สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

เครื่องจำลองรูปคลื่นการเกิดดิสชาร์จบางส่วนสำหรับการศึกษาการกระจายของพัลส์ในวงจรสมมูลย์ความถี่สูงของขดลวดหม้อแปลงไฟฟ้ากำลัง

A PARTIAL DISCHARGE PULSE SIMULATOR FOR PULSE DISTRIBUTION STUDY IN A HIGH FREQUENCY EQUIVALENT CIRCUIT OF POWER TRANSFORMER WINDING

T110418

ภูธวัช วิริยะกิติกุล

PUTHAWAT WIRIYAKITIKUN

วพ.
ภ654ค
2553
เลขหมู่.......
เลขทะเบียน 110418
วัน,เดือน,ปี -2 พ.ย. 2553

b. 12255464
i.....................

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ.2553

KMITL 2010-EN-M-020-115

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

A PARTIAL DISCHARGE PULSE SIMULATOR FOR PULSE DISTRIBUTION STUDY IN A HIGH FREQUENCY EQUIVALENT CIRCUIT OF POWER TRANSFORMER WINDING

PUTHAWAT WIRIYAKITIKUN

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
MASTER OF ENGINEERING IN ELECTRICAL ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
2010

KMITL 2010-EN-M-020-115

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

COPYRIGHT 2010

FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

ใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์	เครื่องจำลองรูปคลื่นการเกิดดิสชาร์จบางส่วนสำหรับการศึกษาการกระจายของพัลส์ในวงจรสมมูลย์ความถี่สูงของขดลวดหม้อแปลงไฟฟ้ากำลัง
นักศึกษา	นายภูธวัช วิริยะกิติกุล
รหัสประจำตัว	51060211
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมไฟฟ้า
พ.ศ.	2553
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	รศ.ดร.อานันทวัฒน์ คุณากร

บทคัดย่อ

วิทยานิพนธ์นี้นำเสนอรายละเอียด และวิธีการสร้างสัญญาณจำลองของรูปพัลส์ที่เกิดจากการดิสชาร์จบางส่วนในหม้อแปลงไฟฟ้ากำลังรวมไปถึงการศึกษาเบื้องต้นเกี่ยวกับการแพร่กระจายของพัลส์จากการเกิดดิสชาร์จบางส่วน โดยจุดประสงค์หลักในการจำลองคือ เพื่อสร้างรูปคลื่นพัลส์ที่มีลักษณะเหมือนกับการเกิดดิสชาร์จบางส่วนในหม้อแปลงไฟฟ้ากำลังที่เกิดขึ้นอันเนื่องจากการเสื่อมสภาพของฉนวนในหม้อแปลงไฟฟ้า ในงานวิจัยนี้ได้นำไมโครคอนโทรลเลอร์มาประยุกต์ใช้งาน เนื่องจากสามารถทำให้สร้างรูปพัลส์จำลองจากการเกิดดิสชาร์จบางส่วนในหม้อแปลงไฟฟ้ากำลังได้หลายรูปแบบเช่น การสร้างสัญญาณการดิสชาร์จในฟองอากาศ หรือการดิสชาร์จในน้ำมันและยังสามารถสร้างพัลส์ได้พร้อมกันหลายสัญญาณในช่วงเวลาเดียวกัน เพื่อใช้จำลองถึงสถานการณ์ที่เกิดการดิสชาร์จบางส่วนพร้อมกันหลายจุดในเวลาเดียวกันแต่เกิดที่ตำแหน่งแตกต่างกัน โดยเครื่องจำลองจะถูกใช้ในการศึกษาถึงความเป็นไปได้ในการแพร่กระจายของรูปพัลส์จากการเกิดดิสชาร์จบางส่วนในขดลวดของหม้อแปลงไฟฟ้า แบบจำลองความถี่สูงของหม้อแปลงไฟฟ้าจะถูกเชื่อมต่อเข้ากับเครื่องจำลองซึ่งถูกพัฒนาขึ้นในวิทยานิพนธ์ พัลส์จากเครื่องจำลองจะถูกจ่ายเข้าไปยังแบบจำลองความถี่สูงของหม้อแปลงไฟฟ้าเพื่อบันทึก และศึกษาถึงเส้นทางการแพร่กระจายของพัลส์จากการเกิดดิสชาร์จบางส่วน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis Title	A Partial Discharge Pulse Simulator for Pulse Distribution Study in A High Frequency Equivalent Circuit of Power Transformer Winding
Student	Mr. Puthawat Wiriyakitikun
Student ID.	51060211
Degree	Master of Engineering
Program	Electrical Engineering
Year	2010
Thesis Advisor	Assoc. Prof. Dr. Anantawat Kunakorn

ABSTRACT

This thesis presents details and the construction of a partial discharge pulse simulator as well as the preliminary study of partial discharge pulse propagation. The main purpose of the simulator is to generate short pulses which are similar to the partial discharge pulses in a power transformer due to the insulation deterioration. Using a microcontroller, the simulator has an advantage that various types of partial discharge pulses in the transformer such as the discharge in a gas bubble or the discharge in the oil, can be generated. In addition, the simulator is able to produce simultaneous pulses in order to simulate multiple partial discharges which can occur in the same time but in different locations along the transformer winding insulation. The simulator is a useful tool in studying insulation defects of power transformer windings. In addition, the simulator is employed in studying the possibility of partial discharge pulses propagation along a transformer winding. The high frequency model of a transformer winding is connected to the pulse simulator developed in the thesis. Partial discharge pulses, then, are injected to the transformer winding model. The paths for pulse propagation are recorded and investigated.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดีจากความกรุณาของ รศ.ดร.อานันทวัฒน์ คุณากร อาจารย์ที่ปรึกษา และอาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ที่คอยให้ความช่วยเหลือ ให้คำแนะนำในการแก้ปัญหาต่าง ๆ ตลอดจนถ่ายทอดความรู้และประสบการณ์ที่ดีแก่ข้าพเจ้าตลอดระยะเวลาของการศึกษา ข้าพเจ้ารู้สึกซาบซึ้งและขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอกราบขอบพระคุณ ผศ. นรเศรษฐ พัฒนเดช และนายณรงค์ ทองฉิมที่คอยให้คำชี้แนะและให้คำปรึกษา ทำให้วิทยานิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วงไปได้

ขอกราบขอบพระคุณอาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ทุก ๆ ท่าน ที่ได้ถ่ายทอดและประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ให้แก่ข้าพเจ้า

ขอขอบคุณพี่ๆ เพื่อนๆ และน้องๆห้องปฏิบัติการ Electrical Power Applications Research Laboratory (EPRL) และห้องประลองไฟฟ้าแรงสูงที่คอยให้คำแนะนำและความช่วยเหลือตลอดช่วงระยะเวลาของการศึกษา

สุดท้ายนี้ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดาและน้องๆ ของข้าพเจ้าที่เป็นกำลังใจและให้การสนับสนุนในทุกๆเรื่อง ทำให้ข้าพเจ้าสามารถทำวิทยานิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี

สำหรับคุณค่าและประโยชน์อันพึงมาจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ข้าพเจ้าขอมอบแด่บิดามารดาซึ่งเป็นที่รัก ครูอาจารย์ที่เคารพ และผู้มีพระคุณทุกท่าน

ภูธวัช วิริยะกิติกุล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.......... I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.......... II
กิตติกรรมประกาศ.......... III
สารบัญ.......... IV
สารบัญตาราง.......... VII
สารบัญรูป.......... VIII
บทที่ 1 บทนำ.......... 1
1.1 ความเป็นมา และความสำคัญของปัญหา.......... 1
1.2 ความมุ่งหมาย และวัตถุประสงค์ของการศึกษา.......... 2
1.3 สมมติฐานของการศึกษา.......... 3
1.4 ทฤษฎี หรือแนวความคิดที่ใช้ในการวิจัย.......... 4
1.5 ขอบเขตการวิจัย.......... 5
1.6 ขั้นตอนการศึกษา.......... 5

บทที่ 2 การเกิดดิสชาร์จบางส่วนในหม้อแปลงไฟฟ้า.......... 7
2.1 บทนำ.......... 7
2.2 ทฤษฎีการเกิดดิสชาร์จบางส่วน.......... 7
2.3 การตรวจจับหาจุดที่เกิดสัญญาณ PD ในหม้อแปลง.......... 8
2.3.1 การตรวจหาจุดที่เกิด PD ในหม้อแปลงไฟฟ้าด้วยการตรวจจับคลื่นเสียง.......... 8
2.3.2 การตรวจหาจุดที่เกิด PD ในหม้อแปลงไฟฟ้าด้วยการตรวจวัดทางไฟฟ้า.......... 11
2.4 เครื่องกำเนิดสัญญาณเลียนแบบการเกิดดิสชาร์จบางส่วนในหม้อแปลงไฟฟ้ากำลัง... 18
2.4.1 วงจรควบคุมการสร้างพัลส์.......... 18
2.4.2 วงจรกำเนิดสัญญาณพัลส์ PD จำลอง.......... 24

บทที่ 3 การสร้างเครื่องกำเนิดสัญญาณจำลองการเกิดดิสชาร์จบางส่วนใน
หม้อแปลงไฟฟ้า.......... 28
3.1 บทนำ.......... 28
3.2 การออกแบบวงจรควบคุมการสร้างพัลส์.......... 28

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

3.3 การออกแบบวงจรกำเนิดสัญญาณพัลส์..32

3.4 การเพิ่มระดับแรงดันของสัญญาณด้วยวงจรขยายแบบกลับเฟส..........................36

3.5 การสร้างเครื่องกำเนิดสัญญาณ PD จำลอง...37

บทที่ 4 การกระจายของสัญญาณการเกิดดิสชาร์จบางส่วนในแบบจำลองความถี่สูงของหม้อแปลงไฟฟ้า..50

4.1 บทนำ..50

4.2 อุปกรณ์ และเครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบ...50

4.3 การจ่ายสัญญาณเข้าจำลองสถานการณ์การเกิดดิสชาร์จบางส่วนจุดเดียว..............53

4.3.1 การจ่ายสัญญาณ PD จำลองช่วงเวลา 3/7.5 ไมโครวินาทีเข้าต้นขดลวดที่ 1......54

4.3.2 การจ่ายสัญญาณ PD จำลองช่วงเวลา 37.5/75 นาโนวินาทีเข้าต้นขดลวดที่ 1.....61

4.3.3 การจ่ายสัญญาณ PD จำลองช่วงเวลา 3.75/5 นาโนวินาทีเข้าต้นขดลวดที่ 1......69

4.3.4 การจ่ายสัญญาณ PD จำลองช่วงเวลา 3/7.5 ไมโครวินาทีเข้าต้นขดลวดที่ 16.....77

4.3.5 การจ่ายสัญญาณ PD จำลองช่วงเวลา 37.5/75 นาโนวินาทีเข้าต้นขดลวดที่ 16....78

4.3.6 การจ่ายสัญญาณ PD จำลองช่วงเวลา 3.75/5 นาโนวินาทีเข้าต้นขดลวดที่ 16.....80

4.4 การจ่ายสัญญาณทดสอบจำลองสถานการณ์การเกิด PD 2 จุดพร้อมกัน...............83

4.4.1 การทดสอบจ่ายสัญญาณ PD จำลองช่วงเวลา 3/7.5 ไมโครวินาที 2 จุด...........84

4.4.2 การทดสอบจ่ายสัญญาณ PD จำลองช่วงเวลา 37.5/75 นาโนวินาที 2 จุด........... 85

4.4.3 การทดสอบจ่ายสัญญาณ PD จำลองช่วงเวลา 3.75/5 นาโนวินาที 2 จุด............ 86

4.4.4 การทดสอบจ่ายสัญญาณ PD จำลองช่วงเวลา 3/7.5 ไมโครวินาที และ 37.5/75 นาโนวินาทีพร้อมกัน.. 88

4.5 การจ่ายสัญญาณทดสอบจำลองสถานการณ์การเกิด PD 3 จุดพร้อมกัน...............90

4.5.1 การทดสอบจ่ายสัญญาณ PD จำลองช่วงเวลา 3/7.5 ไมโครวินาที 3 จุด...........91

4.5.2 การทดสอบจ่ายสัญญาณ PD จำลองช่วงเวลา 37.5/75 นาโนวินาที 3 จุด..........93

4.5.3 การทดสอบจ่ายสัญญาณ PD จำลองช่วงเวลา 3.75/5 นาโนวินาที 3 จุด.......... 95

บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ..97

5.1 สรุปผลการวิจัย.. 97

5.2 ข้อเสนอแนะ..99

เอกสารนี้มีไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

บรรณานุกรม.. 100

ภาคผนวก...102

ภาคผนวก ก. DATA SHEET 102

ภาคผนวก ข. การจำลองการจ่ายสัญญาณทดสอบด้วยโปรแกรม PSpice 110

ภาคผนวก ค. การจำลองเปรียบเทียบผลกระทบจากสายเชื่อมอุปกรณ์
ด้วยโปรแกรม PSpice 128

ภาคผนวก ง. ผลงานวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์.. 143

ประวัติผู้เขียน...150

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

3.1 ค่าของอุปกรณ์ที่ใช้จริงในวงจรกำเนิดสัญญาณ PD จำลอง..38
5.1 ความสามารถของ Microcontroller และ Multiplexer ในการสร้างสัญญาณ PD จำลอง.........98
5.2 ทิศทางการแพร่กระจายของกระแสดิสชาร์จบางส่วนในวงจรสมมูลย์หม้อแปลงไฟฟ้า.........98
5.3 ผลกระทบของจากค่าความต้านทานของขดลวด และค่าความเหนี่ยวนำร่วม.........................99

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่ หน้า

2.1 การติดตั้งอุปกรณ์สำหรับตรวจวัดหาจุดที่เกิด PD ด้วยการตรวจจับคลื่นอัลตร้าโซนิค.......... 9

2.2 รูปตัวอย่างการเดินทางของคลื่นอัลตร้าโซนิคจากจุดกำเนิดถึงตัวตรวจจับ.......... 10

2.3 การแสดงจุดที่ PD ของหม้อแปลงในรูปแบบ geometry ด้วยคอมพิวเตอร์.......... 10

2.4 การเกิด PD ในรูปแบบต่างๆ ในหม้อแปลงไฟฟ้ากำลัง.......... 12

2.5 ส่วนประกอบของสัญญาณ PD.......... 13

2.6 การเกิด PD ในชุดขดลวด.......... 14

2.7 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง capacitive component และความยาวของขดลวด.......... 14

2.8 การจ่ายสัญญาณ PD จำลองเข้าทดสอบขดลวดหม้อแปลง.......... 17

2.9 การเก็บข้อมูลด้วยวิธี TESPAR ในรูป A-Matrix 3 แกน.......... 18

2.10 รูปสัญญาณพัลส์สี่เหลี่ยมทั่วไป.......... 19

2.11 การต่อวงจร Astable ของ NE555N.......... 19

2.12 การต่อวงจรใช้งาน Astable ของ NE555N.......... 20

2.13 ไอซี LS221.......... 21

2.14 Truth Table ของวงจร Monostable.......... 21

2.15 วงจร Monostable ที่สร้างสัญญาณทริก.......... 22

2.16 Microcontroller ICs.......... 22

2.17 บล็อกไดอะแกรมของไมโครคอนโทรลเลอร์ (อ้างอิงจากไอซี AT89S8253).......... 23

2.18 วงจรกำเนิดแรงดันอิมพัลส์พื้นฐานแบบ B.......... 24

2.19 วงจรสร้างสัญญาณ PD จำลอง.......... 26

2.20 Reed Relay.......... 27

2.21 Multiplexer.......... 27

3.1 ลักษณะโครงสร้างภายนอกของไอซี AT89S8253.......... 29

3.2 วงจรการต่อใช้งานไอซี AT89S8253.......... 29

3.3 สัญญาณทริกเกอร์ที่สร้างจากไมโครคอนโทรลเลอร์.......... 32

3.4 มัลติเพล็กเซอร์แบบ 2 channel เบอร์ 74HC4052.......... 33

3.5 มัลติเพล็กเซอร์แบบ 3 channel เบอร์ 74HC4053.......... 33

3.6 วงจรขยายสัญญาณแบบกลับเฟส.......... 36

3.7 ออปแอมป์ และโครงสร้างภายในที่นำมาใช้ขยายสัญญาณ.......... 37

3.8 การต่อวงจรกำเนิดสัญญาณ PD จำลองแบบสองลูกพร้อมกัน.......... 38

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่ หน้า

3.9 รูปสัญญาณ PD จำลอง 3/7.5 ไมโครวินาที ของ 2 channal 39

3.10 รูปสัญญาณ PD จำลอง 37.5/75 นาโนวินาที ของ 2 channal 39

3.11 รูปสัญญาณ PD จำลอง 3.75/5 นาโนวินาที ของ 2 channal 40

3.12 รูปการเทียบสัญญาณ PD จำลอง 3/7.5 ไมโครวินาที และ 37.5/75 นาโนวินาที........................40

3.13 รูปการเทียบสัญญาณ PD จำลอง 3.75/5 นาโนวินาที และ3/7.5 ไมโครวินาที........................41

3.14 รูปการเทียบสัญญาณ PD จำลอง 3.75/5 นาโนวินาที และ 37.5/75 นาโนวินาที........................41

3.15 วงจรส่วนกำเนิดสัญญาณ PD จำลองแบบ 3 ช่องสัญญาณพร้อมกัน........................ 42

3.16 วงจรส่วนควบคุมการกำเนิดสัญญาณ PD จำลอง........................ 42

3.17 ลายปริ้นวงจรส่วนควบคุม และส่วนกำเนิดสัญญาณ PD จำลอง........................ 43

3.18 ตัววงจรของเครื่องกำเนิดสัญญาณ PD จำลองที่ถูกสร้างขึ้นมา........................43

3.19 แผนผังการทำงานของเครื่องกำเนิดสัญญาณ PD จำลอง........................ 44

3.20 สัญญาณ 3/7.5 ไมโครวินาทีที่สร้างจากวงจรกำเนิด PD จำลอง 3 ช่องสัญญาณพร้อมกัน......45

3.21 สัญญาณ 37.5/75 นาโนวินาทีที่สร้างจากวงจรกำเนิด PD จำลอง 3 ช่องสัญญาณพร้อมกัน.... 45

3.22 สัญญาณ 3.75/5 นาโนวินาทีที่สร้างจากวงจรกำเนิด PD จำลอง 3 ช่องสัญญาณพร้อมกัน..... 46

3.23 สัญญาณ 3/7.5 ไมโครวินาที ,37.5/75 นาโนวินาที และ3.75/5 นาโนวินาที
ที่สร้างจากวงจรกำเนิด PD จำลอง 3 ช่องสัญญาณพร้อมกัน........................ 46

3.24 พัลส์ 3/7.5 ไมโครวินาที จากวงจรกำเนิดเปรียบเทียบกับหลังจากผ่านวงจรขยาย 10 เท่า......47

3.25 พัลส์ 37.5/75 นาโนวินาที จากวงจรกำเนิดเปรียบเทียบกับหลังจากผ่านวงจรขยาย 3 เท่า...... 48

3.26 พัลส์ 3/7.5 ไมโครวินาที ทั้ง 3 ช่องสัญญาณหลังจากผ่านวงจรขยาย........................48

3.27 พัลส์ 37.5/75 นาโนวินาที ทั้ง 3 ช่องสัญญาณหลังจากผ่านวงจรขยาย........................49

4.1 แผงวงจรสมมูลย์ชุดขดลวดที่ใช้ทดสอบ........................50

4.2 แบบวงจรสมมูลย์ที่ต่อทดสอบ........................51

4.3 การแบ่งช่วงของชุดขดลวด........................51

4.4 โพรบวัดกระแสรุ่น 700937 ของบริษัท YOKOGAWA........................51

4.5 โพรบวัดกระแสรุ่น A6302 ของบริษัท TEKTRONIX........................52

4.6 ดิจิตอลออสซิลโลสโคปรุ่น DL 1640 ของบริษัท YOKOGAWA........................52

4.7 การติดตั้งอุปกรณ์เพื่อจับสัญญาณกระแส........................53

4.8 สัญญาณกระแสที่วัดได้จากโพรบวัดกระแสในรูปที่ 4.5........................53

4.9 วงจรการจ่ายสัญญาณทดสอบเข้าที่ต้นขดลวดที่ 1 ของแบบหม้อแปลงจำลอง........................54

