

บทที่ 6

โปรแกรมจำลองผลศักย์ไฟฟ้าและการกระจัดเชิงกลพร้อม

ผลการจำลองแบบ 3 มิติ

6.1 บทนำ

การจำลองผลของงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อจำลองการทำงานของหม้อแปลงไฟโอโซอิลิกทรานซิสเตอร์ชนิดวงแหวนแบนโหมคการสันตามแนวรัศมี โดยจะสังเกตจากความสัมพันธ์ของค่าศักย์ไฟฟ้าและการกระจัดเชิงกลที่เกิดขึ้นในช่วงความถี่ธรรมชาติและผลของค่าศักย์ไฟฟ้ากับการกระจัดเชิงกลที่ได้จากการจำลองนั้นสามารถนำไปประยุกต์ในการใช้งานจริง ดังนั้นจึงมีความจำเป็นที่ต้องศึกษาถึงการกระจายตัวของค่าศักย์ไฟฟ้าและการกระจายตัวของการกระจัดเชิงกลที่ตำแหน่งต่าง ๆ ของหม้อแปลงไฟโอโซอิลิกทรานซิสเตอร์ โดยภายในบทที่ 6 นี้จะได้อธิบายถึงค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ของระบบที่ใช้ในการจำลองผลและอธิบายถึงโปรแกรมที่ใช้สำหรับจำลองผลด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์แบบ 3 มิติ ทั้งนี้เพื่อให้เห็นถึงลักษณะการกระจายตัวของค่าศักย์ไฟฟ้าและการกระจัดเชิงกลที่สอดคล้องกับสภาพความเป็นจริงมากยิ่งขึ้น โดยโปรแกรมที่ใช้สำหรับการจำลองผลของค่าศักย์ไฟฟ้าและการกระจัดเชิงกลด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์แบบ 3 มิตินั้นเป็นโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นเอง โดยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์แบบ 3 มิติ จะใช้กริดรูปทรงสี่เหลี่ยมจัตุรัสและได้ใช้การสร้างกริดจากโปรแกรมสำเร็จรูปที่ชื่อว่า Solid works และใช้โปรแกรม MATLAB™ ในการจำลองผลของค่าศักย์ไฟฟ้าและการกระจัดเชิงกลในแบบ 3 มิติ

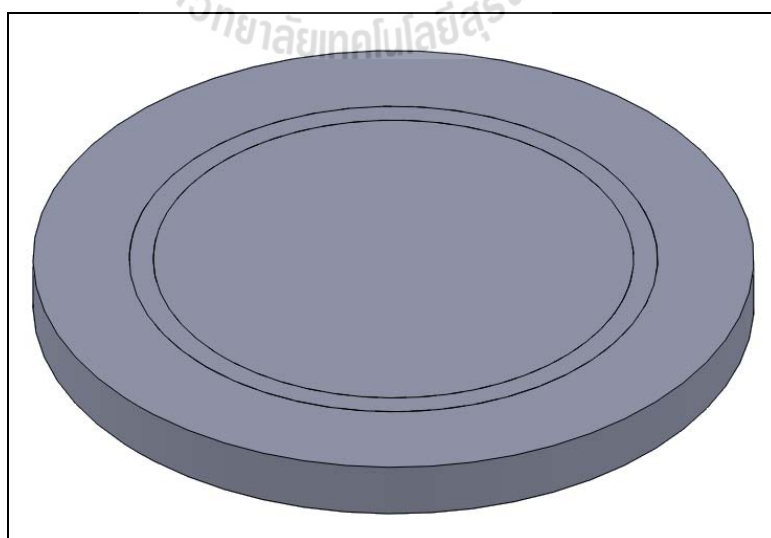
6.2 โครงสร้างของโปรแกรมจำลองผล

การคำนวณเพื่อหาค่าศักย์ไฟฟ้าและการกระจัดเชิงกลของหม้อแปลงไฟโอโซอิลิกด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์แบบ 3 มิตินั้น สามารถดำเนินการคำนวณตามขั้นตอนภายในโครงสร้างของโปรแกรมจำลองผลที่จะได้อธิบายต่อไปนี้ โดยในงานวิทยานิพนธ์นี้ได้ดำเนินการสร้างกริดด้วยโปรแกรม Solid works เพื่อนำข้อมูลของจุดต่อและอิลิเมนต์ต่าง ๆ มาพัฒนาต่อด้วยโปรแกรม MATLAB™ ที่พัฒนาขึ้นเอง โดยจะอธิบายถึงโครงสร้างต่าง ๆ ของโปรแกรมที่ใช้สำหรับการจำลองผลแบบ 3 มิติได้ดังต่อไปนี้

6.2.1 โปรแกรมการสร้างกริด

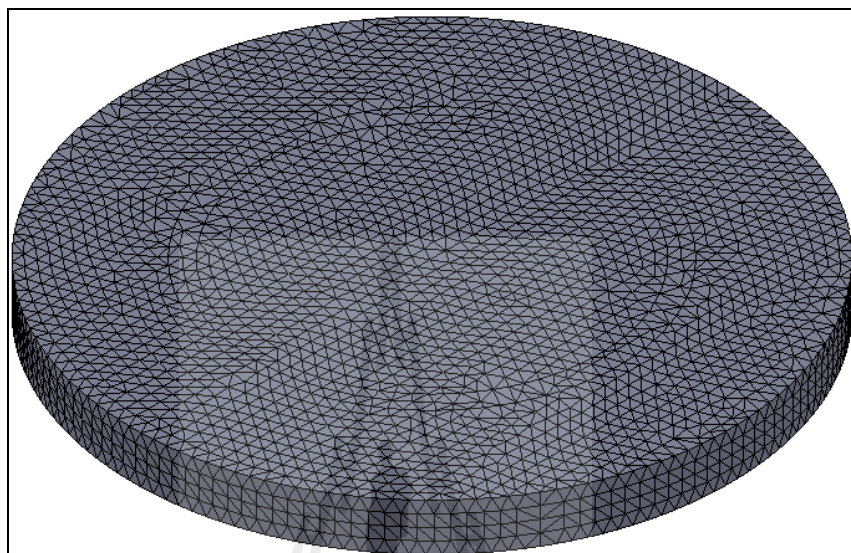
โปรแกรมที่ใช้ในการสร้างกริดสำหรับปัญหาแบบ 3 มิติในงานวิทยานิพนธ์นี้ จะใช้การสร้างกริดจากโปรแกรมที่ชื่อว่า Solid works โดยความสามารถของโปรแกรม Solid works นี้ จะนำมาใช้สำหรับการวาดรูปหม้อแปลงไฟโอโซอิเล็กทรอนิกส์รวมไปถึงสามารถสร้างกริดได้ในปัญหาแบบ 3 มิติ แล้วสำหรับข้อมูลจากโปรแกรม Solid works ที่มีความจำเป็นต่อการนำไปพัฒนาเป็นโปรแกรมไฟในทีอิลิเมนต์แบบ 3 มิติจะประกอบไปด้วย ข้อมูลที่บอกตำแหน่งระยะพิกัดในแนวแกน x y และ z ข้อมูลที่บอกหมายเลขจุดต่อ ข้อมูลที่บอกหมายเลขอิลิเมนต์และข้อมูลที่บอกหมายเลขของขอบเขตของชิ้นงานที่ต้องการกำหนดเงื่อนไขของหม้อแปลงไฟโอโซอิเล็กทรอนิกส์ ส่วนขั้นตอนของระเบียบวิธีไฟในทีอิลิเมนต์ที่นอกเหนือจากนี้ซึ่งได้แก่ การสร้างสมการของแต่ละอิลิเมนต์ การสร้างเมตริกซ์ระบบสมการรวม การกำหนดเงื่อนไขค่าขอบเขตของชิ้นงานรวมถึงการแก้สมการเชิงเส้นเพื่อหาค่าผลเฉลยนั้น จะทำการโดยใช้โปรแกรม MATLAB™ ที่พัฒนาขึ้นเองเพื่อจำลองผลต่อไป

งานวิจัยนี้ได้ใช้ปริมาตรตลอดตัวหม้อแปลงไฟโอโซอิเล็กทรอนิกส์เป็นขอบเขตในการศึกษา ซึ่งใช้การวาดภาพของระบบที่ศึกษาเป็นในรูปแบบของ 3 มิติ โดยการประยุกต์ใช้โปรแกรม Solid works ทั้งนี้เพราะโปรแกรม Solid works มีความสามารถในการวาดภาพที่มีความซับซ้อนได้แล้วสามารถวาดในรูปแบบที่เป็น 3 มิติ ได้สะดวก ซึ่งจะแสดงภาพโดยรวมของระบบที่ศึกษาในแบบ 3 มิติ ได้ดังรูปที่ 6.1 ซึ่งเป็นการแสดงภาพของหม้อแปลงไฟโอโซอิเล็กทรอนิกส์วงแหวนแบนโหมดการสั่นตามแนวรัศมีโดยการวาดรูปจากโปรแกรม Solid works ดังนี้



รูปที่ 6.1 ขอบเขตในการศึกษาของหม้อแปลงไฟโอโซอิเล็กทรอนิกส์แบบ 3 มิติ

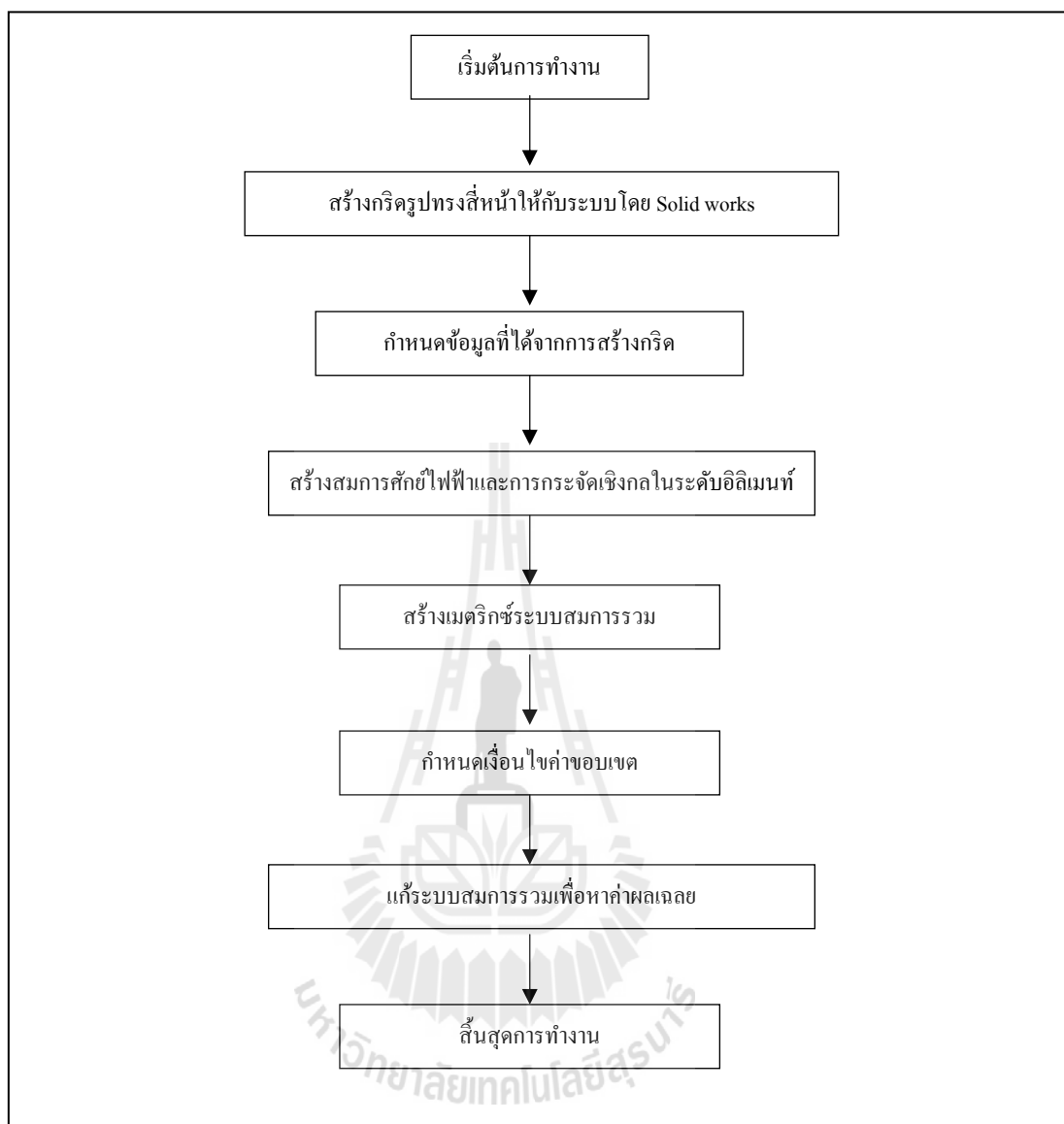
หลังจากวาดภาพมือแปลงไฟโอโซอิเล็กทรอนิกส์ด้วยโปรแกรม Solid works แล้ว สำหรับขั้นตอนต่อไปคือ ทำการสร้างกริดเป็นลักษณะรูปทรงสี่หน้าสี่จุดต่อ โดยสำหรับงานวิจัย วิทยานิพนธ์นี้ได้ปรับความละเอียดของกริดไว้ที่สูงสุดซึ่งแสดงได้ดังรูปที่ 6.2



