

บทที่ 4

ผลการจำลองการกระจายตัวของสนามแม่เหล็ก

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อคำนวณสนามแม่เหล็กในสภาวะเกิดความผิดพร่องของหม้อแปลงจำหน่าย ดังนั้นจึงมีความจำเป็นที่ต้องศึกษาถึงการกระจายตัวของค่าศักย์เชิงเวกเตอร์แม่เหล็กและสนามแม่เหล็ก ณ ตำแหน่งต่าง ๆ ภายในหม้อแปลงจำหน่าย ในบทที่ 4 นี้จึงได้กล่าวถึงค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่ใช้ในการจำลองผลและอธิบายถึงโปรแกรมจำลองผลด้วยระเบียบวิธีไฟไนท์อีลิเมนต์ โดยโปรแกรมทั้งหมดถูกออกแบบให้ทำงานบนพื้นฐานการใช้งานของ MATLABTM

1 โครงสร้างของโปรแกรมจำลองผลสนามแม่เหล็ก

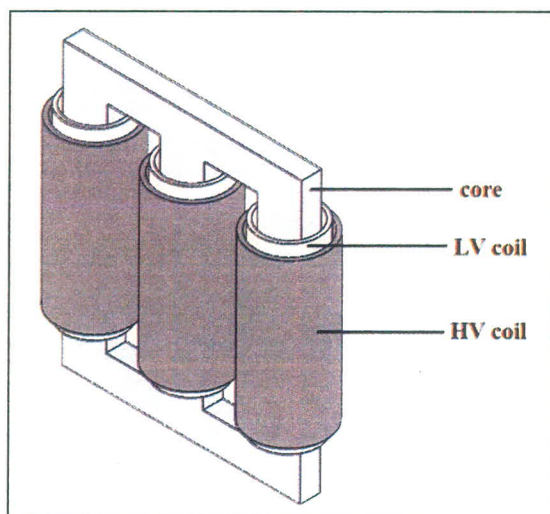
การคำนวณค่าสนามแม่เหล็กของหม้อแปลงจำหน่ายด้วยระเบียบวิธีไฟไนท์อีลิเมนต์สามารถดำเนินการคำนวณตามขั้นตอนภายในโครงสร้างของโปรแกรมจำลองผลที่จะได้กล่าวถึงต่อไป งานวิจัยนี้ได้ดำเนินการสร้างกริดด้วยโปรแกรมสำเร็จรูปเพื่อนำข้อมูลของโหนดและอีลิเมนต์มาพัฒนาต่อด้วยโปรแกรม MATLABTM ที่ประดิษฐ์ขึ้นเอง โดยอธิบายถึงโครงสร้างของโปรแกรมจำลองผล ดังนี้

- โปรแกรมการสร้างกริด

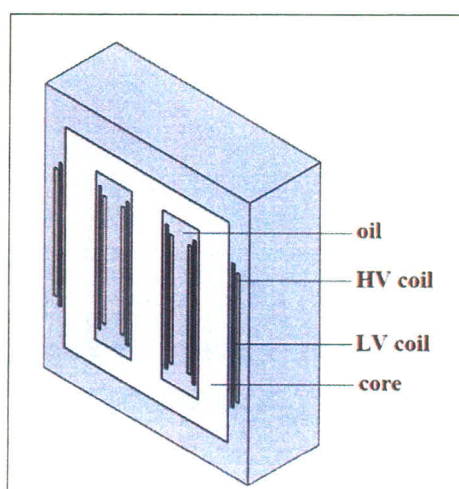
โปรแกรมการสร้างกริดในงานวิจัยนี้ สำหรับระเบียบวิธีไฟไนท์อีลิเมนต์จะทำการสร้างกริดจากโปรแกรม Solid work โดยสามารถเลือกความละเอียดของกริดให้เหมาะสมกับระบบได้ จากนั้นจึงนำข้อมูลของการสร้างกริดที่จำเป็นมาพัฒนาเป็นโปรแกรมไฟไนท์อีลิเมนต์ต่อไป ข้อมูลที่ได้จากการสร้างกริดแบบ 3 มิติได้แก่ ข้อมูลบอกระยะพิกัดในแนวแกน x y และ z ข้อมูลบอกหมายเลขโหนด ข้อมูลบอกหมายเลขอีลิเมนต์ ข้อมูลบอกหมายเลขที่แบ่งชนิดของวัสดุในระบบ และข้อมูลบอกหมายเลขของขอบเขตชิ้นงานเพื่อกำหนดเงื่อนไขขอบเขตโดยในงานวิจัยนี้ได้นำโปรแกรม Solid work มาเพื่อช่วยในการสร้างกริดเช่นเดียวกับ ส่วนขั้นตอนของระเบียบวิธีไฟไนท์อีลิเมนต์อื่น ๆ อันได้แก่ การสร้างสมการของแต่ละอีลิเมนต์ การสร้างเมทริกซ์ระบบสมการรวม การกำหนดเงื่อนไขค่าขอบเขต การแก้สมการเชิงเส้นเพื่อหาค่าผลเฉลยและการคำนวณตัวแปรอื่นที่ต้องการนั้น จะทำการพัฒนาด้วยโปรแกรม MATLABTM ที่ประดิษฐ์ขึ้นเองโดยผู้ทำการวิจัยเพื่อจำลองผลต่อไป