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่ หน้า

4.10 วงจรการจ่ายสัญญาณทดสอบเข้าที่ต้นขดลวดลำดับที่ 16 ของแบบหม้อแปลงจำลอง.......... 54
4.11 วงจรจำลองการจ่ายสัญญาณ 3/7.5 ไมโครวินาทีเข้าวงจรสมมูลย์หม้อแปลงชุดที่ 1..............55
4.12 สัญญาณกระแส 3/7.5 ไมโครวินาทีจากวงจรกำเนิด..........55
4.13 สัญญาณกระแสที่ไหลผ่านตัว $L1$ เทียบกับ C_s1 56
4.14 สัญญาณกระแสที่ไหลผ่านตัว C_g1..........56
4.15 สัญญาณกระแสที่ไหลผ่านตัว C_g1 เทียบกับ $L1$..........57
4.16 สัญญาณกระแสที่ไหลผ่านตัว L ในชุดขดลวดที่ 1, 6, 11, 16, 21 และ 26..........57
4.17 จุดที่ติดตั้งโพรบวัดกระแสของการทดสอบจ่ายพัลส์ช่วงเวลา 3/7.5 ไมโครวินาที ที่ต้นขดลวดลำดับที่ 1..........58
4.18 สัญญาณกระแสจุดวัดที่ 1 ในการทดสอบหัวข้อที่ 4.3.1..........58
4.19 สัญญาณกระแสจุดวัดที่ 2 ของขดลวดแต่ละขดในการทดสอบหัวข้อที่ 4.3.1.......... 59
4.20 สัญญาณกระแสจุดวัดที่ 3 ของขดลวดแต่ละขดในการทดสอบหัวข้อที่ 4.3.1.......... 59
4.21 สัญญาณกระแสจุดวัดที่ 4 ในการทดสอบหัวข้อที่ 4.3.1..........60
4.22 สัญญาณกระแสจุดวัดที่ 5 ในการทดสอบหัวข้อที่ 4.3.1..........60
4.23 ทิศทางการเคลื่อนที่ของสัญญาณกระแสจากการจ่ายสัญญาณทดสอบ ที่ต้นขดลวดลำดับที่ 1 ด้วยพัลส์ 3/7.5 ไมโครวินาที..........61
4.24 วงจรจำลองการจ่ายสัญญาณ 37.5/75 นาโนวินาทีเข้าวงจรสมมูลย์หม้อแปลงชุดที่ 1..........61
4.25 สัญญาณกระแส 37.5/75 นาโนวินาทีจากวงจรกำเนิด..........62
4.26 สัญญาณกระแส 37.5/75 นาโนวินาทีที่ไหลผ่านตัว C_s1 เทียบกับ $L1$.......... 62
4.27 สัญญาณกระแส 37.5/75 นาโนวินาทีที่ไหลผ่านตัว C_s1 เทียบกับ C_g1..........63
4.28 สัญญาณ 37.5/75 นาโนวินาทีที่ไหลผ่านตัว C_s ในขดลวดที่ 1, 6, 11, 16, 21 และ 26..........63
4.29 จุดที่ติดตั้งโพรบวัดกระแสของการทดสอบจ่ายพัลส์ช่วงเวลา 37.5/75 นาโนวินาที ที่ต้นขดลวดลำดับที่ 1..........64
4.30 สัญญาณกระแสจุดวัดที่ 1 ในการทดสอบหัวข้อที่ 4.3.2..........64
4.31 สัญญาณกระแสจุดวัดที่ 2 ของขดลวดแต่ละขดในการทดสอบหัวข้อที่ 4.3.2..........65
4.32 สัญญาณกระแสจุดวัดที่ 3 ของขดลวดแต่ละขดในการทดสอบหัวข้อที่ 4.3.2.......... 66
4.33 ผลสัญญาณกระแสจุดวัดที่ 4 ของขดลวดแต่ละขดในการทดสอบหัวข้อที่ 4.3.2..........67
4.34 สัญญาณกระแสจุดวัดที่ 5 ของขดลวดแต่ละขดในการทดสอบหัวข้อที่ 4.3.2..........68

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่ หน้า

4.35 ทิศทางการเคลื่อนที่ของสัญญาณกระแสจากการจ่ายสัญญาณทดสอบที่ต้นขดลวด ที่ 1 ด้วยพัลส์ 37.5/75 นาโนวินาที......69

4.36 วงจรจำลองการจ่ายสัญญาณ 3.75/5 นาโนวินาทีเข้าวงจรสมมูลย์หม้อแปลงชุดที่ 1......69

4.37 สัญญาณกระแส 3.75/5 นาโนวินาทีจากวงจรกำเนิด......70

4.38 สัญญาณกระแส 3.75/5 นาโนวินาทีที่ไหลผ่านตัว C_s 1 เทียบกับ L 1......70

4.39 สัญญาณกระแส 3.75/5 นาโนวินาทีที่ไหลผ่านตัว C_s 1 เทียบกับ C_g 1......71

4.40 สัญญาณกระแส 3.75/5 นาโนวินาทีที่ไหลผ่าน C_s ในขดลวดที่ 1, 6, 11, 16, 21 และ 26......71

4.41 จุดที่ติดตั้งโพรบวัดกระแสของการทดสอบจ่ายพัลส์ช่วงเวลา 3.75/5 นาโนวินาที ที่ต้นขดลวดลำดับที่ 1......72

4.42 สัญญาณกระแสจุดวัดที่ 1 ในการทดสอบหัวข้อที่ 4.3.3......72

4.43 สัญญาณกระแสจุดวัดที่ 2 ของขดลวดแต่ละขดในการทดสอบหัวข้อที่ 4.3.3......73

4.44 สัญญาณกระแสจุดวัดที่ 3 ของขดลวดแต่ละขดในการทดสอบหัวข้อที่ 4.3.3......74

4.45 สัญญาณกระแสจุดวัดที่ 4 ของขดลวดแต่ละขดในการทดสอบหัวข้อที่ 4.3.3......75

4.46 สัญญาณกระแสจุดวัดที่ 5 ของขดลวดแต่ละขดในการทดสอบหัวข้อที่ 4.3.3......76

4.47 จุดที่ติดตั้งโพรบวัดกระแสของการทดสอบจ่ายพัลส์ช่วงเวลา 3/7.5 ไมโครวินาที ที่ต้นขดลวดที่ 16......77

4.48 สัญญาณกระแสจุดวัดที่ 1-4 ในการทดสอบหัวข้อที่ 4.3.4......77

4.49 ทิศทางการเคลื่อนที่ของสัญญาณกระแสจากการจ่ายสัญญาณทดสอบ ที่ต้นขดลวดที่ 16 ด้วยพัลส์ 3/7.5 ไมโครวินาที......78

4.50 จุดติดตั้งโพรบวัดกระแสของการทดสอบจ่ายพัลส์ช่วงเวลา 37.5/75 นาโนวินาที ที่ต้นขดลวดที่ 16......78

4.51 สัญญาณกระแสจุดวัดที่ 1-8 ในการทดสอบหัวข้อที่ 4.3.5......79

4.52 สัญญาณกระแสจุดวัดที่ 9-10 ในการทดสอบหัวข้อที่ 4.3.5......80

4.53 ทิศทางการเคลื่อนที่ของสัญญาณกระแสจากการจ่ายสัญญาณทดสอบ ที่ต้นขดลวดที่ 16 ด้วยพัลส์ 37.5/75 นาโนวินาที......80

4.54 จุดติดตั้งโพรบวัดกระแสของการทดสอบจ่ายพัลส์ช่วงเวลา 37.5/75 นาโนวินาที ที่ต้นขดลวดที่ 16......81

4.55 สัญญาณกระแสจุดวัดที่ 1-4 ในการทดสอบหัวข้อที่ 4.3.5......81

4.56 สัญญาณกระแสจุดวัดที่ 5-10 ในการทดสอบหัวข้อที่ 4.3.5......82

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่ หน้า

4.57 วงจรการจ่ายสัญญาณทดสอบจำลองสถานการณ์การเกิด PD 2 จุดพร้อมกัน........................83
4.58 จุดที่ติดตั้งโพรบวัดกระแสของการทดสอบจ่ายสัญญาณที่ต้นขดลวดที่ 11 และ 16...................83
4.59 สัญญาณกระแสจุดวัดที่ 1-6 ในการทดสอบหัวข้อที่ 4.4.1...84
4.60 สัญญาณกระแสจุดวัดที่ 1-4 ในการทดสอบหัวข้อที่ 4.4.2...85
4.61 สัญญาณกระแสจุดวัดที่ 5 และ 6 ในการทดสอบหัวข้อที่ 4.4.2..86
4.62 สัญญาณกระแสจุดวัดที่ 1-6 ในการทดสอบหัวข้อที่ 4.4.3...87
4.63 สัญญาณกระแสจุดวัดที่ 1 ในการทดสอบหัวข้อที่ 4.4.4...88
4.64 สัญญาณกระแสจุดวัดที่ 2 ในการทดสอบหัวข้อที่ 4.4.4...88
4.65 สัญญาณกระแสจุดวัดที่ 3 ในการทดสอบหัวข้อที่ 4.4.4...89
4.66 สัญญาณกระแสจุดวัดที่ 4 ในการทดสอบหัวข้อที่ 4.4.4...89
4.67 สัญญาณกระแสจุดวัดที่ 5 ในการทดสอบหัวข้อที่ 4.4.4...89
4.68 สัญญาณกระแสจุดวัดที่ 6 ในการทดสอบหัวข้อที่ 4.4.4...90
4.69 วงจรการจ่ายสัญญาณทดสอบจำลองสถานการณ์การเกิด PD 3 จุดพร้อมกัน........................91
4.70 จุดติดตั้งโพรบวัดกระแสของการทดสอบจ่ายสัญญาณที่ต้นขดลวดที่ 6 ,16 และ 26.................91
4.71 สัญญาณกระแสจุดวัดที่ 1-7 ในการทดสอบหัวข้อที่ 4.5.1...92
4.72 สัญญาณกระแสจุดวัดที่ 1-4 ในการทดสอบหัวข้อที่ 4.5.2...93
4.73 สัญญาณกระแสจุดวัดที่ 5-7 ในการทดสอบหัวข้อที่ 4.5.2...94
4.74 สัญญาณกระแสจุดวัดที่ 1-6 ในการทดสอบหัวข้อที่ 4.5.2...95
4.75 สัญญาณกระแสจุดวัดที่ 7 ในการทดสอบหัวข้อที่ 4.5.2...96

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมา และความสำคัญของปัญหา

หม้อแปลงไฟฟ้ากำลังเป็นอุปกรณ์หลักที่สำคัญในระบบส่งจ่าย และระบบจำหน่ายไฟฟ้า ทำหน้าที่เพิ่ม และลดระดับแรงดันให้เหมาะสมกับการใช้งาน ซึ่งการสร้างหม้อแปลงไฟฟ้ากำลังในปัจจุบันส่วนใหญ่จะใช้วัสดุที่มีคุณภาพต่ำเพื่อลดต้นทุนในการผลิต จึงทำให้หม้อแปลงที่ได้มีคุณภาพต่ำ และเกิดจุดบกพร่องได้ง่าย เช่น การที่ฉนวนในหม้อแปลงไฟฟ้ากำลังไม่สามารถป้องกันการถ่ายเทประจุไฟฟ้าระหว่างตัวนำที่มีระดับแรงดันไฟฟ้าต่างกันได้ทั้งหมด หรือที่เรียกว่าการเกิดดิสชาร์จบางส่วน (Partial Discharge: PD) [1] โดยการเกิดดิสชาร์จบางส่วนในระบบฉนวนของหม้อแปลงไฟฟ้ากำลังสามารถเกิดขึ้นได้หลายสาเหตุ เช่น การใช้วัสดุฉนวนที่มีคุณภาพต่ำ และการเสื่อมสภาพของฉนวนตามอายุการใช้งาน เป็นต้น ดังนั้นหากหม้อแปลงที่ใช้งานเกิดดิสชาร์จบางส่วน ขึ้นเป็นระยะเวลานานโดยที่ไม่ได้รับการซ่อมบำรุงจะทำให้หม้อแปลงไฟฟ้าเกิดการเบรกดาวน์ขึ้น ส่งผลให้ระบบไฟฟ้าที่เกี่ยวข้องไม่สามารถส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าได้

เพื่อป้องกันการเกิดปัญหาดังกล่าว การตรวจหาจุดที่เกิดสัญญาณการดิสชาร์จบางส่วนในหม้อแปลงไฟฟ้าเป็นวิธีการที่ทำให้สามารถตรวจสอบหม้อแปลงไฟฟ้าก่อนนำไปใช้งาน และซ่อมบำรุงหม้อแปลงไฟฟ้าที่ได้ใช้งานไปแล้วให้มีประสิทธิภาพได้ ในการตรวจสอบสามารถแบ่งออกเป็น 2 วิธีหลักๆ คือ 1.วิธีวิธีการทดสอบทางไฟฟ้า และ 2.วิธีที่การทดสอบโดยไม่ใช้ไฟฟ้า เช่น วิธีการตรวจจับสัญญาณเสียง แต่เนื่องด้วยวิธีการตรวจจับสัญญาณเสียง เป็นวิธีที่ไม่เหมาะสมกับหม้อแปลงที่มีโครงสร้างซับซ้อน และใช้ต้นทุนในการทดสอบสูง ทำให้วิธีการทดสอบทางไฟฟ้าจึงเป็นที่นิยมกันอย่างแพร่หลาย โดยการทดสอบทางไฟฟ้ามีวิธีการทดสอบด้วยการสร้างสัญญาณการเกิดดิสชาร์จบางส่วนจำลองในการจ่ายเข้าทดสอบที่ขดลวดหม้อแปลงไฟฟ้าเพื่อที่จะจำลองถึงสถานการณ์การเกิดดิสชาร์จบางส่วน และตรวจจับรูปผลตอบสนองทางสัญญาณไฟฟ้าเก็บไว้เป็นฐานข้อมูลสำหรับระบุจุดที่การดิสชาร์จบางส่วนต่อไป โดยทั่วไปแล้วการสร้างสัญญาณการเกิดดิสชาร์จบางส่วนจำลองจะใช้วงจร Monostable และ Astable ในการสร้างสัญญาณทริก และใช้รีดรีเลย์ (Reed Relay) เป็นตัวสวิตซ์ชิ่ง อย่างไรก็ตามอุปกรณ์เหล่านี้สามารสร้างรูปสัญญาณการเกิดดิสชาร์จบางส่วนได้เพียงรูปสัญญาณเดียว ดังนั้นในการวิเคราะห์จึงไม่สามารถที่จะจำลองสถานการณ์การเกิดดิสชาร์จบางส่วนพร้อมกันหลายจุดได้ เนื่องจากในความเป็นจริงแล้วการเกิดการดิสชาร์จบางส่วนในหม้อแปลงไฟฟ้าสามารถที่จะเกิดพร้อมกันได้มากกว่า 1 จุด

เพื่อแก้ปัญหาดังกล่าววิทยานิพนธ์นี้จึงได้นำเสนอการสร้างเครื่องกำเนิดสัญญาณเลียนแบบการเกิดดิสชาร์จบางส่วนในหม้อแปลงไฟฟ้า โดยในการสร้างได้นำไมโครคอนโทรลเลอร์มาใช้ใน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การสร้างสัญญาณทริกพร้อมทั้งควบคุมการทำงานของวงจร และนำมัลติเพล็กเซอร์มาใช้ทำหน้าที่เป็นตัวสวิตซ์ซึ่งความเร็วสูงทำให้สามารถสร้างสัญญาณจำลองออกมาได้พร้อมกันสูงสุด 3 ช่องสัญญาณ โดยแต่ละช่องสัญญาณสามารถจ่ายสัญญาณรูปแบบเดียวกัน หรือต่างรูปแบบในเวลาเดียวกันได้ ทั้งนี้เพื่อใช้ในการทดสอบจำลองสถานการณ์ที่เกิดความผิดพร่องของระบบฉนวนหลายรูปแบบได้พร้อมกันมากกว่าหนึ่งจุด ซึ่งสัญญาณการเกิดดิสชาร์จบางส่วนที่จำลองจากเครื่องกำเนิดสัญญาณในวิทยานิพนธ์นี้จะจำลองมาจากรูปสัญญาณการเกิดดิสชาร์จบางส่วนในหม้อแปลงไฟฟ้าที่พบได้บ่อย 3 รูปแบบคือ 1. การดิสชาร์จบางส่วนในฉนวนน้ำมัน 2. การดิสชาร์จบางส่วนแบบ Trichel pulse และ 3. การดิสชาร์จบางส่วนในฟองก๊าซ หรือฟองอากาศ

เนื่องจากพัลส์ที่เกิดขึ้นจากการเกิดดิสชาร์จบางส่วนนั้นจะมีการแพร่กระจายไปตามขดลวดหลังจากที่เกิดขึ้น ดังนั้นเพื่อที่จะแสดงถึงสมรรถนะของเครื่องกำเนิดสัญญาณการเกิดดิสชาร์จบางส่วนจำลองที่นำเสนอ วิทยานิพนธ์นี้ได้ทำการทดสอบนำสัญญาณที่สร้างได้ทั้ง 3 รูปแบบมาจ่ายทดสอบกับแบบจำลองวงจรสมมูลย์ความถี่สูงของขดลวดหม้อแปลงไฟฟ้า โดยทดสอบจ่ายสัญญาณ 3 แบบคือ 1. จ่ายสัญญาเข้าทดสอบที่จุดเดียว 2. จ่ายสัญญาณเข้าทดสอบ 2 จุดพร้อมกัน และ 3. จ่ายสัญญาณเข้าทดสอบ 3 จุดพร้อมกัน โดยการทดสอบแต่ละแบบจะมีการจ่ายสัญญาณในรูปแบบสัญญาณชนิดเดียวกัน และต่างชนิดกัน ซึ่งผลการทดสอบได้แสดงให้เห็นว่าเครื่องกำเนิดสัญญาณการเกิดดิสชาร์จบางส่วนจำลองที่นำเสนอนั้นสามารถที่จะจ่ายสัญญาณทดสอบได้มากกว่า 1 จุดพร้อมกัน ทั้งในรูปแบบสัญญาณชนิดเดียวกัน และต่างชนิดกัน จากนั้นจะทำการศึกษาเบื้องต้นถึงการกระจายของพัลส์จากการเกิดดิสชาร์จบางส่วนในแบบจำลองความถี่สูงของหม้อแปลงไฟฟ้าเพื่อพิจารณาถึงเส้นทางการกระจายของพัลส์แบบต่างๆ ไปตามพารามิเตอร์ที่เป็นตัวเหนี่ยวนำ และตัวเก็บประจุของแบบจำลองความถี่สูงของหม้อแปลงไฟฟ้า

1.2 ความมุ่งหมาย และวัตถุประสงค์ของการศึกษา

วิทยานิพนธ์นี้ทำการออกแบบ และสร้างเครื่องสร้างสัญญาณเลียนแบบการเกิดดิสชาร์จบางส่วนในหม้อแปลงไฟฟ้า โดยมีวัตถุประสงค์ของการศึกษา ดังต่อไปนี้

1. ศึกษาถึงวิธีการสร้างสัญญาณเลียนแบบการเกิดดิสชาร์จบางส่วนในหม้อแปลงไฟฟ้าโดยวงจรกำเนิดสัญญาณแรงดันอิมพัลส์แบบ B
2. ศึกษาวงจรเครื่องสร้างสัญญาณ PD จำลองที่แบ่งออกเป็นวงจรกำเนิดสัญญาณทริก และวงจรกำเนิดสัญญาณพัลส์จำลองแบบเก่า
3. พิจารณาข้อจำกัดในการสร้างสัญญาณ PD จำลองของวงจรกำเนิดในข้อที่ 2.
4. ศึกษาการนำอุปกรณ์ไมโครคอนโทรลเลอร์มาใช้ในการสร้างสัญญาณทริกแทนวงจร Astable และ Monostable

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. พัฒนาการสร้างสัญญาณจำลองให้สามารถจำลองสัญญาณเลียนแบบการเกิดดิสชาร์จบางส่วนได้หลายรูปสัญญาณพร้อมกัน โดยการนำอุปกรณ์มัลติเพล็กเซอร์มาใช้งานในวงจรกำเนิดอิมพัลส์แทนอุปกรณ์จำพวกรีเลย์ความเร็วสูง
6. ศึกษาเบื้องต้นถึงเส้นทางการกระจายของพัลส์จากการเกิดดิสชาร์จบางส่วนในแบบจำลองความถี่สูงของขดลวดหม้อแปลงไฟฟ้า

1.3 สมมติฐานของการศึกษา

จากบทความ และงานวิจัยที่ผ่านมายังไม่เคยมีงานวิจัยใดที่กล่าวถึงการทดสอบหาจุดที่เกิดความบกพร่องของระบบฉนวนโดยการจ่ายสัญญาณการเกิดดิสชาร์จจำลองเข้าทดสอบมากกว่าหนึ่งจุดพร้อมกัน ซึ่งในจุดนี้อาจจะมีสาเหตุอันเนื่องมาจากข้อจำกัดของการสร้างสัญญาณที่ไม่สามารถสร้างให้เกิดพร้อมกันได้ อีกทั้งวงจร และอุปกรณ์ที่เป็นส่วนประกอบในการสร้างสัญญาณมีหลายส่วน จึงอาจทำให้เกิดความเหลื่อมล้ำทางเวลา ดังนั้นในวิทยานิพนธ์นี้จึงทำการวิเคราะห์ และหาวิธีที่จะแก้ปัญหาเหล่านี้เพื่อสร้างเครื่องกำเนิดสัญญาณ PD จำลองที่สามารถจ่ายสัญญาณได้มากกว่าหนึ่งจุดขึ้นไปในเวลาเดียวกัน โดยสมมติฐานของการศึกษามีดังนี้