รูปที่ 6.2 การสร้างกริดรูปทรงสี่หน้าสี่จุดต่อของมือแปลงไฟโอโซอิเล็กทรอนิกส์

6.2.2 โปรแกรมจำลองผลศักย์ไฟฟ้าและการกระจัดเชิงกลของมือแปลงไฟโอโซอิเล็กทรอนิกส์

ในขั้นตอนนี้เป็นการประยุกต์ใช้โปรแกรมที่ได้พัฒนาขึ้นมาเพื่อจำลองผลค่าศักย์ไฟฟ้าและการกระจัดเชิงกลด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์แบบ 3 มิติ โดยข้อมูลที่จำเป็นต่อการพัฒนาโปรแกรมไฟไนต์เอลิเมนต์นั้นได้นำมาจากในหัวข้อ 6.2.1 ที่ได้อธิบายไว้ก่อนหน้านี้แล้ว โดยโครงสร้างของโปรแกรมที่ใช้สำหรับจำลองค่าศักย์ไฟฟ้าและการกระจัดเชิงกลสามารถแสดงได้ด้วยแผนภูมิในรูปที่ 6.3 ดังต่อไปนี้



รูปที่ 6.3 แผนภูมิการดำเนินงานของโปรแกรมจำลองผลศักย์ไฟฟ้าและการกระจัดเชิงกลด้วยระเบียบวิธีไฟไนท์อิลิเมนต์แบบ 3 มิติ

จากแผนภูมิการดำเนินงานในรูปที่ 6.3 ซึ่งแสดงโครงสร้างโปรแกรมจำลองผลของระบบในรูปแบบของ 3 มิติ เพื่อให้เกิดความเข้าใจถึงหน้าที่ของโปรแกรมในแต่ละขั้นตอนอย่างละเอียดชัดเจน โดยจะอธิบายถึงรายละเอียดหน้าที่ต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

ขั้นตอนแรกการกำหนดข้อมูลที่ได้จากการสร้างกริด : โดยขั้นตอนแรกนี้โปรแกรมที่พัฒนาขึ้นจะรับค่าข้อมูลอินพุท ซึ่งจะแสดงถึงลักษณะของจุดต่อพร้อมกับอิลิเมนต์ที่ได้จากโปรแกรมการสร้างกริด Solid works ซึ่งรายละเอียดของข้อมูลประกอบด้วย จำนวนและตำแหน่ง

ของจุดต่อ หมายเลขของจุดต่อที่ประกอบขึ้นเป็นอิลิเมนต์รวมไปถึง จำนวนและหมายเลขของอิลิเมนต์ เป็นต้น

ขั้นตอนการสร้างสมการคำนวณค่าศักย์ไฟฟ้าและการกระจัดเชิงกลในระดับอิลิเมนต์ : โดยขั้นตอนนี้โปรแกรมจะสร้างสมการอิลิเมนต์เมตริกซ์ในรูปแบบของทรงสี่หน้าสี่จุดต่อเมื่อพิจารณาปัญหาในรูปแบบของ 3 มิติ ของทุก ๆ อิลิเมนต์โดยการสร้างสมการอิลิเมนต์ที่เป็นเมตริกซ์ของแต่ละอิลิเมนต์โดยจะต้องคำนึงถึงค่าคุณสมบัติทางไฟฟ้าและทางกลของวัสดุที่ใช้ผลิตหม้อแปลงไฟโอโซอิเล็กทริกที่เกี่ยวข้องในแต่ละอิลิเมนต์นั้น ๆ ด้วย ซึ่งค่าคุณสมบัติทางไฟฟ้าและทางกลของวัสดุต่าง ๆ ได้ถูกกล่าวไว้แล้วในบทที่ 4

ขั้นตอนการสร้างเมตริกซ์ระบบสมการรวม : ซึ่งขั้นตอนนี้โปรแกรมจะทำหน้าที่รวมสมการของอิลิเมนต์ย่อยเข้าเป็นเมตริกซ์ใหญ่ของระบบสมการรวมดังแสดงรายละเอียดอยู่ในหัวข้อที่ 4.3.4 ของบทที่ 4 ซึ่งหากแบ่งลักษณะของปัญหาออกเป็นอิลิเมนต์ทั้งหมด n จุดต่อจะก่อให้เกิดเมตริกซ์ระบบสมการรวมซึ่งประกอบด้วยสมการการกระจัดเชิงกลในแกนนอน (U_x) สมการการกระจัดเชิงกลในแกนตั้ง (U_y) สมการการกระจัดเชิงกลในแกนลึก (U_z) และสมการศักย์ไฟฟ้า (Φ) โดยรวมทั้งสิ้น $4n$ สมการ

ขั้นตอนการกำหนดเงื่อนไขขอบเขต : ซึ่งขั้นตอนนี้โปรแกรมจะทำหน้าที่ประยุกต์เงื่อนไขขอบเขตก่อนแล้วจึงทำการแก้ระบบสมการรวม โดยงานวิทยานิพนธ์นี้จะกำหนดค่าเงื่อนไขขอบเขตดังตารางที่ 4.1 ในบทที่ 4

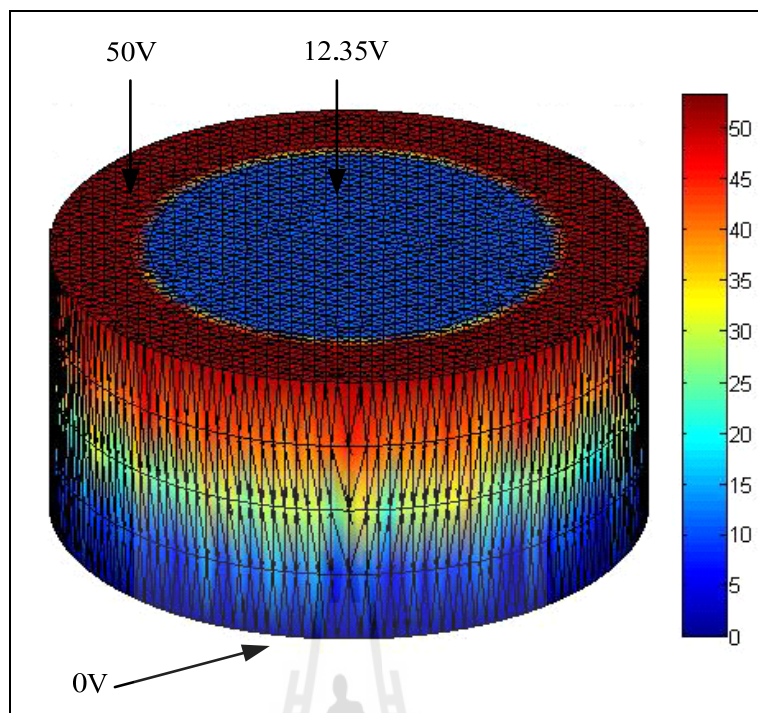
ขั้นตอนสุดท้ายการแก้ระบบสมการรวมเพื่อหาค่าผลเฉลย : โดยในขั้นตอนสุดท้ายนี้ โปรแกรมจะทำการแก้ระบบสมการรวมซึ่งเป็นสมการเชิงเส้นเพื่อหาค่าผลเฉลยของค่าศักย์ไฟฟ้าและการกระจัดเชิงกลที่อยู่ประจำแต่ละจุดต่อโดยจะเลือกใช้ระเบียบวิธีการทำเมตริกซ์ผกผัน

6.3 ผลการจำลองด้วยระเบียบวิธีไฟไนท์อิลิเมนต์พร้อมวิเคราะห์ผล

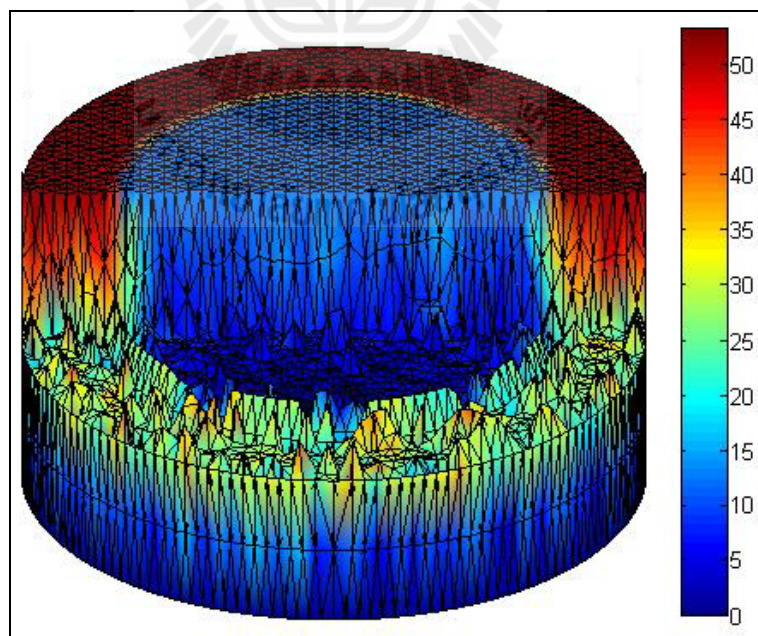
สำหรับหัวข้อนี้จะนำเสนอผลการจำลอง โดยการจำลองผลนั้นจะจำลองด้วยคอมพิวเตอร์ซึ่งได้ใช้โปรแกรม MATLABTM ในการพัฒนาโปรแกรมไฟไนท์อิลิเมนต์สำหรับคำนวณการกระจายตัวของค่าศักย์ไฟฟ้าและการกระจัดเชิงกลของหม้อแปลงไฟโอโซอิเล็กทริกด้วยระเบียบวิธีไฟไนท์อิลิเมนต์แบบ 3 มิติ พร้อมแสดงผลทางกราฟการกระจายตัวของค่าศักย์ไฟฟ้าและการกระจัดเชิงกลที่เกิดขึ้น โดยการจำลองค่าศักย์ไฟฟ้าและการกระจัดเชิงกลที่เกิดขึ้นนั้นจะจำลองแบบกระจายตัวตลอดปริมาตรที่ศึกษา ซึ่งจะทำการพิจารณาศึกษาหม้อแปลงไฟโอโซอิเล็กทริกชนิดวงแหวนแบน โหมคการสันตามแนวรัศมีในสภาวะไร้โหลดที่ช่วงความถี่ 80 - 90 kHz เพราะว่าเป็นช่วงความถี่ที่ทำให้เกิดอัตราขยายของค่าศักย์ไฟฟ้าสูงสุดตามที่ได้แสดงไว้ในรูปที่ 5.19 ของบทที่ 5 และเพื่อให้เห็นถึงลักษณะของการกระจายค่าศักย์ไฟฟ้าและค่าการกระจัดเชิงกลที่เปลี่ยนแปลง

ไปเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงของความถี่จึงแบ่งผลการจำลองออกเป็น 3 แบบ โดยแบบแรกจะแสดงผลในแบบ 3 มิติเพื่อให้เห็นถึงผลการจำลองทั่วทั้งปริมาตรของหม้อแปลงไฟโอโซอิเล็กทรอนิกส์และในแบบที่สองจะแสดงภาพตัดของหม้อแปลงไฟโอโซอิเล็กทรอนิกส์เพื่อให้เห็นถึงผลการจำลองภายในหม้อแปลงและในแบบที่สามจะแสดงผลในแบบ 2 มิติโดยจะแสดงผลบริเวณขั้วอิเล็กทรอนิกส์โทรดขาเข้าและขาออกของหม้อแปลงไฟโอโซอิเล็กทรอนิกส์เนื่องจากบริเวณนี้เป็นตำแหน่งที่ต้องการศึกษาจึงต้องแสดงผลส่วนนี้เพื่อให้มีความชัดเจนมากยิ่งขึ้น โดยจะแสดงผลการจำลองออกเป็นดังนี้

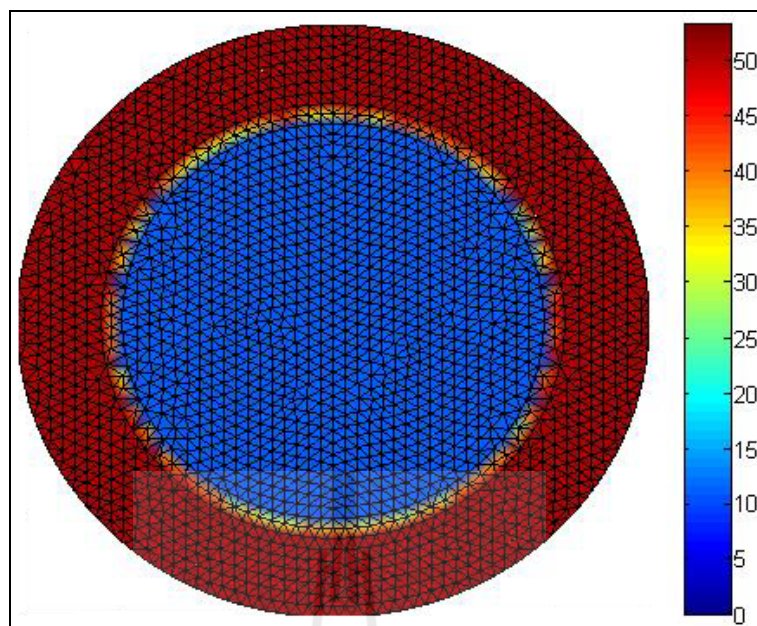
1. ผลการจำลองการกระจายค่าศักย์ไฟฟ้าของหม้อแปลงไฟโอโซอิเล็กทรอนิกส์ในแบบ 3 มิติ แบบภาพตัดและแบบ 2 มิติที่มีความถี่ 80 kHz ดังแสดงด้วยรูปที่ 6.4 - 6.6 ตามลำดับ
2. ผลการจำลองการกระจายค่าศักย์ไฟฟ้าของหม้อแปลงไฟโอโซอิเล็กทรอนิกส์ในแบบ 3 มิติ แบบภาพตัดและแบบ 2 มิติที่มีความถี่ 81 kHz ดังแสดงด้วยรูปที่ 6.7 - 6.9 ตามลำดับ
3. ผลการจำลองการกระจายค่าศักย์ไฟฟ้าของหม้อแปลงไฟโอโซอิเล็กทรอนิกส์ในแบบ 3 มิติ แบบภาพตัดและแบบ 2 มิติที่มีความถี่ 82 kHz ดังแสดงด้วยรูปที่ 6.10 - 6.12 ตามลำดับ
4. ผลการจำลองการกระจายค่าศักย์ไฟฟ้าของหม้อแปลงไฟโอโซอิเล็กทรอนิกส์ในแบบ 3 มิติ แบบภาพตัดและแบบ 2 มิติที่มีความถี่ 83 kHz ดังแสดงด้วยรูปที่ 6.13 - 6.15 ตามลำดับ
5. ผลการจำลองการกระจายค่าศักย์ไฟฟ้าของหม้อแปลงไฟโอโซอิเล็กทรอนิกส์ในแบบ 3 มิติ แบบภาพตัดและแบบ 2 มิติที่มีความถี่ 84 kHz ดังแสดงด้วยรูปที่ 6.16 - 6.18 ตามลำดับ
6. ผลการจำลองการกระจายค่าศักย์ไฟฟ้าของหม้อแปลงไฟโอโซอิเล็กทรอนิกส์ในแบบ 3 มิติ แบบภาพตัดและแบบ 2 มิติที่มีความถี่ 85 kHz ดังแสดงด้วยรูปที่ 6.19 - 6.21 ตามลำดับ
7. ผลการจำลองการกระจายค่าศักย์ไฟฟ้าของหม้อแปลงไฟโอโซอิเล็กทรอนิกส์ในแบบ 3 มิติ แบบภาพตัดและแบบ 2 มิติที่มีความถี่ 86 kHz ดังแสดงด้วยรูปที่ 6.22 - 6.24 ตามลำดับ
8. ผลการจำลองการกระจายค่าศักย์ไฟฟ้าของหม้อแปลงไฟโอโซอิเล็กทรอนิกส์ในแบบ 3 มิติ แบบภาพตัดและแบบ 2 มิติที่มีความถี่ 87 kHz ดังแสดงด้วยรูปที่ 6.25 - 6.27 ตามลำดับ
9. ผลการจำลองการกระจายค่าศักย์ไฟฟ้าของหม้อแปลงไฟโอโซอิเล็กทรอนิกส์ในแบบ 3 มิติ แบบภาพตัดและแบบ 2 มิติที่มีความถี่ 88 kHz ดังแสดงด้วยรูปที่ 6.28 - 6.30 ตามลำดับ
10. ผลการจำลองการกระจายค่าศักย์ไฟฟ้าของหม้อแปลงไฟโอโซอิเล็กทรอนิกส์ในแบบ 3 มิติ แบบภาพตัดและแบบ 2 มิติที่มีความถี่ 89 kHz ดังแสดงด้วยรูปที่ 6.31 - 6.33 ตามลำดับ
11. ผลการจำลองการกระจายค่าศักย์ไฟฟ้าของหม้อแปลงไฟโอโซอิเล็กทรอนิกส์ในแบบ 3 มิติ แบบภาพตัดและแบบ 2 มิติที่มีความถี่ 90 kHz ดังแสดงด้วยรูปที่ 6.34 - 6.36 ตามลำดับ



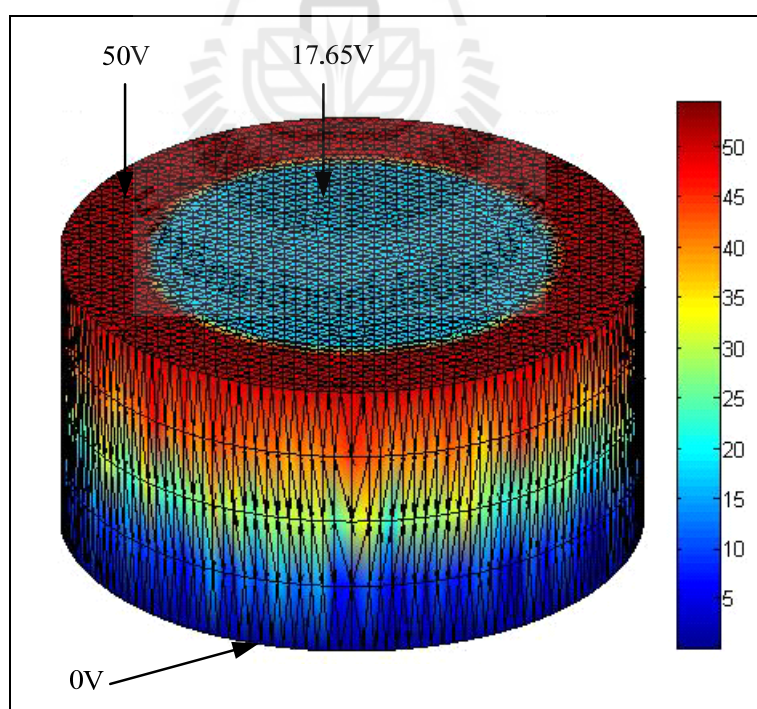
รูปที่ 6.4 การกระจายตัวของศักย์ไฟฟ้า (V) แบบ 3 มิติที่ความถี่ 80 kHz



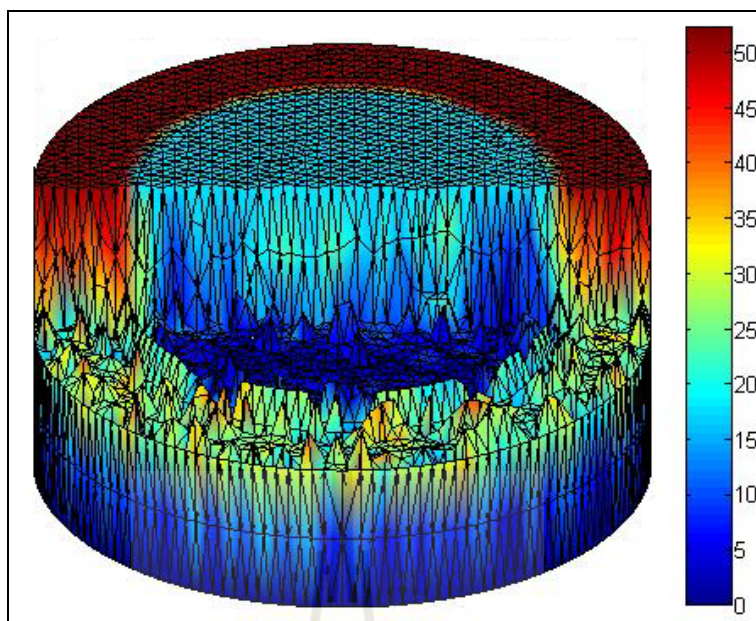
รูปที่ 6.5 ภาพตัดการกระจายตัวของศักย์ไฟฟ้า (V) แบบ 3 มิติที่ความถี่ 80 kHz



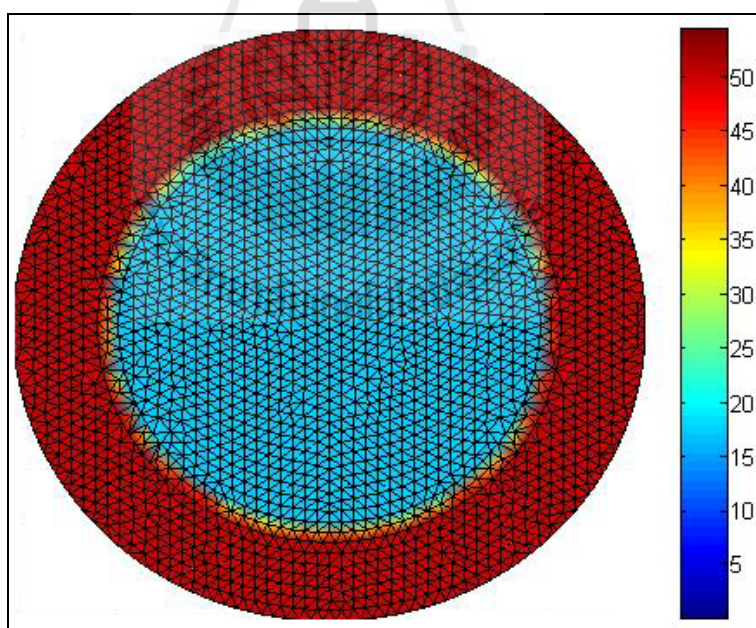
รูปที่ 6.6 การกระจายตัวของศักย์ไฟฟ้า (V) บริเวณขั้วอิเล็กโทรดขาเข้าและขาออกที่ความถี่ 80 kHz



