล็กที่นิยมใช้ทำเป็นแกนแม่เหล็กชนิดต่างๆ ในวงจรอิเล็กทรอนิกส์กำลังซึ่งแบ่งออกได้เป็น 3 ชนิดด้วยกันได้แก่

เฟอร์โรแมกเนติกหรืออาจจะเรียกได้ว่าโลหะแม่เหล็ก (magnetic metals) จะแบ่งออกเป็นสองแบบ ได้แก่ แบบแข็ง (hard materials) ซึ่งนิยมใช้ทำแม่เหล็กถาวร และแบบอ่อน (soft materials) ซึ่งจะนิยมใช้ทำเป็นหม้อแปลงไฟฟ้าและตัวเหนี่ยวนำไฟฟ้า โดยเฟอร์โรแมกเนติกจะมีคุณสมบัติได้แก่ มีค่าความหนาแน่นสนามแม่เหล็กอิ่มตัวสูง (7,000 ~ 23,000 เกาส์: โดยที่ 1 เกาส์ เท่ากับ 10^{-4} เทสลา) และมีค่าความซาบซึมได้สัมพัทธ์สูง (1,000 ~ 200,000) ค่าความนำไฟฟ้าก็มีค่าสูงด้วย จึงจำเป็นที่จะต้องทำให้เป็นแผ่นบางๆ ประกอบกัน (laminated or tape form) เพื่อลดค่ากำลังไฟฟ้าสูญเสียเนื่องจากกระแสวน และด้วยคุณสมบัติที่มีค่าความหนาแน่นเส้นแรงแม่เหล็กอิ่มตัวสูง จึงเป็นที่นิยมใช้ในอุปกรณ์แม่เหล็กที่ใช้กับความถี่สาย (50 ~ 400 Hz) อย่างไรก็ตาม เนื่องจากปัญหาการนำไฟฟ้าสูญเสียเนื่องกระแสวน ทำให้ไม่สามารถใช้ในงานความถี่สูงได้ (≤ 200 kHz)

เฟอร์ไรต์จะสามารถแบ่งออกได้เป็นแบบแข็งซึ่งนิยมใช้ทำแม่เหล็กถาวร และแบบอ่อนซึ่งจะนิยมใช้ทำเป็นหม้อแปลงไฟฟ้าและตัวเหนี่ยวนำไฟฟ้า เหมือนกับกรณีเฟอร์โรแมกเนติก อย่างไรก็ตาม ด้วยกรรมวิธีการผลิตแกนเฟอร์ไรต์ ที่ทำให้มีความต้านทานไฟฟ้าสูง (10^4 - $10^9 \Omega\cdot\text{m}$) และด้วยคุณสมบัติดังกล่าวทำให้เฟอร์ไรต์จะมีค่ากระแสวนภายในต่ำที่ความถี่สูง

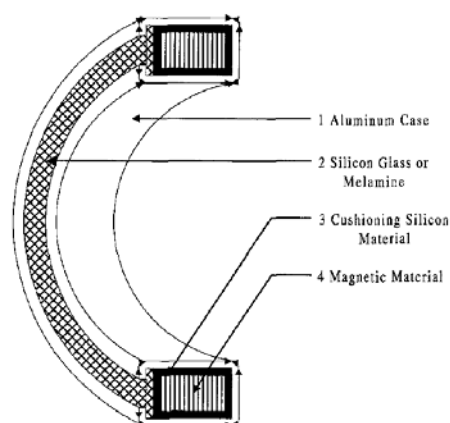
ซูเปอร์พาราแมกเนติก (super paramagnetic) หรืออาจจะเรียกได้ว่า ผงโลหะอัด (powdered metal) ด้วยกรรมวิธีการผลิตจะทำให้มีค่าความซาบซึมได้สัมพัทธ์ต่ำ (8 ~ 80 ยกเว้นกรณี ผงโลหะอัดชนิดโมลิเพอมาลอยด์ (MolyPermalloy Powder core: MPP) ที่มีค่าสูงถึง 550) และใช้กับไฟฟ้ากระแสตรงได้ จึงนิยมประยุกต์ใช้งานเป็นตัวเหนี่ยวนำของวงจรกรองในย่านความถี่ประมาณ 1 kHz – 100 kHz ค่าความหนาแน่นเส้นแรงแม่เหล็กอิ่มตัวจะอยู่ระหว่าง 5,000 – 10,000 เกาส์