สำหรับวิธีไฟไนท์อีลิเมนต์ในงานวิจัยนี้ได้แบ่งปริมาตรที่ศึกษาออกเป็นปริมาตรย่อย ๆ ได้แก่ ปริมาตรที่เป็นขดลวดตัวนำ แกนเหล็ก และปริมาตรที่เป็นน้ำมันหม้อแปลง

ในโปรแกรม Solid work ที่ใช้ในการสร้างกริดนั้น ได้กำหนดปริมาตรของปัญหาให้มีความกว้าง 0.85 เมตร ยาว 1.23 เมตร และความสูง 1.465 เมตรโดยในรูปที่ 11 จะแสดงเฉพาะส่วนที่เป็นแกนเหล็กและขดลวดตัวนำของหม้อแปลงจำหน่าย ในรูปที่ 12 จะแสดงภาพตัดขวางบริเวณตรงกลางตามแนวแกนเหล็กของหม้อแปลงจำหน่าย

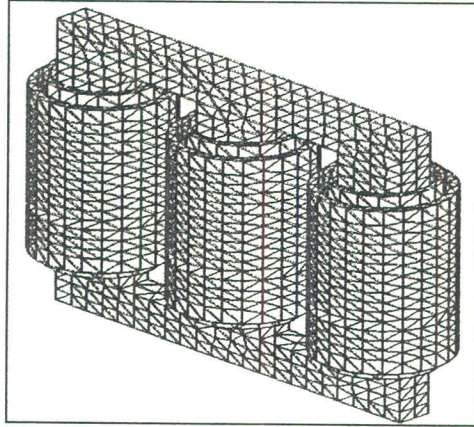


รูปที่ 11 แสดงแกนเหล็กและขดลวดตัวนำของหม้อแปลงจำหน่ายแบบ 3 มิติ



รูปที่ 12 ภาพตัดขวางบริเวณตรงกลางตามแนวแกนเหล็กของหม้อแปลงจำหน่าย

หลังจากแบ่งปริมาตรของปัญหาเป็นหมวดหมู่แล้ว จึงสั่งให้โปรแกรม Solid work สร้างกริดให้โดยอัตโนมัติ โดยเลือกกริดแบบทรงสี่หน้าสี่จุดต่อ ซึ่งสามารถแสดงภาพการสร้างกริดของปัญหาการกระจายตัวของสนามแม่เหล็กในหม้อแปลงจำหน่ายขนาด 400 kVA ได้ดังรูปที่ 13



รูปที่ 13 ลักษณะการสร้างกริดแบบ 3 มิติของหม้อแปลงจำหน่าย

2 ผลการจำลองสนามแม่เหล็กของหม้อแปลง

สำหรับหัวข้อนี้จะนำเสนอผลการจำลองการกระจายค่าสนามแม่เหล็กของหม้อแปลงจำหน่ายด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์อีลิเมนต์ โดยจะทำการจำลองการกระจายค่าสนามแม่เหล็กในหม้อแปลงจำหน่ายขนาด 400 kVA โดยจะแยกการจำลองออกเป็น 2 กรณีเพื่อให้เห็นถึงความแตกต่างของลักษณะของการกระจายค่าสนามแม่เหล็กที่เปลี่ยนแปลงไปเมื่อหม้อแปลงเกิดความผิดปกติ ดังนี้