1. การสร้างวงจรกำเนิดสัญญาณทริกสี่เหลี่ยมด้วยวงจร Astable และ Monostable ที่มีอุปกรณ์ประกอบอยู่เป็นจำนวนมาก อาจทำให้เวลาในการสร้างสัญญาณทริกเกิดการเหลื่อมล้ำได้ เพื่อแก้ปัญหาตรงจุดนี้ในวิทยานิพนธ์นี้จึงเปลี่ยนมาใช้อุปกรณ์ไอซีไมโครคอนโทรลเลอร์ เนื่องจากไมโครคอนโทรลเลอร์สามารถสร้างสัญญาณพัลส์สี่เหลี่ยมได้โดยไม่ต้องต่อใช้งานร่วมกับอุปกรณ์อื่นๆ
2. ปกติในการสร้างพัลส์จะมีการนำอุปกรณ์จำพวกรีเลย์ความเร็วสูงมาใช้ในวงจรกำเนิดสัญญาณ อุปกรณ์จำพวกรีเลย์ความเร็วสูงนี้จะยังใช้เวลาในการทำงานระดับเป็นมิลลิวินาที ซึ่งใช้เวลามากเกินกว่าที่จะนำมาใช้สร้างสัญญาณการดิสชาร์จบางส่วนจำลองพร้อมกันหลายรูปสัญญาณ โดยในวิทยานิพนธ์นี้จะทดลองนำมัลติเพล็กเซอร์ที่ทำงานแบบอนาล็อกสวิตซ์มาใช้แทนรีเลย์ความเร็วสูงเนื่องจากมีความเร็วในการทำงานในระดับเป็นนาโนวินาที
3. การตรวจวัดหาสัญญาณการเกิดดิสชาร์จบางส่วนที่จุดต่อบุชชิงของหม้อแปลงไฟฟ้า โดยทั่วไปแล้วสัญญาณที่จับได้จะมีขนาดแอมพลิจูดที่ต่ำ หรือมีเพียงส่วนที่เป็นสัญญาณออสซิลเลต ซึ่งสัญญาณบางส่วนอาจจะหายไปในช่วงการเดินทางของสัญญาณจากจุดกำเนิดถึงจุดที่ตรวจวัดได้ ดังนั้นวิทยานิพนธ์นี้จึงได้ทดสอบจ่ายสัญญาณการดิสชาร์จบางส่วนจำลองที่สร้างขึ้นเข้าสู่แบบจำลองวงจรสมมูลย์ความถี่สูงของหม้อแปลงไฟฟ้าเพื่อศึกษาถึงทิศทางการแพร่ของสัญญาณดิสชาร์จบางส่วนในแต่ละรูปแบบ และสัญญาณที่ลดทอน หรือสูญหายไปในการเดินทางระหว่างชุดขดลวด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.4 ทฤษฎีหรือแนวความคิดที่ใช้ในการวิจัย

การศึกษาวิธีการหาจุดที่เกิดการดิสชาร์จบางส่วนในหม้อแปลงด้วยวิธีการจ่ายสัญญาณ PD จำลองเข้าทดสอบกับขดลวดหม้อแปลงตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบันมีการศึกษามาอย่างต่อเนื่อง โดยแนวคิดของการสร้างเครื่องกำเนิดสัญญาณเลียนแบบการเกิดดิสชาร์จบางส่วนในวิทยานิพนธ์นี้ได้นำมาจากงานวิจัยที่ผ่านมาก่อนหน้านี้ คือ

ในปี พ.ศ. 2536 (ค.ศ. 1993) J.Fuhr และ M.Haessig [2] ได้นำเสนอถึงการทดสอบหาจุดที่เกิดการดิสชาร์จบางส่วนในหม้อแปลงไฟฟ้าด้วยวิธีการนำสัญญาณดิสชาร์จบางส่วนจำลองมาจ่ายเข้าที่จุดเทอร์มินอล และจุดต่อแท็ปของหม้อแปลง แล้วตรวจจับสัญญาณกระแสที่จุดต่างๆ มาเก็บไว้เป็นฐานข้อมูลด้วยวิธี TESPAR

ในปี พ.ศ. 2542 (ค.ศ. 1999) Z.D. Wang และ P.A. Crossley [3] ได้นำเสนอถึงการทดสอบหาจุดที่เกิดการดิสชาร์จบางส่วนในหม้อแปลงไฟฟ้าแบบดิสคอล์ย (Disc Coil) ด้วยวิธีการนำสัญญาณ PD จำลองจ่ายเข้าที่จุดต่อดิสก์ขดลวดหม้อแปลง และจับสัญญาณกระแสที่เทอร์มินอลของหม้อแปลงเพื่อดูถึงผลตอบสนองของรูปสัญญาณกระแสต่อระยะห่างจากจุดที่จ่ายสัญญาณถึงจุดเทอร์มินอล

ในปี พ.ศ. 2550 (ค.ศ. 2007) A.M. Jafari และ A. Akbari [4] ได้นำเสนอถึงผลตอบสนองของรูปสัญญาณการเกิดดิสชาร์จบางส่วนที่จับได้จากการทดสอบจ่ายสัญญาณการเกิดดิสชาร์จบางส่วนจำลองเข้าที่จุดต่างๆ ของขดลวดหม้อแปลงไฟฟ้าเปรียบเทียบกับผลตอบสนองที่ได้จากการจำลองด้วยสมการฟังก์ชันถ่ายโอน (Transfer Functions) ของหม้อแปลงไฟฟ้าที่ใช้ทดสอบ

ในปี พ.ศ. 2552 (ค.ศ. 2009) V. Jeyabalan และ S. Usa [5] ได้นำเสนอถึงการทดสอบหาจุดที่เกิดการดิสชาร์จบางส่วนในแบบจำลองวงจรสมมูลย์ความถี่สูงของหม้อแปลงไฟฟ้าด้วยวิธีการนำพัลส์สัญญาณจากเครื่องกำเนิดสัญญาณพัลส์ (Signal Generator) มาจ่ายเข้าทดสอบที่แบบจำลองขดลวดหม้อแปลง และจับผลตอบสนองสัญญาณกระแสที่ต้นชุดขดลวดที่ 1 มาใช้ในการหาจุดที่เกิดการดิสชาร์จบางส่วน โดยในการทดสอบจะวิเคราะห์ถึงผลตอบสนองของรูปสัญญาณกระแสในแต่ละช่วงความถี่ที่จ่ายเข้าทดสอบเพื่อเก็บเป็นข้อมูลอ้างอิงสำหรับการทดสอบครั้งต่อๆ ไป

วิทยานิพนธ์นี้ได้ศึกษา และสร้างเครื่องกำเนิดสัญญาณเลียนแบบการเกิดดิสชาร์จบางส่วนในหม้อแปลงไฟฟ้าด้วยอุปกรณ์ไมโครคอนโทรลเลอร์ และมัลติเพล็กเซอร์ที่ทำงานแบบอนาล็อกสวิตซ์ เพื่อให้สามารถสร้างสัญญาณ PD จำลองได้มากกว่าหนึ่งรูปสัญญาณพร้อมกัน โดยมีวัตถุประสงค์ในการใช้จำลองสถานการณ์การเกิดจุดบกพร่องในระบบฉนวนของหม้อแปลงไฟฟ้าหลายจุดพร้อมกันรวมไปถึงสามารถใช้ในการพิจารณาเส้นทางการแพร่กระจายของสัญญาณดิสชาร์จบางส่วนแบบจำลองความถี่สูงของขดลวดหม้อแปลงไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.5 ขอบเขตการวิจัย

วิทยานิพนธ์นี้นำเสนอการสร้างเครื่องกำเนิดสัญญาณเลียนแบบการเกิดดิสชาร์จบางส่วนในหม้อแปลงไฟฟ้า โดยจะสร้างเครื่องกำเนิดสัญญาณ PD จำลองที่สามารถสร้างพัลส์สัญญาณจำลองการเกิดดิสชาร์จบางส่วนในหม้อแปลงได้พร้อมกันสูงสุด 3 ช่องสัญญาณ และจะมีการทดลองนำสัญญาณที่สร้างได้ไปจ่ายทดสอบกับแผงวงจรสมมูลย์ชุดขดลวดหม้อแปลงไฟฟ้าเพื่อให้เห็นถึงพัลส์กระแสที่สามารถจ่ายจากเครื่องกำเนิดสัญญาณการเกิดดิสชาร์จบางส่วนจำลองที่สร้างขึ้นได้จริง

สัญญาณการเกิดดิสชาร์จบางส่วนในหม้อแปลงไฟฟ้าเป็นสัญญาณที่บ่งบอกถึงความผิดปกติที่จุดใดจุดหนึ่งของระบบฉนวนในหม้อแปลง ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีการหาวิธีมาใช้ตรวจจับและวิเคราะห์จุดที่เกิดสัญญาณดิสชาร์จบางส่วนขึ้นมา โดยวิธีการตรวจจับผลทางสัญญาณไฟฟ้าเป็นวิธีที่นิยมใช้มากที่สุด ซึ่งวิธีการสร้างสัญญาณดิสชาร์จบางส่วนจำลองเพื่อจ่ายเข้าทดสอบจำลองสถานการณ์การเกิดดิสชาร์จบางส่วนที่จุดต่างๆ และเก็บข้อมูลผลตอบสนองของรูปสัญญาณเป็นวิธีทางไฟฟ้าที่ใช้ในการหาจุดที่เกิดรูปสัญญาณดิสชาร์จบางส่วน โดยในการสร้างสัญญาณดิสชาร์จบางส่วนจำลองในวิทยานิพนธ์นี้จะมีการนำเอาอุปกรณ์ไมโครคอนโทรลเลอร์ และมัลติเพล็กเซอร์มาใช้ประกอบสร้างในวงจรกำเนิดสัญญาณพัลส์ เพื่อให้สามารถสร้างสัญญาณการเกิดดิสชาร์จบางส่วนจำลองได้พร้อมกันมากกว่าหนึ่งช่องสัญญาณ และสามารถจ่ายพัลส์กระแสเข้าทดสอบได้จริง ซึ่งการทดสอบในวิทยานิพนธ์นี้จะนำสัญญาณจำลองที่สร้างได้มาจ่ายเข้าสู่จุดต่อต่างๆ ของแบบจำลองวงจรสมมูลย์ความถี่สูงของขดลวดหม้อแปลงไฟฟ้าเพื่อใช้สำหรับศึกษาเบื้องต้นถึงทิศทางการแพร่กระจายของสัญญาณการดิสชาร์จบางส่วนในรูปแบบต่างๆ

1.6 ขั้นตอนการศึกษา

วิทยานิพนธ์นี้มีขั้นตอนการดำเนินการวิจัยดังนี้

1. ศึกษาวิธีการสร้างสัญญาณ PD จำลองแบบการใช้วงจรกำเนิดสัญญาณแรงดันอิมพัลส์ และการสร้างสัญญาณทริกด้วยวงจร Astable และ Monostable
2. ศึกษาการเขียนโปรแกรมไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อนำมาใช้ในการสร้างสัญญาณทริก และศึกษาข้อมูลของมัลติเพล็กเซอร์ที่ทำงานแบบอนาล็อกสวิตซ์ที่จะนำมาใช้ พร้อมคำนวณค่าพารามิเตอร์ของตัวอุปกรณ์ในวงจรกำเนิดสัญญาณ
3. นำข้อมูลของตัวอุปกรณ์ที่คำนวณได้มาสร้างวงจรกำเนิดสัญญาณจำลองบนโฟโต้บอร์ดเพื่อดูผลของรูปสัญญาณที่สร้างออกมา
4. แก้ไขปรับเปลี่ยนอุปกรณ์ที่ใช้จากในขั้นตอนที่ 3. เพื่อให้ได้รูปสัญญาณถูกต้องตามต้องการ และดำเนินการสร้างวงจรจริง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. นำสัญญาณที่ผ่านวงจรขยายไปทดสอบจ่ายเข้าแบบจำลองวงจรสมมูลย์ความถี่สูงของหม้อแปลงไฟฟ้า เพื่อดูลักษณะสัญญาณกระแสที่ตรวจวัดได้ตามจุดต่างๆ ของชุดวงจรสมมูลย์ และพิจารณาถึงผลของค่าพารามิเตอร์ตัวเหนี่ยวนำ และตัวเก็บประจุที่มีผลต่อการเดินทางของสัญญาณการดิสชาร์จบางส่วน

วิทยานิพนธ์นี้แบ่งรายละเอียดออกเป็น 5 บท ดังต่อไปนี้ คือ

บทที่ 1 กล่าวถึงความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา สมมติฐานของการศึกษา ทฤษฎีหรือแนวความคิดที่ใช้ในการวิจัย ขอบเขตการวิจัย และขั้นตอนการศึกษา

บทที่ 2 กล่าวถึงทฤษฎีพื้นฐานของสัญญาณการเกิดดิสชาร์จบางส่วน รวมถึงวิธีการตรวจจับหาจุดที่เกิดดิสชาร์จบางส่วนในหม้อแปลงไฟฟ้าที่มีใช้ และวิธีการตรวจจับหาจุดที่เกิดดิสชาร์จบางส่วนในหม้อแปลงไฟฟ้าแบบการจ่ายสัญญาณ PD จำลองเข้าทดสอบอันเป็นวิธีที่เป็นแนวคิดในการสร้างเครื่องกำเนิดสัญญาณเลียนแบบการเกิดดิสชาร์จบางส่วนในวิทยานิพนธ์นี้

บทที่ 3 กล่าวถึงวิธีการสร้างรูปสัญญาณเลียนแบบการเกิดดิสชาร์จบางส่วนในหม้อแปลงไฟฟ้าแบบที่เคยมีในบทความวิจัยอื่นๆ และการนำมาพัฒนาในการสร้างรูปสัญญาณจำลองให้ได้มากกว่าหนึ่งรูปในวิทยานิพนธ์นี้

บทที่ 4 กล่าวถึงการนำสัญญาณจำลองที่สร้างได้จากในบทที่ 3 ไปจ่ายทดสอบเข้ากับแผงแบบจำลองวงจรสมมูลย์ความถี่สูงของขดลวดหม้อแปลงไฟฟ้าเพื่อพิจารณาถึงรูปสัญญาณกระแสที่ออกจากวงจรกำเนิด และศึกษาถึงผลตอบสนองของแบบจำลองชุดขดลวดต่อรูปสัญญาณกระแสที่จ่ายเข้าไปที่จุดต่างๆ ทั้งในกรณีการจ่ายสัญญาณทดสอบแบบจุดเดียว สองจุด และสามจุด

บทที่ 5 เป็นบทสรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
การเกิดดิสชาร์จบางส่วนในหม้อแปลงไฟฟ้า

2.1 บทนำ

ในบทนี้จะเป็นการกล่าวถึงทฤษฎีพื้นฐานของการเกิดดิสชาร์จบางส่วน วิธีการตรวจจับหาจุดที่เกิดสัญญาณดิสชาร์จบางส่วนในหม้อแปลงไฟฟ้าด้วยวิธีการตรวจจับการสั่นสะเทือนของสัญญาณเสียง และวิธีการตรวจจับทางไฟฟ้า รวมถึงพื้นฐานของการสร้างเครื่องกำเนิดสัญญาณ PD จำลองที่ใช้สำหรับการจ่ายทดสอบเพื่อหาผลตอบสนองของขดลวดหม้อแปลงไฟฟ้า การเกิดดิสชาร์จบางส่วนในหม้อแปลงไฟฟ้าเกิดจากการที่ระบบฉนวนเกิดเสียหาย หรือเสื่อมสภาพทำให้เกิดการถ่ายเทประจุในเนื้อฉนวน ซึ่งสามารถตรวจหาจุดที่เกิดการดิสชาร์จบางส่วนได้ 2 วิธีคือ วิธีการตรวจจับสัญญาณเสียง และวิธีการตรวจจับสัญญาณไฟฟ้า โดยวิธีการตรวจสอบด้วยการจ่ายสัญญาณการเกิดดิสชาร์จบางส่วนจำลองเข้าไปทดสอบเพื่อดูผลตอบสนองเป็นอีกหนึ่งวิธีที่มีประสิทธิภาพในการทดสอบ เนื่องจากเป็นการทดสอบกับหม้อแปลงโดยตรง ดังนั้นจึงต้องมีการสร้างเครื่องกำเนิดสัญญาณการเกิดดิสชาร์จบางส่วนจำลองเพื่อใช้สำหรับจ่ายทดสอบ

2.2 ทฤษฎีการเกิดดิสชาร์จบางส่วน

ดิสชาร์จบางส่วน (Partial Discharge: PD) [6] คือ ดิสชาร์จเบรกดาวน์ที่ไม่สมบูรณ์ พลังงานที่ทำให้เกิดดิสชาร์จนั้นไม่มากพอที่จะทำให้ฉนวนเปลี่ยนสภาพไปเป็นสภาพนำไฟฟ้าได้ตลอดแนวระหว่างอิเล็กโตรด (Electrode) จึงเรียกว่า “ดิสชาร์จบางส่วน” เพราะฉนวนของอิเล็กโตรดด้านหนึ่ง หรือทั้งสองด้าน ซึ่งอาจเป็นของแข็ง ของเหลว หรือก๊าซ ยังเป็นฉนวนที่สมบูรณ์มั่นคงอยู่ Kreuger [7] ได้ให้คำอธิบายไว้ว่า “ดิสชาร์จบางส่วนเป็นดิสชาร์จทางไฟฟ้าที่ไม่เชื่อมโยงถึงกันระหว่างอิเล็กโตรด” ดิสชาร์จบางส่วนจะเกิดขึ้นในระบบฉนวนที่มีลักษณะสนามไฟฟ้าไม่สม่ำเสมอสูง หรือฉนวนที่มีความไม่สม่ำเสมอ ไม่เป็นเนื้อเดียวกัน หรือมีสิ่งเจือปน ซึ่งทำให้ความเครียดสนามไฟฟ้าบางจุดในฉนวนมีค่าสูงกว่าค่าความเครียดสนามไฟฟ้าวิกฤต แต่ไม่อาจทำให้เกิดเบรกดาวน์โดยสมบูรณ์ได้หากแต่เกิดเพียงบางส่วนเท่านั้น ซึ่งการดิสชาร์จบางส่วนจะเกิดขึ้นได้ทั้งในสนามไฟฟ้ากระแสสลับ และสนามไฟฟ้ากระแสตรง หากเป็นการดิสชาร์จในสนามไฟฟ้ากระแสสลับการดิสชาร์จจะเกิดซ้ำทุกๆ ไซเคิลของแรงดัน โดยดิสชาร์จบางส่วนอาจแบ่งออกได้เป็น 3 แบบ คือ 1. โคโรนาดิสชาร์จ 2. ดิสชาร์จตามผิว และ 3. ดิสชาร์จภายใน

ดิสชาร์จบางส่วนอาจทำให้เกิดผลได้หลายอย่าง เช่น แสง เสียง รังสี ปฏิกิริยาเคมี และผลทางไฟฟ้า เป็นต้น ผลของดิสชาร์จทำให้เกิดการสูญเสียของพลังงาน และยังก่อให้เกิดความเสียหายต่อระบบการฉนวน ทำให้ฉนวนเสื่อมสภาพเร็ว อายุการใช้งานของอุปกรณ์สั้นลง และนำไปสู่การ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เบรกดาวน์ในที่สุด ดังนั้นการออกแบบฉนวนอุปกรณ์ไฟฟ้าแรงสูงจึงพิจารณา PD เป็นแฟกเตอร์สำคัญที่บอกถึงคุณภาพของอุปกรณ์ เพื่อพยายามหลีกเลี่ยงไม่ให้เกิด PD ขึ้น ด้วยการออกแบบลักษณะอิเล็กโตรดที่ปราศจากความเครียดสนามไฟฟ้าสูงเกินกว่าขีดความคงทนของฉนวน อย่างไรก็ตามการฉนวนอุปกรณ์ไฟฟ้าแรงสูง มีความยุ่งยากซับซ้อนทำให้ PD อาจเกิดขึ้นโดยไม่ได้คาดคิด คุณภาพของฉนวนไม่ได้ตามที่กำหนด หรือความบกพร่องในกระบวนการผลิต จึงจำเป็นต้องมีการตรวจสอบเพื่อหาจุดที่เกิดความบกพร่องขึ้น การเกิด PD อาจเกิดได้หลายสาเหตุ ดังนั้น การทราบสาเหตุ และตำแหน่งที่เกิดขึ้นแน่นอนจะช่วยให้แก้ไขปรับปรุงการฉนวนได้ถูกต้องรวดเร็ว

2.3 การตรวจจับหาจุดที่เกิดสัญญาณ PD ในหม้อแปลง

การตรวจหาจุดที่เกิด PD ในหม้อแปลงไฟฟ้าที่สะดวก และไม่เกิดความเสียหายต่อหม้อแปลง เป็นแนวความคิดที่มีหลายงานวิจัยได้เสนอวิธีการตรวจจับสัญญาณ PD ในหม้อแปลงขึ้นมาหลายวิธี โดยในแต่ละวิธีก็มีข้อดี และข้อเสียต่างกัน วิธีที่มีใช้กันอย่างแพร่หลายในปัจจุบันจะมีอยู่ 2 วิธีคือ 1.การตรวจจับสัญญาณเสียง และ 2.การตรวจจับสัญญาณไฟฟ้า โดยในแต่ละวิธีมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