รูปที่ 1 การแบ่งประเภทของสารแม่เหล็กที่ใช้ในวงจรอิเล็กทรอนิกส์กำลัง

1 แกนแม่เหล็กชนิดพันเป็นแถบ

แกนแม่เหล็กชนิดพันเป็นแถบ (Tape Wound Core หรือ metal alloy tape-wound cores) ซึ่งจะนิยมเรียกย่อๆว่า TWC จัดว่าเป็นเฟอร์โรแมกเนติกแบบอ่อน (soft ferromagnetic) โดยเกิดจากการใช้อัลลอยด์ (alloy) เช่น เพอมาลอยด์ (permalloy) ซึ่งแกนแม่เหล็กที่ทำจากสารดังกล่าว จะมีกราฟคุณสมบัติของ ความหนาแน่นต่อความเข้มสนามแม่เหล็กใกล้เคียงอุดมคติคือเป็นรูปทรงสี่เหลี่ยม ค่าความซาบซึมแม่เหล็กและความหนาแน่นเส้นแรงแม่เหล็กสูงสุดมีค่าสูง อย่างไรก็ตามความต้านทานไฟฟ้าภายในแกนแม่เหล็กจะมีค่าต่ำ จึงเป็นที่มาของการแบ่ง TWC ออกเป็นแผ่นบางๆเพื่อลดค่าความสูญเสียเนื่องจากกระแสวน ภายในแกนแม่เหล็ก โดยส่วนใหญ่แล้ว TWC จะนิยมใช้กับความถี่กำลัง เช่น 50, 60 และ 400 Hz เป็นต้น แต่ TWC จะไม่นิยมใช้เป็นหม้อแปลงไฟฟ้าความถี่สูงสำหรับแหล่งจ่ายกำลังสวิตชิง เพราะแหล่งจ่ายกำลังสวิตชิงจะทำงานที่ความถี่สูง (ประมาณมากกว่าหรือเท่ากับ 70 kHz) เป็นผลทำให้ ถ้าใช้แกนแม่เหล็กดังกล่าวจะทำให้ค่ากำลังไฟฟ้าสูญเสียที่เกิดจากกระแสวนมีค่าสูงนั่นเอง



รูปที่ 2 ภาพตัดของ TWC

อย่างไรก็ตาม สารโลหะผสมชนิดอะมอร์ฟัส (amorphous metal alloys) เป็นสารแม่เหล็กอัลลอยด์ชนิดใหม่ ที่ได้มีการพัฒนาขึ้นกว่ามาตั้งแต่ปี ค.ศ. 1970 โดยมีคุณสมบัติที่สำคัญคือ กำลังไฟฟ้าสูญเสียต่ำและนิยมใช้ในแหล่งจ่ายกำลังสวิตซ์ที่มีความถี่สวิตซ์ซึ่งประมาณ 100-200 kHz และโดยมากจะใช้เป็นวงจรขยายแบบแม่เหล็ก (magnetic amplifier) ในแหล่งจ่ายกำลังสวิตซ์ดังกล่าว

2 แกนแม่เหล็กชนิดผงโลหะอัด



รูปที่ 3 แกนแม่เหล็กแบบทอรรอยด์

กรรมวิธีการผลิตผงโลหะอัด จะเกิดจากสารอัลลอยด์ (alloy material) เป็นหลักในการทำเป็นผงแป้งละเอียด (fine powder) จากนั้นนำผงแป้งดังกล่าวผสมกับสารที่มีคุณสมบัติเป็นฉนวน ซึ่งทำหน้าที่ในการแยกอนุภาค (particle) ต่างๆออกจากกัน ซึ่งจะเปรียบเสมือนกับการเพิ่มค่าความต้านทานไฟฟ้านั่นเอง จากนั้นจะนำมาขึ้นรูปแกนแม่เหล็ก ซึ่งโดยมากรูปทรงของแกนแม่เหล็กชนิดผงโลหะอัด มักจะอยู่ในรูปทรงทอรรอยด์ (toroidal shape) เป็นส่วนใหญ่ นอกจากนั้น แกนแม่เหล็กแบบผงโลหะอัด จะมีคุณสมบัติในการสะสมพลังงานได้ดีจึงนิยมใช้ทำเป็นตัวเหนี่ยวนำ และหม้อแปลงไฟฟ้าของวงจรฟลายแบ็ก อย่างไรก็ตาม พลังงานไม่ได้สะสมอยู่ในส่วนที่มีค่าความซาบซึมได้สูงๆ แต่จะสะสมอยู่ในย่านที่ไม่เป็นแม่เหล็ก (non-magnetic) หรือในย่านที่มีค่าความซาบซึมได้ต่ำๆ ซึ่งกระจายอยู่ทั่วไปภายในแกนแม่เหล็กชนิดผงโลหะอัด โดยที่การแบ่งประเภทของแกนแม่เหล็กชนิดผงโลหะอัดจะแบ่งออกตามค่าความซาบซึมได้ซึ่งจะอยู่ในย่าน $\mu_r = 15 \sim 200$ ซึ่งจะขึ้นอยู่กับเปลี่ยนแปลงขนาดของอนุภาคหรือส่วนผสมต่างๆ นอกจากนั้น แกนแม่เหล็กชนิดผงโลหะอัด ยังไม่นิยมใช้ทำเป็นหม้อแปลงไฟฟ้าในวงจรอิเล็กทรอนิกส์กำลัง (หม้อแปลงไฟฟ้าของวงจรฟลายแบ็กจริงๆแล้วจัดได้ว่าเป็นตัวเหนี่ยวนำ) เพราะมีค่าความซาบซึมได้สัมพัทธ์ต่ำ เป็นผลทำให้ค่ากระแสทำแม่เหล็กจะมีค่าสูงและมีคุณสมบัติในการสะสมพลังงาน

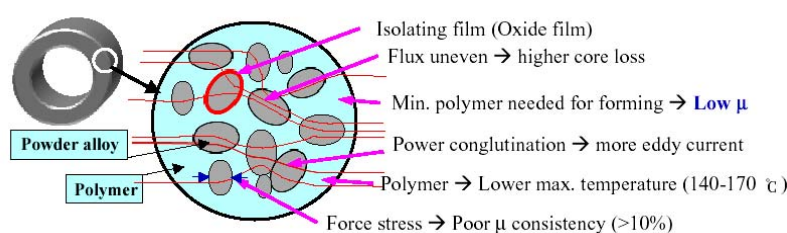
(energy storage) ซึ่งหม้อแปลงไฟฟ้าไม่ต้องการคุณสมบัติดังกล่าว เพราะเมื่อค่ากระแสทำแม่เหล็กสูงหมายถึงกำลังไฟฟ้าสูญเสียจะมีค่าสูง และหน้าที่หลักของหม้อแปลงไฟฟ้าคือถ่ายเทพลังงาน (energy transfer) ไม่ใช่สะสมพลังงาน

