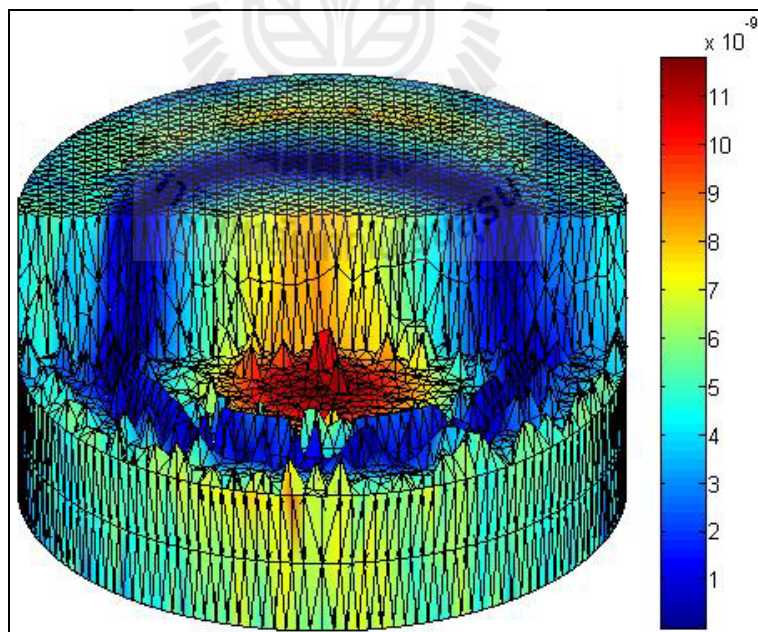
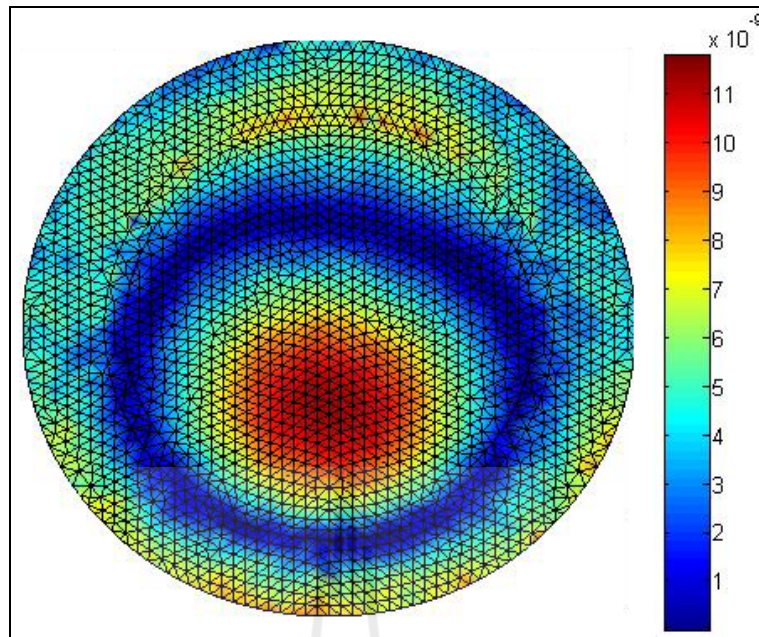


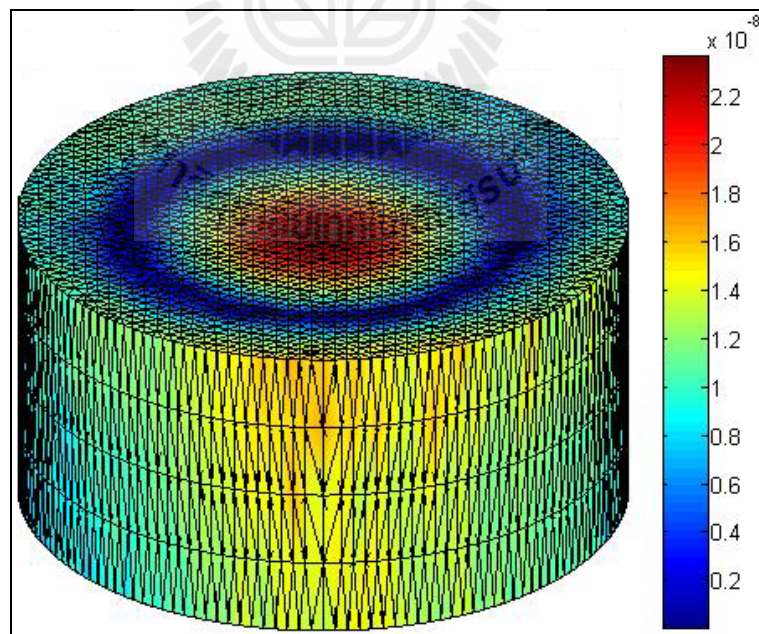
รูปที่ 6.38 การกระจัดเชิงกล (m) ของหม้อแปลงไพโซอิเล็กทริกแบบ 3 มิติที่ความถี่ 80 kHz



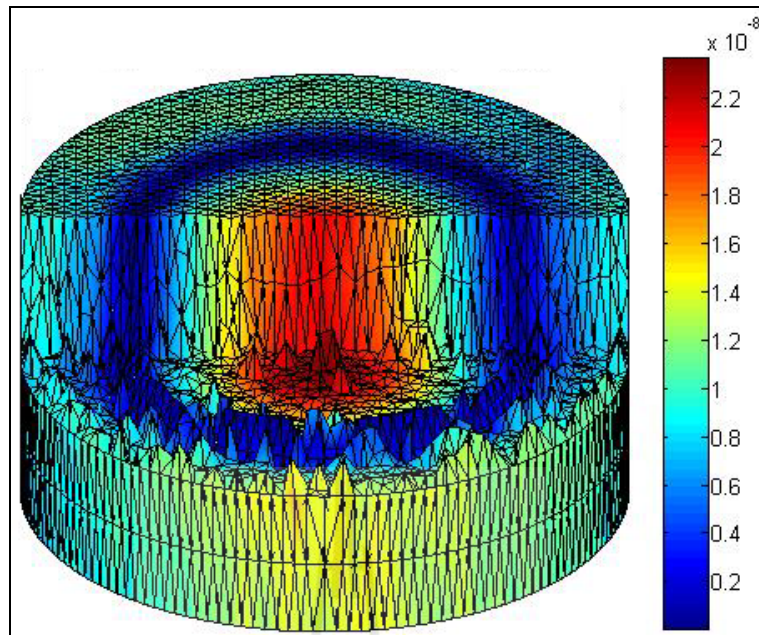
รูปที่ 6.39 ภาพตัดการกระจัดเชิงกล (m) ภายในหม้อแปลงไพโซอิเล็กทริกแบบ 3 มิติ
ที่ความถี่ 80 kHz



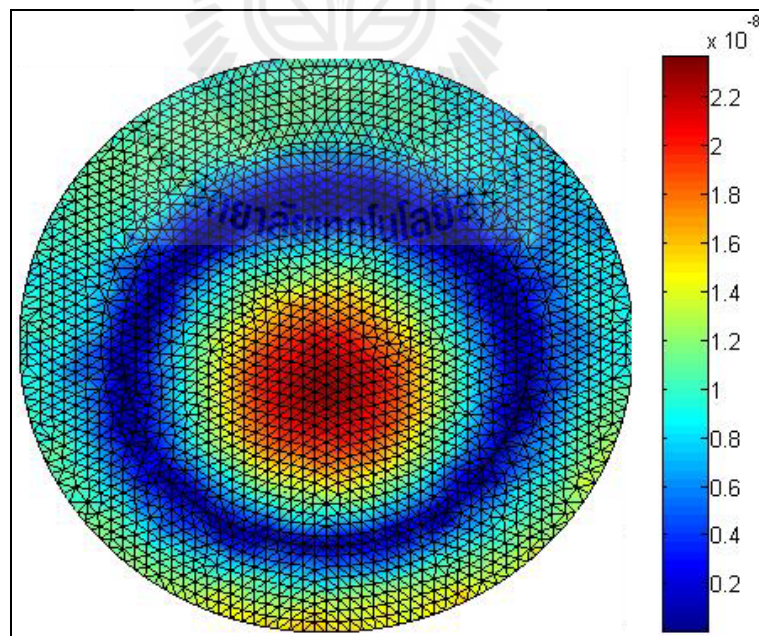
รูปที่ 6.40 การกระจัดเชิงกล (m) ของหม้อแปลงไฟอโซอิเล็กทริกบริเวณข้อต่อขาเข้าและขาออกที่ความถี่ 80 kHz



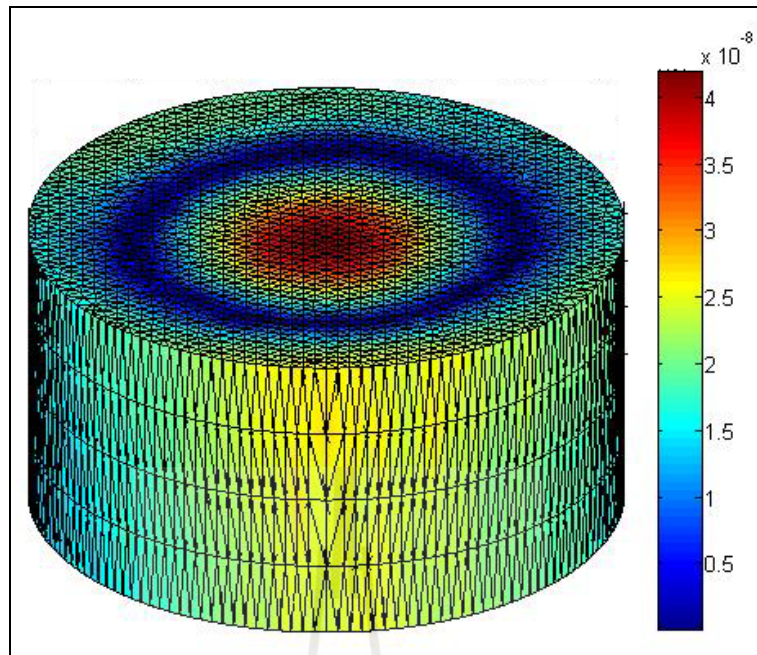
รูปที่ 6.41 การกระจัดเชิงกล (m) ของหม้อแปลงไฟอโซอิเล็กทริกแบบ 3 มิติที่ความถี่ 81 kHz