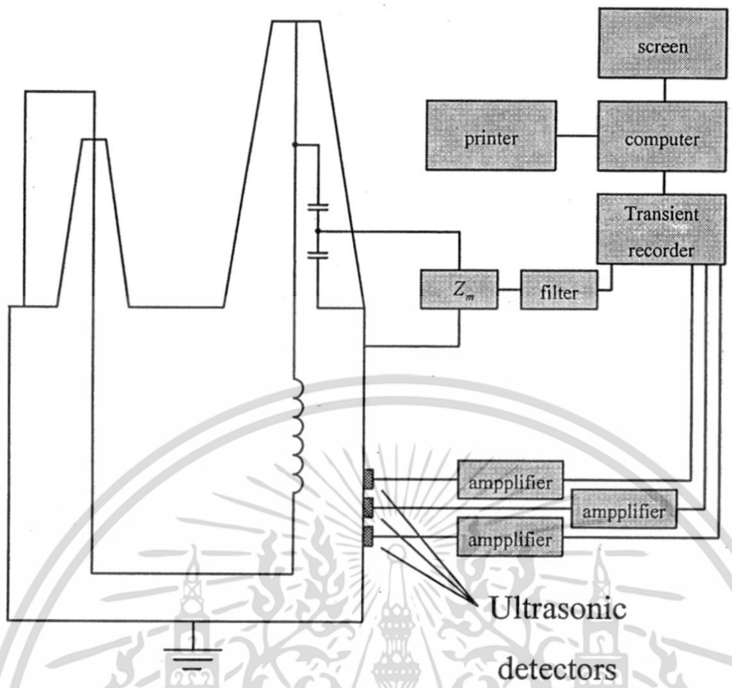
2.3.1 การตรวจหาจุดที่เกิด PD ในหม้อแปลงไฟฟ้าด้วยการตรวจจับคลื่นเสียง

วิธีนี้เป็นการตรวจจับการเกิดสัญญาณ PD ในหม้อแปลงไฟฟ้าที่มีน้ำมันหม้อแปลงเป็นฉนวน โดยใช้วิธีการตรวจจับคลื่นเสียงจากการสั่นสะเทือน เนื่องจากหลักการของการเกิดสัญญาณ PD จะก่อให้เกิดสัญญาณเสียงที่แพร่กระจายในลักษณะแนวเส้นตรง วิธีการตรวจจับสัญญาณเสียงจะมีปัจจัยสำคัญ 2 ส่วนคือ 1.ทิศทาง และ 2.ความเร็วในการเดินทางของเสียง โดยทิศทางการเดินทางของสัญญาณเสียงจะขึ้นอยู่กับการออกแบบระบบฉนวนภายในหม้อแปลงน้ำมันแต่ละลูก ซึ่งเส้นทางที่คลื่นอัลตร้าโซนิค (Ultrasonic) จะเดินทางผ่านระหว่างจุดที่เกิด PD และจุดที่ติดตั้งอุปกรณ์ตรวจจับ จะโดนขัดขวางการเดินทางของสัญญาณด้วยวัตถุฉนวนที่เป็นของแข็ง เช่น กระดาษเพรสบอร์ด (Pressboard) กระดาษฉนวน และแกนเหล็ก ในส่วนของความเร็วในการเดินทางของสัญญาณเสียงจะขึ้นอยู่กับพาหะที่สัญญาณเสียงเดินทางผ่าน ดังนั้นจึงมีการใช้ประโยชน์จากจุดนี้มาใช้ในการตรวจจับเพื่อวิเคราะห์หาจุดที่เกิดสัญญาณ PD เกิดขึ้น โดยในที่นี้จะกล่าวถึงวิถีตรวจวัดด้วยสัญญาณเสียงที่เรียกว่า “Triangulation Method” ซึ่งเป็นหนึ่งในวิธีที่มีการใช้งานมากที่สุด

วิธีการทดสอบการตรวจจับสัญญาณ PD ด้วยเสียง ประกอบด้วยตัวตรวจจับสัญญาณเสียง (Ultrasonic Detectors) ทำหน้าที่เป็นตัวรับสัญญาณ ตัววัดค่าอิมพิแดนซ์ (Measuring Impedance) ที่ต่ออยู่กับตัวกรองความถี่สูงผ่าน (High – Pass Filter) ก่อนที่จะนำข้อมูลไปป้อนให้กับเครื่องบันทึก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อมูลแบบ 4 ช่องสัญญาณ (4 – Channel Transient Recorder) และคอมพิวเตอร์สำหรับประมวลผล ลักษณะการติดตั้งอุปกรณ์ และการทดสอบได้แสดงไว้ในรูปที่ 2.1



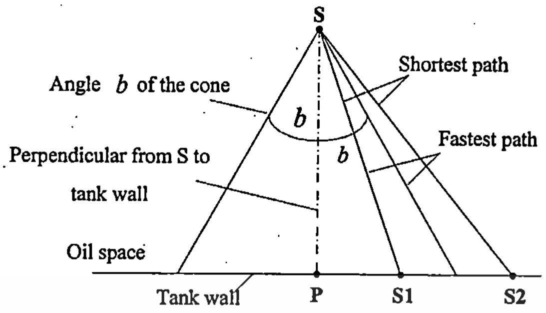
รูปที่ 2.1 การติดตั้งอุปกรณ์สำหรับตรวจวัดหาจุดที่เกิด PD ด้วยการตรวจจับคลื่นอัลตร้าโซนิค

เนื่องจากการออกแบบในการสร้างหม้อแปลงที่มีโครงสร้างที่ซับซ้อน ทำให้การติดตั้งอุปกรณ์สำหรับตรวจจับสัญญาณคลื่นเสียง หรือคลื่นอัลตร้าโซนิคมีความยุ่งยาก หลักการพื้นฐานของวิธีการตรวจจับสัญญาณเสียงจะอาศัยการวิเคราะห์เวลาที่เสียงเดินจากจุดกำเนิดจนถึงจุดติดตั้งอุปกรณ์ตรวจจับที่ตัวถังหม้อแปลง โดยทั่วไปแล้ว การวิเคราะห์ในการตรวจจับสัญญาณคลื่นเสียงนั้น นอกจากจะวิเคราะห์ถึงการที่เสียงเดินทางในน้ำมันแล้ว ยังต้องมีการพิจารณาถึงการที่ทางเดินของสัญญาณเสียงมีสิ่งกีดขวาง เช่น ไม้ เพรสบอร์ด เหล็ก และทองแดง ที่มีผลต่อการวิเคราะห์อีกด้วย รูปที่ 2.2 เป็นการแสดงการเดินทางของเสียงจากจุดกำเนิด ในระยะต่างๆ ซึ่งเป็นลักษณะการแพร่กระจายคลื่นออกไปทุกทิศทางจนถึงผนังของตัวถังในน้ำมัน การวิเคราะห์ผลจะใช้เวลาในการเกิดของสัญญาณไฟฟ้าที่จับได้จากจุดต่อบุชชิง (Bushing) เป็นตัวอ้างอิงเปรียบเทียบกับเวลาที่ตัวเซนเซอร์เสียงทั้ง 3 ตัวจับสัญญาณได้ แล้วนำเวลาของตัวเซนเซอร์แต่ละตัวมาคำนวณด้วยโปรแกรมทางคอมพิวเตอร์เพื่อหามุมตกกระทบต่อไป

ตัวเซนเซอร์ตรวจจับเสียงจะติดตั้งอยู่ตามจุดต่างๆ ที่ผนังของตัวถังหม้อแปลง โดยการตรวจจับเสียงนั้นก็จะเกิดองค์ประกอบต่างๆ ดังต่อไปนี้ 1. การเดินทางของคลื่นอัลตร้าโซนิค ผ่านทางฉนวนน้ำมันไปยังเซนเซอร์ 2.การเดินทางของคลื่นซึ่งเดินทางผ่านน้ำมัน และเหล็ก (คลื่นจะ

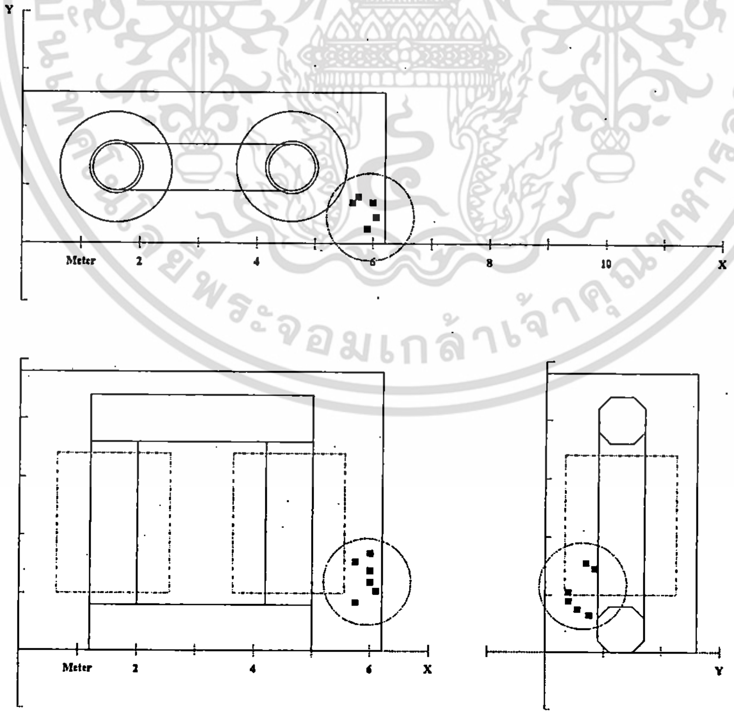
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เดินทางในน้ำมันได้ช้ากว่าในเหล็ก) 3. การเดินทางของคลื่นเสียงที่ถูกกีดขวางด้วยขดลวด และเพรสบอร์ด และ 4. การสะท้อน และการกระจายอันเนื่องมาจากจุดต่อของฉนวนในหม้อแปลง



รูปที่ 2.2 รูปตัวอย่างการเดินทางของคลื่นอัลตร้าโซนิกจากจุดกำเนิดถึงตัวตรวจจับ

สำหรับการแสดงผลจุดที่เกิด PD จะได้จากการวิเคราะห์สัญญาณคลื่นอัลตร้าโซนิค 3 จุดที่จับได้จากตัวจับคลื่นเสียง และจะบันทึกไว้ใน Transient Recorder จากนั้นจะนำมาแสดงค่าในหน้าจอโปรแกรมคอมพิวเตอร์ และคอมพิวเตอร์ก็จะนำค่าที่ได้ จากการจับสัญญาณแบบ 3 จุดมาวิเคราะห์ค่าเวลาการเดินทางของสัญญาณ (วิเคราะห์ค่าดีเลย์ของเวลาที่มากระทบเซนเซอร์แต่ละตัว) และแสดงจุดตำแหน่งที่เกิด PD ที่ได้ในรูปแบบ Sectional diagram ของหม้อแปลง ดังรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 การแสดงจุดที่ PD ของหม้อแปลงในรูปแบบ geometry ด้วยคอมพิวเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

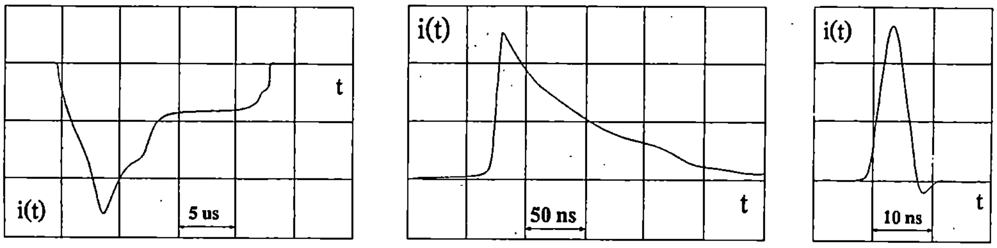
วิธีการตรวจจับสัญญาณเสียงที่เกิดจากการเกิดดิสชาร์จบางส่วนนี้ หากสัญญาณ PD ที่เกิดขึ้นมีระดับความรุนแรงสูง สัญญาณเสียงที่เกิดก็จะมีความรุนแรงมากขึ้นตาม และอาจจะถึงขั้นที่หูมนุษย์สามารถได้ยินได้ สัญญาณที่มีระดับความแรงสูง และมีความถี่ที่เกิดซ้ำต่ำจะสามารถเทียบเท่าได้กับ สัญญาณที่มีระดับความแรงต่ำแต่มีความถี่ที่เกิดซ้ำสูง อย่างไรก็ตามวิธีนี้ก็ยังมีข้อด้อยอยู่หลายสาเหตุ เช่น หากหม้อแปลงที่นำมาทดสอบมีการออกแบบวางระบบฉนวน หรือโครงสร้างภายในที่ซับซ้อน หรือมีสิ่งกีดขวางมาก จะทำให้สัญญาณเสียงเดินทางผ่านลำบาก สัญญาณเสียงอาจจะสะท้อนไปทางอื่นหรือสูญหายไปได้ นอกจากนั้นยังเป็นวิธีที่ไม่ได้ทำการวัดสัญญาณ PD โดยตรง จึงทำให้เป็นวิธีที่มีความน่าเชื่อถือต่ำ

2.3.2 การตรวจหาจุดที่เกิด PD ในหม้อแปลงไฟฟ้าด้วยการตรวจวัดทางไฟฟ้า

วิธีการตรวจวัดหาจุดที่เกิดการดิสชาร์จบางส่วนด้วยวิธีการทางไฟฟ้าได้รับการคิดค้นขึ้นมาเพื่อใช้ในการหา PD ที่เกิดขึ้นภายในหม้อแปลงโดยเฉพาะ ซึ่งสามารถนำมาใช้วิเคราะห์หาการเกิดดิสชาร์จบางส่วนได้หลายรูปแบบด้วยการตรวจวัดสัญญาณไฟฟ้าตามจุดต่อในหม้อแปลงด้วยพิกัดแรงดันหลายๆ ระดับได้ เทคนิควิธีการวัดสัญญาณทางไฟฟ้ามีพื้นฐานเริ่มมาจากการวิเคราะห์ค่าทางเวลาของสัญญาณไฟฟ้าที่จุดต่อของหม้อแปลง จากค่าทางเวลาของสัญญาณ PD ที่จับได้ทำให้สามารถวิเคราะห์หาวงจรสมมูลย์ของหม้อแปลงไฟฟ้าซึ่งประกอบไปด้วยตัวต้านทาน ตัวเก็บประจุ และตัวเหนี่ยวนำที่เชื่อมต่อกันในรูปของวงจร RLC วิธีการตรวจจับสัญญาณ PD ด้วยวิธีการวิเคราะห์ค่าสัญญาณทางเวลาที่จุดต่อบุชชิงของหม้อแปลงไฟฟ้าได้มีการวิจัยอย่างต่อเนื่อง และหลังจากนั้นได้มีการพัฒนาด้วยวิธีการวิเคราะห์ค่าสัญญาณไฟฟ้า ซึ่งวิธีตรวจวัดค่าสัญญาณทางไฟฟ้าเป็นวิธีที่ได้รับความนิยม และได้นำไปใช้งานอย่างแพร่หลาย เนื่องจากมีความสะดวกในการทดสอบ มีความถูกต้องของสัญญาณที่จับได้ รวมถึงค่าใช่จ่ายในการทดสอบที่ไม่สูงมาก

การทดสอบด้วยวิธีทางไฟฟ้าแบบที่ต้องใช้ระดับแรงดันไฟฟ้าเข้าทดสอบที่ระดับต่างๆ ตามพิกัดของหม้อแปลงเป็นวิธีการทดสอบที่มีความสะดวก และมีความถูกต้องสูง แต่อย่างไรก็ตาม ถ้าหากหม้อแปลงมีขนาดใหญ่ ก็จะใช้กำลังไฟฟ้าในการทดสอบที่สูง และใช้เวลาในการทดสอบมากตามไปด้วย วิธีการตรวจวัดสัญญาณ PD ในรูปแบบที่ตรวจจับสัญญาณหลายๆ จุด (Multi – Point Measurement) เป็นการหาจุดที่เกิดการดิสชาร์จบางส่วนโดยจะใช้การวิเคราะห์เปรียบเทียบหาอัตราส่วนการชาร์จประจุของจุดตรวจจับแต่ละจุดเพื่อหาจุดที่จะเกิดการดิสชาร์จบางส่วนขึ้น และยังมีวิธีที่ใช้การวิเคราะห์ผลตอบสนองความถี่ของรูปสัญญาณ (Multi – Frequency Measurement) เป็นวิธีที่ต้องใช้การแยกสเปกตรัมความถี่ที่จับได้จากจุดต่างๆที่ทดสอบมาเปรียบเทียบกับค่าที่อ้างอิง โดยค่าที่อ้างอิงจะได้จากการทดสอบหม้อแปลงด้วยการจำลองการเกิด PD ที่จุดต่างๆ แล้วตรวจวัดสัญญาณไฟฟ้าเพื่อไว้เปรียบเทียบกับหม้อแปลงตัวอื่นต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

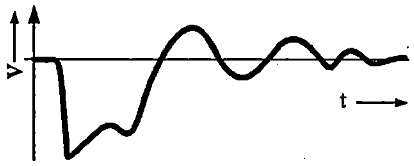


รูปที่ 2.4 การเกิด PD ในรูปแบบต่างๆ ในหม้อแปลงไฟฟ้ากำลัง [8]

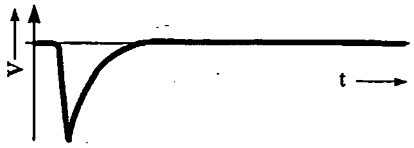
สัญญาณในรูปที่ 2.4 เป็นรูปสัญญาณปกติที่มักจะเกิดขึ้นในรูปแบบกรณีต่างๆ ของการเกิด PD ในหม้อแปลงไฟฟ้า โดย (a) เป็นรูปสัญญาณการดิสชาร์จบางส่วนในน้ำมันหม้อแปลงที่มีฝุ่นละออง ตะกอน เขม่า หรือความชื้นปนอยู่ (b) รูปสัญญาณการดิสชาร์จบางส่วนแบบ Trichel Pulse หรือ Crorona ที่เป็นการเกิดดิสชาร์จบางส่วนในวัสดุฉนวนที่เป็นของแข็ง และ (C) เป็นรูปสัญญาณการดิสชาร์จบางส่วนในฟองก๊าซที่เกิดจากการทำปฏิกิริยาเคมีของวัสดุฉนวนที่เสื่อมสภาพแล้ว หรือฟองอากาศที่เกิดจากอุณหภูมิของน้ำมันหม้อแปลงที่มีค่าสูงขึ้น ซึ่งการตรวจจับรูปสัญญาณในกรณีต่างๆ อาจจะวัดค่าของรูปสัญญาณได้ต่างจากนี้ก็ได้ (สัญญาณในรูปที่ 2.4 เป็นรูปสัญญาณตัวอย่าง ที่จะนำไปสร้างรูปสัญญาณ PD จำลองในวิทยานิพนธ์นี้) ทฤษฎีนี้สามารถนำไปใช้วิเคราะห์รูปคลื่น PD ได้หลายรูปแบบ และสามารถที่จะใช้จับสัญญาณ PD ที่เกิดขึ้นในระบบฉนวนตามจุดต่างๆ ได้ วิธีสามารถจับสัญญาณได้จากจุดต่อเทอร์มินอล (Terminal) ที่บุชชิงของหม้อแปลงได้ แต่สัญญาณที่ได้อาจไม่ใช่ค่าจริงที่ออกมาจากจุดกำเนิด เนื่องจากอาจจะมีสัญญาณ PD บางส่วนหายไปกับระบบวัดที่นำมาใช้จับรูปสัญญาณ

สัญญาณทางเวลาของสัญญาณ PD ที่วัดได้จากจุดต่อบุชชิงของหม้อแปลง ประกอบด้วยคลื่นสัญญาณ 3 ส่วนรวมกันคือ 1. Capacitive component ซึ่งเกิดจากการที่สัญญาณ PD เดินทางผ่านตัวคาปาซิเตอร์เน็ตเวิร์คในวงจรสมมูลย์ของหม้อแปลง 2. Traveling wave component เกิดจากการที่สัญญาณของคลื่นสนามแม่เหล็กไฟฟ้าเดินทางไปตามจุดที่มีสัญญาณไฟฟ้าไหลผ่าน 3. Oscillating component เกิดจากการเรโซแนนซ์ของวงจร LC ในวงจรสมมูลย์ของหม้อแปลงดังแสดงในรูปที่ 2.5 [9] ซึ่งขนาดแอมพลิจูดของสัญญาณเหล่านี้จะขึ้นอยู่กับการออกแบบขนาด และชนิดของขดลวดกับฉนวนในหม้อแปลง จากวงจร RLC สมมูลย์ของหม้อแปลงแสดงให้เห็นถึงการที่จะเกิดการชาร์จ และการดิสชาร์จของตัวเก็บประจุ ในวงจรสมมูลย์ของขดลวดเป็นผลให้เกิดแรงดันตกคร่อมในส่วนนี้ ซึ่งจะทำให้แรงดันที่จะได้จากจุดต่อที่บุชชิง ไม่เท่ากับพิกัดที่กำหนดไว้ของหม้อแปลง ในการทดสอบเพื่อที่จะหาสัญญาณ PD ว่าเกิดขึ้นหรือไม่ สามารถทำได้โดยการเปรียบเทียบค่าที่วัดได้จากจุดต่อเทอร์มินอลที่บุชชิง 2 เฟสขึ้นไป (กรณีเป็นหม้อแปลง 3 เฟส)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