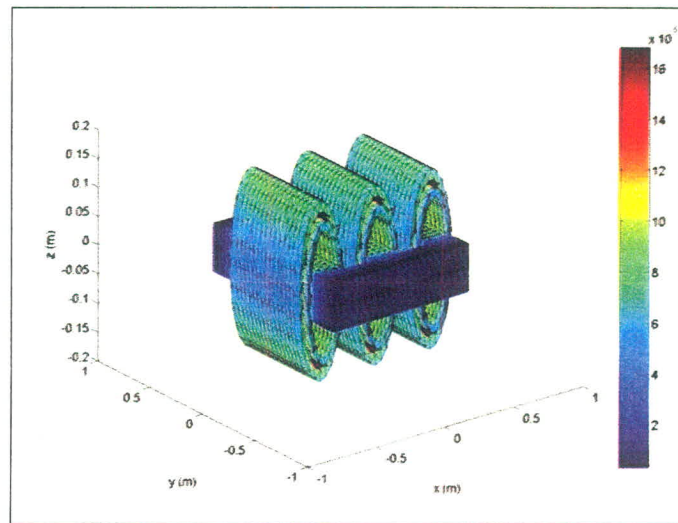
2.1 กรณีพิจารณาหม้อแปลงจ่ายโหลดปกติ

ผลการจำลองสนามแม่เหล็กของหม้อแปลงจำหน่ายขนาด 400 kVA ในสภาวะจ่ายโหลดปกติ (ซึ่งแต่ละเฟสจะมีขนาดโหลดเท่ากันเท่ากับ 80% ของค่าพิกัด ทั้งนี้เนื่องจากในสภาวะปกติหม้อแปลงจะจ่ายโหลดที่ประมาณ 80% ของค่าพิกัด) จะแสดงได้ดังนี้

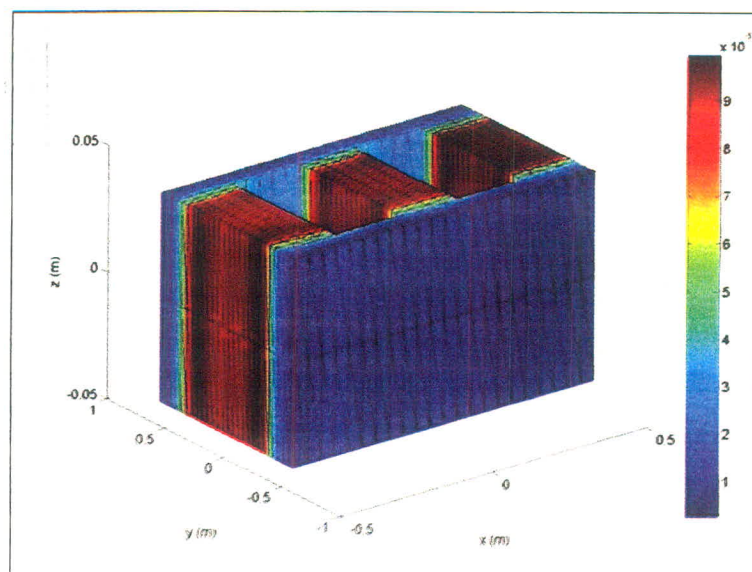
- การกระจายตัวของศักย์เชิงเวกเตอร์แม่เหล็กที่บริเวณขดลวดของหม้อแปลงในสภาวะจ่ายโหลดปกติ แสดงได้ด้วยรูปที่ 14

- การกระจายตัวของศักย์เชิงเวกเตอร์แม่เหล็กที่บริเวณแกนเหล็กของหม้อแปลงในสภาวะจ่ายโหลดปกติ แสดงได้ด้วยรูปที่ 15