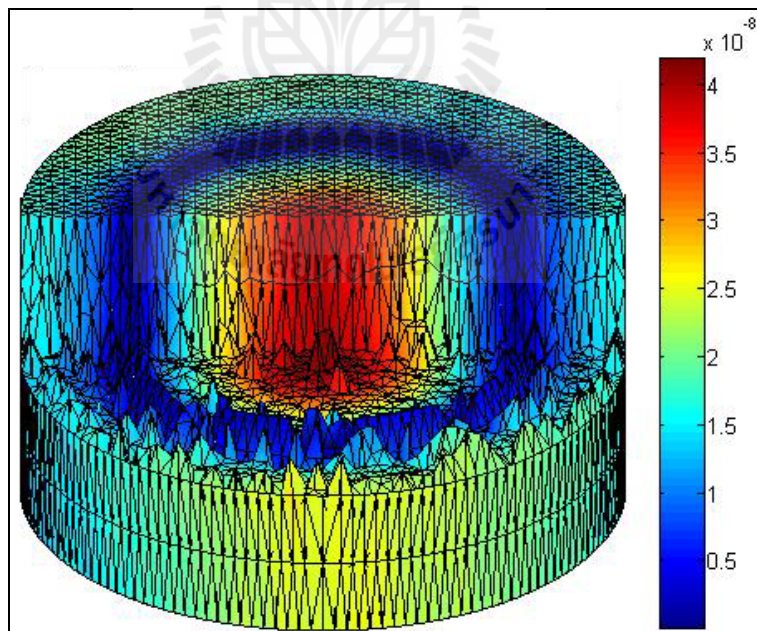
รูปที่ 6.42 ภาพตัดการกระจัดเชิงกล (m) ภายในหม้อแปลงไฟโอโซอิลเล็กทริกแบบ 3 มิติ
ที่ความถี่ 81 kHz



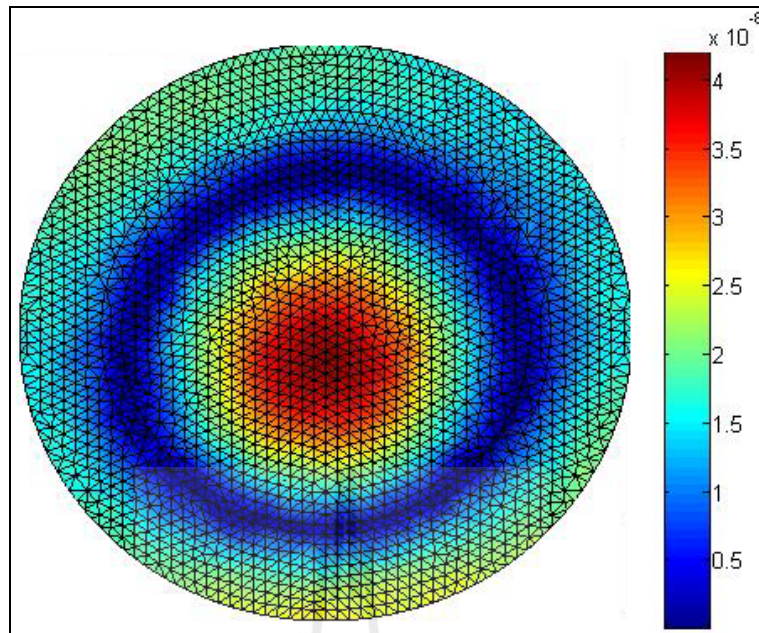
รูปที่ 6.43 การกระจัดเชิงกล (m) ของหม้อแปลงไฟโอโซอิลเล็กทริกบริเวณข้อต่อขาเข้าและ
ขาออกที่ความถี่ 81 kHz



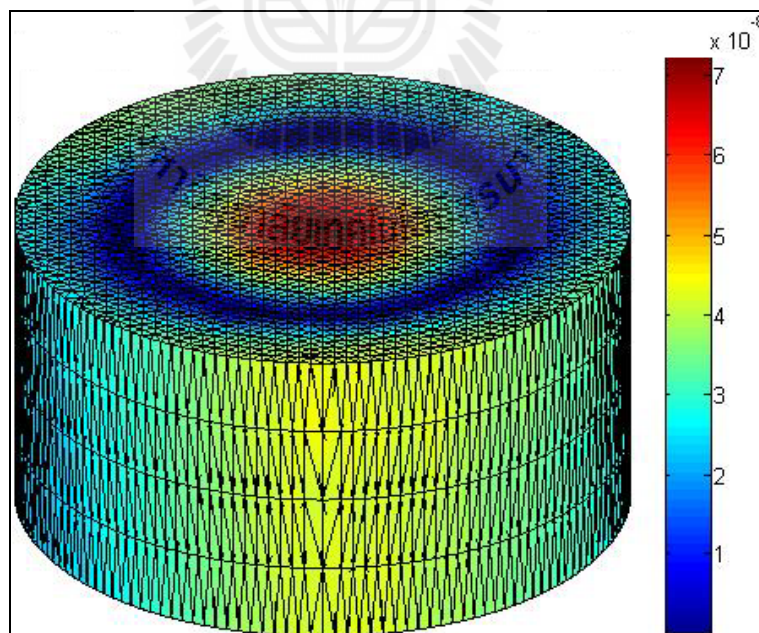
รูปที่ 6.44 การกระจัดเชิงกล (m) ของหม้อแปลงไพโซอิเล็กทริกแบบ 3 มิติที่ความถี่ 82 kHz



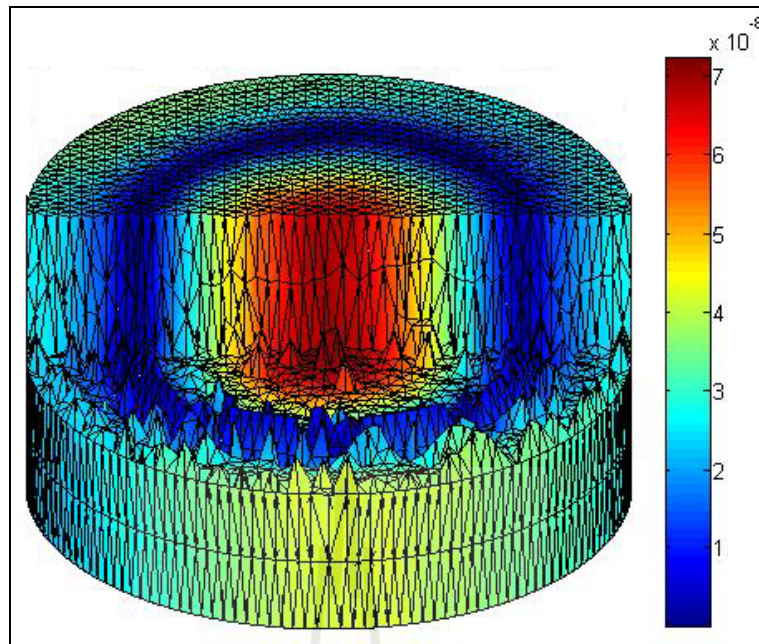
รูปที่ 6.45 ภาพตัดการกระจัดเชิงกล (m) ภายในหม้อแปลงไพโซอิเล็กทริกแบบ 3 มิติที่ความถี่ 82 kHz



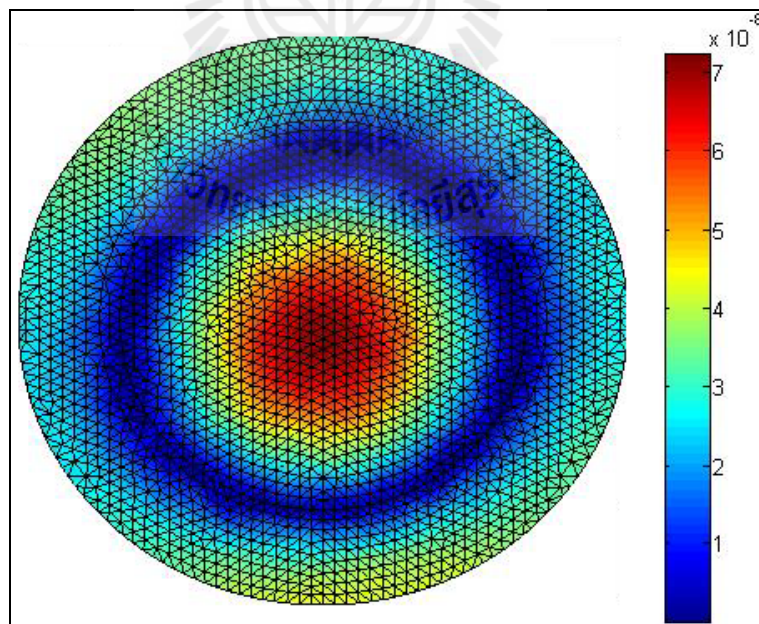
รูปที่ 6.46 การกระจัดเชิงกล (m) ของหม้อแปลงไพโซอิเล็กทริกบริเวณข้อต่อขาเข้าและขาออกที่ความถี่ 82 kHz