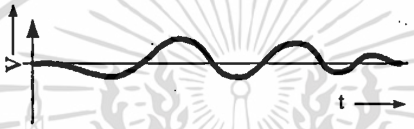


(a) สัญญาณ PD



(b) Capacitive Component

(c) Traveling Wave Component



(d) Oscillating Component

รูปที่ 2.5 ส่วนประกอบของสัญญาณ PD

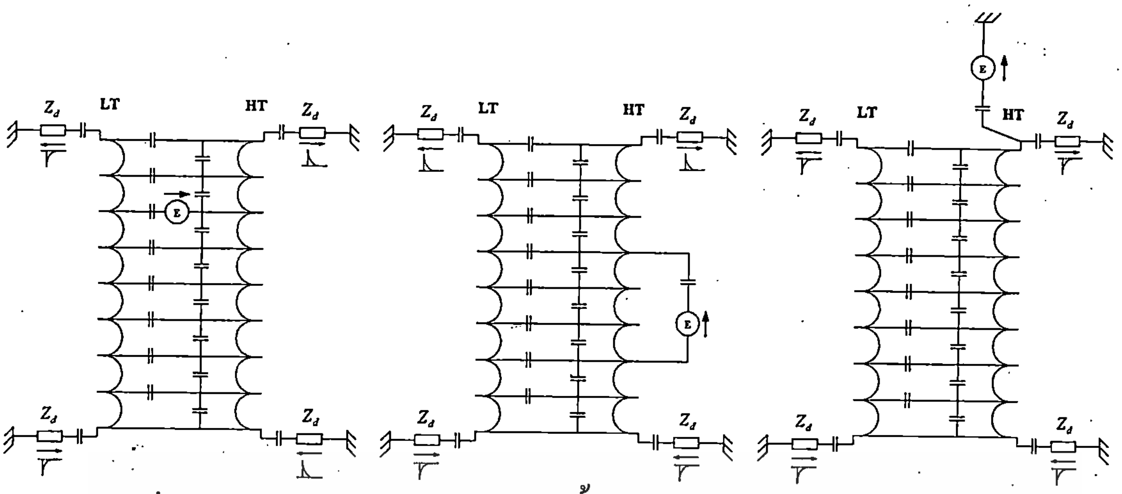
โดย V คือแอมพลิจูดของแรงดัน และ t คือช่วงเวลาของการเกิดสัญญาณ

จากการวิเคราะห์การเดินทางสัญญาณ PD สามารถแบ่งการวิเคราะห์หาจุดที่เกิดการดิสชาร์จบางส่วนออกได้เป็น 3 วิธีคือ 1. Polarity Location 2. Capacitive Location 3.Traveling wave Locating นอกจากนั้นยังมีวิธีการหาจุดที่เกิด PD ด้วยวิธีการวิเคราะห์วงจรสมมูลย์ของหม้อแปลง วิธีการเทียบช่วงเวลาของการเกิดสัญญาณเสียงกับสัญญาณไฟฟ้า และวิธีการจ่ายสัญญาณ PD จำลองที่ถูกสร้างเลียนแบบสัญญาณ PD ตามธรรมชาติในหม้อแปลงเข้าทดสอบขดลวดด้วย ซึ่งในแต่ละวิธีมีหลักการทำงานดังต่อไปนี้

1. Polarity location

วิธีการวิเคราะห์แบบ Polarity location [9] มีหลักการพื้นฐานมาจากการ วัดเปรียบเทียบทิศทางการเดินทางของสัญญาณ PD ที่จุดต่อที่แตกต่างกันของขดลวด โดยปกติจะมีการตรวจวัดที่จุดต่อหัว-ท้ายของขดลวดด้านแรงต่ำ และแรงสูงดังรูปที่ 2.6 [9] วิธีนี้สามารถแสดงบริเวณที่เกิดสัญญาณ PD ได้เพียงคร่าวๆ เท่านั้น หากต้องการจะหาจุดที่เกิด PD ที่แม่นยำควรวิเคราะห์ด้วยวิธีอื่นที่มีประสิทธิภาพสูงกว่านี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

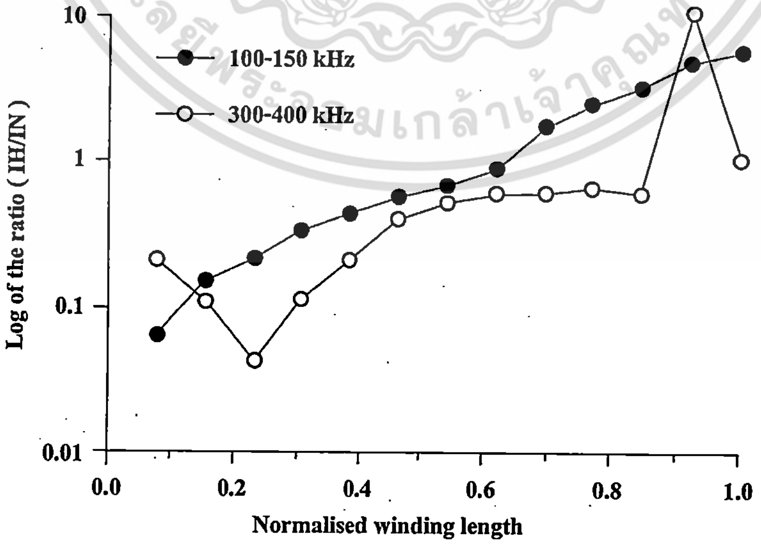


(a) ระหว่างขดลวด (b) ระหว่างชั้นขดลวด (c) ระหว่างจุดจ่ายไฟกับขดลวด

รูปที่ 2.6 การเกิด PD ในชุดขดลวด [9]

2. Capacitive Location

วิธีการวิเคราะห์แบบ Capacitive Location [9-12] เหมาะที่จะใช้สำหรับโครงสร้างของขดลวดที่มีค่าเก็บประจุในชั้นขดลวด (Series Capacitance) มากกว่าค่าเก็บประจุระหว่างขดลวดกับกราวด์ (Parallel Capacitance) และจะต้องใช้ความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราส่วนจริงของ Capacitive Component ดังในรูปที่ 2.5 (b) ซึ่งเป็นค่าแอมพลิจูดของรูปพัลส์ PD ที่วัดได้ที่จุดต่อทางด้านแรงสูงกับนิวทรอน เทียบกับระยะห่าง (d) [9] โดยนับจากจุดที่เกิดสัญญาณ PD ไปจนถึงจุดต่อแต่ละจุด ดังแสดงในรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง capacitive component และความยาวของขดลวด[10]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กราฟความสัมพันธ์ในรูปที่ 2.7 ใช้ได้สำหรับในช่วงความถี่ที่เกิด Capacitive Component ของขดลวดเท่านั้น เนื่องจากเป็นกราฟเปรียบเทียบค่าแอมพลิจูดของพัลส์ที่วัดได้ในย่านความถี่ที่แตกต่างกัน โดยในการวิเคราะห์รูปคลื่นสัญญาณจะจับเอาค่ายอด (Peak) แรกสุดของรูปสัญญาณ PD ที่วัดได้จากจุดต่อทางด้านแรงสูงเทียบกับนิวทรอนมาใช้ (Capacitive Component)

3. Traveling Wave Locating

การวิเคราะห์ด้วยวิธีแบบ Traveling Wave Locating [9] มีหลักการมาจากการเหลื่อมล้ำกันทางเวลาของการเกิดคลื่นสนามแม่เหล็กไฟฟ้าที่จุดต่อของขั้วทั้งสองด้านของขดลวดหม้อแปลงแต่ละเฟส ซึ่งรูปคลื่น Traveling Wave Component (รูปที่ 2.5 (c))ที่จับได้จากจุดต่อทั้งสองของหม้อแปลงนั้น จะเกิดขึ้นจากการที่คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเดินทางผ่านไปตามจุดที่มีกระแสไฟฟ้าวิ่งไหลผ่านในโครงสร้างของขดลวด โดยความเร็วในการเคลื่อนที่ของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า จะขึ้นอยู่กับชนิดของขดลวด และความเร็วของลูกคลื่นเมื่อเริ่มกำเนิดมาที่อยู่ในช่วง 120 ถึง 180 เมตร/วินาที ด้วย

4. วิธีการเทียบช่วงเวลาของสัญญาณเสียง และสัญญาณไฟฟ้า

วิธีการในเทียบช่วงเวลาของสัญญาณเสียง และสัญญาณไฟฟ้าจะใช้ช่วงเวลาที่เกิดการเหลื่อมล้ำกันของสัญญาณเสียง (การวิ่งของคลื่นอัลตร้าโซนิค) และสัญญาณไฟฟ้าที่เกิดจากสัญญาณ PD มาวิเคราะห์ [9] โดยในหลักการนี้จะใช้สัญญาณไฟฟ้าของ PD มาเป็นตัวทริกให้ออสซิลโลสโคปเพื่อจับช่วงเวลาที่ดีเลย์ไปของสัญญาณเสียงที่เริ่มบันทึกได้ และตัวเซนเซอร์เสียง (Transducers) จะทำการติดตั้งไว้ที่ตัวถังหม้อแปลง ด้วยวิธีการที่ว่ามานี้มีข้อเสียคือจะมีผลตอบสนองต่อสัญญาณ PD ทุกประเภทในโครงสร้างขดลวดชุดนั้นๆ หรือระหว่างชุดขดลวดกับชุดขดลวดได้ต่ำ

5. การวิเคราะห์วงจรสมมูลย์ของขดลวดหม้อแปลง

พื้นฐานวงจรสมมูลย์ของหม้อแปลงจะเป็นวงจร " Capacitive Ladder Network " ซึ่งเป็นการต่อขนาน และอนุกรมเป็นลำดับขั้นของคาปาซิเตอร์ที่มาจากการวิเคราะห์การพันขดลวด และระบบฉนวนของหม้อแปลงไฟฟ้า ส่วนประกอบของระบบ (LC Network) จะนำมาใช้คำนวณ ค่าความสูญเสียของระบบซึ่งค่า LC จะกระจายอยู่ตามระยะห่างที่ต่างๆ ของขดลวด โดยปกติการเกิด PD ที่มีความถี่ของพัลส์สัญญาณสูงจะไม่พิจารณาผลของค่าความต้านทานของขดลวด และการคำนวณค่าวงจรสมมูลย์ของหม้อแปลงเพื่อใช้ในการออกแบบหม้อแปลงจะใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ ซึ่งสามารถคำนวณค่าได้เร็ว และเหมาะสมที่สุด อย่างไรก็ตามการทำการจำลอง (Simulation) ของวงจรสมมูลย์จะทำขึ้นมาเพื่อใช้คำนวณหาค่าแรงดันตกคร่อมที่กระจายอยู่ตาม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขดลวดด้วย มีผลงานวิจัยหลายบทความที่ใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ และวิธีการคำนวณทางคณิตศาสตร์มาใช้ในการวิเคราะห์ซึ่งต้องมีการใช้วงจรสมมูลย์ของหม้อแปลงมาเป็นส่วนสำคัญในการวิเคราะห์ [13,14]

ปัญหาหลักของการสร้างแบบจำลองของวงจรสมมูลย์ (Linear LC Network) ที่จะแสดงถึงผลตอบสนองของรูปสัญญาณในหม้อแปลงคือ จะต้องคำนึงถึงค่าความสูญเสียของวงจร LC network ลักษณะของการพันขดลวด (การวางตำแหน่งจำนวนชั้นที่พัน และจำนวนขดลวดต่อเฟส) ที่แตกต่างกัน การคำนวณค่า Stray Capacitances และ Stray Inductances ซึ่งโดยปกติแล้วจะไม่นำมาวิเคราะห์ และค่าสนามแม่เหล็กเหนี่ยวนำร่วมระหว่างขดลวดแต่ละขดที่ทำให้ค่าสัญญาณที่ได้ไม่ถูกต้อง ซึ่งมีผลสอดคล้องกับค่าความสูญเสียไดอิเล็กตริกในระบบของหม้อแปลง [13,14] จากปัญหาดังกล่าวทำให้ส่งผลกระทบต่อการตอบสนองการกระตุ้นของสัญญาณ PD ที่เกิดขึ้น และจะยิ่งส่งผลมากขึ้นหากสัญญาณที่เกิดขึ้นมีความเร็วระดับเป็นนาโนวินาที ทำให้การวิเคราะห์วงจรสมมูลย์ต้องพิจารณาถึงค่าความสูญเสียไดอิเล็กตริกในระบบของหม้อแปลงไฟฟ้าจริงที่จะลดทอนระดับแอมพลิจูด และ Rise time ของสัญญาณในหม้อแปลงด้วย และการคำนวณหาแรงดันที่กระจายไปในชุดขดลวดจะต้องใช้หลักการคำนวณจาก Loss-Free Network ที่ทำให้เกิดแอมพลิจูดและความถี่สูงขึ้นอีก [14] ดังนั้นจะเห็นได้ว่าวงจรสมมูลย์หม้อแปลงไม่เหมาะที่จะใช้ คำนวณหาค่าแรงดันที่กระจายหายไปเนื่องจากการตอบสนองต่อสัญญาณ PD ที่มีช่วงเวลาการเกิดพัลส์อยู่ในระดับนาโนวินาที แต่วิธีนี้ก็เหมาะที่จะใช้กับหม้อแปลงที่สร้างขึ้นมาเพื่อสัญญาณที่มี Rise time สูงๆ ที่จะใช้ทดลองในห้องปฏิบัติการ หรือนำไปใช้ในเฉพาะงาน

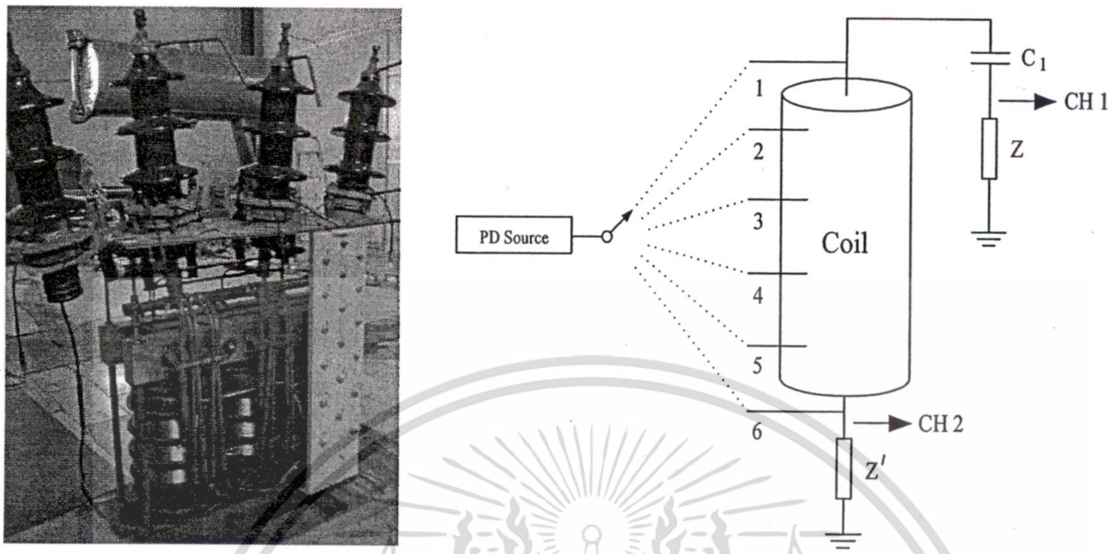
6. วิธีการหาจุดที่เกิด PD ในหม้อแปลงด้วยการจ่ายพัลส์สัญญาณจำลองเข้าทดสอบ

วิธีการนี้เป็นหนึ่งในวิธีการหาจุดที่เกิดความผิดปกติของระบบฉนวน หรือก็คือการเกิดดิสชาร์จบางส่วนในหม้อแปลงไฟฟ้าแบบการตรวจวัดทางสัญญาณไฟฟ้าที่นิยมใช้ในการวิจัยศึกษาวงจรสมมูลย์ของขดลวดหม้อแปลง และทิศทางการไหลของสัญญาณดิสชาร์จบางส่วนในแต่ละรูปแบบการเกิด การหาจุดที่เกิด PD ด้วยวิธีนี้จะสร้างสัญญาณพัลส์เลียนแบบการดิสชาร์จบางส่วนในหม้อแปลงไฟฟ้าแบบต่างๆ เพื่อเป็นการจำลองถึงสถานการณ์การเกิดดิสชาร์จบางส่วนขึ้นที่จุดนั้นๆ โดยการนำสัญญาณที่สร้างได้ไปจ่ายตามจุดต่างๆ ของชุดขดลวดหม้อแปลงทดสอบดังแสดงในรูปที่ 2.8 [4]โดยจะมีการติดตั้งอุปกรณ์สำหรับตรวจจับสัญญาณกระแส หรือแรงดันที่จุดต่างๆ (โดยทั่วไปจะจับสัญญาณกระแส และติดตั้งอุปกรณ์ตรวจจับไว้ที่เทอร์มินอลด้าน Line หรือ Neutron แต่ละเฟส) ทั้งนี้เพื่อดูผลตอบสนองของขดลวดหม้อแปลงทดสอบที่มีต่อพัลส์สัญญาณ PD จำลองที่จ่ายเข้าไป จากนั้นจะมีการเก็บผลข้อมูลไว้ในรูปแบบต่างๆ เพื่อใช้เป็นข้อมูลอ้างอิงไว้สำหรับเปรียบเทียบกรณีที่มีหม้อแปลงแบบเดียวกันเกิดสัญญาณ PD จริงขึ้นมา โดยจะมีการจ่ายสัญญาณ PD จำลองเข้าทดสอบหม้อแปลงไฟฟ้าที่มีระบบฉนวน และการทำงานที่ปกติเพื่อไว้ใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

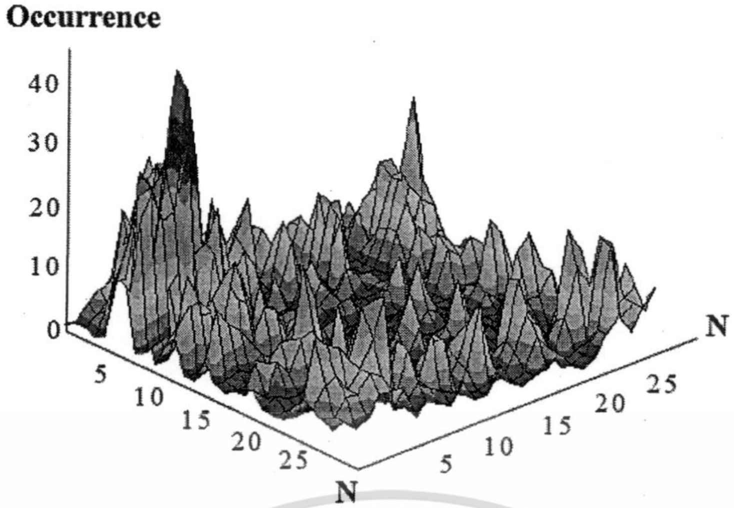
เก็บเป็นฐานข้อมูลอ้างอิงเมื่อมีการซ่อมบำรุงทดสอบด้วยการตรวจวัดสัญญาณไฟฟ้าของหม้อแปลงไฟฟ้าแบบเดียวกัน



รูปที่ 2.8 การจ่ายสัญญาณ PD จำลองเข้าทดสอบขดลวดหม้อแปลง [4]

ลักษณะของการเก็บข้อมูลก็จะมีหลายรูปแบบ ซึ่งแต่ละแบบจะมีลักษณะการเก็บข้อมูลในรูปแบบที่แตกต่างกันไปเช่น วิธีการเก็บข้อมูลแบบ TESPAR (Time Encoded Signal Processing and Recognition) [15] เป็นวิธีที่ใช้ในการวิเคราะห์ และเก็บผลของรูปสัญญาณที่มีประสิทธิภาพ มีการคำนวณวิเคราะห์ทางคณิตศาสตร์เพื่อการวิเคราะห์ค่าข้อมูลของรูปสัญญาณ ซึ่งจะมีลักษณะพิเศษคือมีการเก็บค่า และใช้ค่าข้อมูลที่อยู่ในรูปแบบดิจิตอลมาคิดคำนวณเพื่อใช้ในการตัดสินใจและกำหนดความถูกต้องของรูปร่างสัญญาณ ค่าของสัญญาณจะแยกออกเป็นส่วนๆ ตามช่วงของสัญญาณโดยมีค่าพารามิเตอร์ที่เป็นข้อมูลสำคัญในช่วงที่แบ่งคือ จำนวนครั้งที่เกิดระดับแอมพลิจูดต่ำสุดของสัญญาณในช่วงนั้นๆ ค่าความถี่การชักข้อมูลของพัลส์ในช่วงนั้นๆ และระยะเวลาของสัญญาณในช่วงที่ยังไม่เปลี่ยนเฟส โดยค่าต่างๆ ดังที่กล่าวนี้จะเก็บในรูปแบบโค้ดตัวอักษร (ต้องมีตารางโค้ดอักษรมาเทียบ) จัดเรียงอยู่ในรูปแบบเมตริก 3 แกนดังตัวอย่างในรูปที่ 2.9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
110418



รูปที่ 2.9 การเก็บข้อมูลด้วยวิธี TESPAR ในรูป A-Matrix 3 แกน [15]

วิธีการหาจุดที่เกิด PD ในหม้อแปลงด้วยการจ่ายพัลส์สัญญาณจำลองทดสอบ เป็นวิธีที่หลายงานวิจัยนิยมนำมาใช้ทดสอบ และวิเคราะห์ผลตอบสนอง ซึ่งจะมีรูปแบบการจ่ายสัญญาณ PD จำลอง และจุดที่ตรวจจับสัญญาณแตกต่างกันไปตามแนวทางวิเคราะห์ แต่สิ่งที่ต้องปฏิบัติเหมือนกันคือจำเป็นที่จะต้องมีการสร้างสัญญาณ PD จำลองแล้วจ่ายเข้ากับหม้อแปลงไฟฟ้าทดสอบ หรือแบบแปลนวงจรสมมูลย์หม้อแปลงไฟฟ้า ดังนั้นจึงต้องมีการสร้างอุปกรณ์ที่สามารถให้กำเนิดพัลส์สัญญาณเลียนแบบการเกิดดิสชาร์จบางส่วนเพื่อที่จะใช้จ่ายเข้าทดสอบหม้อแปลงไฟฟ้า