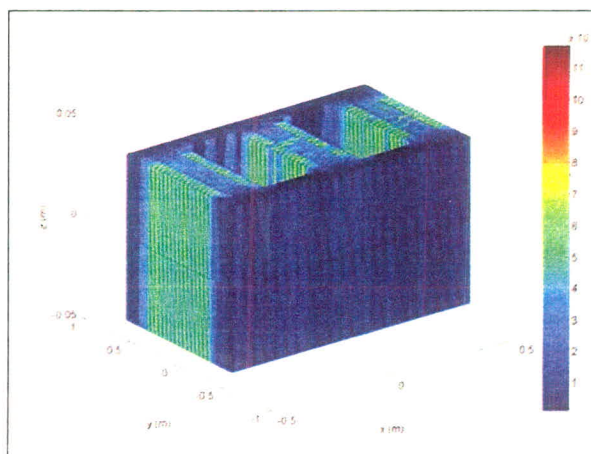
- การกระจายตัวของสนามแม่เหล็กที่บริเวณแกนเหล็กของหม้อแปลงในสภาวะจ่ายโหลดสมดุลปกติ แสดงได้ด้วยรูปที่ 16



รูปที่ 14 การกระจายตัวของศักย์เชิงเวกเตอร์แม่เหล็ก (Wb/m) ที่บริเวณขดลวดของหม้อแปลงในสถานะจ่ายโหลดปกติ



รูปที่ 15 การกระจายตัวของศักย์เชิงเวกเตอร์แม่เหล็ก (Wb/m) ที่บริเวณแกนเหล็กของหม้อแปลงในสถานะจ่ายโหลดปกติ



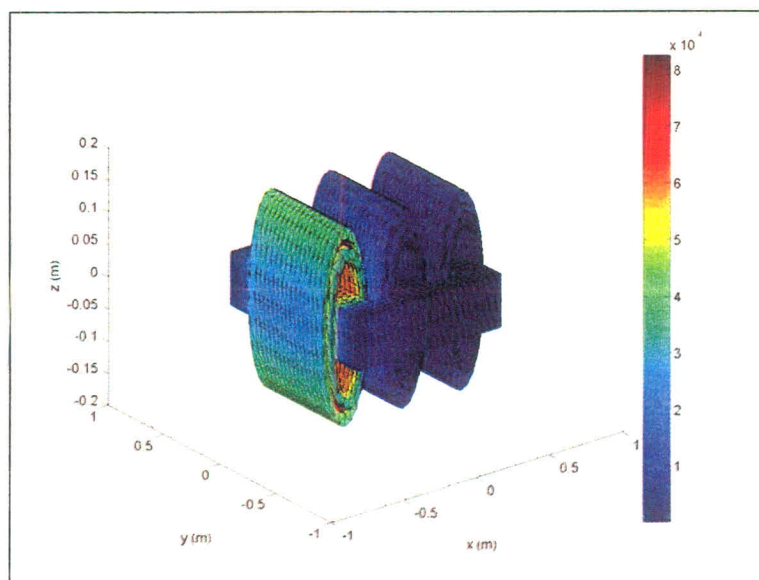
รูปที่ 16 การกระจายตัวของสนามแม่เหล็ก (T) ที่บริเวณแกนเหล็กของหม้อแปลงในสภาวะจ่ายโหลดปกติ

จากผลการจำลองเมื่อพิจารณากรณีจ่ายโหลดปกติปรากฏพบว่า ค่าศักย์เชิงเวกเตอร์แม่เหล็กที่แสดงในรูปที่ 14 และ 15 นั้น จะมีค่าสูงในบริเวณที่เป็นขดลวดตัวนำของหม้อแปลง และผลของค่าศักย์เชิงเวกเตอร์แม่เหล็กจากขดลวดจะเหนี่ยวนำให้ค่าศักย์เชิงเวกเตอร์แม่เหล็กที่แกนเหล็กมีค่าสูงขึ้นด้วยโดยเฉพาะในรูปที่ 15 และจะเห็นได้อย่างชัดเจนว่า ถ้ากระแสไหลเท่ากันทุกเฟสเนื่องจากจ่ายโหลดสมดุล บริเวณแกนเหล็กนั้นจะมีการกระจายตัวของศักย์เชิงเวกเตอร์แม่เหล็กที่สม่ำเสมอและมีความสมมาตร ซึ่งพิจารณาได้จากความสม่ำเสมอของสีบริเวณแกนเหล็ก ส่วนในรูปที่ 16 เป็นการแสดงการกระจายตัวของสนามแม่เหล็กที่บริเวณแกนเหล็ก ซึ่งจะพบว่าลักษณะของสนามแม่เหล็กที่เกิดขึ้นในแกนเหล็กนั้นมีค่าสูงบริเวณที่มีขดลวดตัวนำล้อมรอบ โดยมีความสอดคล้องกับค่าศักย์เชิงเวกเตอร์แม่เหล็ก