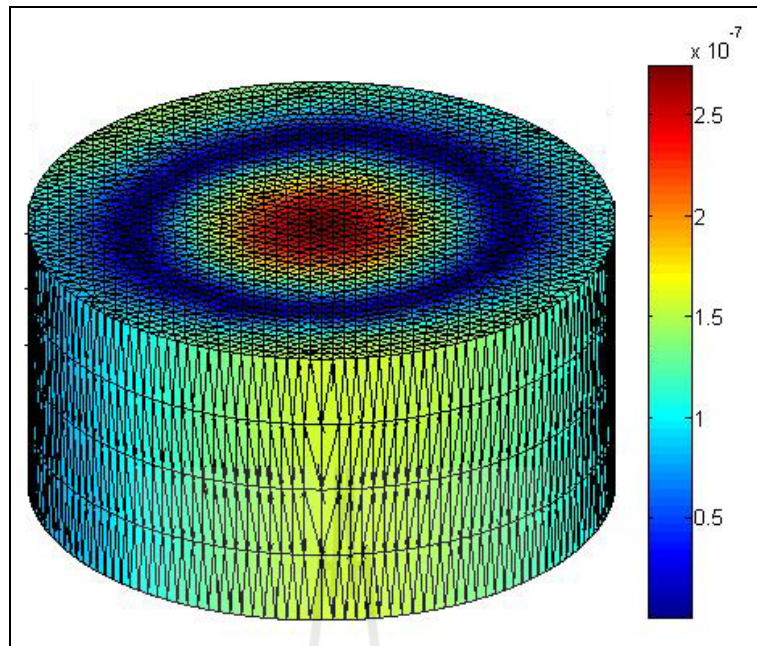
รูปที่ 6.47 การกระจัดเชิงกล (m) ของหม้อแปลงไพโซอิเล็กทริกแบบ 3 มิติที่ความถี่ 83 kHz



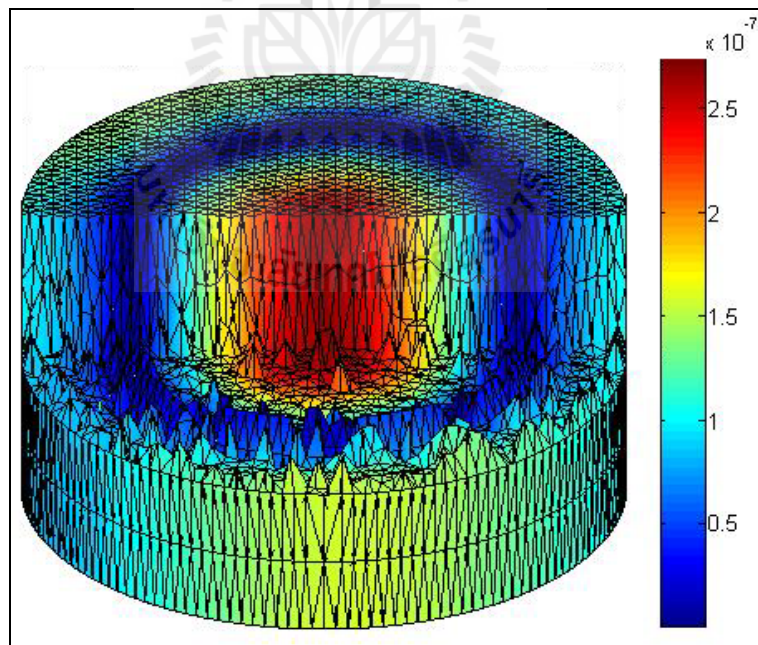
รูปที่ 6.48 ภาพตัดการกระจัดเชิงกล (m) ภายในหม้อแปลงไพเอโซอิเล็กทริกแบบ 3 มิติ
ที่ความถี่ 83 kHz



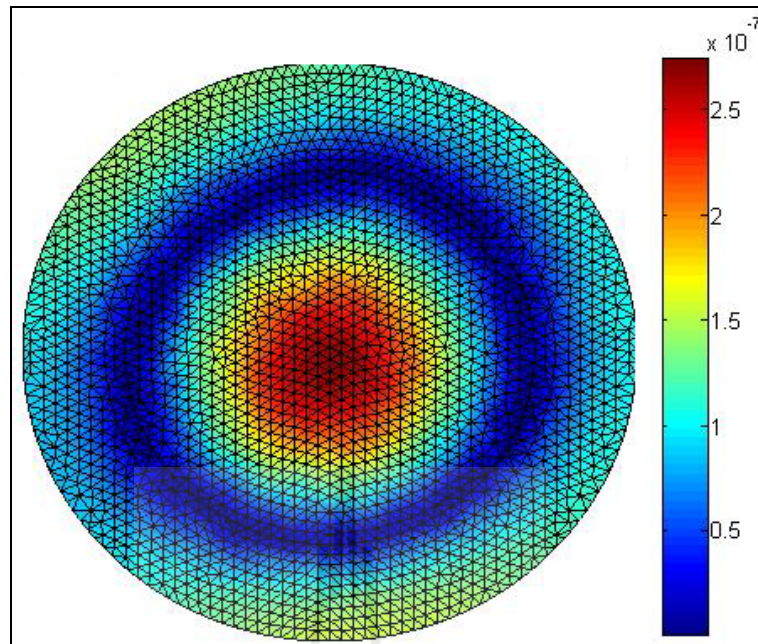
รูปที่ 6.49 การกระจัดเชิงกล (m) ของหม้อแปลงไพเอโซอิเล็กทริกบริเวณหัวอิเล็กโทรดขาเข้าและ
ขาออกที่ความถี่ 83 kHz



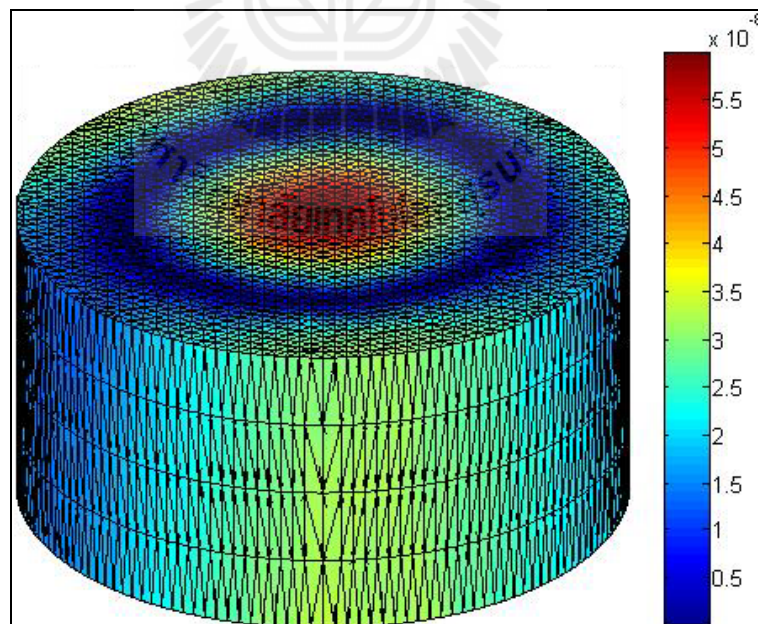
รูปที่ 6.50 การกระจัดเชิงกล (m) ของหม้อแปลงไพโซอิเล็กทริกแบบ 3 มิติที่ความถี่ 84 kHz



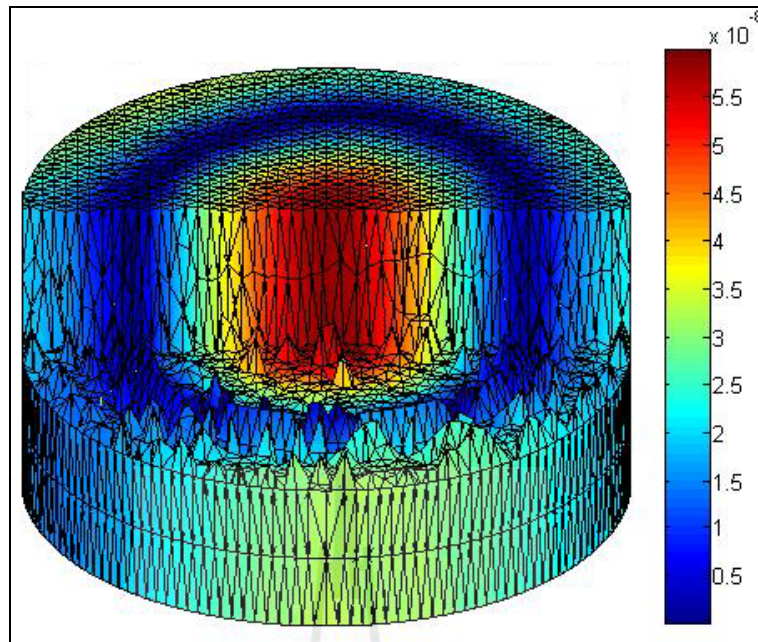
รูปที่ 6.51 ภาพตัดการกระจัดเชิงกล (m) ภายในหม้อแปลงไพโซอิเล็กทริกแบบ 3 มิติที่ความถี่ 84 kHz



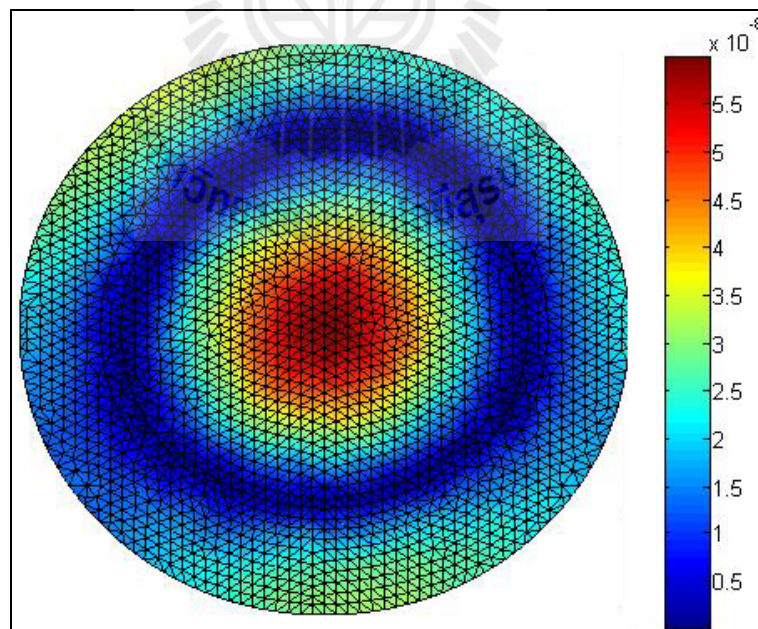
รูปที่ 6.52 การกระจายเชิงกล (m) ของหม้อแปลงไพเอโซอิเล็กทริกบริเวณข้อต่อทรงแปดหน้าและขาออกที่ความถี่ 84 kHz