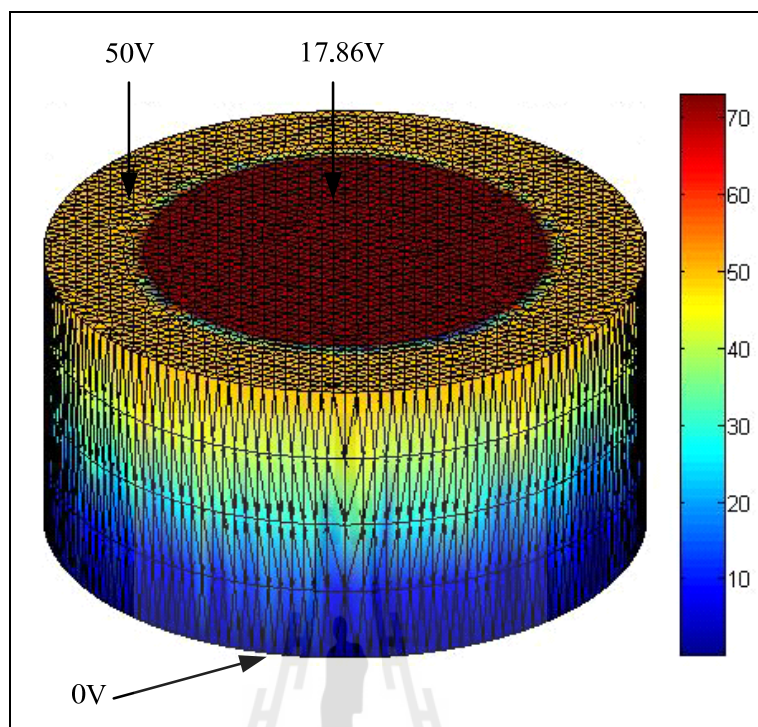
รูปที่ 6.7 การกระจายตัวของศักย์ไฟฟ้า (V) แบบ 3 มิติที่ความถี่ 81 kHz



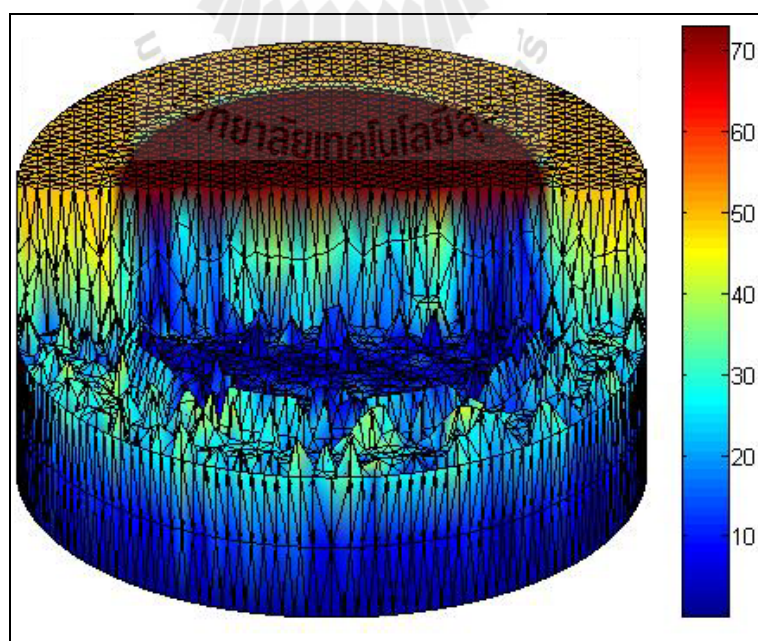
รูปที่ 6.8 ภาพตัดการกระจายตัวของศักย์ไฟฟ้า (V) แบบ 3 มิติที่ความถี่ 81 kHz



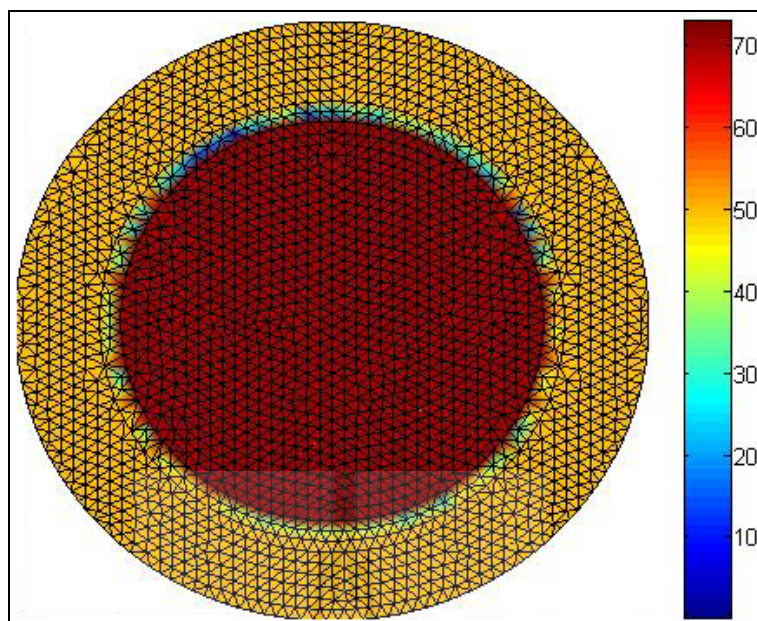
รูปที่ 6.9 การกระจายตัวของศักย์ไฟฟ้า (V) บริเวณขั้วอิเล็กโทรดขาเข้าและขาออกที่ความถี่ 81 kHz



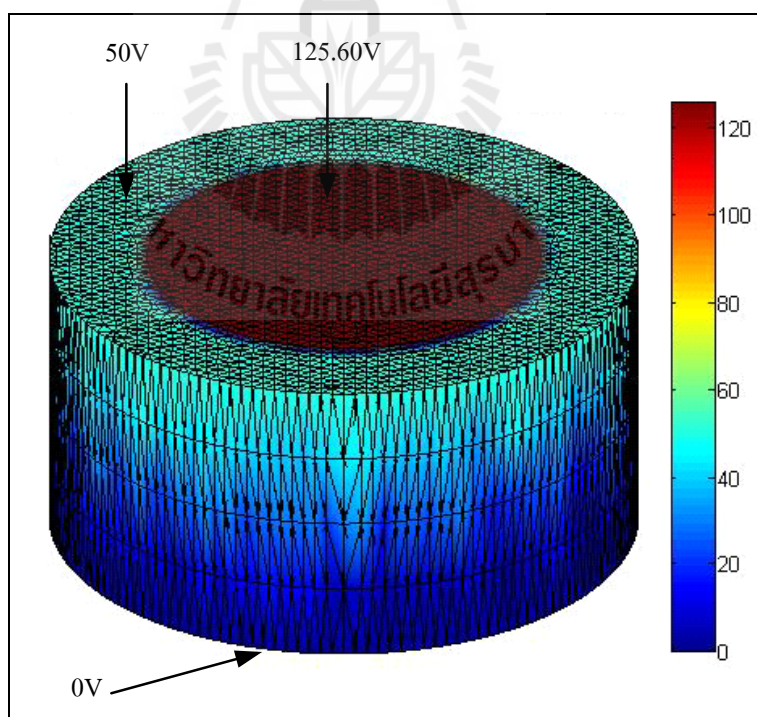
รูปที่ 6.10 การกระจายตัวของศักย์ไฟฟ้า (V) แบบ 3 มิติที่ความถี่ 82 kHz



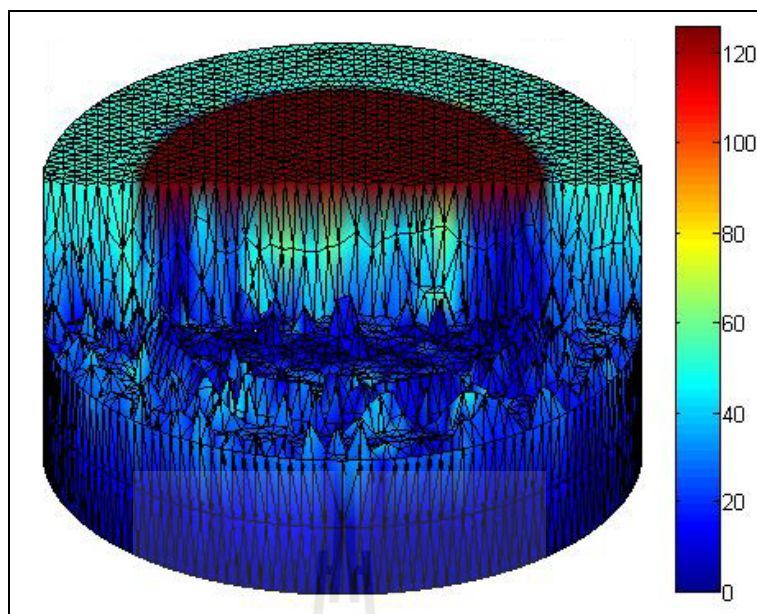
รูปที่ 6.11 ภาพตัดการกระจายตัวของศักย์ไฟฟ้า (V) แบบ 3 มิติที่ความถี่ 82 kHz



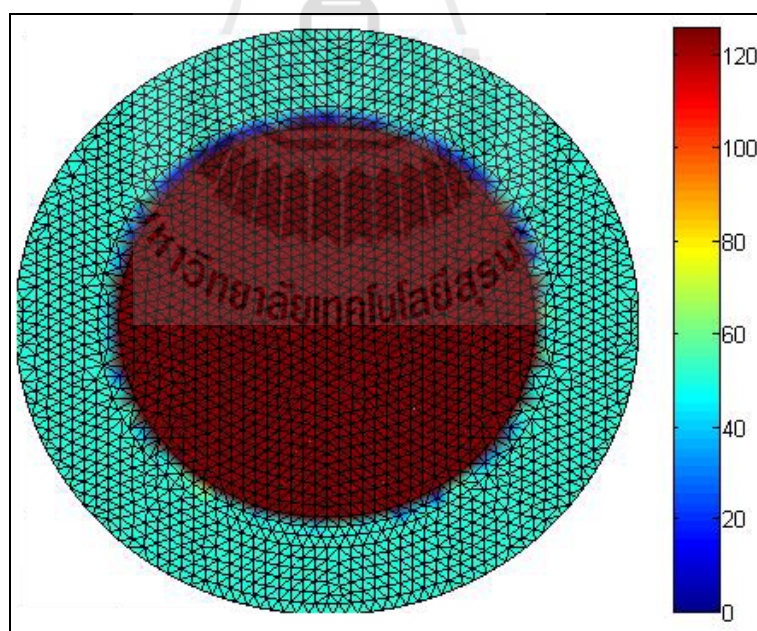
รูปที่ 6.12 การกระจายตัวของศักย์ไฟฟ้า (V) บริเวณขั้วอิเล็กทรอนิกส์โทรดขาเข้าและขาออกที่ความถี่ 82 kHz



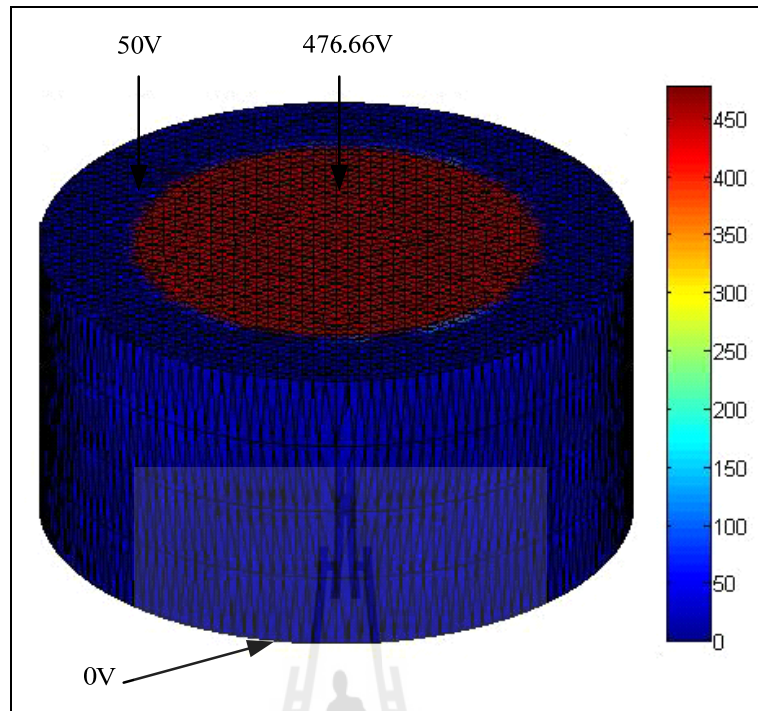
รูปที่ 6.13 การกระจายตัวของศักย์ไฟฟ้า (V) แบบ 3 มิติที่ความถี่ 83 kHz