แกนแม่เหล็กชนิดผงโลหะอัดจะแบ่งออกเป็นสามชนิด ได้แก่ Molypermalloy, High Flux และ Kool Mu® ซึ่งรายละเอียดของทั้งสามแบบแสดงได้ดังต่อไปนี้

ก) แกนแม่เหล็กชนิดผงโลหะอัดโมลิเพอมาลอยด์ (MolyPermalloy Powder (MPP) Core)

MPP จะเกิดจากเพอมาลอยด์เป็นส่วนผสม ในทำนองเดียวกันกับของกรณี TWC เพียงแต่ว่า MPP จะมีค่าความซาบซึมได้น้อยกว่า โดยจะมีให้เลือกทั้งหมด 10 ค่า ตั้งแต่ 14 ถึงประมาณ 550 ซึ่งจะแตกต่างจากสาร โลหะเพอมาลอยด์ (permalloy metal) ทั่วไปที่จะมีค่าความซาบซึมได้ประมาณตั้งแต่ 10,000 ถึงประมาณ 200,000 ขึ้นอยู่กับเงื่อนไขในการทดสอบ สาเหตุที่ MPP มีค่าความซาบซึมได้ลดลงก็เพราะเกิดจากการแยกองค์ประกอบของเพอมาลอยด์ ด้วยสารที่มีคุณสมบัติเป็นฉนวน (insulating medium) ซึ่งจะทำให้เกิดช่องอากาศกระจายอยู่ภายในแกน MPP ดังกล่าว และด้วยช่องอากาศที่กระจายอยู่ภายในแกนดังกล่าวเป็นผลทำให้ ผงโลหะอัดเพอมาลอยด์ (permalloy powder) สามารถใช้ได้กับไฟฟ้ากระแสตรงได้ดี

คุณสมบัติเด่นของแกนแม่เหล็กชนิด MPP ก็คือ กำลังไฟฟ้าสูญเสียในแกนจะมีค่าต่ำมาก และสะสมพลังงานได้สูง ทำให้เป็นที่นิยมใช้ทำเป็นตัวเหนี่ยวนำในวงจรอิเล็กทรอนิกส์กำลังความถี่สูง



รูปที่ 4 ตัวอย่างสารประกอบภายในแกนผงโลหะอัด

ข) แกนแม่เหล็กชนิดผงโลหะอัดไฮฟลักซ์ (High Flux powder Powder Core)

เรียกย่อๆว่า ไฮฟลักซ์ (High Flux) จะเกิดจากการใช้สารที่คล้ายกับ Orthonol (50Ni – 50Fe) เป็นส่วนผสมแทนเพอมาลอยด์ เป็นผลทำให้ได้ค่าความหนาแน่นเส้นแรงแม่เหล็กสูงสุดมีค่าสูงเกินกว่ากรณีเพอมาลอยด์ จึงเป็นที่มาของชื่อ “ไฮฟลักซ์” นอกจากนั้นคุณสมบัติก็จะคล้ายกับกรณีเพอมาลอยด์ คือ สะสมพลังงานได้สูงและสามารถใช้ได้กับไฟฟ้ากระแสตรงได้ดี และข้อเด่น

ของ ไฮฟลักซ์ที่เหนือกว่าเพอมาลอยด์ ก็คือมีขนาดเล็กและน้ำหนักเบา อย่างไรก็ตาม กำลังไฟฟ้าสูญเสียในแกนจะมีค่าสูงกว่ากรณีเพอมาลอยด์

ค) แกนแม่เหล็กชนิดผงโลหะอัดคูลมู (Kool Mu Powder Core)

เรียกย่อว่า “คูลมู” (Kool Mu) จะเกิดจากการใช้สารเฟอร์รัสอัลลอยด์ (ferrous alloy) เป็นส่วนผสม โดยกำลังไฟฟ้าสูญเสียในแกนจะมีค่าสูงกว่า MPP แต่จะมีราคาถูกกว่า ในขณะที่พลังงานสะสมมีค่าเท่ากัน อย่างไรก็ตาม คูลมูจะมีค่ากำลังไฟฟ้าสูญเสียในแกนต่ำกว่ากรณี iron powder cores นอกจากนี้ คุณสมบัติของ คูลมูยังนิยมใช้ทำเป็นวงจรกรองสัญญาณรบกวน (In-line noise filter) ซึ่งตัวเหนี่ยวนำภายในวงจรดังกล่าวจะต้องรองรับไฟฟ้ากระแสสลับค่าสูงๆ โดยที่แกนแม่เหล็กต้องไม่เกิดการอิ่มตัว ซึ่งตัวเหนี่ยวนำที่ได้จะมีขนาดเล็กและใช้จำนวนรอบในการพันน้อยกว่าเมื่อเทียบกับกรณีใช้แกนเฟอร์ไรต์ คุณสมบัติที่สำคัญอีกประการหนึ่งของคูลมูก็คือมีค่าความหนาแน่นเส้นแรงแม่เหล็กสูง (10,000 เกาส์) และกำลังไฟฟ้าสูญเสียในแกนต่ำเป็นผลทำให้คูลมู นิยมใช้ในการขับเคลื่อนมอเตอร์ไฟฟ้าเพียงหนึ่งทิศทาง (unidirectional drive application) และ หม้อแปลงไฟฟ้าของวงจรพลาสมาแบ็ก เป็นต้น