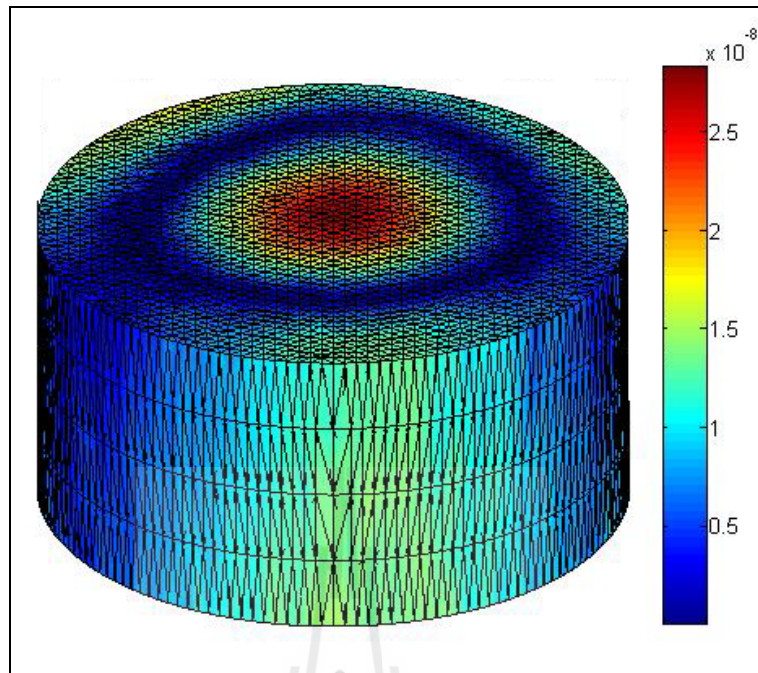
รูปที่ 6.53 การกระจายเชิงกล (m) ของหม้อแปลงไพเอโซอิเล็กทริกแบบ 3 มิติที่ความถี่ 85 kHz



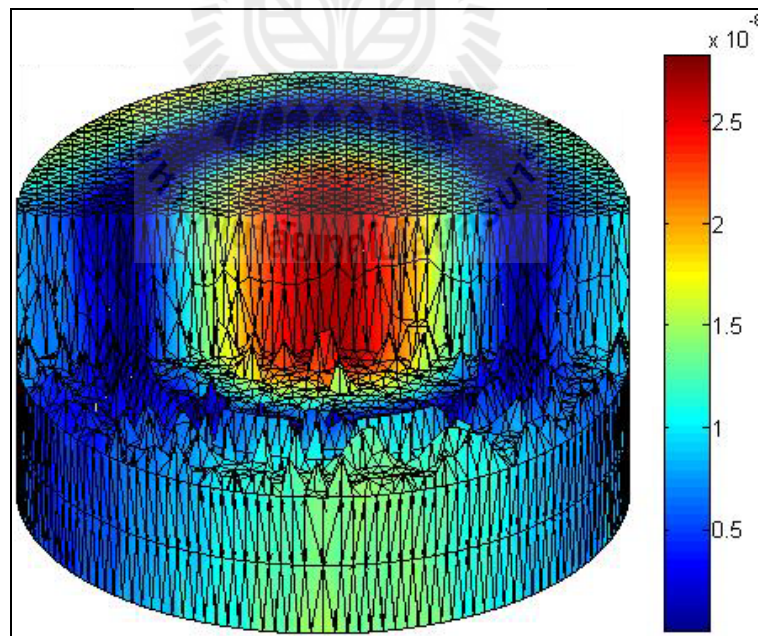
รูปที่ 6.54 ภาพตัดการกระจายเชิงกล (m) ภายในหม้อแปลงไฟโอโซอิเล็กทรอนิกส์แบบ 3 มิติ
ที่ความถี่ 85 kHz



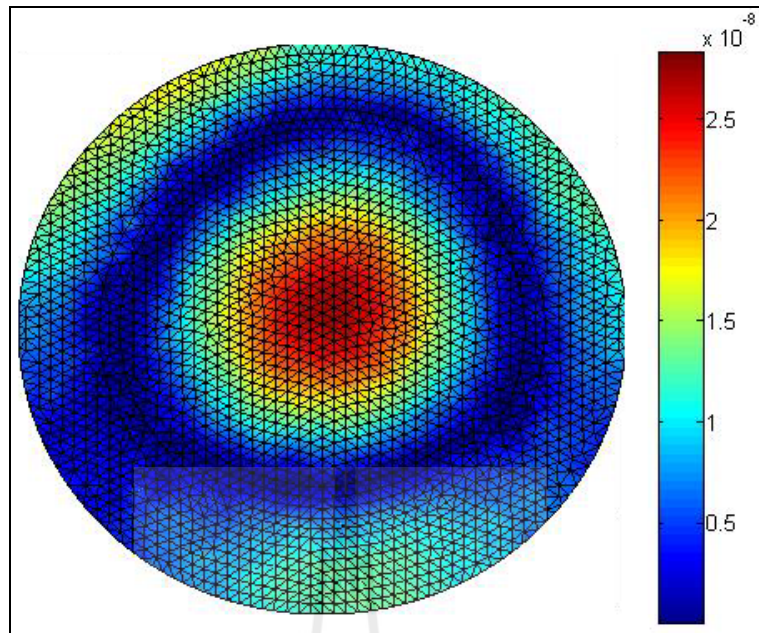
รูปที่ 6.55 การกระจายเชิงกล (m) ของหม้อแปลงไฟโอโซอิเล็กทรอนิกส์บริเวณหัวอิเล็กทรอนิกส์และ
ขาออกที่ความถี่ 85 kHz



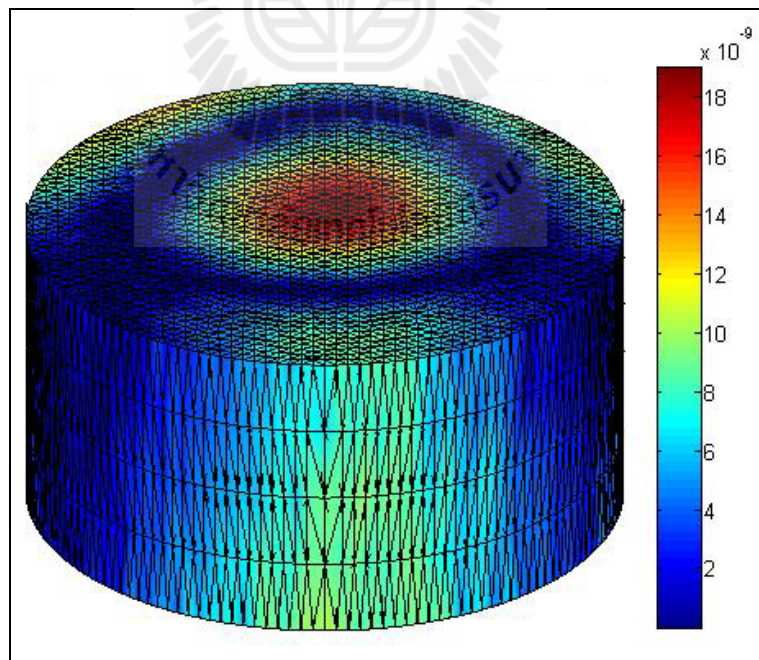
รูปที่ 6.56 การกระจัดเชิงกล (m) ของหม้อแปลงไพโซอิเล็กทริกแบบ 3 มิติที่ความถี่ 86 kHz



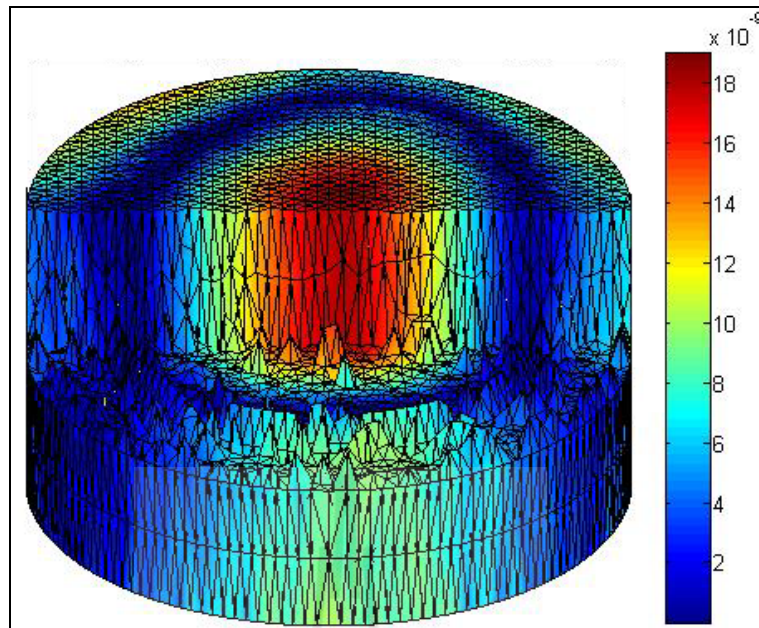
รูปที่ 6.57 ภาพตัดการกระจัดเชิงกล (m) ภายในหม้อแปลงไพโซอิเล็กทริกแบบ 3 มิติที่ความถี่ 86 kHz