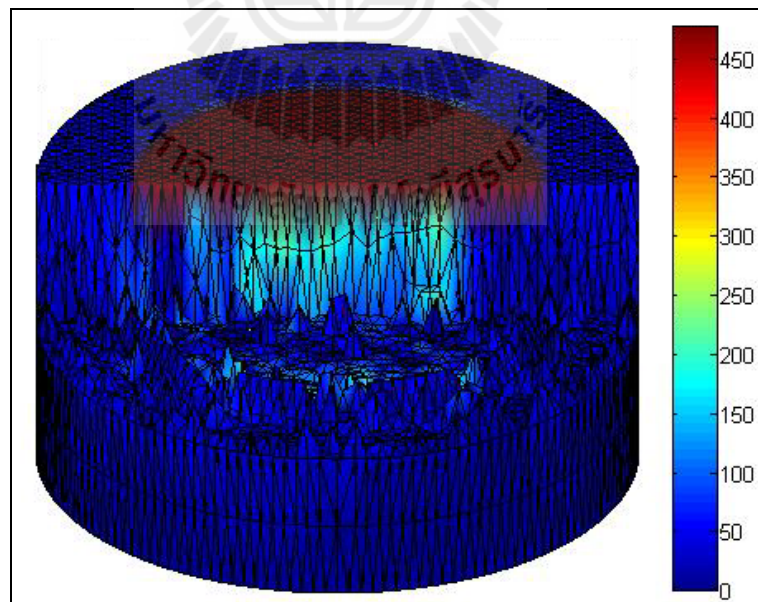
รูปที่ 6.14 ภาพตัดการกระจายตัวของศักย์ไฟฟ้า (V) แบบ 3 มิติที่ความถี่ 83 kHz



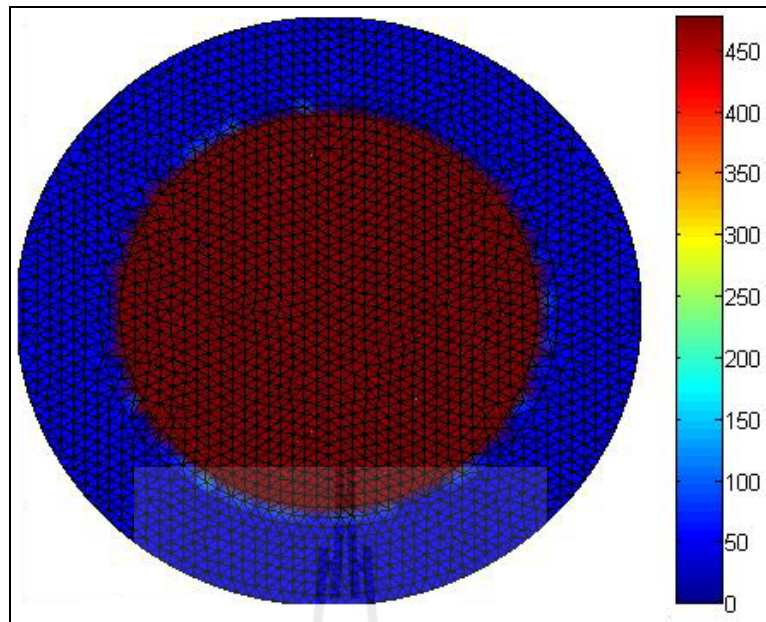
รูปที่ 6.15 การกระจายตัวของศักย์ไฟฟ้า (V) บริเวณขั้วอิเล็กทรอนิกส์โทรดขาเข้าและขาออกที่ความถี่ 83 kHz



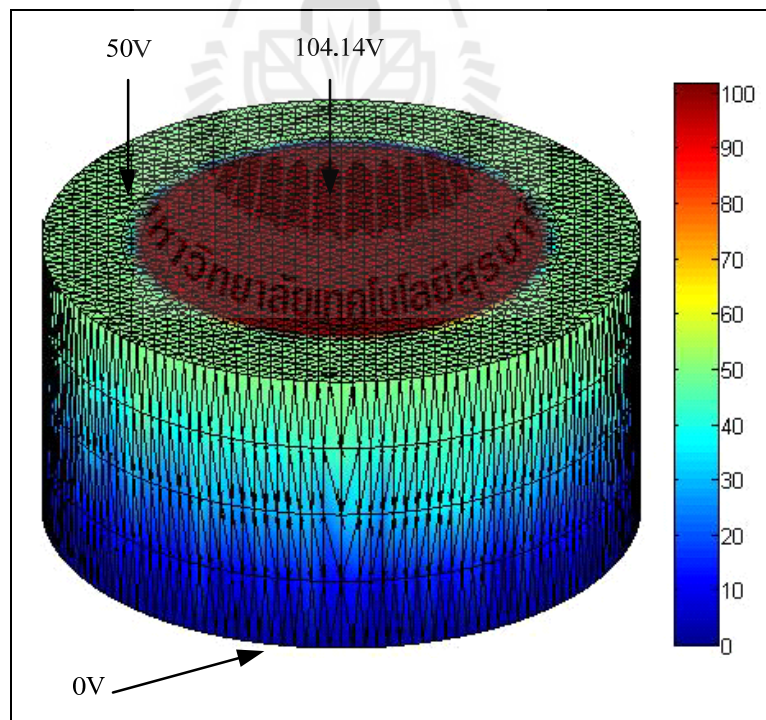
รูปที่ 6.16 การกระจายตัวของศักย์ไฟฟ้า (V) แบบ 3 มิติที่ความถี่ 84 kHz



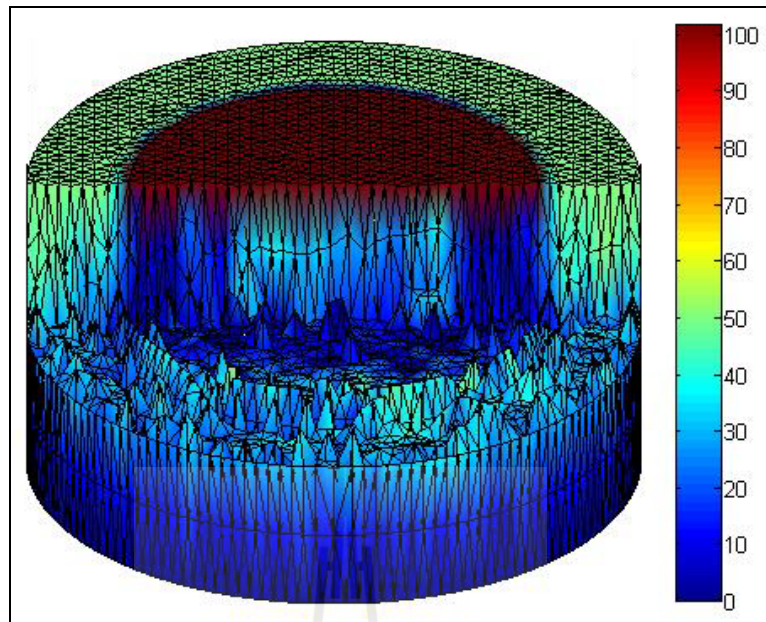
รูปที่ 6.17 ภาพตัดการกระจายตัวของศักย์ไฟฟ้า (V) แบบ 3 มิติที่ความถี่ 84 kHz



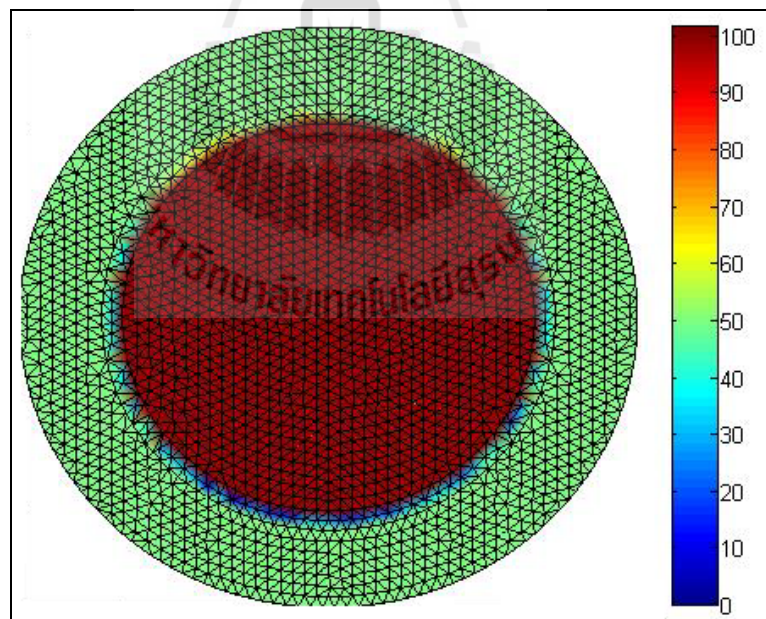
รูปที่ 6.18 การกระจายตัวของศักย์ไฟฟ้า (V) บริเวณหัวอิเล็กทรอนิกส์โทรดขาเข้าและขาออกที่ความถี่ 84 kHz



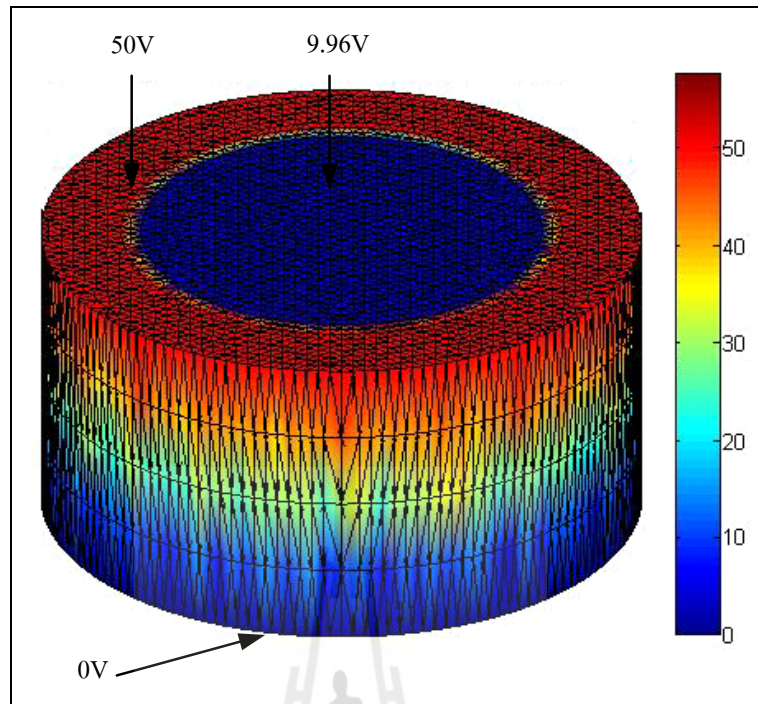
รูปที่ 6.19 การกระจายตัวของศักย์ไฟฟ้า (V) แบบ 3 มิติที่ความถี่ 85 kHz