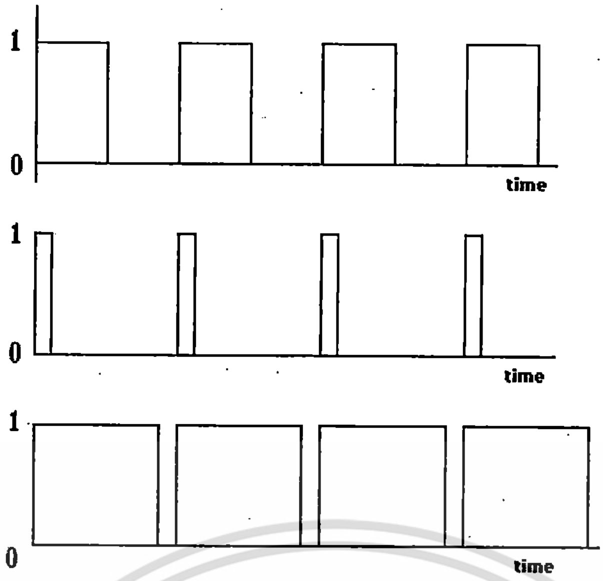
2.4 เครื่องกำเนิดสัญญาณเลียนแบบการเกิดดิสชาร์จบางส่วนในหม้อแปลงไฟฟ้ากำลัง

ในการสร้างเครื่องกำเนิดสัญญาณ PD จำลองโดยทั่วไปจะมีวงจรหลักอยู่สองส่วนด้วยกัน คือ 1. ส่วนของวงจรควบคุมการสร้างพัลส์ และ 2. ส่วนวงจรกำเนิดสัญญาณพัลส์ โดยในส่วนต่างๆ มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

2.4.1 วงจรควบคุมการสร้างพัลส์

เป็นส่วนที่มีหน้าที่หลัก คือ ควบคุมการสร้างรูปพัลส์ของวงจรกำเนิดสัญญาณพัลส์ โดยการสร้างสัญญาณทริกเพื่อจ่ายให้วงจรกำเนิดสัญญาณพัลส์ ซึ่งสัญญาณทริกที่ใช้ควบคุมจะมีลักษณะเป็นรูปพัลส์สี่เหลี่ยมดังในรูปที่ 2.10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

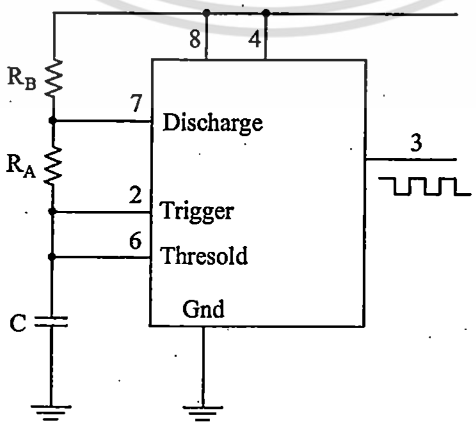


รูปที่ 2.10 รูปสัญญาณพัลส์สี่เหลี่ยมทั่วไป

การสร้างสัญญาณทริกสี่เหลี่ยมที่ใช้ควบคุมวงจรกำเนิดสัญญาณพัลส์สามารถสร้างขึ้นมาได้หลายวิธีเช่น การใช้วงจร Astable ร่วมกับวงจร Monostable หรือการใช้อุปกรณ์ไมโครคอนโทรลเลอร์

1. การสร้างสัญญาณทริกรูปสี่เหลี่ยมด้วยวงจร Astable และวงจร Monostable

วงจร Astable เป็นวงจรที่มีความสามารถในการให้กำเนิดพัลส์รูปสี่เหลี่ยม ปกติแล้วจะนำไอซีเบอร์ NE555N มาใช้ในการสร้างวงจร Astable ซึ่งมีความสามารถในการสร้างสัญญาณพัลส์สี่เหลี่ยมที่ดี มีช่วงความถี่การทำงานที่สูงถึง 100 kHz และมีราคาถูก สำหรับในส่วนวงจร Astable มีการนำมาใช้งานเพื่อกำเนิดพัลส์ที่มีความถี่ 50 Hz โดยจะมีการต่อวงจรใช้งานปกติของ NE555N ดังรูปที่ 2.11



รูปที่ 2.11 การต่อวงจร Astable ของ NE555N

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และเมื่อใช้วงจรนี้สร้างพัลส์ต่อเนื่องที่ความถี่ 50 Hz Rise Time และ Fall Time สามารถหาได้จากสูตร

$$t_1 \text{ (Rise Time)} = 0.693(R_A + R_B)C$$

$$t_2 \text{ (Fall Time)} = 0.693 R_B C$$

โดยการเกิดดิสชาร์จที่ความถี่ 50 Hz t_1 และ t_2 เท่ากับ 10 มิลลิวินาที และเลือกค่า C เท่ากับ 1 μF

ที่ $t_1 = t_2 = 0.693 R_B (1\mu F)$

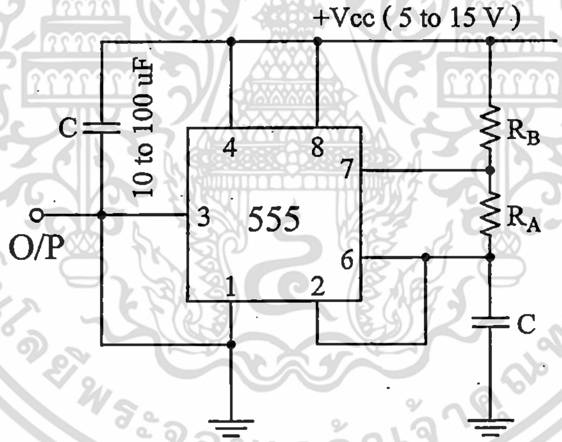
$$R_B = 14.43k\Omega$$

$$t_1 = 0.693(R_A + R_B)C$$

$$10ms = 0.693(R_A + R_B)C$$

$$R_A = 1.43k\Omega$$

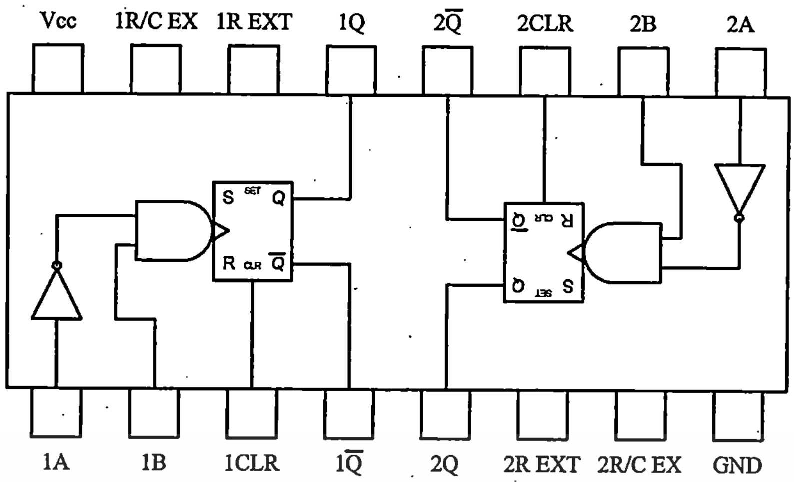
จากนั้นสามารถนำผลการคำนวณที่ได้มาประกอบเป็นวงจรใช้งานสร้างพัลส์สี่เหลี่ยมที่ความถี่ 50 Hz ได้ดังในรูปที่ 2.12



รูปที่ 2.12การต่อวงจรใช้งาน Astable ของ NE555N

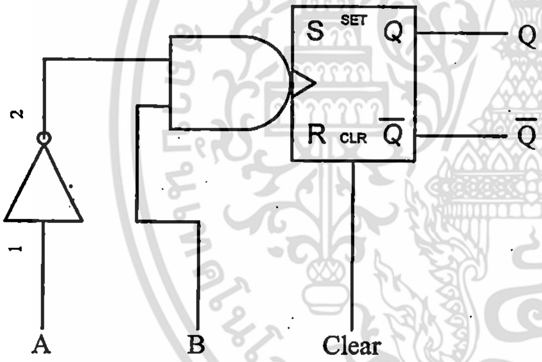
ส่วนวงจร Monostable เป็นส่วนที่มีหน้าที่สร้างสัญญาณพัลส์เพื่อใช้ควบคุมให้วงจร Astable สร้างพัลส์สี่เหลี่ยมตามเวลาที่ต้องการ ซึ่งวงจร Monostable สามารถสร้าง และปรับความกว้างของพัลส์ได้ง่าย และมีความถูกต้องสูง ไอซี LS221 เป็นไอซีที่มีวงจร Monostable บรรจุอยู่ภายใน 2 วงจร ดังแสดงในรูปที่ 2.13 (ในการสร้างพัลส์สำหรับทริกปกติจะใช้แค่วงจรเดียว)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.13 ไอซี LS221

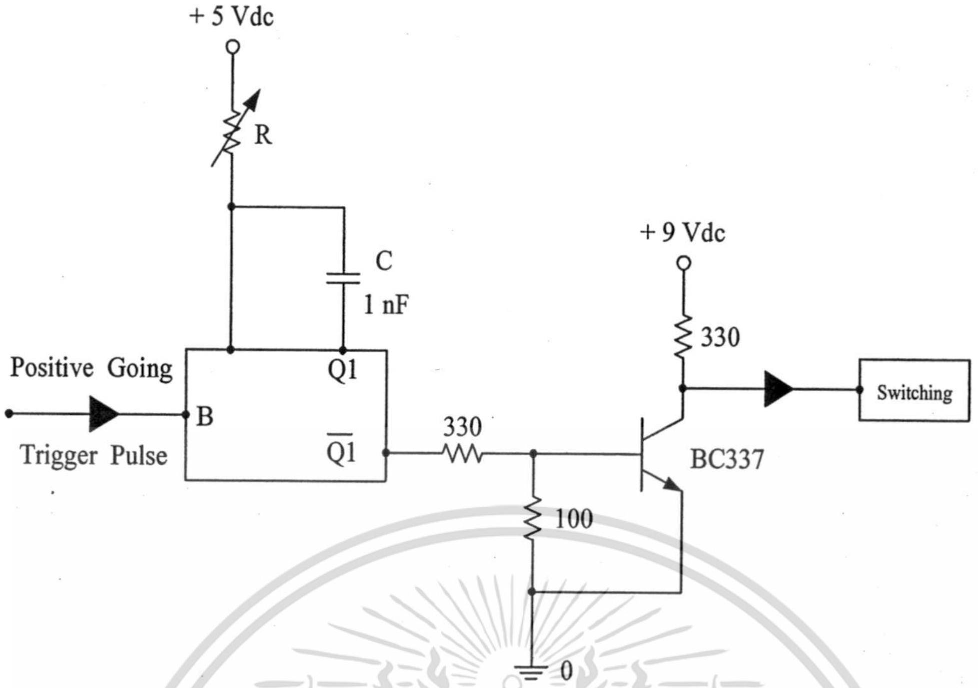
ขา R/C_{EXT} และ R_{EXT} จะเป็นขาที่มีไว้ต่อ R และ C เพื่อใช้ควบคุมความกว้างของพัลส์ ส่วนขา A จะเป็นขาที่รับสัญญาณพัลส์สี่เหลี่ยมที่ออกมาจากวงจร Astable โดยวงจร Monostable จะมี Truth Table ดังรูปที่ 2.14 และจะมีการต่อใช้งานดังรูปที่ 2.15



INPUTS			OUTPUTS	
CLR	A	B	Q	$\overline{Q}$
L	X	X	L	H
X	H	X	L	H
X	X	L	L	H
H	L	↑	⎍	⊔
H	↓	H	⎍	⊔
↑↕	L	H	⎍	⊔

รูปที่ 2.14 Truth Table ของวงจร Monostable

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.15 วงจร Monostable ที่สร้างสัญญาณทริก

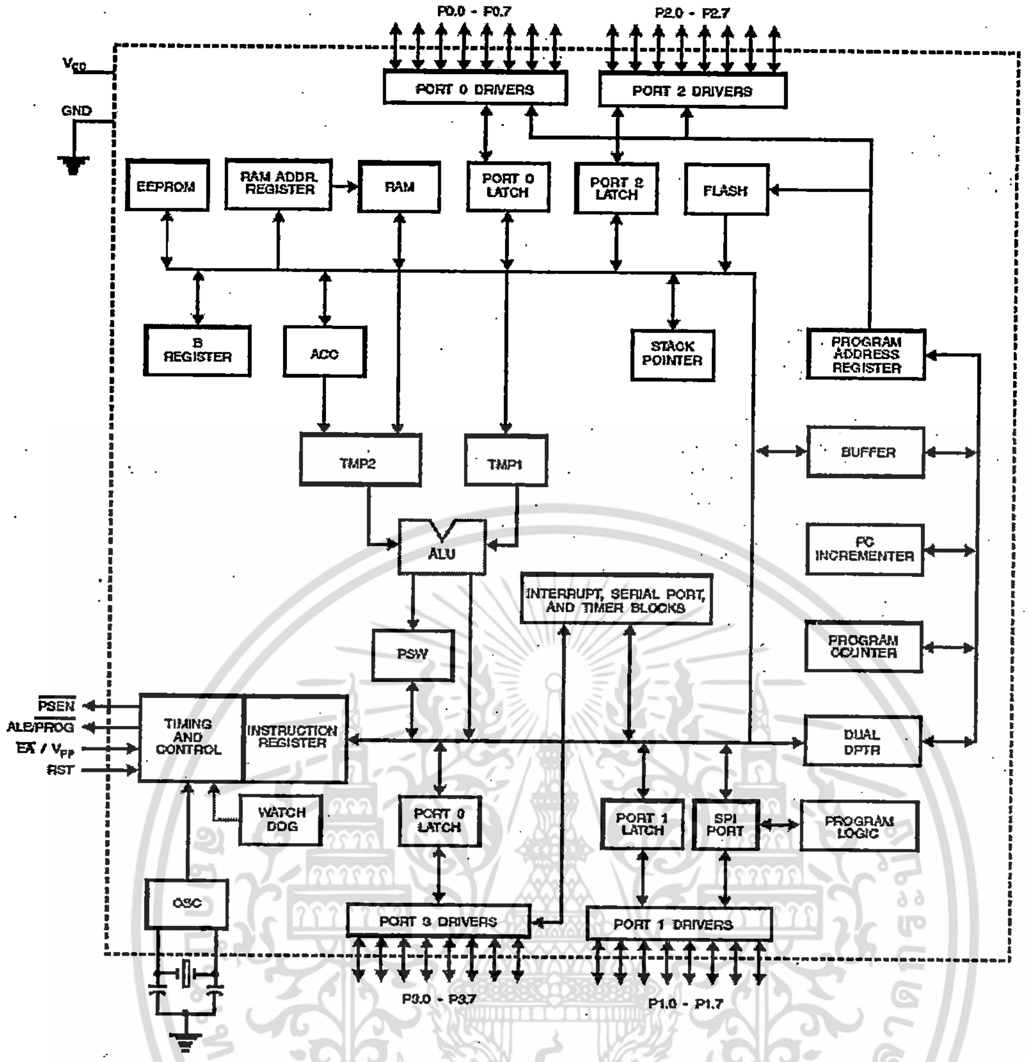
รูปที่ 2.15 เป็นวงจร Monostable ที่สร้างสัญญาณทริก โดยสัญญาณทริกตัวนี้จะเป็นสัญญาณที่นำไปใช้ควบคุมการสร้างสัญญาณของวงจรกำเนิดสัญญาณพัลส์

2. การสร้างสัญญาณทริกด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์

ไมโครคอนโทรลเลอร์ (Microcontroller) คือ อุปกรณ์ควบคุมขนาดเล็ก ซึ่งบรรจุความสามารถที่คล้ายคลึงกับระบบคอมพิวเตอร์ โดยในไมโครคอนโทรลเลอร์ได้รวมเอาซีพียู, หน่วยความจำ และพอร์ต ซึ่งเป็นส่วนประกอบหลักสำคัญของระบบคอมพิวเตอร์เข้าไว้ด้วยกัน โดยทำการบรรจุเข้าไว้ในตัวถังเดียวกัน [16] ดังแสดงในรูปที่ 2.16

รูปที่ 2.16 Microcontroller ICs

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.17 บล็อกไดอะแกรมของไมโครคอนโทรลเลอร์ (อ้างอิงจากไอซี AT89S8253)

โครงสร้างโดยทั่วไป ของไมโครคอนโทรลเลอร์ดังแสดงในรูปที่ 2.17 สามารถแบ่งออกได้เป็น 5 ส่วนใหญ่ๆ ดังต่อไปนี้

1. หน่วยประมวลผลกลางหรือซีพียู (CPU : Central Processing Unit)

2. หน่วยความจำ (Memory) สามารถแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ หน่วยความจำที่มีไว้สำหรับเก็บโปรแกรมหลัก (Program Memory) เปรียบเสมือนฮาร์ดดิสก์ของเครื่องคอมพิวเตอร์ตั้งโต๊ะ คือข้อมูลใดๆ ที่ถูกเก็บไว้ในนี้จะไม่สูญหายไปแม้ไม่มีไฟเลี้ยง อีกส่วนหนึ่งคือหน่วยความจำข้อมูล (Data Memory) ใช้เป็นเหมือนกระดาษทดในการคำนวณของซีพียู และเป็นที่พักข้อมูลชั่วคราวขณะทำงาน แต่หากไม่มีไฟเลี้ยง ข้อมูลก็จะหายไปคล้ายกับหน่วยความแรม (RAM) ในเครื่องคอมพิวเตอร์ทั่วไป แต่สำหรับไมโครคอนโทรลเลอร์สมัยใหม่ หน่วยความจำข้อมูลจะมีทั้งที่เป็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หน่วยความจำแรม ซึ่งข้อมูลจะหายไปเมื่อไม่มีไฟเลี้ยง และเป็นอีอีพรอม (EEPROM : Erasable Electrically Read-Only Memory) ซึ่งสามารถเก็บข้อมูลได้แม้ไม่มีไฟเลี้ยง

3. ส่วนติดต่อกับอุปกรณ์ภายนอก หรือพอร์ต (Port) มี 2 ลักษณะคือ พอร์ตอินพุต (Input Port) และพอร์ตส่งสัญญาณหรือพอร์ตเอาต์พุต (Output Port) ส่วนนี้จะใช้ในการเชื่อมต่อกับอุปกรณ์ภายนอกถือว่าเป็นส่วนที่สำคัญ พอร์ตอินพุตจะมีหน้าที่รับสัญญาณเช่น การกดสวิตช์ เพื่อรับข้อมูลไปประมวลผล และพอร์ตเอาต์พุตจะทำหน้าที่ส่งข้อมูลออกไปแสดงผลเช่น การติดสว่างของหลอดไฟ เป็นต้น

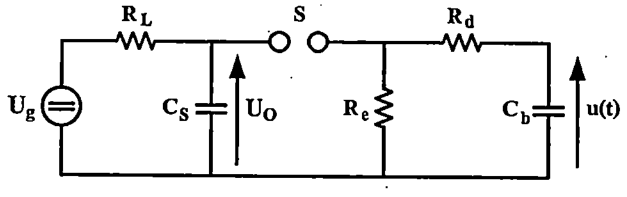
4. ช่องทางเดินของสัญญาณ หรือบัส (BUS) คือเส้นทางการแลกเปลี่ยนสัญญาณข้อมูลระหว่าง ซีพียู หน่วยความจำและพอร์ต เป็นลักษณะของสายสัญญาณ จำนวนมากอยู่ภายในตัวไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยแบ่งเป็นบัสข้อมูล (Data Bus) , บัสแอดเดรส (Address Bus) และบัสควบคุม Control Bus)

5. วงจรกำเนิดสัญญาณนาฬิกา นับเป็นส่วนประกอบที่สำคัญมากอีกส่วนหนึ่ง เนื่องจากการทำงานที่เกิดขึ้นในตัวไมโครคอนโทรลเลอร์ จะขึ้นอยู่กับการกำหนดจังหวะ หากสัญญาณนาฬิกามีความถี่สูง จังหวะการทำงานก็จะสามารถทำได้ถี่ขึ้นส่งผลให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ตัวนั้นมีความเร็วในการประมวลผลสูงตามไปด้วย

จากส่วนประกอบที่ 5. วงจรกำเนิดสัญญาณนาฬิกาจะเป็นตัวกำหนดช่วงเวลาความกว้างของพัลส์สี่เหลี่ยมที่ต้องการสร้าง การกำหนดค่าไทเมอร์ (Timer) ในตัวไมโครคอนโทรลเลอร์จะทำให้สามารถสร้างรูปสัญญาณสี่เหลี่ยมได้ง่าย และควบคุมได้อย่างอิสระ การกำหนดค่าตัวไทเมอร์เองก็เป็นเรื่องที่ทำได้ง่าย ด้วยการคำนวณหาเวลาของสัญญาณนาฬิกา 1 ลูก เวลาใน1 แมทชีนไซเคิล (Machine Cycle) เวลาสูงสุดที่เลือกได้ และคำนวณค่ารีโหลด ณ. เวลาที่ต้องการ แล้วนำมาใช้ในการเขียนโปรแกรม