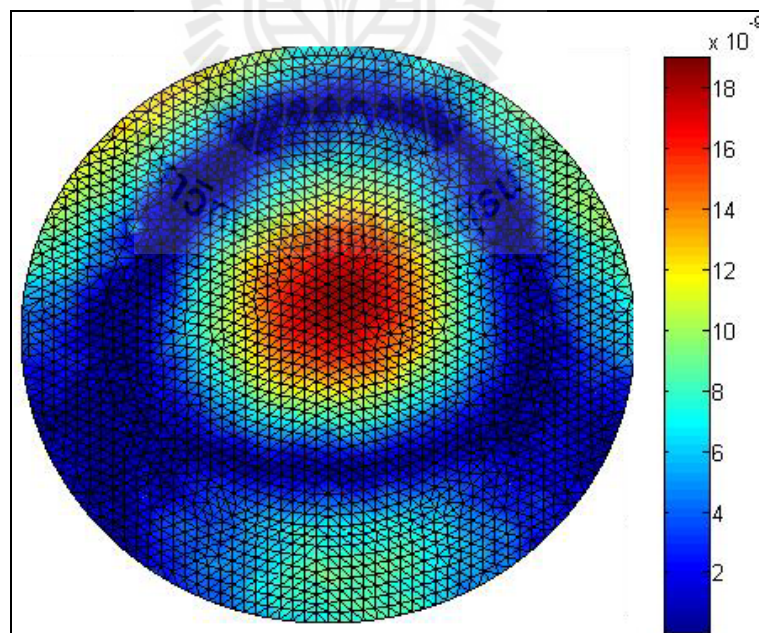
รูปที่ 6.58 การกระจายเชิงกล (m) ของหม้อแปลงไพโซอิเล็กทริกบริเวณข้อต่อขาเข้าและขาออกที่ความถี่ 86 kHz



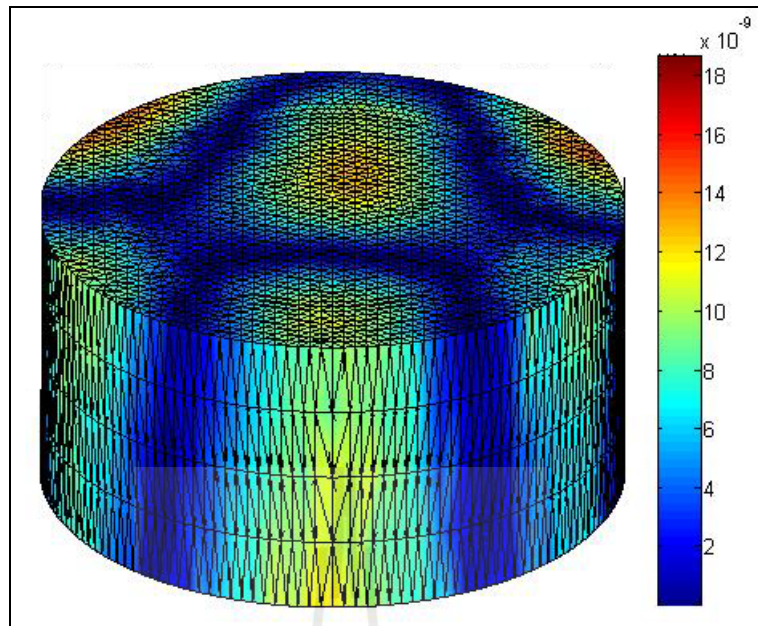
รูปที่ 6.59 การกระจายเชิงกล (m) ของหม้อแปลงไพโซอิเล็กทริกแบบ 3 มิติที่ความถี่ 87 kHz



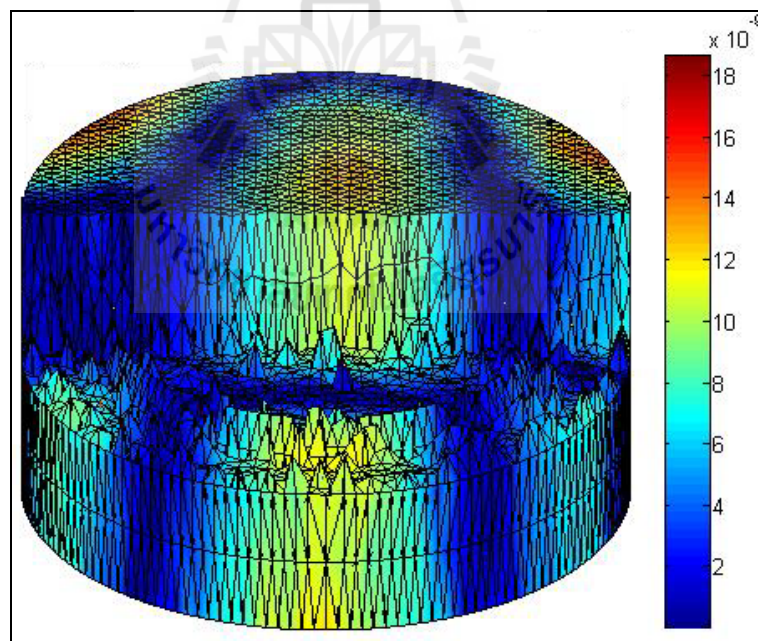
รูปที่ 6.60 ภาพตัดการกระจายเชิงกล (m) ภายในหม้อแปลงไฟโอโซอิลิกทริกแบบ 3 มิติ
ที่ความถี่ 87 kHz



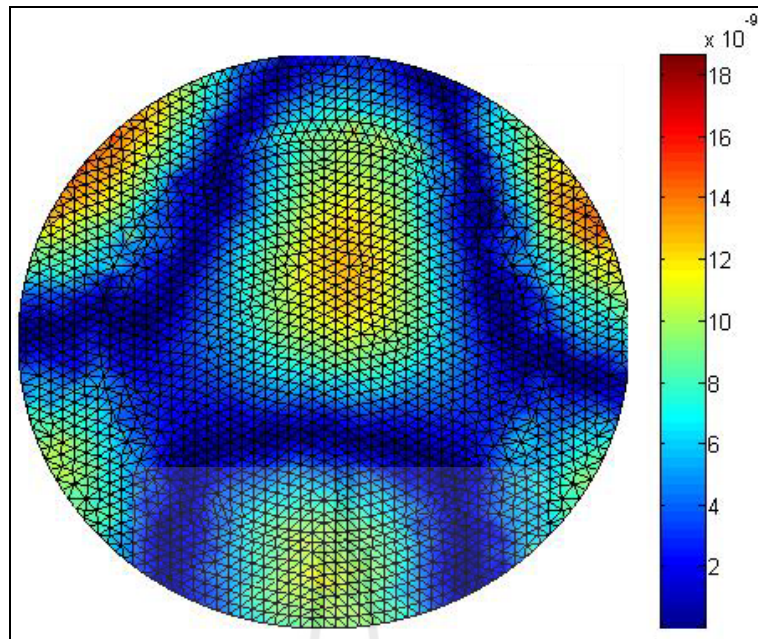
รูปที่ 6.61 การกระจายเชิงกล (m) ของหม้อแปลงไฟโอโซอิลิกทริกบริเวณขั้วเล็กโทรดขาเข้าและ
ขาออกที่ความถี่ 87 kHz



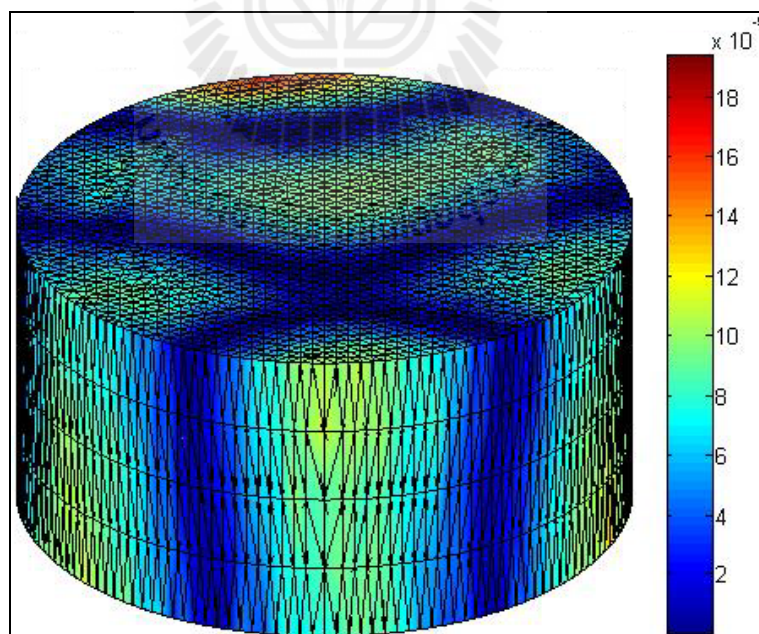
รูปที่ 6.62 การกระจัดเชิงกล (m) ของหม้อแปลงไพโซอิเล็กทริกแบบ 3 มิติที่ความถี่ 88 kHz



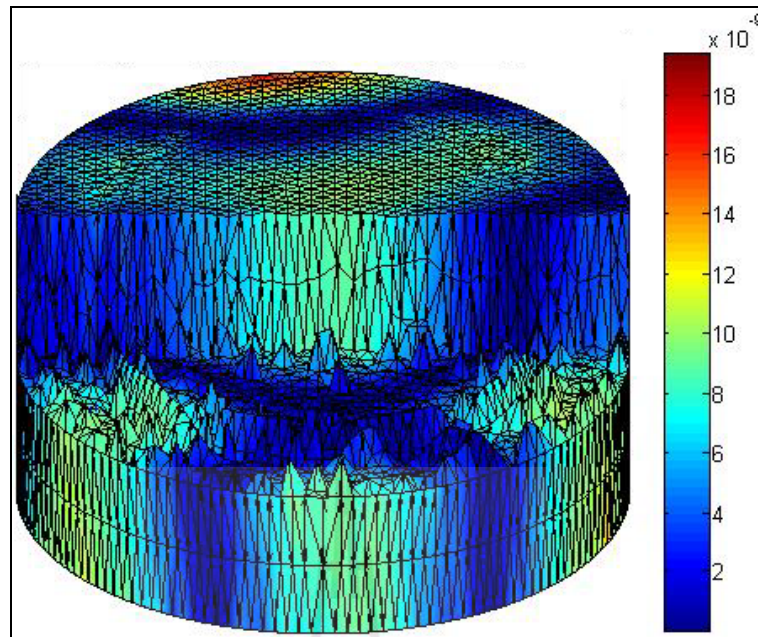
รูปที่ 6.63 ภาพตัดการกระจัดเชิงกล (m) ภายในหม้อแปลงไพโซอิเล็กทริกแบบ 3 มิติที่ความถี่ 88 kHz