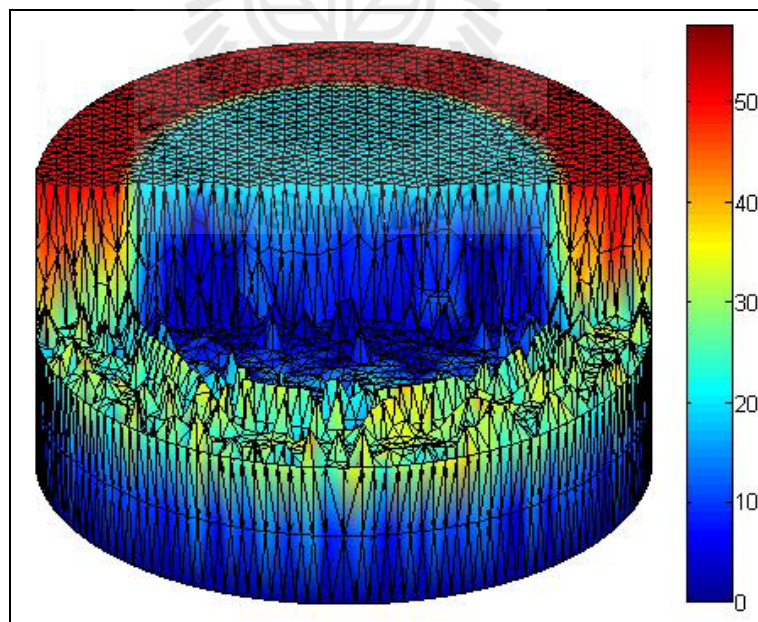
รูปที่ 6.20 ภาพตัดการกระจายตัวของศักย์ไฟฟ้า (V) แบบ 3 มิติที่ความถี่ 85 kHz



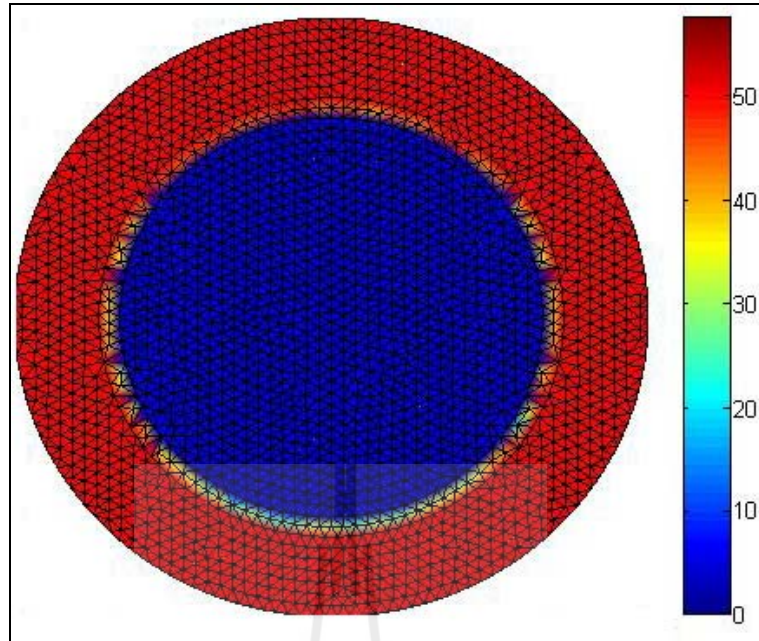
รูปที่ 6.21 การกระจายตัวของศักย์ไฟฟ้า (V) บริเวณข้ออเล็กโทรดขาเข้าและขาออกที่ความถี่ 85 kHz



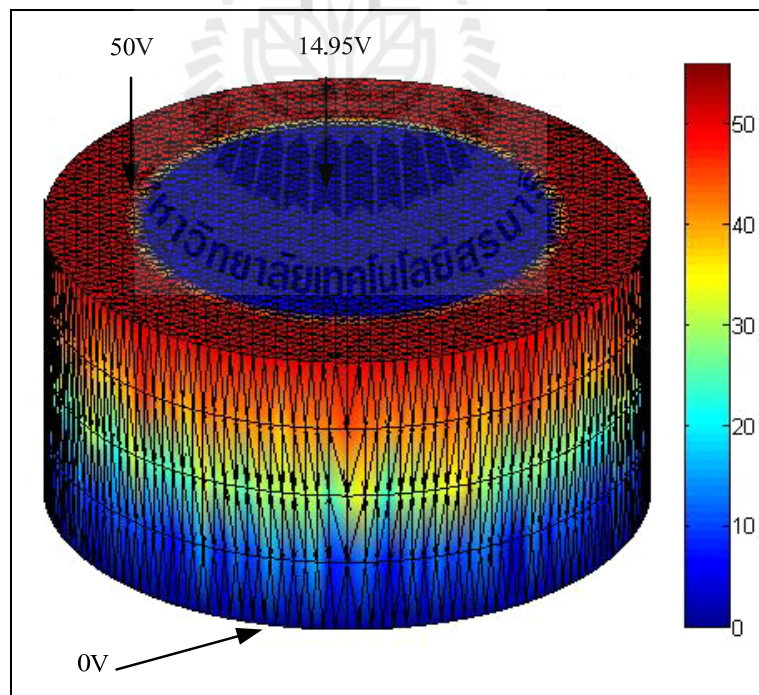
รูปที่ 6.22 การกระจายตัวของศักย์ไฟฟ้า (V) แบบ 3 มิติที่ความถี่ 86 kHz



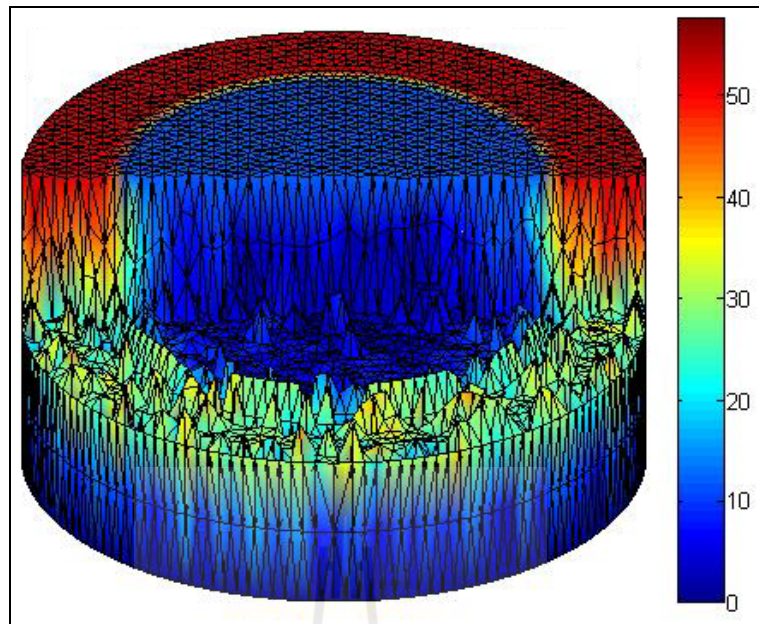
รูปที่ 6.23 ภาพตัดการกระจายตัวของศักย์ไฟฟ้า (V) แบบ 3 มิติที่ความถี่ 86 kHz



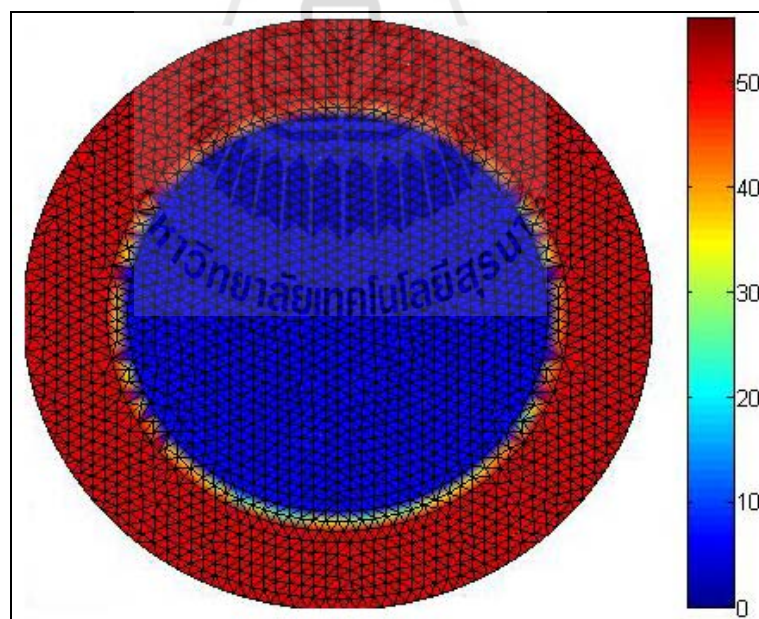
รูปที่ 6.24 การกระจายตัวของศักย์ไฟฟ้า (V) บริเวณขั้วอิเล็กโทรดขาเข้าและขาออกที่ความถี่ 86 kHz



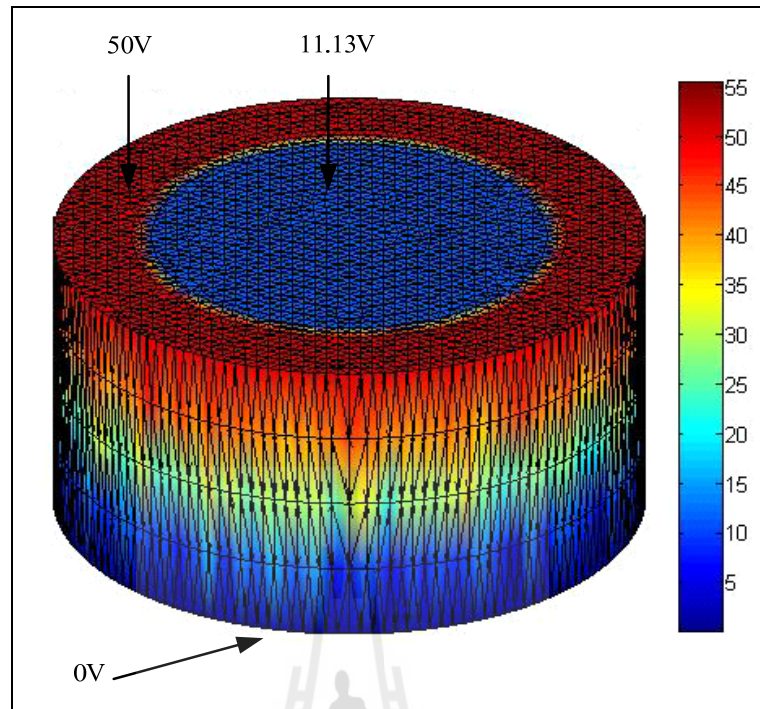
รูปที่ 6.25 การกระจายตัวของศักย์ไฟฟ้า (V) แบบ 3 มิติที่ความถี่ 87 kHz



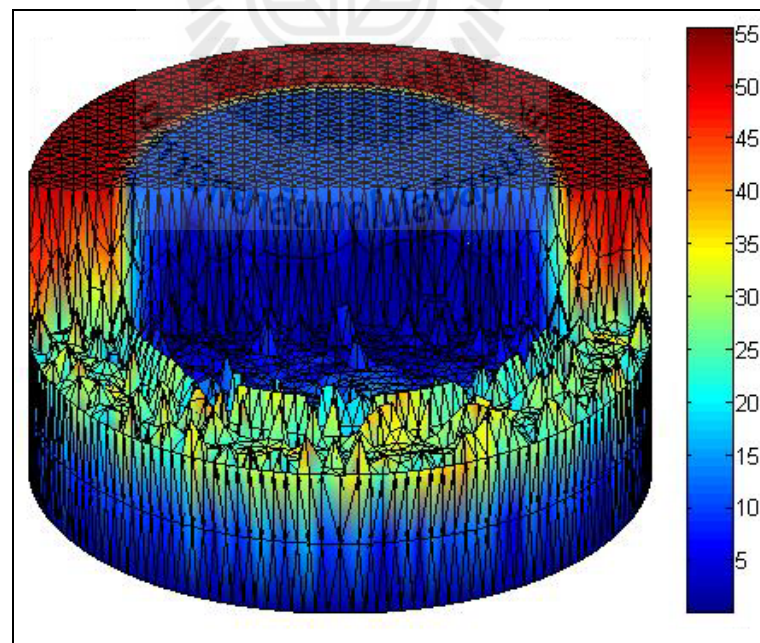
รูปที่ 6.26 ภาพตัดการกระจายตัวของศักย์ไฟฟ้า (V) แบบ 3 มิติที่มีความถี่ 87 kHz