ดังนั้นสามารถสรุปการเลือกใช้สารแกนแม่เหล็กชนิดผงโลหะอัดใน **ตารางที่ 1** สำหรับการออกแบบอุปกรณ์แม่เหล็กในวงจรอิเล็กทรอนิกส์กำลังได้ดังนี้ เลือกใช้ MPP ในการออกแบบที่ต้องการประสิทธิภาพสูง และเลือกใช้ “ไฮฟลักซ์” ในการออกแบบที่มีจำกัดเรื่องขนาด ในขณะที่ “คูลมู” จะเลือกใช้เมื่อต้องการออกแบบโดยเน้นในเรื่องของราคา

ตารางที่ 1 การเปรียบเทียบ powder core แบบต่างๆ

	MPP	High Flux	Kool Mu
ค่าความสูญเสียในแกน	ต่ำที่สุด	ปานกลาง	ต่ำ
ความซาบซึมได้และไบอัสกระแสดตรง	สูงมาก	สูงที่สุด	สูง
ความหนาแน่นเส้นแรงแม่เหล็ก (เกาส์)	7,500	15,000	10,500
ส่วนประกอบนิเกิล	80%	50%	0%
ราคา	สูง	ปานกลาง	ต่ำ

3 แกนเฟอร์ไรต์ (ferrite cores)

กรรมวิธีการผลิตเฟอร์ไรต์จะมีความแตกต่างจากสารแม่เหล็กชนิดอื่นๆ เพราะวัตถุดิบที่ใช้ (raw materials) จะมาจากออกไซด์ของโลหะชนิดต่างๆ (oxides of various metals) เช่น เหล็ก (iron)

แมงกานีส (manganese) สังกะสี (Zinc) ซึ่งโดยทั่วไป ออกไซด์จะทำหน้าที่เป็นฉนวน เป็นผลทำให้เฟอร์ไรต์มีค่าความต้านทานไฟฟ้าสูงกว่ากรณีใช้อัลลอยด์ (magnetic alloys) ทำให้เหมาะกับการใช้กับความถี่สูงๆ จนกระทั่งถึงย่านเมกะเฮิรตซ์ และด้วยกรรมวิธีการผลิตโดยการเผาส่วนผสมจากออกไซด์ของเหล็ก (iron oxide) ร่วมกับออกไซด์หรือคาร์บอนของแมงกานีสและสังกะสี หรืออาจจะร่วมกับออกไซด์หรือคาร์บอนของนิเกิลและสังกะสี เป็นต้น ทำให้แกนเฟอร์ไรต์มีลักษณะเป็นสารเซรามิก (ceramic material) โดยที่ MnZn Ferrite จะใช้กับการที่มีความถี่ใช้งานสูงถึง 1–2 MHz ซึ่งหมายถึง power ferrite materials ที่นิยมใช้ในแหล่งจ่ายกำลังสวิตชิง ในขณะที่ NiZn Ferrite ซึ่งจะมีค่าความซาบซึมได้ต่ำและมีค่าความต้านทานไฟฟ้าสูง ทำให้มีกำลังไฟฟ้าสูญเสียในแกนต่ำ ซึ่งนิยมใช้ตั้งแต่ความถี่ 1 MHz จนกระทั่งถึงหลายร้อยเมกะเฮิรตซ์ โดยทั่วไปค่าความซาบซึมได้สัมพัทธ์ของเฟอร์ไรต์ จะมีค่าอยู่ระหว่าง 1,500 – 3,000 นอกจากนั้น แกนเฟอร์ไรต์ยังสามารถประยุกต์ใช้งานเป็นได้ทั้งตัวเหนี่ยวนำและหม้อแปลงไฟฟ้า เหตุผลที่ แกนเฟอร์ไรต์เป็นที่นิยมใช้งาน ในวงจรอิเล็กทรอนิกส์กำลังก็เพราะว่า มีราคาถูก กำลังไฟฟ้าสูญเสียในแกนจะมีค่าต่ำกว่าแกนที่ทำจากสารแม่เหล็กชนิดอื่นๆ

อย่างไรก็ตามข้อเสียหลักของแกนเฟอร์ไรต์คือการเป็นเซรามิก นั่นก็หมายถึงโครงสร้างของแกนเฟอร์ไรต์จะเปราะและแตกหักง่าย และความหนาแน่นเส้นแรงแม่เหล็กอิ่มตัวมีค่าต่ำกว่าแกนแม่เหล็กชนิดอื่นๆ โดยเมื่อเปรียบเทียบ powder cores กับเฟอร์ไรต์จะเห็นได้ว่าค่าความหนาแน่นเส้นแรงแม่เหล็กสูงสุดของ powder cores (0.8 เทสลา) จะมีค่าสูงกว่าของเฟอร์ไรต์ (0.3 เทสลา) ซึ่งทำให้ขนาดของตัวเหนี่ยวนำที่ได้จากแกน powder cores จะมีขนาดเล็กกว่าแกนเฟอร์ไรต์ อย่างไรก็ตาม ตัวเหนี่ยวนำที่ความถี่ใช้งานสูงกว่า 100 kHz จะนิยมใช้แกนเฟอร์ไรต์มากกว่าแกนแม่เหล็กชนิดอื่นๆ เพราะปัญหาเรื่องความสูญเสียในแกน powder cores จะมีค่าสูงมากเมื่อความถี่ที่ใช้มีค่าสูงกว่า 100 kHz และปัญหาในเรื่องการพันขดลวดทองแดง