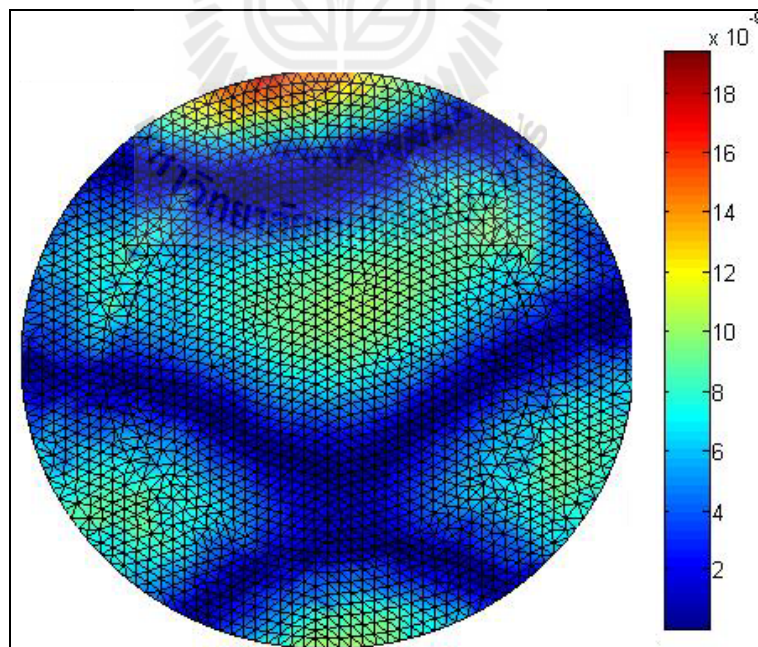
รูปที่ 6.64 การกระจัดเชิงกล (m) ของหม้อแปลงไฟอโซอิเล็กทริกบริเวณขั้วอิเล็กโทรดขาเข้าและขาออกที่ความถี่ 88 kHz



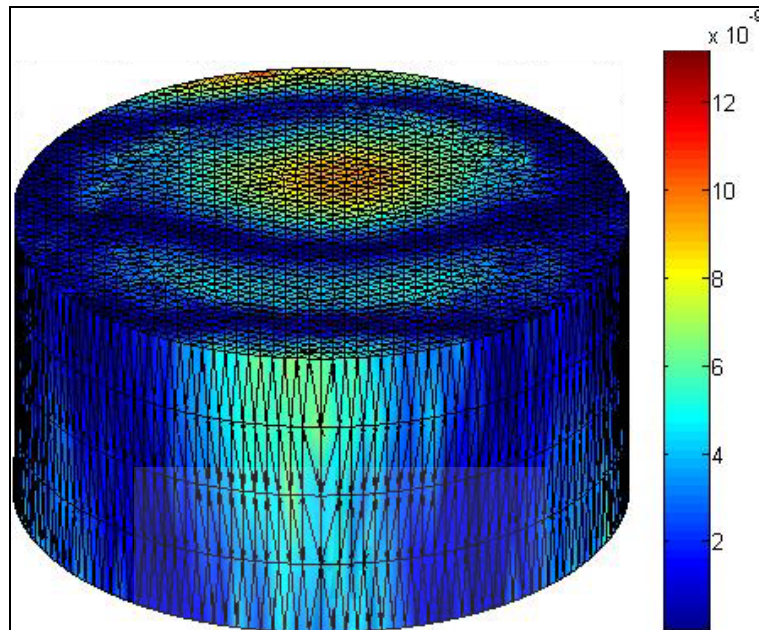
รูปที่ 6.65 การกระจัดเชิงกล (m) ของหม้อแปลงไฟอโซอิเล็กทริกแบบ 3 มิติที่ความถี่ 89 kHz



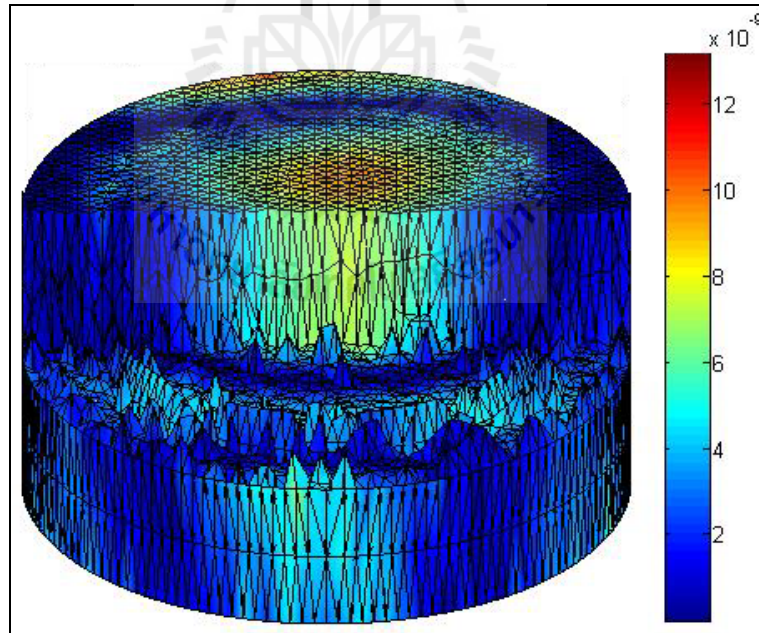
รูปที่ 6.66 ภาพตัดการกระจัดเชิงกล (m) ภายในหม้อแปลงไฟโอโซอิเล็กทรอนิกส์แบบ 3 มิติ ที่ความถี่ 89 kHz



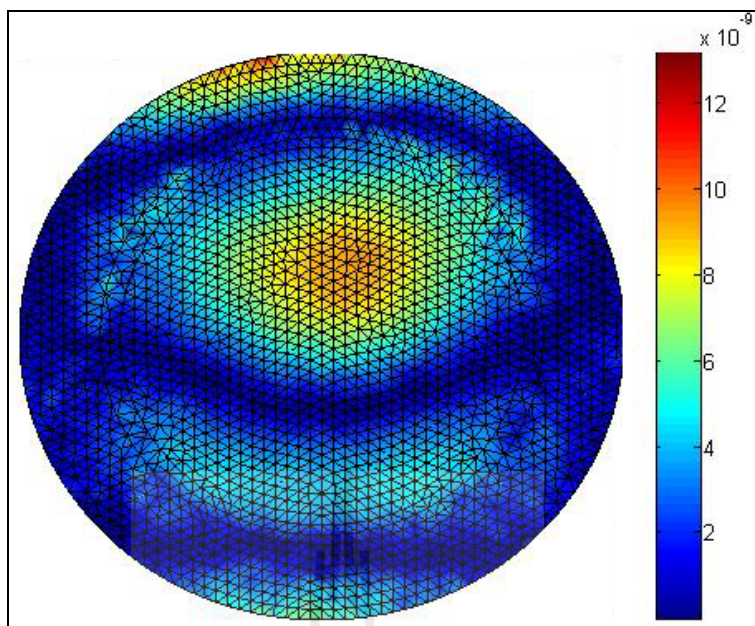
รูปที่ 6.67 การกระจัดเชิงกล (m) ของหม้อแปลงไฟโอโซอิเล็กทรอนิกส์บริเวณขั้วเล็กโทรดขาเข้าและขาออกที่ความถี่ 89 kHz



รูปที่ 6.68 การกระจัดเชิงกล (m) ของหม้อแปลงไพโซอิเล็กทริกแบบ 3 มิติที่ความถี่ 90 kHz



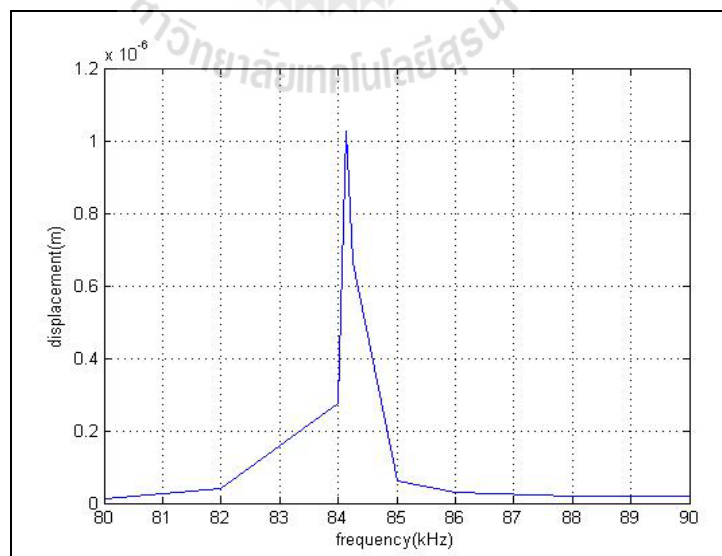
รูปที่ 6.69 ภาพตัดการกระจัดเชิงกล (m) ภายในหม้อแปลงไพโซอิเล็กทริกแบบ 3 มิติที่ความถี่ 90 kHz



รูปที่ 6.70 การกระจายเชิงกล (m) ของหม้อแปลงไฟโอโซอิลิกทริกบริเวณขั้วเล็กโทรดขาเข้าและขาออกที่ความถี่ 90 kHz