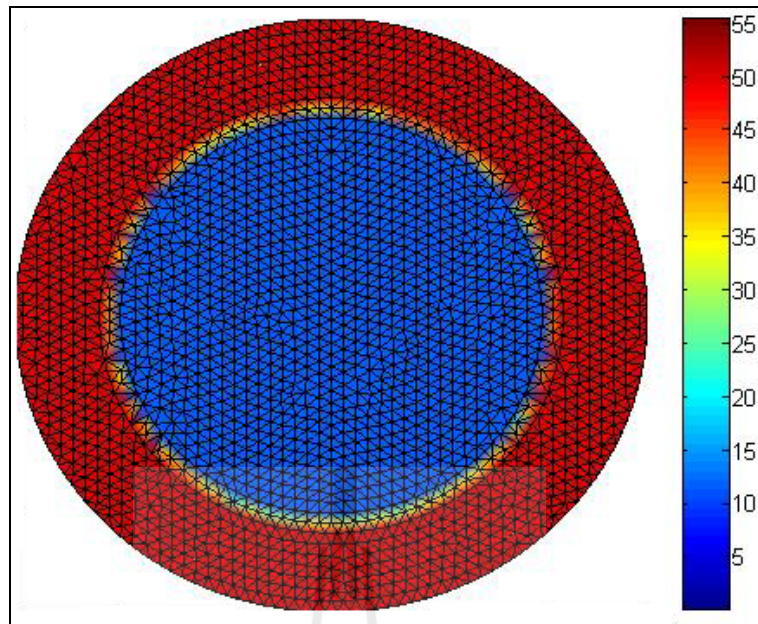
รูปที่ 6.27 การกระจายตัวของศักย์ไฟฟ้า (V) บริเวณขั้วอิเล็กโทรดขาเข้าและขาออกที่ความถี่ 87 kHz



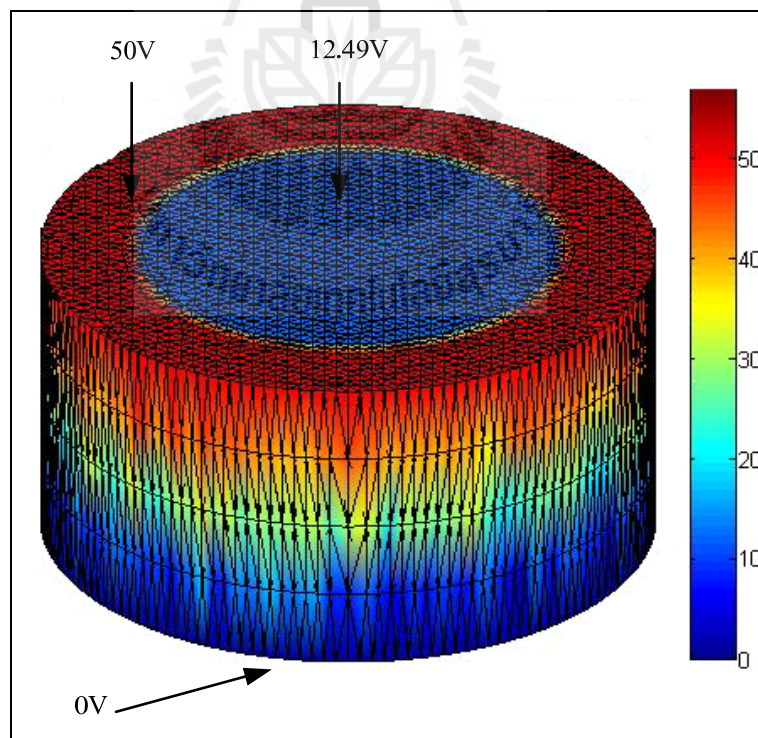
รูปที่ 6.28 การกระจายตัวของศักย์ไฟฟ้า (V) แบบ 3 มิติที่ความถี่ 88 kHz



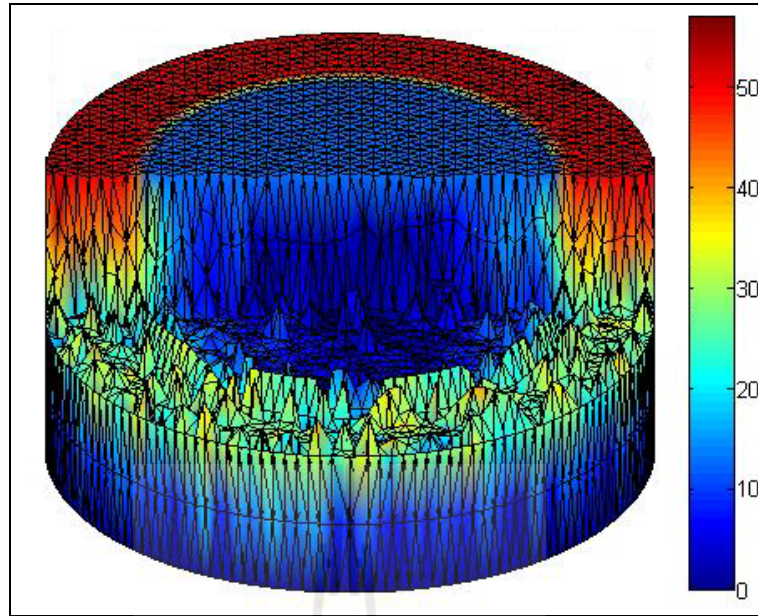
รูปที่ 6.29 ภาพตัดการกระจายตัวของศักย์ไฟฟ้า (V) แบบ 3 มิติที่ความถี่ 88 kHz



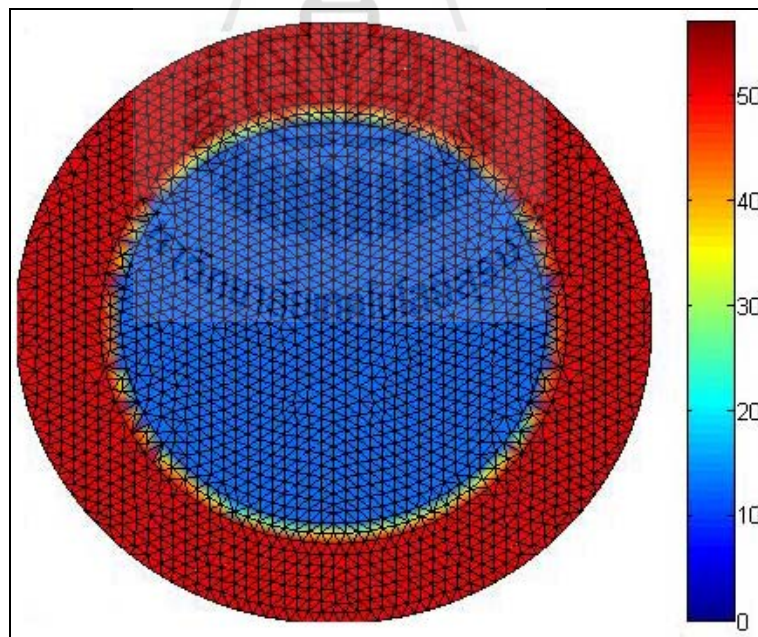
รูปที่ 6.30 การกระจายตัวของศักย์ไฟฟ้า (V) บริเวณขั้วอิเล็กโทรดขาเข้าและขาออกที่ความถี่ 88 kHz



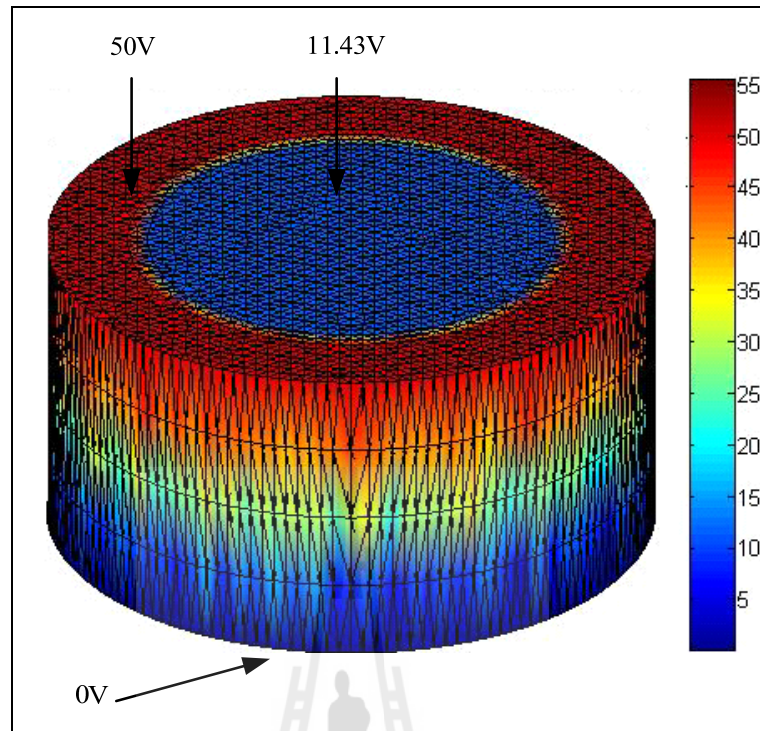
รูปที่ 6.31 การกระจายตัวของศักย์ไฟฟ้า (V) แบบ 3 มิติที่ความถี่ 89 kHz



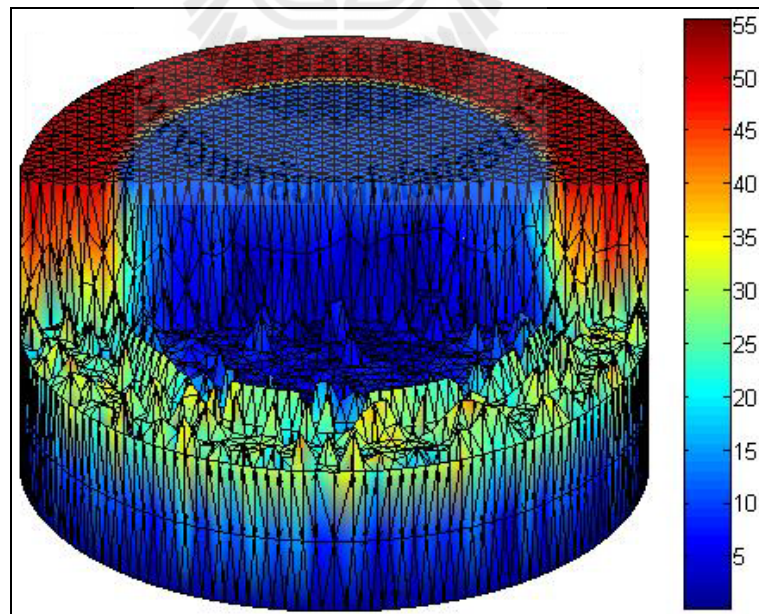
รูปที่ 6.32 ภาพตัดการกระจายตัวของศักย์ไฟฟ้า (V) แบบ 3 มิติที่ความถี่ 89 kHz



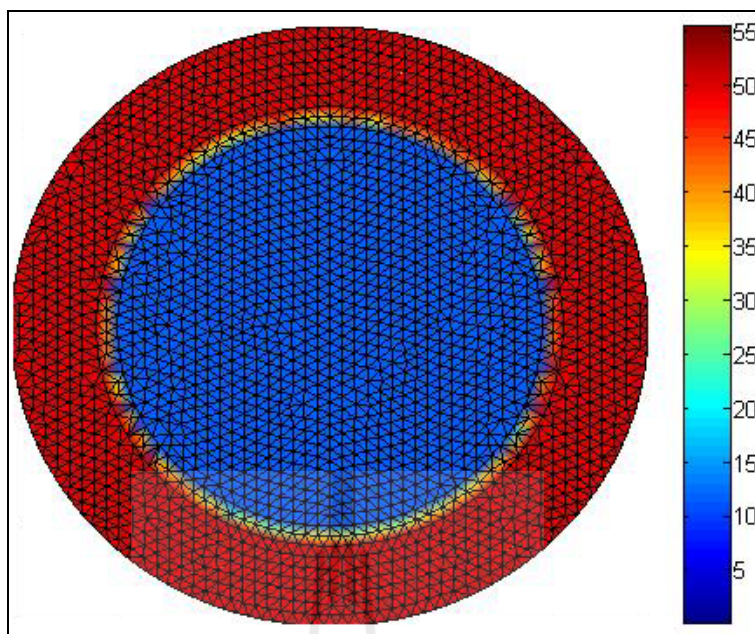
รูปที่ 6.33 การกระจายตัวของศักย์ไฟฟ้า (V) บริเวณขั้วอิเล็กโทรดขาเข้าและขาออกที่ความถี่ 89 kHz