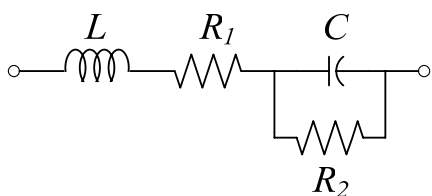


รูปที่ 4 แกนแม่เหล็กแบบเฟอร์ไรต์

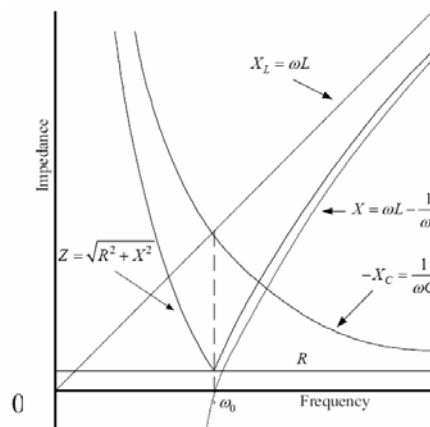
คุณลักษณะของตัวเก็บประจุชนิดต่างๆ

ตัวเก็บประจุที่ใช้อยู่ในปัจจุบันจะมีหลายชนิดและมีคุณลักษณะที่แตกต่างกัน ทำให้สามารถเลือกใช้ตัวเก็บประจุได้ตามความเหมาะสม แต่จะไม่สามารถใช้งานได้ครอบคลุมทุกความต้องการ เนื่องจากเนื้อสารที่ทำจนวนมีความแตกต่างกัน และในความเป็นจริงตัวเก็บประจุที่ใช้นั้นจะประกอบไปด้วยตัวต้านทาน 2 ตัว และตัวเหนี่ยวนำ 1 ตัว ดังแสดงในรูปที่ 5 จะแสดงวงจรสมมูลของตัวเก็บประจุ โดยที่ค่าเหนี่ยวนำ L เกิดจากสายตัวนำและโครงสร้างของตัวเก็บประจุ และค่าความต้านทาน R_2 เกิดจากการค่าความต้านทานของเนื้อสารที่ทำจนวน และค่าความต้านทาน R_1 เกิดจากการค่าความต้านทานที่ต่ออนุกรมกับตัวเก็บประจุ

ความถี่ใช้งานจะมีความสำคัญมาก เพราะจะเป็นตัวแบ่งประเภทและเลือกชนิดของตัวเก็บประจุ โดยที่ค่าสูงสุดของความถี่จะเป็นผลจากขีดจำกัดการใช้งานของตัวเก็บประจุ ที่เกิดจากค่าเหนี่ยวนำของตัวเก็บประจุ และสายตัวนำที่ใช้ และเมื่อความถี่เพิ่มขึ้น ตัวเก็บประจุจะมีค่าอิมพีแดนซ์ลดลง ซึ่งเกิดจากค่าเหนี่ยวนำในตัวเก็บประจุเอง เป็นผลทำให้ถึงจุด ω_0 คือ ค่าความถี่เรโซแนนซ์ของตัวเก็บประจุเอง (self-resonant frequency) ซึ่งในจุดนี้เกิดค่าอิมพีแดนซ์ของตัวเก็บประจุจะมีค่าต่ำที่สุด และที่ความถี่ที่สูงกว่าค่าความถี่เรโซแนนซ์ของตัวเก็บประจุ จะเป็นผลมาจากค่าเหนี่ยวนำของตัวเก็บประจุเองโดยคุณลักษณะของตัวเหนี่ยวนำนั่น เมื่อความถี่สูงขึ้นทำให้อิมพีแดนซ์ของตัวเหนี่ยวนำมีค่ามากขึ้น ดังในรูปที่ 5 [15]



(ก) วงจรสมมูลของตัวเก็บประจุ



(ข) ผลของความถี่ที่มีต่ออิมพีแดนซ์

รูปที่ 5 คุณลักษณะของตัวเก็บประจุ

จากรูปที่ 6 จะแสดงตัวเก็บประจุชนิดต่างๆที่ใช้จริงและจากรูปที่ 7 แสดงการประมาณย่านความถี่ใช้งานของตัวเก็บประจุชนิดต่างๆ สำหรับเส้นขีดจำกัดความถี่สูงจะถูกกำหนดจากค่าเรโซแนนซ์ของตัวอุปกรณ์ หรือค่าที่เพิ่มขึ้นของอัตราการแพร่กระจายของตัวอุปกรณ์ที่ความถี่สูง

และเส้นขีดจำกัดความถี่ต่ำจะกำหนดจากขนาดของค่าเก็บประจุ และจากรูปสามารถสรุปการใช้งานของตัวเก็บประจุชนิดต่างๆ ได้ดังนี้ [15]

ตัวเก็บประจุชนิดต่างๆ ที่ใช้จริงสามารถสรุปการใช้งานของตัวเก็บประจุชนิดต่างๆ ได้ดังนี้