จากรูปที่ 6.38 - 6.70 เป็นรูปที่แสดงผลการจำลองการกระจายเชิงกลของหม้อแปลงไฟโอโซอิลิกทริกในช่วงความถี่ 80 - 90 kHz ซึ่งหลังจากผ่านกระบวนการคำนวณโดยใช้วิธีไฟไนต์อีลิเมนต์แล้ว ได้แสดงผลการจำลองทั้งในแบบ 3 มิติ แบบภาพตัดและแบบ 2 มิติ ซึ่งในแบบ 2 มิตินั้นจะขยายไปในส่วนของบริเวณขั้วเล็กโทรดขาเข้าและขั้วเล็กโทรดขาออกของหม้อแปลงไฟโอโซอิลิกทริกเพื่อให้ผลการจำลองนั้นสอดคล้องกับผลการจำลองการกระจายของค่าศักย์ไฟฟ้า โดยจากรูปที่ 6.38 - 6.52 ที่อยู่ในช่วงความถี่ 80 - 84 kHz จะสังเกตเห็นว่ารูปร่างการกระจายของการกระจายเชิงกลที่เกิดขึ้นนั้นมีลักษณะของการกระจายที่คล้ายคลึงกัน โดยสิ่งที่ต่างกันคือระยะของการกระจายเชิงกลที่เกิดขึ้น โดยที่ค่าระยะของการกระจายเชิงกลจะมีค่าเพิ่มสูงมากขึ้นเรื่อย ๆ ตั้งแต่ค่าความถี่ที่ 80 kHz จนถึงที่ค่าความถี่ 84 kHz ซึ่งเป็นค่าความถี่ทำให้เกิดระยะการกระจายเชิงกลที่สูงที่สุด โดยจะพบว่าค่าการกระจายเชิงกลที่เกิดขึ้นนั้นมีความสอดคล้องกับผลการจำลองของค่าศักย์ไฟฟ้าที่เกิดขึ้นในช่วงความถี่ 80 - 84 kHz โดยที่ค่าศักย์ไฟฟ้าที่บริเวณขั้วเล็กโทรดขาออกจะมีค่าเพิ่มสูงชันมากเรื่อย ๆ และจะมีค่าศักย์ไฟฟ้าสูงที่สุดที่ความถี่ 84 kHz เช่นกัน เนื่องจากในช่วงความถี่ 80 - 84 kHz นั้นเป็นช่วงความถี่ธรรมชาติของหม้อแปลงไฟโอโซอิลิกทริกจึงมีผลทำให้ค่าศักย์ไฟฟ้าและการกระจายเชิงกลเพิ่มขึ้น แล้วในความถี่ถัดมาที่ความถี่ 85 kHz ดังรูปที่ 6.53 - 6.55 โดยจะพบว่ารูปร่างการกระจายของการกระจายเชิงกลที่เกิดขึ้นยังมีลักษณะที่เหมือนเดิม เนื่องจาก

ที่ค่าความถี่ 85 kHz ยังอยู่ในช่วงความถี่ธรรมชาติของหม้อแปลงไฟโอโซอิลิกทริกอยู่แต่เป็นค่าความถี่ที่กำลังจะออกจากความถี่ธรรมชาติของหม้อแปลงไฟโอโซอิลิกทริกจึงมีผลทำให้ระยะของการกระจัดเชิงกลที่เกิดขึ้นนั้นมีค่าลดลงและสำหรับผลการจำลองในช่วงความถี่ที่ 86 - 87 kHz ดังรูปที่ 6.56 - 6.61 รูปร่างการกระจายของการกระจัดเชิงกลที่เกิดขึ้นนั้นจะเริ่มเปลี่ยนแปลงเนื่องจากค่าความถี่ธรรมชาติของหม้อแปลงไฟโอโซอิลิกทริกนั้นจะอยู่ในช่วง 80 - 85 kHz จึงมีผลทำให้รูปร่างการกระจายของการกระจัดเชิงกลมีลักษณะที่เหมือนกันซึ่งทำให้ที่ค่าความถี่ 86 - 87 kHz นั้น ที่ไม่ได้อยู่ในช่วงความถี่ธรรมชาติแล้วจึงเริ่มมีรูปร่างที่เปลี่ยนไปและในค่าความถี่ถัดมาที่ค่าความถี่ 88 - 90 kHz ดังแสดงในรูปที่ 6.62 - 6.70 จะสังเกตเห็นว่ารูปร่างการกระจายของการกระจัดเชิงกลที่เกิดขึ้นนั้นมีรูปร่างที่ไม่แน่นอนเพราะว่าเมื่อป้อนความถี่ให้กับหม้อแปลงไฟโอโซอิลิกทริกแล้วก็จะเกิดการสั่นสะเทือนซึ่งการสั่นสะเทือนนั้นอาจจะมีรูปร่างที่แน่นอนหรือไม่แน่นอนก็ได้ จึงมีผลทำให้รูปร่างการกระจายของการกระจัดเชิงกลที่เกิดขึ้นในช่วงที่ไม่เป็นความถี่ธรรมชาตินั้นมีรูปร่างที่ต่างกัน โดยในช่วงความถี่ 88 - 90 kHz นี้เป็นช่วงที่มีค่าระยะการกระจัดเชิงกลที่ค่อนข้างน้อยเมื่อเทียบกับระยะการกระจัดเชิงกลที่เกิดขึ้นในช่วงความถี่ธรรมชาติ โดยค่าระยะการกระจัดเชิงกลที่ค่อนข้างน้อยนี้ส่งผลทำให้ค่าศักย์ไฟฟ้าที่เกิดขึ้นในบริเวณขั้วอิเล็กโทรดขาออกของหม้อแปลงไฟโอโซอิลิกทริกมีค่าน้อยตามไปด้วย โดยจากผลการจำลองการกระจายของการกระจัดเชิงกลทั้งหมดสามารถนำมาแสดงผลในลักษณะของกราฟได้ดังรูปที่ 6.71



รูปที่ 6.71 ระยะการกระจัดเชิงกลของหม้อแปลงไฟโอโซอิลิกทริกในช่วงความถี่ 80 - 90 kHz

จากรูปที่ 6.71 ระยะเวลาการกระจัดเชิงกลของหม้อแปลงไฟโอโซอิลิกทรินั้นจะมีค่าระยะสูงสุดที่ความถี่ 84.13 kHz โดยให้ระยะเวลาของการกระจัดเชิงกลสูงถึง 1.04 μm โดยระยะเวลาการกระจัดเชิงกลที่เกิดขึ้นในการสั่นแบบต่าง ๆ จะสัมพันธ์กับผลการจำลองของค่าศักย์ไฟฟ้าที่เกิดขึ้นบริเวณขั้วอิลิกโทรดขาออกของหม้อแปลงไฟโอโซอิลิกทริน

จากผลการจำลองการกระจายของค่าศักย์ไฟฟ้าและการกระจายของการกระจัดเชิงกลที่เกิดขึ้นในช่วงความถี่ 80 - 90 kHz ทั้งหมดนั้นจะสอดคล้องกับหลักการของการสั่นสะเทือน โดยที่การสั่นสะเทือนที่เกิดขึ้นนั้นอาจจะมีรูปร่างที่แน่นอนหรือไม่แน่นอนก็ได้แล้วในช่วงของความถี่ธรรมชาตินั้นก็จะเกิดการสั่นสะเทือนที่รุนแรงรวมไปถึงการสอดคล้องกับหลักการทำงานของหม้อแปลงไฟโอโซอิลิกทริน โดยที่หม้อแปลงจะทำงานด้วยการสั่นสะเทือนซึ่งถ้าเกิดการสั่นสะเทือนของหม้อแปลงไฟโอโซอิลิกทรินที่มากก็จะทำให้เกิดค่าศักย์ไฟฟ้าที่บริเวณขั้วอิลิกโทรดขาออกมากขึ้นตามไปด้วย โดยการสั่นสะเทือนที่มีรูปร่างที่แน่นอนหรือไม่แน่นอนนั้นสามารถสังเกตได้จากรูปการกระจายของการกระจัดเชิงกลดังแสดงในรูปที่ 6.38 - 6.55 ซึ่งอยู่ในช่วงความถี่ 80 - 85 kHz สำหรับภายในช่วงความถี่นี้หม้อแปลงไฟโอโซอิลิกทรินจะเกิดรูปร่างการกระจัดเชิงกลที่มีรูปร่างที่แน่นอนเนื่องจากเป็นช่วงความถี่ธรรมชาติของหม้อแปลงไฟโอโซอิลิกทรินดังแสดงในตารางที่ 5.2 ในบทที่ 5 โดยที่ค่าระยะเวลาการกระจัดเชิงกลนั้นจะเพิ่มมากขึ้นจนมีค่าระยะเวลาการกระจัดเชิงกลที่สูงสุดและลดลงตามลำดับแล้วจากที่ความถี่ในช่วงนี้เป็นช่วงความถี่ธรรมชาติที่ส่งผลให้หม้อแปลงไฟโอโซอิลิกทรินเกิดการสั่นสะเทือนที่มีระยะเวลาการกระจัดเชิงกลที่มากจึงทำให้เกิดค่าศักย์ไฟฟ้าบริเวณขั้วอิลิกโทรดขาออกมากขึ้นตามไปด้วย ดังแสดงในรูป 6.4 - 6.21 และสำหรับช่วงความถี่ที่ 86 - 90 kHz ซึ่งเป็นช่วงที่เกิดการสั่นสะเทือนที่มีรูปร่างที่ไม่แน่นอน ดังแสดงในรูปที่ 6.56 - 6.70 เนื่องจากไม่ได้เป็นช่วงความถี่ธรรมชาติของหม้อแปลงไฟโอโซอิลิกทรินจึงส่งผลให้เกิดการสั่นสะเทือนที่มีระยะเวลาการกระจัดเชิงกลที่ค่อนข้างน้อยและทำให้เกิดค่าศักย์ไฟฟ้าที่บริเวณขั้วอิลิกโทรดขาออกที่น้อยลงตามลำดับ ซึ่งจากที่กล่าวมาทั้งหมดนั้นจะสังเกตเห็นได้ว่าผลการจำลองทั้งหมดที่ได้มานั้นเป็นไปตามหลักทฤษฎีของการสั่นสะเทือนและเป็นไปตามหลักการทำงานของหม้อแปลงไฟโอโซอิลิกทรินรวมไปถึงสอดคล้องกับผลการคำนวณความถี่ธรรมชาติทั้งหมด

6.4 การคำนวณกำลังงานสูญเสียของหม้อแปลงไฟโอโซอิลิกทริน

ประสิทธิภาพของหม้อแปลงไฟโอโซอิลิกทรินคือกำลังงานไฟฟ้าขาออกต่อกำลังงานไฟฟ้าขาเข้าซึ่งจะมีค่าน้อยกว่าหนึ่งเสมอ ทั้งนี้เพราะมีการสูญเสีย (losses) เกิดขึ้น โดยที่หม้อแปลงไฟโอโซอิลิกทรินสามารถแบ่งกำลังงานสูญเสียออกได้เป็น 2 ประเภท คือ กำลังงานสูญเสียจากการสั่นสะเทือน (mechanical vibration loss) เนื่องจากหม้อแปลงไฟโอโซอิลิกทรินทำงานด้วยการ