2.4.2 วงจรกำเนิดสัญญาณพัลส์ PD จำลอง

ในส่วนของวงจรที่ใช้สร้างรูปสัญญาณ PD จำลอง โดยทั่วไปแล้วจะใช้วงจรกำเนิดแรงดันอิมพัลส์แบบ B [6] เนื่องจากสามารถกำหนดรูปร่างช่วงเวลาของสัญญาณที่ต้องการได้ง่าย ดังแสดงในรูปที่ 2.18



รูปที่ 2.18 วงจรกำเนิดแรงดันอิมพัลส์พื้นฐานแบบ B [6]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดย

U_g คือ แรงดันกระแสตรงของตัวจ่าย

U_O คือ แรงดันอัดประจุกระแสตรง

C_S คือ ตัวเก็บประจุอิมพัลส์เป็นตัวเก็บพลังงาน

C_b คือ โหลดตัวเก็บประจุ

R_L คือ ความต้านทานจำกัดกระแสอัดประจุ

R_d คือ ความต้านทานหน่วง

R_e คือ ความต้านทานปล่อยประจุ

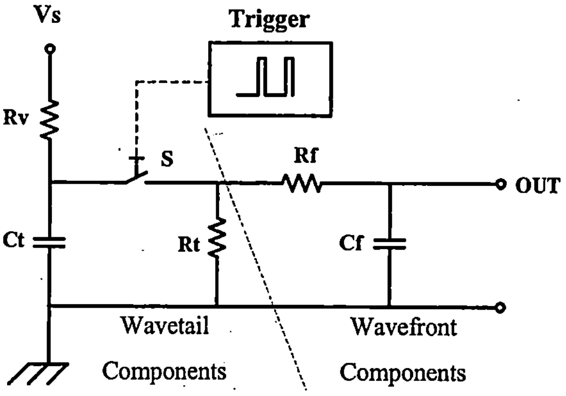
$u(t)$ คือ แรงดันอิมพัลส์ที่ได้แปรไปตามเวลา

S คือ สปาร์กแก็ป

ในรูปวงจรกำเนิดแรงดันอิมพัลส์พื้นฐานแบบ B นี้การทำงานจะแบ่งออกเป็นสองช่วงคือ ช่วงชาร์จประจุ และช่วงคายประจุของตัว C_b ซึ่งก็คือช่วงการเกิดพัลส์หน้าคลื่น และหลังคลื่น โดยจากในรูปวงจรจะเริ่มการทำงานจากช่วงที่สปาร์กแก็ป S ไม่มีการทำงาน หรือก็คือเปิดวงจรอยู่ จะมีการอัดชาร์จประจุจากแหล่งจ่าย U_g ผ่านตัว R_L ที่เป็นตัวต้านทานจำกัดกระแสเข้าสู่ C_S และเมื่อเข้าสู่ช่วงสภาวะการทำงานของสปาร์กแก็ป S ทำงานเสมือนปิดวงจร ก็จะมีการนำประจุที่ชาร์จในตัว C_S วิ่งผ่านทางสปาร์กแก็ป S ไปชาร์ตให้ C_b โดยที่มีตัว R_d เป็นตัวต้านทานหน่วงกระแสเพื่อจำกัดเวลาการชาร์จ ซึ่งก็คือเวลาช่วงหน้าคลื่น t_f แล้วเมื่อถึงช่วงเวลาที่ตัว C_b ชาร์จประจุจนเต็มตัว C_b ก็จะทำการคายประจุออกผ่านทางตัว R_e ที่ทำหน้าที่เป็นต้านทานกำหนดเวลาที่ใช้ปล่อยประจุ หรือก็คือช่วงเวลาหลังคลื่น t_r

จากรูป 2.18 วงจรกำเนิดแรงดันอิมพัลส์พื้นฐานแบบ B จะนำมาใช้ในการสร้างสัญญาณ PD จำลองในวิทยานิพนธ์นี้ โดยการสร้างรูปสัญญาณจะต้องมีตัวสวิตซ์หน้าสัมผัส ที่เป็นตัวสำหรับทำหน้าที่เปิด - ปิดเชื่อมวงจรแทนสปาร์กแก็ป ดังในรูปที่ 2.19 โดยตัวคอนแท็กหน้าผัสจะต้องสามารถควบคุมการทำงานเปิด – ปิดจากภายนอกได้ด้วยความเร็วสูงเพื่อที่จะสามารถให้กำเนิดรูปสัญญาณที่มีช่วงเวลาสั้นๆ ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.19 วงจรสร้างสัญญาณ PD จำลอง

วงจรในรูปที่ 2.19 ถูกแบ่งหน้าที่การทำงาน ที่มีความสัมพันธ์กับรูปสัญญาณ PD ที่จะจำลองขึ้นมาโดย C_f และ R_f จะเป็นตัวกำหนดเวลาหน้าคลื่นของรูปสัญญาณ ยิ่งมีค่าสูงเวลาหน้าคลื่นก็จะยิ่งมาก (เวลาในการชาร์จประจุของ C_f ช่วงสวิตซ์ปิดวงจร) ส่วน C_t และ R_t จะตัวกำหนดเวลาหลังคลื่น (เวลาในการคายประจุของ C_f ช่วงสวิตซ์เปิดวงจร) จากวงจรสามารถคำนวณหาค่าโดยประมาณได้จากสมการความสัมพันธ์ดังนี้ [17]

เวลาหลังคลื่น $$t_t = 0.69 C_t R_t \qquad (2.1)$$

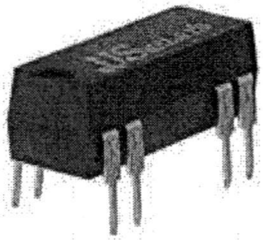
เวลาหน้าคลื่น $$t_f = \frac{3C_t C_f R_f}{(C_t + C_f)} \qquad (2.2)$$

ในส่วนของตัวที่ทำหน้าที่เป็นสปาร์กแก็ปในวงจรสร้างสัญญาณ PD จำลอง อุปกรณ์ที่จะนำมาใช้จะต้องมีคุณสมบัติทำงานปิด-เปิดหน้าสัมผัสได้ด้วยความเร็วที่สูงเช่น รีดรีเลย์ (Reed Relay) และมัลติเพล็กเซอร์ (Multiplexer)

1. Reed Relay

รีดรีเลย์เป็นอุปกรณ์รีเลย์ที่มีความเร็วในการทำงานสูง โดยสามารถเปิด-ปิดหน้าสัมผัสได้ด้วยความเร็วสูงในระดับช่วงเวลา 1 – 2 มิลลิวินาที และที่หน้าสัมผัสยังสามารถทนแรงดันได้สูง อุปกรณ์ที่เป็นรีเลย์ความเร็วสูงนอกจากรีดรีเลย์ยังมี Mercury – Welded Relay ซึ่งสามารถนำมาใช้งานแทนกันได้

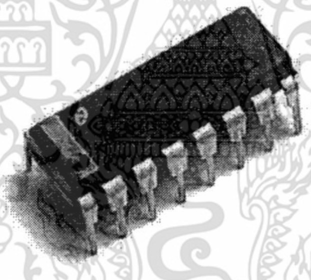
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.20 Reed Relay

2. Multiplexer

มัลติเพล็กเซอร์ที่นำมาใช้แทนสปาร์กแก็ปจะมีลักษณะการทำงานแบบ Analog Switch ดังแสดงในรูปที่ 2.21 เป็นอุปกรณ์ที่ทำจากสารกึ่งตัวนำ (Semi – Conductor) สามารถที่จะทำงานได้ในช่วงเวลาสั้นๆ ที่มีความเร็วเป็นนาโนวินาที และสามารถรับสัญญาณควบคุมจากอุปกรณ์ไอซีไมโครคอนโทรเลอร์ได้โดยตรง โดยทั่วไปแล้วอุปกรณ์ประเภทไอซีจะสร้างขึ้นมาเพื่อใช้งานร่วมกันกับอุปกรณ์คอนโทรลเลอร์ โดยการควบคุมจะสื่อสารกันในรูปแบบลอจิก (Logic)



รูปที่ 2.21 Multiplexer

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
การสร้างเครื่องกำเนิดสัญญาณจำลองการเกิดดิสชาร์จบางส่วนในหม้อแปลงไฟฟ้า

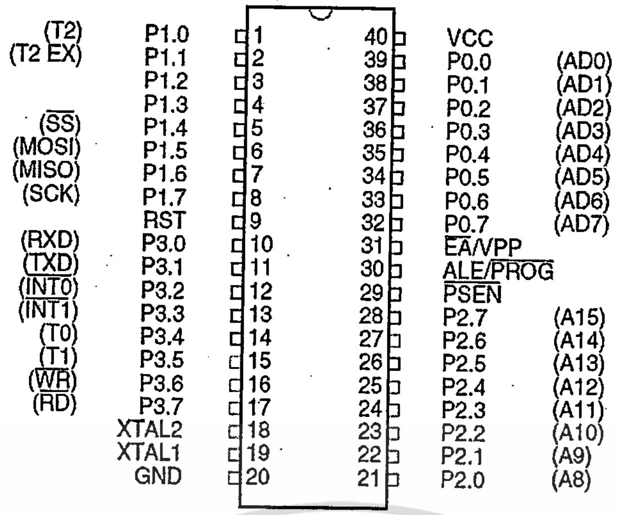
3.1 บทนำ

ในบทนี้เป็นการนำเสนอถึงอุปกรณ์ที่นำมาใช้ และการสร้างเครื่องกำเนิดสัญญาณจำลองการเกิดดิสชาร์จบางส่วน (Partial Discharge: PD) ในหม้อแปลงไฟฟ้า โดยการสร้างเครื่องกำเนิดสัญญาณการเกิดดิสชาร์จบางส่วนจำลองจะใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ในการควบคุมการสร้างสัญญาณพัลส์ และมัลติเพล็กเซอร์ในการสร้างสัญญาณพัลส์ เนื่องจากสามารถที่จะมีการพัฒนาเพิ่มความสามารถของเครื่องกำเนิดสัญญาณให้สามารถจ่ายสัญญาณที่ใช้ทดสอบหม้อแปลงไฟฟ้าได้ 3 รูปสัญญาณพร้อมกัน และเนื่องจากการใช้มัลติเพล็กเซอร์ที่มีความสามารถทนแรงดันได้น้อยทำให้สัญญาณจำลองมีระดับแอมพลิจูดที่ต่ำ จึงสร้างวงจรขยายเพื่อเพิ่มขนาดแอมพลิจูดของสัญญาณพร้อมทั้งเปรียบเทียบสัญญาณที่สร้างจากเครื่องกำเนิดสัญญาณกับสัญญาณที่ผ่านการขยายแล้ว

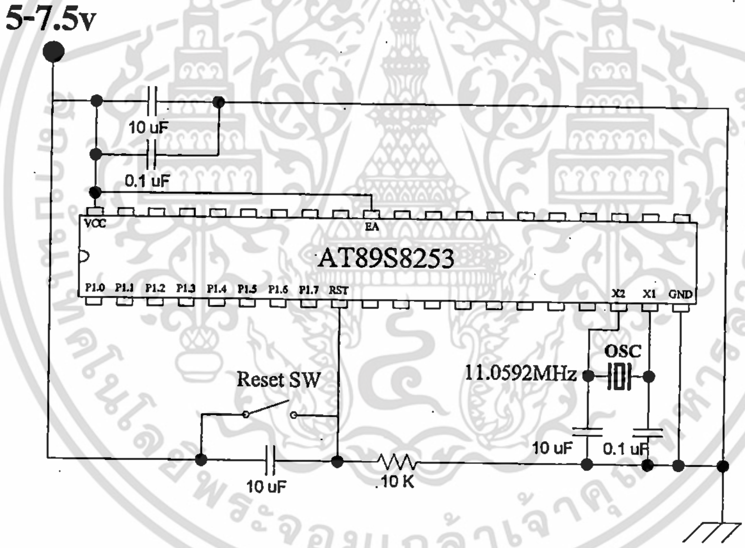
3.2 การออกแบบวงจรควบคุมการสร้างพัลส์

การสร้างสัญญาณทริกที่เป็นรูปพัลส์สี่เหลี่ยม โดยทั่วไปจะใช้วงจร Monostable และวงจร Astable โดยจะให้วงจร Monostable ทำหน้าที่สร้างสัญญาณพัลส์ควบคุมที่กำหนดช่วงเวลาของสัญญาณทริก และวงจร Astable จะทำหน้าที่สร้างสัญญาณพัลส์รูปสี่เหลี่ยมโดยจะสร้างให้พัลส์มีช่วงเวลาตามพัลส์ควบคุมที่จ่ายมาจากวงจร Monostable แต่เนื่องจากในการควบคุมช่วงเวลาการจ่ายสัญญาณที่คำนวณค่าของอุปกรณ์ที่นำมาใช้ได้ยาก และอุปกรณ์ในวงจรที่ประกอบรวมด้วยกันหลายตัวทำให้รูปสัญญาณทริกเกอร์ที่สร้างได้มีช่วงเวลาการทริกไม่ตรงกับค่าที่คำนวณ เพื่อแก้ปัญหาดังกล่าววิทยานิพนธ์นี้จึงได้นำอุปกรณ์ไอซีไมโครคอนโทรลเลอร์มาใช้ในการสร้างสัญญาณทริก และควบคุมการทำงานการสร้างพัลส์สัญญาณการเกิดดิสชาร์จบางส่วนจำลอง เนื่องจากสามารถที่จะใช้งานได้ง่ายโดยการเขียนโปรแกรมที่ใช้สำหรับควบคุมการทำงานลงในไมโครคอนโทรลเลอร์ ซึ่งในวิทยานิพนธ์นี้ได้พิจารณาใช้ไอซีไมโครคอนโทรลเลอร์ขนาด 40 ขา (Pin) รุ่น AT89S8253 ของบริษัท ATMEL ที่สามารถใช้ภาษา C ในการเขียนโปรแกรมควบคุมการทำงานได้ และควบคุมช่วงเวลาการจ่ายสัญญาณทริกได้ง่าย ซึ่งมีลักษณะโครงสร้างภายนอก และการต่อวงจรใช้งานดังแสดงในรูปที่ 3.1 และรูปที่ 3.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.1 ลักษณะโครงสร้างภายนอกของไอซี AT89S8253



รูปที่ 3.2 วงจรการต่อใช้งานไอซี AT89S8253

วงจรควบคุมการสร้างพัลส์ เป็นส่วนที่ทำหน้าที่ควบคุมวงจรกำเนิดสัญญาณพัลส์ด้วยการส่งสัญญาณไปทริกอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่เป็นตัวสปาร์กแก็ปในช่วงเวลาที่ต้องการสร้างรูปพัลส์ ดังนั้นจึงต้องมีการคำนวณในส่วนของช่วงเวลาของพัลส์สี่เหลี่ยมที่ส่งไปควบคุมตัวมัลติเพล็กเซอร์ ในการควบคุมความกว้างของการสร้างสัญญาณพัลส์ด้วยไมโครคอนโทรเลอร์สามารถทำได้โดยการคำนวณค่าไทเมอร์ เพื่อนำไปเขียนโปรแกรมจ่ายทริกเกอร์พัลส์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการเขียนโปรแกรมสำหรับควบคุมการจ่ายสัญญาณพัลส์จำลองในช่วงเวลาต่างๆ ของตัวไมโครคอนโทรลเลอร์ จำเป็นที่จะต้องมีการกำหนดไทเมอร์เพื่อที่จะสร้างรูปพัลส์ที่มีช่วงเวลาตามที่ต้องการได้อย่างถูกต้อง อย่างไรก็ตามก่อนที่จะคำนวณเพื่อกำหนดค่าไทเมอร์ในไมโครคอนโทรลเลอร์ ต้องมีการกำหนดรูปสัญญาณที่จะสร้างขึ้นมาก่อน โดยในวิทยานิพนธ์นี้ต้องการที่จะใช้สัญญาณทริกในการนำมาควบคุมตัวสปาร์กแก็ป เพื่อกำหนดเวลาที่จะเกิดรูปพัลส์การเกิดดิสชาร์จบางส่วนจำลอง โดยปกติพัลส์การเกิดดิสชาร์จบางส่วนจะอยู่ในช่วงเวลาไม่เกินระดับมิลลิวินาที ดั้งนั้นการเกิดรูปสัญญาณการเกิดดิสชาร์จบางส่วนจำลองที่สร้างจากวงจรกำเนิดสัญญาณพัลส์ (ช่วงการชาร์จ และการดิสชาร์จของ C_f) จึงไม่จำเป็นต้องใช้ เวลาในการปิดตัวสปาร์กแก็ปเกิน 1 มิลลิวินาที ดังนั้นในการสร้างรูปพัลส์เพื่อทริกตัวสปาร์กแก็ปในวิทยานิพนธ์นี้จึงกำหนดช่วงเวลาของสัญญาณทริกเกอร์ไว้ 1 มิลลิวินาที โดยสามารถคำนวณหาค่ารีโหลดเพื่อที่จะใช้สำหรับการสร้างพัลส์ทริกรูปสี่เหลี่ยมช่วงกว้าง 1 มิลลิวินาทีได้ดังนี้

$$\textit{เวลาของสัญญาณนาฬิกา 1 ลูก} = \frac{1}{XTAL}$$

XTAL คือ ความถี่สัญญาณนาฬิกาที่จ่ายให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยปกติแล้วไมโครคอนโทรลเลอร์จะใช้ตัวกำเนิดสัญญาณนาฬิกาความถี่ 11.0592 MHz [16]

ดังนั้น
$$\textit{เวลาของสัญญาณนาฬิกา 1 ลูก} = \frac{1}{11.0592\times10^{6}}$$

$$= 9.04225\times10^{-8} \text{ วินาที}$$

จากนั้นทำการคำนวณหาค่าเวลาที่ใช้ไปใน 1 แมทชีนไซเคิล ซึ่งเวลาที่ใช้ใน 1 แมทชีนไซเคิลจะเท่ากับเวลาของสัญญาณนาฬิกา 12 ลูก (สำหรับในส่วนนี้1 แมทชีนไซเคิลจะเท่ากับเวลาของสัญญาณนาฬิกาจำนวนกี่ลูกนั้นขึ้นอยู่กับตัวไมโครคอนโทรลเลอร์แต่ละแบบ) จะได้

$$\textit{เวลาใน 1 แมทชีนไซเคิล} = 12\times9.04225\times10^{-8}$$

$$= 1.08507\times10^{-6} \text{ วินาที}$$

เมื่อได้เวลาใน 1 แมทชีนไซเคิลแล้ว จะสามารถคำนวณเวลาสูงสุดที่ไทเมอร์ขนาด8บิตสามารถทำได้ ซึ่งในไทเมอร์ขนาด 8 บิตนั้นจะเกิดการโอเวอร์โฟลว เป็นการนับรอบตั้งแต่ 1 ถึง 256 รอบ (จาก 8 บิตคือ 2^8) ดังนั้นจะได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\textit{เวลาสูงสุดที่เลือกได้ (8 บิต)} = 256 \times 1.08507 \times 10^{-6}$$
$$= 277.7792 \times 10^{-6} \text{ วินาที}$$

จากนั้นทำการกำหนดเวลารีโหลดที่จะใช้กับไทเมอร์ โดยต้องไม่เกินค่าเวลาสูงสุดที่ได้มา คือ 277.7792 ไมโครวินาที เพื่อทำการสร้างทริกเกอร์พัลส์กว้าง 1 มิลลิวินาที จึงกำหนดให้คำนวณค่ารีโหลดที่ 100 ไมโครวินาทีต่อ 1 รอบการนับ

$$\textit{คำนวณหาค่ารีโหลดที่ } 100 \text{ ไมโครวินาที} = \frac{100 \times 10^{-6}}{1.08507 \times 10^{-6}}$$
$$= 92.1599$$
$$= 92$$

สำหรับค่ารีโหลด 92 รอบจะใช้ในการนำมาเขียนโปรแกรมนับรอบเวลาให้ได้ 100 ไมโครวินาทีโดยให้โปรแกรมนับ 92 รอบจะได้ 100 ไมโครวินาที แต่เนื่องจากไทเมอร์นับค่าขึ้น ดังนั้นจะได้ค่ารีโหลด (8 บิต) คือ

$$\textit{ค่ารีโหลดของไทเมอร์แบบนับค่าขึ้น} = 256 - 92$$
$$= 164$$
$$= 0 \times 48 \text{ (เลขฐาน 16 ของ 164)}$$