1 ตัวเก็บประจุแบบอิเล็กโทรไลติก (electrolytic capacitor) และตัวเก็บประจุแบบอลูมิเนียม อิเล็กโทรไลติก (aluminum electrolytic capacitor) ตัวเก็บประจุชนิดนี้จะมีขนาดใหญ่ และมีค่าเก็บประจุที่มาก ประมาณ $0.1 \mu\text{F}$ - 1.6 F อย่างไรก็ตาม ตัวเก็บประจุชนิดนี้จะมีค่าความต้านทานที่ต่ออนุกรมอยู่ประมาณ 1Ω ซึ่งโดยทั่วไปแล้วจะประมาณ 0.1Ω และเมื่อความถี่เพิ่มขึ้นจะทำให้ค่าความต้านทานที่ต่ออนุกรมมีค่าเพิ่มขึ้นตามจึงทำให้เกิดความสูญเสียที่ฉนวนของตัวเก็บประจุ และอุณหภูมิ อย่างไรก็ตาม ตัวเก็บประจุแบบอลูมิเนียม อิเล็กโทรไลติก จึงเหมาะสำหรับใช้งานในย่านความถี่ต่ำ และไม่ควรจะใช้งานในย่านความถี่ที่สูงกว่า 25 kHz รวมทั้งประเภทการใช้งานในด้านความถี่ต่ำ วงจรกรองความถี่ bypassing และ coupling ส่วนในความถี่สูง ใช้สำหรับ bypassing ที่มีค่าเก็บประจุต่ำๆ

2 ตัวเก็บประจุแบบโซลิด แทนทาลัม อิเล็กโทรไลติก (solid tantalum electrolytic capacitor) จะมีค่าความต้านทานที่ต่ออนุกรมน้อย และมีค่าเก็บประจุมากกว่าและตัวเก็บประจุแบบอลูมิเนียม อิเล็กโทรไลติก ส่วนตัวเหนี่ยวนำที่ต่ออยู่จะมีค่าน้อยทำให้สามารถใช้งานในย่านความถี่ที่สูงกว่าแบบตัวเก็บประจุแบบอลูมิเนียม อิเล็กโทรไลติก โดยทั่วไปแล้วตัวเก็บประจุแบบโซลิด แทนทาลัม อิเล็กโทรไลติก จะมีเสถียรภาพ อุณหภูมิการใช้งาน มากกว่าแบบอลูมิเนียม อิเล็กโทรไลติก

3 ตัวเก็บประจุแบบเปเปอร์และไมลาร์ (paper and mylar capacitors) ตัวเก็บประจุชนิดนี้เมื่อพิจารณาค่าความต้านทานที่ต่ออนุกรมจะมีค่าสูญเสียน้อยกว่าตัวเก็บประจุแบบอิเล็กโทรไลติก แต่จะมีค่าเหนี่ยวนำสูงและตัวเก็บประจุแบบเปเปอร์และไมลาร์จะมีค่าอัตราส่วนการสูญเสียย่อย และในทางปฏิบัติตัวเก็บประจุแบบเปเปอร์และไมลาร์จะมีหน่วยเป็นไมโครฟารัดน์ และในการใช้งานจะอยู่ในย่านความถี่ 1 kHz - 1.25 MHz และประเภทการใช้งานจะใช้สำหรับ filtering bypassing coupling timing และในการลดสัญญาณรบกวน

4 ตัวเก็บประจุแบบทิวูลาร์ (tubular capacitor) ตัวเก็บประจุชนิดนี้จะมีคุณลักษณะเหมือนกับตัวเก็บประจุแบบเปเปอร์และไมลาร์ แต่ตัวเก็บประจุแบบทิวูลาร์ จะมีข้อจำกัดโดยจะต้องต่อด้านแท่งสกรูของตัวเก็บประจุแบบทิวูลาร์ลงสายกราวด์เท่านั้น

5 ตัวเก็บประจุแบบไมกาและเซรามิก (mica and ceramic capacitors) ตัวเก็บประจุทั้งสองนี้จะมีค่าความต้านทานที่ต่ออนุกรมและค่าเหนี่ยวนำที่ต่ำมาก และสามารถใช้งานได้ทั้งในย่านความถี่

สูง ส่วนงานที่ใช้ตัวเก็บประจุแบบไมคาและเซรามิกจะงานในย่านความถี่สูง เช่น filtering bypassing coupling และ timing

6 ตัวเก็บประจุแบบ High K เซรามิก (High K ceramic capacitor) ตัวเก็บประจุชนิดนี้จะสามารถใช้งานได้ในช่วงความถี่ตั้งแต่ 1 kHz-100 MHz แต่ตัวเก็บประจุแบบ High K เซรามิก จะไม่มีเสถียรภาพในการทำงานมากเมื่อเปรียบเทียบกับตัวเก็บประจุแบบเซรามิก ส่วนงานที่ใช้ตัวเก็บประจุแบบ High K เซรามิก จะใช้งานในด้าน bypassing coupling และ blocking และข้อเสียของตัวเก็บประจุแบบ High K เซรามิก คือจะมีค่าแรงดันกระเพื่อมสูง

7 ตัวเก็บประจุแบบโพลิสทีรีน (polystyrene capacitor) ตัวเก็บประจุชนิดนี้จะมีค่าความต้านทานที่ต่ออนุกรมและตัวเหนี่ยวนำที่ต่ออยู่จะมีค่าน้อยมากๆ โดยทั่วไปแล้วตัวเก็บประจุแบบโพลิสทีรีน จะมีเสถียรภาพในการทำงานที่ใกล้เคียงอุดมคติมาก ส่วนงานที่ใช้ตัวเก็บประจุแบบโพลิสทีรีนจะใช้งานใน filtering bypassing coupling timing และในการลดสัญญาณรบกวน