เปลี่ยนพลังงานกลเป็นพลังงานไฟฟ้าด้วยการสั่น โดยค่ากำลังงานสูญเสียนี้จะขึ้นกับปริมาณแรงจากการสั่นสะเทือนของหม้อแปลงไพเอโซอิเล็กทริก ซึ่งถ้ามีการเกิดการสั่นสะเทือนที่สูงก็จะทำให้เกิดกำลังงานสูญเสียที่สูงตามไปด้วยและกำลังงานสูญเสียทางไฟฟ้าคือ กำลังงานสูญเสียจากสนามไฟฟ้า (dielectric loss) และความหนาแน่นฟลักซ์ไฟฟ้า (electric flux density หรือ electric displacement) ซึ่งเปลี่ยนแปลงตามค่าแรงดันของหม้อแปลงไพเอโซอิเล็กทริก ซึ่งหาได้ดังนี้ (Joo, Lee, Rho, and Jung, 2006)

$$P_m = \sum_{i=1}^6 \frac{1}{2Q_m} \omega_r [T_0]_{6 \times 1} [S_0]_{6 \times 1} \quad (6.1)$$

$$P_d = \sum_{i=1}^3 \frac{1}{2} \omega_r \tan \delta [D_0]_{3 \times 1} [E_0]_{3 \times 1} \quad (6.2)$$

- เมื่อ P_m คือ กำลังงานสูญเสียจากการสั่นสะเทือน (mechanical vibration loss)
 P_d คือ กำลังงานสูญเสียทางไฟฟ้า (dielectric loss)
 Q_m คือ ส่วนประกอบคุณภาพทางกลของไพเอโซอิเล็กทริก (mechanical quality factor) สำหรับหม้อแปลงไพเอโซอิเล็กทริก รุ่น PZT-840 มีค่าเท่ากับ 500
 ω_r คือ ค่าความถี่เชิงมุมของเรโซแนนซ์ (angular resonance)
 $\tan \delta$ คือ ส่วนประกอบการกระจายตัวของไพเอโซอิเล็กทริก (dielectric loss factor) สำหรับหม้อแปลงไพเอโซอิเล็กทริก รุ่น PZT-840 มีค่าเท่ากับ 0.4% (Henderson, 2002)

เมื่อ T_0 , S_0 , D_0 และ E_0 คือค่าความเค้น ความเครียด ความหนาแน่นของฟลักซ์ไฟฟ้า และค่าสนามไฟฟ้าที่ได้จากการคำนวณตามลำดับโดยที่ค่าสนามไฟฟ้าและความเครียดสามารถคำนวณได้จากสมการที่ (4.25) และ (4.31) ในบทที่ 4 ได้ดังนี้

$$E_0 = - [B_\Phi]_{3 \times 4} [\Phi]_{4 \times 1} \quad (6.3)$$

$$S_0 = [B_u]_{6 \times 12} [U]_{12 \times 1} \quad (6.4)$$

เมื่อ Φ และ U คือค่าศักย์ไฟฟ้าและการกระจัดเชิงกลประจำแต่จุดต่อที่ได้จากการคำนวณด้วยวิธีไฟไนท์เอลิเมนต์และสำหรับค่าความเค้นกับความหนาแน่นของฟลักซ์ไฟฟ้าสามารถหาได้จากสมการที่ (4.1) และ (4.2) ที่ได้กล่าวไว้ในบทที่ 4 ดังนี้

$$T_0 = c^E S_0 - e^T E_0 \quad (6.5)$$

$$D_0 = e S_0 + \varepsilon^s E_0 \quad (6.6)$$

โดยที่ E_0 และ S_0 คือค่าสนามไฟฟ้าและความเครียดที่คำนวณได้จากสมการที่ (6.3) และ (6.4)

6.5 ผลการจำลองกำลังงานสูญเสียของหม้อแปลงไพโซอิเล็กทริกด้วยพร้อม

วิเคราะห์ผล

สำหรับหัวข้อต่อไปนี้จะแสดงผลการจำลองการกระจายกำลังงานสูญเสียของหม้อแปลงไพโซอิเล็กทริกด้วยระเบียบวิธีไฟไนท์เอลิเมนต์แบบ 3 มิติ ในช่วงความถี่ 80 - 90 kHz เพราะว่าเป็นช่วงความถี่ที่ทำให้เกิดอัตราการขยายของค่าศักย์ไฟฟ้าและทำให้เกิดระยะเวลาการกระจัดเชิงกลสูงสุดตามที่ได้แสดงไว้ในหัวข้อที่ 6.3 ซึ่งได้แบ่งผลการจำลองออกเป็น 3 แบบเหมือนกับการจำลองผลการกระจายของค่าศักย์ไฟฟ้าและการกระจัดเชิงกล โดยแบบแรกจะแสดงผลการกระจายของกำลังงานสูญเสียในแบบ 3 มิติเพื่อให้เห็นถึงผลการจำลองกำลังงานสูญเสียทั่วทั้งปริมาตรของหม้อแปลงไพโซอิเล็กทริกและแบบที่สองจะแสดงภาพตัดของหม้อแปลงไพโซอิเล็กทริกเพื่อให้เห็นถึงผลการจำลองภายในหม้อแปลงและในแบบที่สามจะแสดงผลในแบบ 2 มิติโดยจะแสดงผลบริเวณข้อวิเล็กโทรดขาเข้าและข้อวิเล็กโทรดขาออกของหม้อแปลงไพโซอิเล็กทริกเพื่อให้สอดคล้องกับการแสดงผลการจำลองของค่าศักย์ไฟฟ้าและการกระจัดเชิงกล โดยจะแสดงผลการจำลองเฉพาะกำลังงานสูญเสียทางกลเท่านั้นเพราะว่ากำลังงานสูญเสียทางไฟฟ้าจะมีค่าน้อยมาก ๆ เมื่อเทียบกับกำลังงานสูญเสียทางกล (Rho, Joo, Lee, and Jung, 2002) โดยจะแสดงผลการจำลองออกเป็นดังนี้

1. ผลการจำลองกำลังงานสูญเสียทางกลของหม้อแปลงไพโซอิเล็กทริกในแบบ 3 มิติ แบบภาพตัดและแบบ 2 มิติที่ความถี่ 80 kHz ดังแสดงด้วยรูปที่ 6.72 - 6.74 ตามลำดับ

2. ผลการจำลองกำลังงานสูญเสียทางกลของหม้อแปลงไพโซอิเล็กทริกในแบบ 3 มิติ แบบภาพตัดและแบบ 2 มิติที่ความถี่ 81 kHz ดังแสดงด้วยรูปที่ 6.75 - 6.77 ตามลำดับ

3. ผลการจำลองกำลังงานสูญเสียทางกลของหม้อแปลงไฟโอโซอิเล็กทรอนิกส์ในแบบ 3 มิติ แบบภาพตัดและแบบ 2 มิติที่มีความถี่ 82 kHz ดังแสดงด้วยรูปที่ 6.78 - 6.80 ตามลำดับ
4. ผลการจำลองกำลังงานสูญเสียทางกลของหม้อแปลงไฟโอโซอิเล็กทรอนิกส์ในแบบ 3 มิติ แบบภาพตัดและแบบ 2 มิติที่มีความถี่ 83 kHz ดังแสดงด้วยรูปที่ 6.81 - 6.83 ตามลำดับ
5. ผลการจำลองกำลังงานสูญเสียทางกลของหม้อแปลงไฟโอโซอิเล็กทรอนิกส์ในแบบ 3 มิติ แบบภาพตัดและแบบ 2 มิติที่มีความถี่ 84 kHz ดังแสดงด้วยรูปที่ 6.84 - 6.86 ตามลำดับ
6. ผลการจำลองกำลังงานสูญเสียทางกลของหม้อแปลงไฟโอโซอิเล็กทรอนิกส์ในแบบ 3 มิติ แบบภาพตัดและแบบ 2 มิติที่มีความถี่ 85 kHz ดังแสดงด้วยรูปที่ 6.87 - 6.89 ตามลำดับ
7. ผลการจำลองกำลังงานสูญเสียทางกลของหม้อแปลงไฟโอโซอิเล็กทรอนิกส์ในแบบ 3 มิติ แบบภาพตัดและแบบ 2 มิติที่มีความถี่ 86 kHz ดังแสดงด้วยรูปที่ 6.90 - 6.92 ตามลำดับ
8. ผลการจำลองกำลังงานสูญเสียทางกลของหม้อแปลงไฟโอโซอิเล็กทรอนิกส์ในแบบ 3 มิติ แบบภาพตัดและแบบ 2 มิติที่มีความถี่ 87 kHz ดังแสดงด้วยรูปที่ 6.93 - 6.95 ตามลำดับ
9. ผลการจำลองกำลังงานสูญเสียทางกลของหม้อแปลงไฟโอโซอิเล็กทรอนิกส์ในแบบ 3 มิติ แบบภาพตัดและแบบ 2 มิติที่มีความถี่ 88 kHz ดังแสดงด้วยรูปที่ 6.96 - 6.98 ตามลำดับ
10. ผลการจำลองกำลังงานสูญเสียทางกลของหม้อแปลงไฟโอโซอิเล็กทรอนิกส์ในแบบ 3 มิติ แบบภาพตัดและแบบ 2 มิติที่มีความถี่ 89 kHz ดังแสดงด้วยรูปที่ 6.100 - 6.101 ตามลำดับ
11. ผลการจำลองกำลังงานสูญเสียทางกลของหม้อแปลงไฟโอโซอิเล็กทรอนิกส์ในแบบ 3 มิติ แบบภาพตัดและแบบ 2 มิติที่มีความถี่ 90 kHz ดังแสดงด้วยรูปที่ 6.103 - 6.104 ตามลำดับ