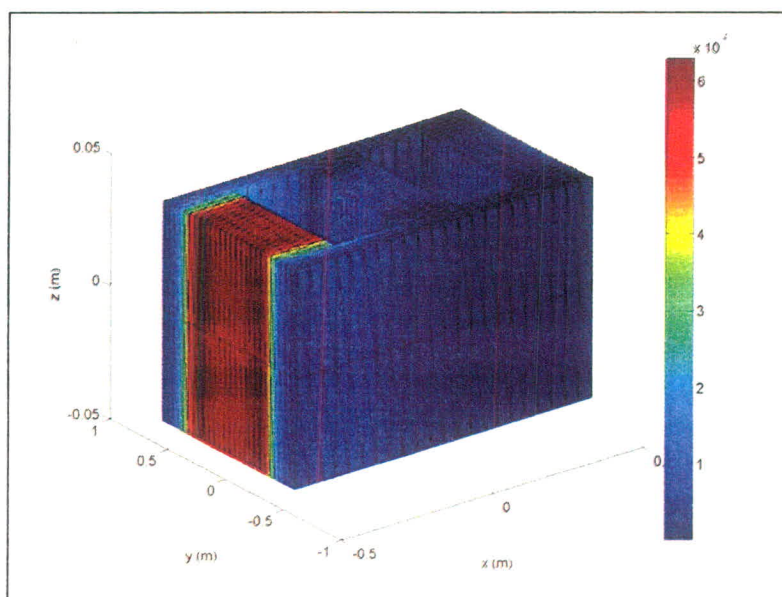
2.2 กรณีพิจารณาหม้อแปลงเกิดความผิดปกติ

ผลการจำลองสนามแม่เหล็กของหม้อแปลงจำหน่ายขนาด 400 kVA ในสภาวะเกิดความผิดปกติ (ซึ่งในงานวิจัยนี้พิจารณาการเกิดความผิดปกติแบบเฟสเดียวลงดิน โดยมีค่ากระแสในเฟสที่เกิดความผิดปกติมีค่า 3.23 เท่าของค่าปกติ) จะแสดงผลการจำลองได้ดังนี้

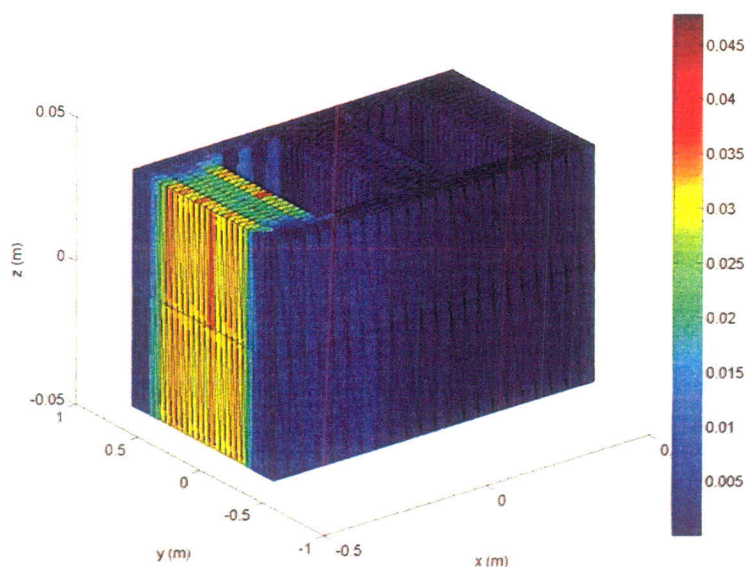
- การกระจายตัวของศักย์เชิงเวกเตอร์แม่เหล็กที่บริเวณขดลวดของหม้อแปลงในสภาวะเกิดความผิดปกติ แสดงได้ด้วยรูปที่ 17
- การกระจายตัวของศักย์เชิงเวกเตอร์แม่เหล็กที่บริเวณแกนเหล็กของหม้อแปลงในสภาวะเกิดความผิดปกติ แสดงได้ด้วยรูปที่ 18
- การกระจายตัวของสนามแม่เหล็กที่บริเวณแกนเหล็กของหม้อแปลงในสภาวะเกิดความผิดปกติ แสดงได้ด้วยรูปที่ 19