(ก) ตัวเก็บประจุแบบแทนทาลัม



(ข) ตัวเก็บประจุแบบโพลิสทีรีน

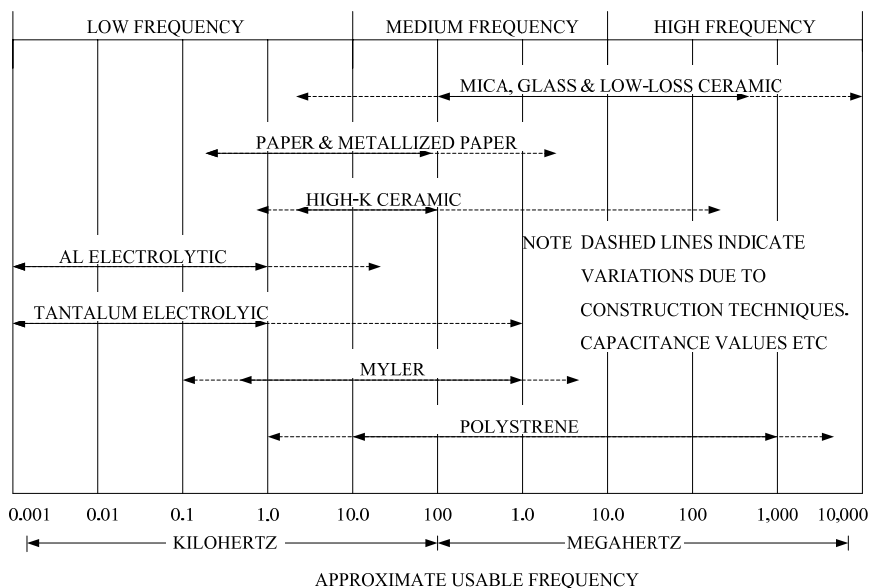


(ค) ตัวเก็บประจุแบบไมลาร์ โพลิสเตอร์



(ง) ตัวเก็บประจุแบบอลูมิเนียม อิเล็กโตรไลติก

รูปที่ 6 ตัวเก็บประจุชนิดต่างๆ



รูปที่ 7 การประมาณย่านความถี่ใช้งานของตัวเก็บประจุชนิดต่างๆ

การออกแบบความหนาแน่นเส้นแรงแม่เหล็กเพื่อตรวจสอบการอิ่มตัวของแกนแม่เหล็ก

ในขั้นตอนนี้จะเป็นการออกแบบความหนาแน่นเส้นแรงแม่เหล็ก (magnetic flux density: B) เพื่อตรวจสอบการอิ่มตัวของแกนแม่เหล็กที่ใช้ในงานวิจัย โดยในงานวิจัยนี้จะมีการใช้แกนแม่เหล็ก 2 ชนิด คือแกนแม่เหล็กชนิดเฟอร์ไรต์ และแกนแม่เหล็กชนิดผลโลหะ ซึ่งวิธีในการหาค่าการอิ่มตัวของแกนแม่เหล็กของทั้งสองแกนแม่เหล็กจะมีวิธีเหมือนกัน

ในการหาค่าความหนาแน่นเส้นแรงแม่เหล็กสูงสุด $B_{\max}$ ในแกนแม่เหล็กนั้น เกิดขึ้นจากผลรวมของค่าความหนาแน่นเส้นแรงแม่เหล็ก B_{DC} , B_{AC} และ B_r ได้ดังสมการที่ (1)

$$B_{\max} = B_{DC} + B_{AC} + B_r < B_{Sat} \quad (1)$$

- เมื่อ B_{Sat} คือ ค่าความหนาแน่นเส้นแรงแม่เหล็กที่จุดอิ่มตัวของแกนเหล็กซึ่งจะต้องมีค่าสูงกว่า $B_{\max}$ ซึ่งเป็นค่าสูงสุดที่ใช้งาน
- B_{DC} คือ ความหนาแน่นเส้นแรงแม่เหล็กที่เกิดจากไฟฟ้ากระแสตรง I_{pa}
- B_{AC} คือ ความหนาแน่นเส้นแรงแม่เหล็กที่เปลี่ยนแปลงในช่วง ΔI_{pp}
- B_r คือ ความหนาแน่นเส้นแรงแม่เหล็กเมื่อค่าความเข้มสนามแม่เหล็ก H มีค่าเป็นศูนย์ (remnant flux density: B_r) โดยที่ B_r จะดูจากข้อมูลจากผู้ผลิต

สมการที่ (1) จะแสดงเงื่อนไขสำคัญในการออกแบบเพื่อหาค่าความหนาแน่นเส้นแรงแม่เหล็กสูงสุด ซึ่งค่าความหนาแน่นเส้นแรงแม่เหล็กสูงสุดในแกนต่างๆ จะต้องไม่เกินค่า B_{Sat} ที่