รูปที่ 6.34 การกระจายตัวของศักย์ไฟฟ้า (V) แบบ 3 มิติที่ความถี่ 90 kHz



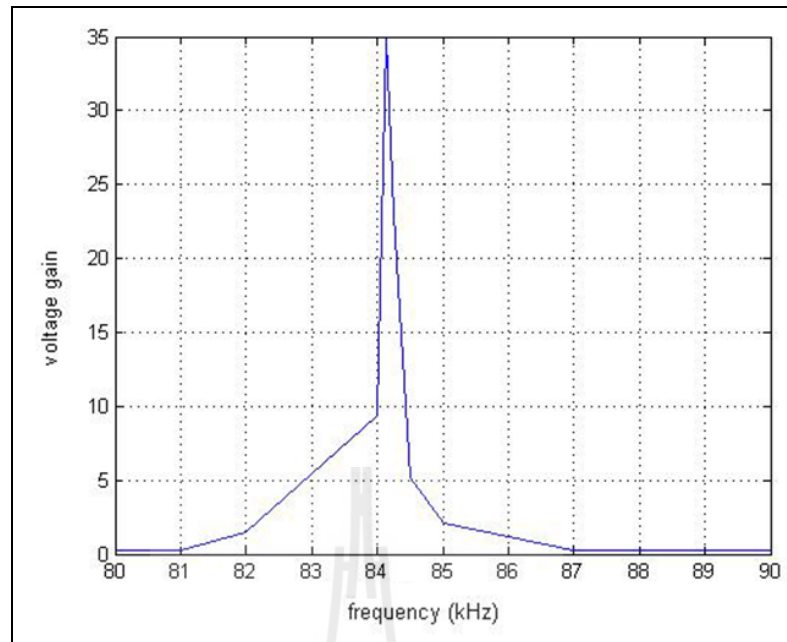
รูปที่ 6.35 ภาพตัดการกระจายตัวของศักย์ไฟฟ้า (V) แบบ 3 มิติที่ความถี่ 90 kHz



รูปที่ 6.36 การกระจายตัวของศักย์ไฟฟ้า (V) บริเวณขั้วเล็กโทรดขาเข้าและขาออกที่ความถี่ 90 kHz

จากรูปที่ 6.4 - 6.36 เป็นรูปที่แสดงผลการจำลองการกระจายตัวค่าศักย์ไฟฟ้าของหม้อแปลงไฟโอโซอิลิกทริกในช่วงความถี่ 80 - 90 kHz ซึ่งหลังจากผ่านกระบวนการคำนวณโดยใช้วิธีไฟไนท์อีลิเมนต์แล้ว ได้นำค่าศักย์ไฟฟ้าที่มากที่สุดที่บริเวณขั้วเล็กโทรดขาออกของหม้อแปลงไฟโอโซอิลิกทริกมาใช้ในการจำลองค่าการกระจายตัวของศักย์ไฟฟ้าที่เกิดขึ้นบริเวณขั้วเล็กโทรดขาออกของหม้อแปลงไฟโอโซอิลิกทริกแล้วได้แสดงผลทั้งแบบ 3 มิติ แบบภาพตัดและแบบ 2 มิติ ซึ่งในแบบ 2 มิตินั้นจะขยายไปในส่วนของบริเวณขั้วเล็กโทรดขาเข้าและขั้วเล็กโทรดขาออกของหม้อแปลงไฟโอโซอิลิกทริก โดยในรูปที่ 6.4 - 6.6 จะสังเกตเห็นว่าที่ค่าความถี่ 80 kHz ซึ่งยังไม่เป็นช่วงความถี่ที่หม้อแปลงไฟโอโซอิลิกทริกสามารถทำงานได้เนื่องจากการเกิดค่าศักย์ไฟฟ้าที่บริเวณขั้วเล็กโทรดขาออกเพียงเล็กน้อยเท่านั้นและในช่วงความถี่ถัดมาดังรูปที่ 6.7 - 6.9 ที่ค่าความถี่ 81 kHz จะสังเกตเห็นว่าค่าศักย์ไฟฟ้าที่บริเวณขั้วเล็กโทรดขาออกนั้นเริ่มมีการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อยโดยที่ค่าศักย์ไฟฟ้าจะมีค่าอยู่ประมาณ 20 V ซึ่งจากการที่ค่าศักย์ไฟฟ้ามีการเปลี่ยนแปลงโดยที่มีค่าเพิ่มมากขึ้นนั้นแสดงว่ากำลังจะเข้าใกล้ความถี่ธรรมชาติของหม้อแปลงไฟโอโซอิลิกทริกแล้วสำหรับในรูปที่ 6.10 - 6.12 ที่ค่าความถี่ 82 kHz จะพบว่าค่าศักย์ไฟฟ้าที่บริเวณขั้วเล็กโทรดขาออกนั้นมีค่าอยู่ที่ประมาณ 70 V ซึ่งค่าศักย์ไฟฟ้าที่บริเวณขั้วเล็กโทรดขาออกที่เกิดขึ้นนั้นมีค่าสูงกว่าบริเวณขั้วเล็กโทรดขาเข้าแสดงว่าหม้อแปลงเปียโซอิลิกทริกอยู่ในช่วงความถี่ธรรมชาติแล้วและจากรูปที่ 6.13 - 6.15 ที่ค่าความถี่ 83 kHz ค่าศักย์ไฟฟ้าที่เกิดขึ้นบริเวณขั้วเล็กโทรดขาออก

นั้นมีค่าสูงขึ้นมากกว่าเดิมโดยจะอยู่ที่ประมาณ 120 V แสดงว่าที่ความถี่ 83 kHz ก็ยังอยู่ในช่วงความถี่ธรรมชาติของหม้อแปลงไฟโอโซอิลเล็กทริก โดยจะสังเกตจากค่าศักย์ไฟฟ้าที่บริเวณขั้วอิลเล็กโทรดขาออกนั้นมีค่าเพิ่มมากขึ้นและในช่วงความถี่ต่อมาที่ค่าความถี่ 84 kHz ดังรูปที่ 6.16 - 6.18 ซึ่งในที่ค่าความถี่นี้จะเกิดค่าศักย์ไฟฟ้าที่บริเวณขั้วอิลเล็กทริกโทรดขาออกที่ค่อนข้างสูงมาก ๆ โดยที่มีค่าสูงถึง 450 V ซึ่งมีค่าเป็น 9 เท่าเมื่อเทียบกับค่าศักย์ไฟฟ้าที่บริเวณขั้วอิลเล็กโทรดขาเข้า จากการที่ค่าศักย์ไฟฟ้าที่บริเวณขั้วอิลเล็กโทรดขาออกมีค่าสูงมาก ๆ นั้น แสดงว่าที่ค่าความถี่นี้เป็นความถี่ธรรมชาติของหม้อแปลงไฟโอโซอิลเล็กทริก ซึ่งที่ความถี่ 84 kHz นั้นจะเป็นค่าที่สอดคล้องกับค่าความถี่ธรรมชาติที่ได้จากการคำนวณด้วยวิธีไฟไนท์อิลลิเมนต์และค่าความถี่ธรรมชาติที่ได้จากการทดสอบจริง โดยที่ความถี่ 85 kHz ดังรูปที่ 6.19 - 6.21 จากรูปจะเห็นว่าค่าศักย์ไฟฟ้าที่บริเวณขั้วอิลเล็กโทรดขาออกของหม้อแปลงไฟโอโซอิลเล็กทริกนั้นจะมีค่าลดลงอยู่ที่ 100 V ซึ่งจากการที่ค่าศักย์ไฟฟ้าบริเวณขั้วอิลเล็กโทรดขาออกมีการเปลี่ยนแปลงโดยที่มีค่าลดลงนั้นแสดงว่าที่ค่าความถี่ 85 kHz เป็นความถี่ที่กำลังจะออกจากความถี่ธรรมชาติของหม้อแปลงไฟโอโซอิลเล็กทริกแล้วและในช่วงความถี่ถัดมาความถี่ที่ 86 - 90 kHz ดังรูปที่ 6.22 - 6.36 ซึ่งเป็นความถี่ที่ผ่านจากช่วงความถี่ธรรมชาติของหม้อแปลงไฟโอโซอิลเล็กทริกแล้วก็จะในช่วงความถี่ที่หม้อแปลงไฟโอโซอิลเล็กทริกไม่สามารถทำงานได้อีก โดยจะสามารถสังเกตได้จากค่าศักย์ไฟฟ้าที่เกิดขึ้นบริเวณขั้วอิลเล็กโทรดขาออกของหม้อแปลงไฟโอโซอิลเล็กทริกนั้นจะมีลดลงแล้วจะมีค่าศักย์ไฟฟ้าที่บริเวณขั้วอิลเล็กโทรดขาออกเพียงเล็กน้อยเท่านั้นเหมือนกับช่วงความถี่ที่ 80 kHz ที่ยังไม่เข้าใกล้ความถี่ธรรมชาตินั่นเอง โดยจากผลการจำลองค่าศักย์ไฟฟ้าที่บริเวณขั้วอิลเล็กโทรดขาออกทั้งหมดนั้นสามารถนำมาแสดงผลในลักษณะของอัตรการขยายค่าศักย์ไฟฟ้าเป็นแบบกราฟเชิงเส้นได้ดังรูปที่ 6.37



รูปที่ 6.37 อัตราการขยายศักย์ไฟฟ้าที่บริเวณขั้วอิเล็กทรอนิกส์โทรคขาออกในช่วงความถี่ 80 - 90

จากรูปที่ 6.37 อัตราการขยายของค่าศักย์ไฟฟ้าที่บริเวณขั้วอิเล็กทรอนิกส์โทรคขาออกนั้นจะมีค่าอัตราการขยายสูงสุดที่ความถี่ 84.13 kHz โดยให้อัตราการขยายระหว่างขั้วอิเล็กทรอนิกส์โทรคขาออกกับขั้วอิเล็กทรอนิกส์ทรินั้นจะเกี่ยวข้องกับระยะการกระจัดเชิงกลที่เกิดขึ้นในการสั่นแบบต่าง ๆ โดยในส่วนถัดจากนี้ จะแสดงผลการจำลองการกระจายของการกระจัดเชิงกลที่เกิดขึ้นในช่วงความถี่ 80 - 90 kHz ซึ่งจะแบ่งผลการจำลองออกเป็น 3 แบบเหมือนกับการจำลองผลการกระจายของค่าศักย์ไฟฟ้า โดยแบบแรกจะแสดงผลในแบบ 3 มิติเพื่อให้เห็นถึงผลการจำลองการกระจัดเชิงกลทั่วทั้งปริมาตรของหม้อแปลงไฟโอโซอิเล็กทรอนิกส์และแบบที่สองจะแสดงผลภาพตัดของหม้อแปลงไฟโอโซอิเล็กทรอนิกส์เพื่อให้เห็นถึงผลการจำลองภายในหม้อแปลงและในแบบที่สามจะแสดงผลในแบบ 2 มิติโดยจะแสดงผลบริเวณขั้วอิเล็กทรอนิกส์โทรคขาเข้าและขั้วอิเล็กทรอนิกส์โทรคขาออกของหม้อแปลงไฟโอโซอิเล็กทรอนิกส์เพื่อให้สอดคล้องกับการแสดงผลการจำลองของค่าศักย์ไฟฟ้าและเพื่อให้เห็นถึงการกระจายของการกระจัดเชิงกลในอีกหลาย ๆ มุมมองได้อย่างชัดเจนยิ่งขึ้น โดยจะแสดงผลการจำลองออกเป็นดังนี้