รูปที่ 17 การกระจายตัวของศักย์เชิงเวกเตอร์แม่เหล็ก (Wb/m) ที่บริเวณขดลวดของหม้อแปลงใน
สภาวะเกิดความผิดปกติ



รูปที่ 18 การกระจายตัวของศักย์เชิงเวกเตอร์แม่เหล็ก (Wb/m) ที่บริเวณแกนเหล็กของหม้อแปลง
ในสภาวะเกิดความผิดปกติ



รูปที่ 19 การกระจายตัวของสนามแม่เหล็ก (T) ที่บริเวณแกนเหล็กของหม้อแปลงในสถานะเกิดความผิดพลาด

ในกรณีสถานะเกิดความผิดพลาดนั้น ในรูปที่ 17 และ 18 ค่าศักย์เชิงเวกเตอร์แม่เหล็กจะมีค่าสูงในบริเวณที่เป็นขดลวดตัวนำของหม้อแปลงและผลของค่าศักย์เชิงเวกเตอร์แม่เหล็กจากขดลวดจะเหนี่ยวนำให้ค่าศักย์เชิงเวกเตอร์แม่เหล็กที่แกนเหล็กมีค่าสูงขึ้นด้วยในรูปที่ 18 จะเห็นได้อย่างชัดเจนว่าเฟสที่เกิดความผิดพลาดจะมีค่าศักย์เชิงเวกเตอร์แม่เหล็กสูงกรณีที่มีหม้อแปลงจ่ายโหลดปกติ เนื่องจากกรณีเกิดความผิดพลาดจะมีกระแสไหลตมาก ส่วนในรูปที่ 19 เป็นการแสดงการกระจายตัวของสนามแม่เหล็กที่บริเวณแกนเหล็ก ซึ่งจะพบว่าลักษณะของสนามแม่เหล็กที่เกิดขึ้นในแกนเหล็กนั้นมีค่าสูงบริเวณที่มีขดลวดตัวนำล้อมรอบ โดยมีความสอดคล้องกับค่าศักย์เชิงเวกเตอร์แม่เหล็ก ซึ่งจะมีค่าสูงที่สุดที่บริเวณที่มีค่าศักย์เวกเตอร์เชิงแม่เหล็กเปลี่ยนแปลงสูงที่สุด

ในบทนี้เป็นการอธิบายโปรแกรมจำลองผลพร้อมจำลองผลเพื่อศึกษาถึงการกระจายตัวของสนามแม่เหล็กในหม้อแปลงจำหน่ายในสถานะจ่ายโหลดปกติและเกิดความผิดพลาด ด้วยระเบียบวิธีไฟไนท์อีลิเมนต์ ที่พัฒนาขึ้นด้วยโปรแกรม MATLABTM ซึ่งโปรแกรมจำลองผลสนามแม่เหล็ก จากผลลัพธ์ที่ได้จากการจำลองผลพบว่า บริเวณขดลวดตัวนำของหม้อแปลงที่จ่ายกระแสให้กับโหลดภายนอก จะมีค่าศักย์เชิงเวกเตอร์แม่เหล็กสูงกว่าบริเวณอื่นๆ และค่าจะสูงที่สุดที่บริเวณที่จ่ายกระแสโหลดสูงสุด บริเวณแกนเหล็กของหม้อแปลงที่มีขดลวดล้อมรอบอยู่ ก็จะถูกเหนี่ยวนำโดยขดลวดตัวนำ ทำให้มีค่าศักย์เชิงเวกเตอร์แม่เหล็กสูงขึ้นตาม ดังนั้นสนามแม่เหล็กบริเวณนั้นก็จะมีค่าสูงกว่าบริเวณอื่นของแกนเหล็กเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงของค่าศักย์เชิงเวกเตอร์แม่เหล็กสูง โดยกรณี

หม้อแปลงจำหน่ายจ่ายโหลดสมดุลจะมีการกระจายตัวของสนามแม่เหล็กเป็นแบบสมมาตร กรณีเกิดความผิดพร่องการกระจายตัวของสนามแม่เหล็กจะมีค่าสูงกว่ากรณีจ่ายโหลดแบบปกติ เนื่องจากเกิดกระแสผิดพร่องที่มีค่ามากกว่ากระแสโหลด