จุดอิ่มตัว เนื่องจากที่จุดนี้ไม่ว่าจะเพิ่มกระแสไฟฟ้า I_{Lm} มากเท่าไรก็จะไม่ทำให้ค่า B เพิ่มขึ้นอีก ทำให้พลังงานไฟฟ้าที่จ่ายให้กับวงจรแม่เหล็กจะมีแต่ความสูญเสีย โดยที่ค่า B_{Sat} และ B_r นี้ ผู้ผลิตแกนแม่เหล็กจะให้มาดังในรูปที่ 8 และดังใน (ผนวก ข) ในขณะที่ค่า B_{DC} และ B_{AC} จะคำนวณได้จากสมการที่ (2) และ (3) ในขณะที่ค่า B_{rg} จะมีค่าต่ำลงเมื่อมีระยะความกว้างของช่องว่างอากาศเพิ่มขึ้น ดังนั้นเพื่อให้่ายต่อการคำนวณจะใช้ค่า B_r ที่ผู้ผลิตให้มา ถ้าค่า B_r ที่ใช้ในการคำนวณหา ค่า B_{max} นั้น ไม่ทำให้ค่าความหนาแน่นเส้นแรงแม่เหล็กเกินค่าของ B_{Sat} ดังแสดงในสมการที่ (1) ก็จะสามารถ กล่าวได้ว่าแกนสารแม่เหล็กนั้นไม่เกิดการอิ่มตัว

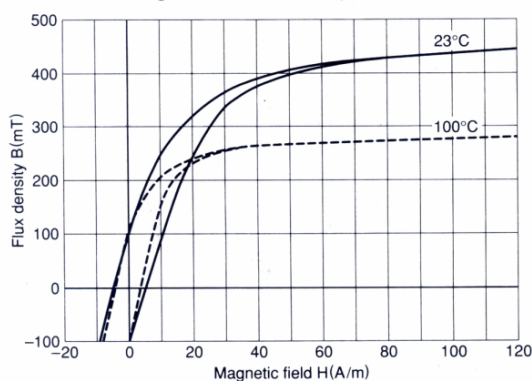
การหาค่าความหนาแน่นเส้นแรงแม่เหล็กที่เกิดจากไฟฟ้ากระแสสลับ จะหาได้จากสมการที่ (2) และในการหาค่าความหนาแน่นเส้นแรงแม่เหล็กที่เกิดจากไฟฟ้ากระแสตรง จะหาได้จากสมการที่ (3)

$$B_{AC} = \frac{V_{in} t_{on}}{N_p A_c} \quad (2)$$

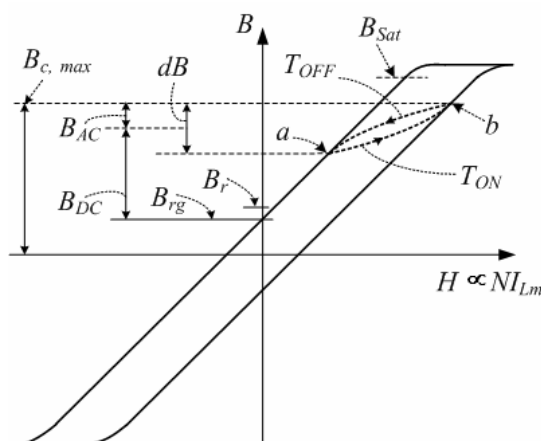
$$B_{DC} = \frac{\mu_0 N_p I_{in}}{l_g} \quad (3)$$

เมื่อ A_c คือ พื้นที่ของแกนแม่เหล็ก (มม.²) สามารถดูได้จากข้อมูลจากผู้ผลิต
 l_g คือ ระยะช่องอากาศน้อยที่สุดที่แกนไม่อยู่ในสภาวะอิ่มตัว

MA070 Static magnetization curves(Typical)



รูปที่ 8 กราฟ B-H จริงจากผู้ผลิตแกนเหล็กใน (ผนวก ก)



รูปที่ 9 กราฟ B-H เมื่อมีช่องว่างอากาศ

จากรูปที่ 9 จะแสดงกราฟ B-H เมื่อใส่ช่องว่างอากาศ ในการใส่ช่องว่างอากาศนั้นจะทำให้ค่าความซึมซาบแม่เหล็กมีค่าลดลง และค่า B_r ลดลงด้วย โดย B_{rg} ก็คือ ค่าเส้นแรงแม่เหล็กตกค้างเมื่อใส่ช่องว่างอากาศ ในขณะที่การทำงานในสภาวะอยู่ตัวของแกนสารแม่เหล็กในโหมดกระแสไฟฟ้าต่อเนื่อง อธิบายได้ว่า เมื่อสวิตช์นำกระแสไฟฟ้าค่าความหนาแน่นเส้นแรงแม่เหล็กจะมีค่า B_d (ค่าที่จุด a) ดังรูปที่ 9 และค่า B จะเพิ่มขึ้นจากจุด a ไปยังจุด b เนื่องจากการเก็บพลังงานในแกนเหล็กและค่า B จะมีค่าสูงสุดที่ B_{max} จากนั้นเมื่อสวิตช์หยุดนำกระแสไฟฟ้าค่า B_{max} จะลดลงมาอยู่ที่ค่า B_d หรือจากตำแหน่ง b กลับมาที่จุด a ตามเดิมเนื่องจากช่วงนี้แกนเหล็กมีการคายพลังงาน และจะเห็นได้ว่ายังคงมีค่าความหนาแน่นเส้นแรงแม่เหล็กอยู่ในแกน เนื่องมาจากผลขององค์ประกอบไฟตรง ซึ่งเป็นลักษณะของวงจรในโหมดกระแสไฟฟ้าต่อเนื่อง ดังรูป