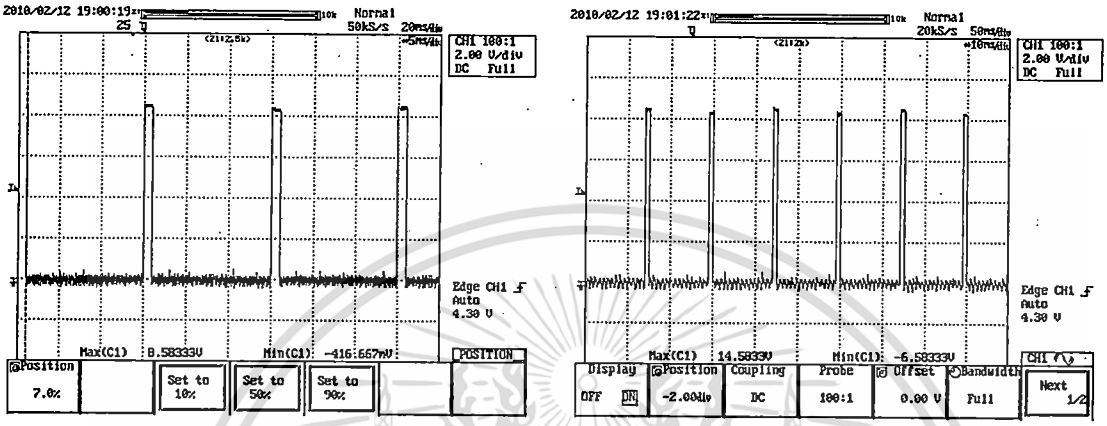
ค่า 164 เป็นค่ารีโหลดที่ใช้เขียนโปรแกรมกำหนดลงในตัวไทเมอร์ เพื่อให้นับได้ครั้งละ100 ไมโครวินาที หลังจากนั้นเขียนโปรแกรมให้วนนับไทเมอร์ตามเวลาที่ต้องการ เช่นในวิทยานิพนธ์นี้ ต้องการช่วงเวลาทริกเกอร์พัลส์กว้าง 1 มิลลิวินาที และให้จ่ายใหม่เมื่อผ่านไป 14 มิลลิวินาที จะคำนวณจำนวนรอบที่ใช้นับได้ดังนี้

$$\textit{จำนวนรอบในช่วงจ่ายสัญญาณ 1 มิลลิวินาที} = \frac{1ms}{100\mu s}$$
$$= 10 \text{ รอบ}$$

$$\textit{จำนวนรอบในช่วงหยุดจ่ายสัญญาณ 14 มิลลิวินาที} = \frac{14ms}{100\mu s}$$
$$= 140 \text{ รอบ}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการคำนวนต้องเขียนโปรแกรมให้จ่ายพัลส์โดยนับไทเมอร์ 10 รอบคือนับ 100 ไมโครวินาที 10 ครั้งจะได้ 1 มิลลิวินาที จากนั้นจึงหยุดจ่ายพัลส์โดยนับไทเมอร์ไป 140 รอบคือนับ 100 ไมโครวินาที 140 ครั้งจะได้ 14 มิลลิวินาที ดังสัญญาณทริกที่ได้ในรูปที่ 3.3 ซึ่งการกำหนดการจ่ายสัญญาณทริกสามารถเปลี่ยนจำนวนการจ่ายพัลส์สัญญาณทริกได้สูงสุดคือ 10 พัลส์ต่อช่วงเวลาของสัญญาณซายน์ 50 Hz หรือก็คือการสร้างสัญญาณ PD จำลอง 10 ลูกในเวลา 20 มิลลิวินาที



(a) Time/Div = 5 มิลลิวินาที (b) Time/Div = 10 มิลลิวินาที

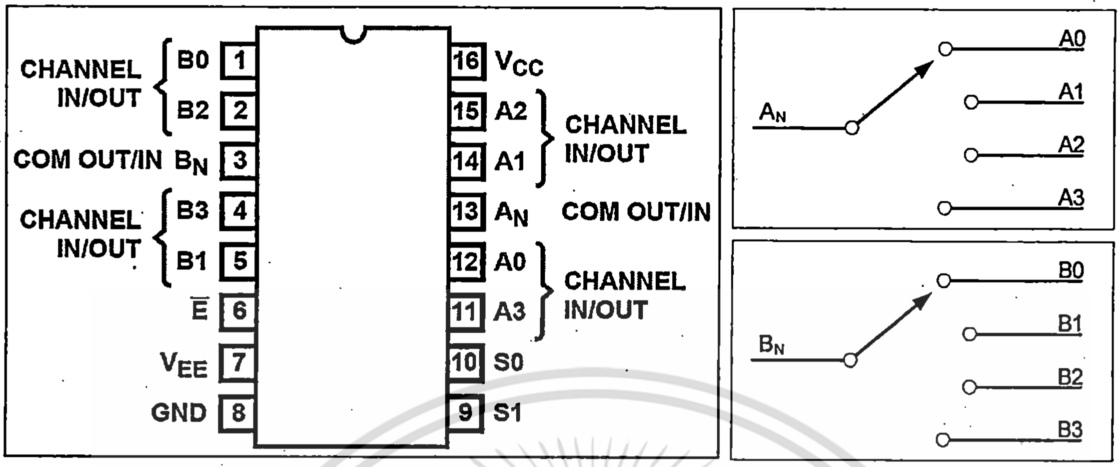
รูปที่ 3.3 สัญญาณทริกเกอร์ที่สร้างจากไมโครคอนโทรลเลอร์

3.3 การออกแบบวงจรกำเนิดสัญญาณพัลส์

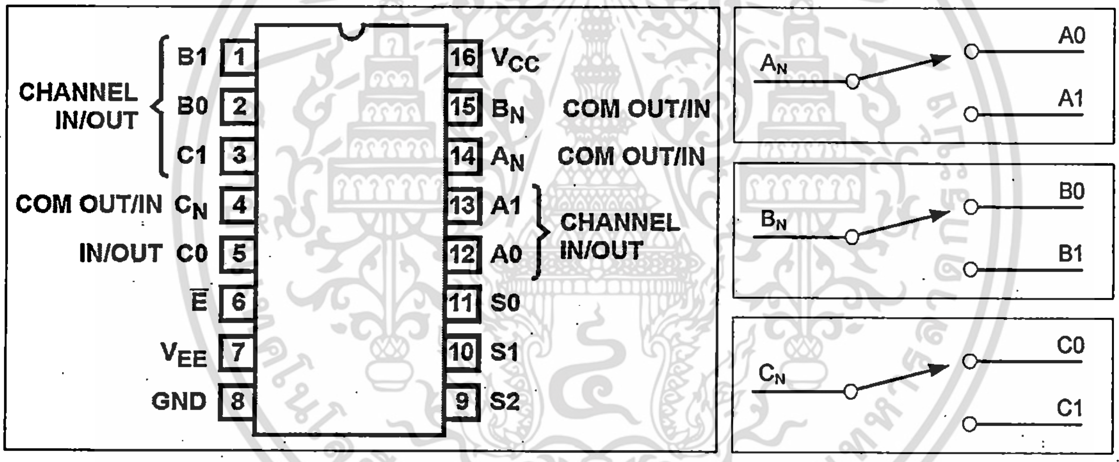
การสร้างสัญญาณการเกิดดิสชาร์จบางส่วนจำลองด้วยวงจรกำเนิดแรงดันอิมพัลส์พื้นฐานแบบ B เป็นวิธีการสร้างรูปสัญญาณที่สามารถคำนวณค่าของอุปกรณ์ที่จะนำมาใช้ในวงจรได้ง่ายและต้นทุนต่ำ อุปกรณ์ที่นำมาใช้ประกอบด้วยตัวต้านทาน ตัวเก็บประจุ และอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่เป็นหน้าสัมผัสเปิด-ปิดความเร็วสูง โดยทั่วไปแล้วการสร้างเครื่องกำเนิดสัญญาณดิสชาร์จ จะมีการนำอุปกรณ์ที่เป็นรีเลย์ความเร็วสูงมาใช้ทำงานเป็นหน้าสัมผัสเปิด-ปิด เช่น Mercury – Welded Relay หรือ Reed Relay ซึ่งสามารถทำงานเปิด – ปิด หน้าสัมผัสได้ในระดับช่วงเวลา 1 – 2 มิลลิวินาที แต่ความเร็วในการทำงานของอุปกรณ์ที่เป็นรีเลย์ความเร็วสูงยังไม่สามารถที่จะใช้สร้างสัญญาณการเกิดดิสชาร์จบางส่วนพร้อมกันหลายรูปสัญญาณได้ อีกทั้งอุปกรณ์ประเภท Reed Relay ยังมีราคาค่อนข้างสูง ดังนั้นในวิทยานิพนธ์นี้ได้นำอุปกรณ์มัลติเพล็กเซอร์แบบ Analog Switch มาเป็นหน้าสัมผัสเปิด-ปิดแทนอุปกรณ์ที่เป็นรีเลย์ความเร็วสูง เพราะอุปกรณ์ประเภทสารกึ่งตัวนำสามารถทำงานได้ด้วยความเร็วสูงถึงระดับนาโนวินาที จึงทำให้สามารถสร้างรูปสัญญาณ PD จำลองออกมาพร้อมกันได้หลายรูปสัญญาณ ในวิทยานิพนธ์นี้ได้นำมัลติเพล็กเซอร์แบบ 2 channel เบอร์ 74HC4052 และ 3 channel เบอร์ 74HC4053 ดังแสดงในรูปที่ 3.4 และ 3.5 ซึ่งทั้ง 2 เบอร์มีพิกัดแรงดันอ้างอิงที่ปรับได้ตั้งแต่ 0.5 ถึง 10.5 V ดังแสดงในภาคผนวก ก. มาใช้ในการสร้างรูปสัญญาณ มัลติเพล็กเซอร์แบบ 2 channel สามารถสร้างรูปสัญญาณได้พร้อมกันสองลูก และแบบ 3 channel ก็

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะสร้างได้สามลูกพร้อมกัน โดยมัลติเพล็กเซอร์ทั้ง 2 เบอร์นี้สามารถควบคุมการทำงานด้วยไมโครคอนโทรเลอร์ได้



รูปที่ 3.4 มัลติเพล็กเซอร์แบบ 2 channel เบอร์ 74HC4052



รูปที่ 3.5 มัลติเพล็กเซอร์แบบ 3 channel เบอร์ 74HC4053

วงจรกำเนิดสัญญาณพัลส์ในวิทยานิพนธ์นี้ ได้นำมาใช้สร้างพัลส์สัญญาณจำลองการเกิดดิสชาร์จบางส่วนที่พบได้บ่อยในหม้อแปลงไฟฟ้ามี 3 รูปแบบคือ 1. การเกิดดิสชาร์จบางส่วนในฉนวนน้ำมันหม้อแปลง 2. การเกิดดิสชาร์จบางส่วนแบบ Trichel pulse หรือ Corona Discharge และ 3. การเกิดดิสชาร์จบางส่วนในฟองก๊าซ หรือฟองอากาศ การสร้างสัญญาณการเกิดดิสชาร์จบางส่วน จะพิจารณาถึงช่วงเวลาการเกิดของพัลส์เป็นหลัก จากสมการที่ (2.1) และ (2.2) สามารถคำนวณค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ในวงจรได้โดยในการคำนวณจะกำหนดค่าความต้านทาน R_t และ R_f เพื่อใช้คำนวณหาค่าตัวเก็บประจุ C_t และ C_f โดยที่ค่าความต้านทาน R_t และ R_f ที่กำหนดควรมีค่าไม่เกิน 1 $k\Omega$ เพื่อทำให้ C_t และ C_f ที่คำนวณออกมาได้อยู่ในช่วงระดับ pF ถึง μF ซึ่งเป็นช่วงของค่าตัวเก็บประจุที่สามารถหามาใช้งานได้หลายค่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(1) การดิสชาร์จบางส่วนในฉนวนน้ำมันที่มีช่วงเวลาหน้าคลื่น 3 ไมโครวินาที และหลังคลื่น 7.5 ไมโครวินาที

ในช่วงเวลาหลังคลื่น 7.5 ไมโครวินาที ของพัลส์คำนวณได้จากสมการที่ (2.1) จะได้

$$t_r = 0.69C_tR_t$$
$$7.5\mu s = 0.69C_tR_t$$

กำหนดให้ R_t เป็น 30 Ω และ R_f เป็น 220 Ω (ควรกำหนดเป็นค่ามาตรฐานที่หาใช้ได้จริง)

$$7.5\mu s = 0.69C_t(30)$$

จะได้ $$C_t = 0.36\mu F$$

ในช่วงเวลาหน้าคลื่น 3 ไมโครวินาที ของพัลส์คำนวณได้จากสมการที่ (2.2) จะได้

$$t_f = \frac{3C_tC_fR_f}{(C_t + C_f)}$$

$$3\mu s = \frac{3(0.36\mu F)C_f(220)}{((0.36\mu F) + C_f)}$$

$$(3\times10^{-6})((0.36\times10^{-6}) + C_f) = (237.6\times10^{-6})C_f$$

$$C_f = 4.6nF$$

(2) การดิสชาร์จบางส่วนแบบ Trichel pulseช่วงเวลาหน้าคลื่น 37.5 นาโนวินาที และหลังคลื่น 75 นาโนวินาที

ในช่วงเวลาหลังคลื่น 75 นาโนวินาที ของพัลส์คำนวณได้จากสมการที่ (2.1) จะได้

$$t_r = 0.69C_tR_t$$
$$75ns = 0.69C_tR_t$$

กำหนดให้ R_t เป็น 300 Ω และ R_f เป็น 75 Ω

$$75ns = 0.69C_t(300)$$

จะได้ $$C_t = 0.36nF$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในช่วงเวลาหน้าคลื่น 37.5 นาโนวินาที ของพัลส์คำนวณได้จากสมการที่ (2.2) จะได้

$$t_f = \frac{3C_t C_f R_f}{(C_t + C_f)}$$

$$37.5ns = \frac{3(0.36nF)C_f(75)}{((0.36nF) + C_f)}$$

$$(37.5\times10^{-9})((0.36\times10^{-9}) + C_f) = (81\times10^{-9})C_f$$

$$C_f = 0.31nF$$

(3) การดิสชาร์จบางส่วนในฟองก๊าซ หรือฟองอากาศช่วงเวลาหน้าคลื่น 3.75 นาโนวินาที และหลังคลื่น 5 นาโนวินาที

ในช่วงเวลาหลังคลื่น 5 นาโนวินาที ของพัลส์คำนวณได้จากสมการที่ (2.1) จะได้

$$t_r = 0.69C_t R_t$$

$$5ns = 0.69C_t R_t$$

กำหนดให้ R_t เป็น 30 Ω และ R_f เป็น 7.5 Ω

$$5ns = 0.69C_t(30)$$

จะได้

$$C_t = 0.24nF$$

ในช่วงเวลาหน้าคลื่น 3.75 นาโนวินาที ของพัลส์คำนวณได้จากสมการที่ (2.2) จะได้

$$t_f = \frac{3C_t C_f R_f}{(C_t + C_f)}$$

$$3.75ns = \frac{3(0.24nF)C_f(7.5)}{((0.24nF) + C_f)}$$

$$(3.75\times10^{-9})((0.24\times10^{-9}) + C_f) = (5.4\times10^{-9})C_f$$

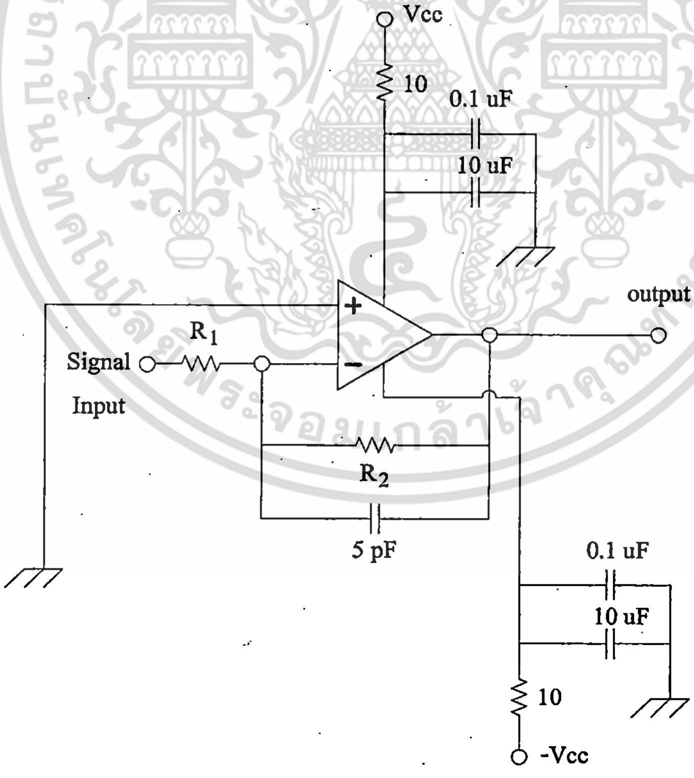
$$C_f = 0.54nF$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4 การเพิ่มระดับแรงดันของสัญญาณด้วยวงจรขยายแบบกลับเฟส

จากคุณสมบัติของมัลติเพล็กเซอร์เบอร์ 74HC4053 มีค่าแรงดันไฟฟ้าอ้างอิงที่ต่ำ ส่งผลให้สัญญาณที่จำลองออกมามีระดับแรงดันต่ำ หากนำสัญญาณจำลองที่สร้างไปทดสอบจะทำให้ค่าแอมพลิจูดของสัญญาณกระแสที่จ่ายจากวงจรกำเนิดสัญญาณมีค่าน้อย ซึ่งมีผลทำให้การตรวจจับหาสัญญาณทำได้ยากเนื่องจากสัญญาณอาจจะหายไปในระหว่างชั้นของขดลวดได้ ดังนั้นจึงต้องมีการสร้างวงจรขยายเพื่อขยายสัญญาณก่อนที่จะนำไปใช้งาน

โดยทั่วไปแล้วการสร้างวงจรขยายจะนำตัวออปแอมป์มาใช้เป็นตัวขยาย เนื่องจากคุณสมบัติของการที่มีค่าความต้านทานด้านอินพุตที่สูง จึงทำให้รูปสัญญาณที่ส่งไปขยายแทบจะไม่ผิดเพี้ยนไปจากเดิม ในวิทยานิพนธ์นี้ได้นำออปแอมป์ในการขยายสัญญาณด้วยวงจรขยายแบบกลับเฟส (คือการขยายสัญญาณแล้วสัญญาณเอาต์พุตที่ได้มีเฟสกลับกัน 180 องศา) ดังแสดงในรูปที่ 3.6 เนื่องจากการขยายสัญญาณแบบไม่กลับเฟสสามารถขยายสัญญาณได้ไม่กี่เท่าของสัญญาณ เมื่อสร้างวงจรขยายสัญญาณแบบไม่กลับเฟสโดยกำหนดอัตราขยายไว้หลายเท่าจะทำให้สัญญาณเอาต์พุตมีรูปร่างพัลส์แตกต่างไปจากสัญญาณอินพุต (จากการทดสอบจะได้อัตราขยายสูงสุดที่ไม่ทำให้สัญญาณเอาต์พุตมีรูปร่างแตกต่างไปจากอินพุตประมาณ 2.5 เท่า)



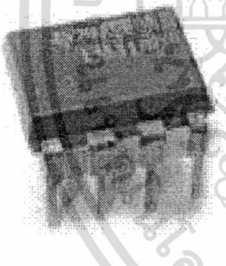
รูปที่ 3.6 วงจรขยายสัญญาณแบบกลับเฟส

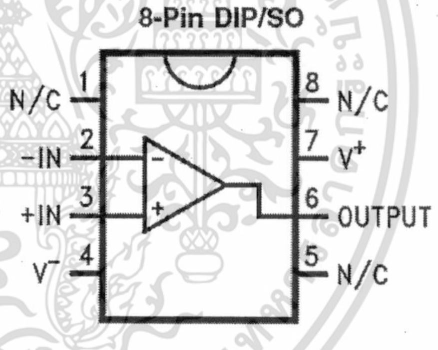
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วงจรขยายสัญญาณแบบกลับเฟสดังแสดงในรูปที่ 3.6 จะให้สัญญาณเอาต์พุตที่มีเฟสตรงกันข้ามสัญญาณอินพุตที่เข้าไป 180 องศา เช่น ถ้าป้อนอินพุตเป็นบวกจะออกลบ ถ้าป้อนอินพุตเป็นลบจะออกบวก โดยการขยายสัญญาณ ค่าแอมพลิจูดสูงสุดของสัญญาณเอาต์พุตทั้งด้านลบ และด้านบวกจะไม่สามารถขยายได้มากเกินกว่า +Vcc และ –Vcc ที่เป็นไฟเลี้ยงของตัวออปแอมป์ อัตราขยายของวงจรขยายสัญญาณแบบกลับเฟสสามารถคำนวณได้ดังสมการที่ (3.1) ซึ่งจะเห็นว่าสามารถที่จะคำนวณ และควบคุมอัตราขยายได้โดยง่ายด้วยตัวต้านทานเพียงสองตัว

อัตราขยาย
$$A = \frac{R_2}{R_1} \tag{3.1}$$

ในวิทยานิพนธ์นี้ได้นำออปแอมป์เบอร์ LM6171 ดังแสดงในรูปที่ 3.7 ที่มี Slew Rate $3600\mathrm{V}/\mu s$ (เป็นตัวที่บอกถึงความเร็วในการสร้างระดับแรงดันเอาต์พุตต่อวินาที) ,Bandwidth $100MHz$,ระดับกระแสเอาต์พุต(ค่าเฉลี่ยสำหรับการจ่ายกระแสคงที่) $85mA$ และระดับแรงดันไฟเลี้ยงสูงสุด $18V$





รูปที่ 3.7 ออปแอมป์ และโครงสร้างภายในที่นำมาใช้ขยายสัญญาณ

3.5 การสร้างเครื่องกำเนิดสัญญาณ PD จำลอง

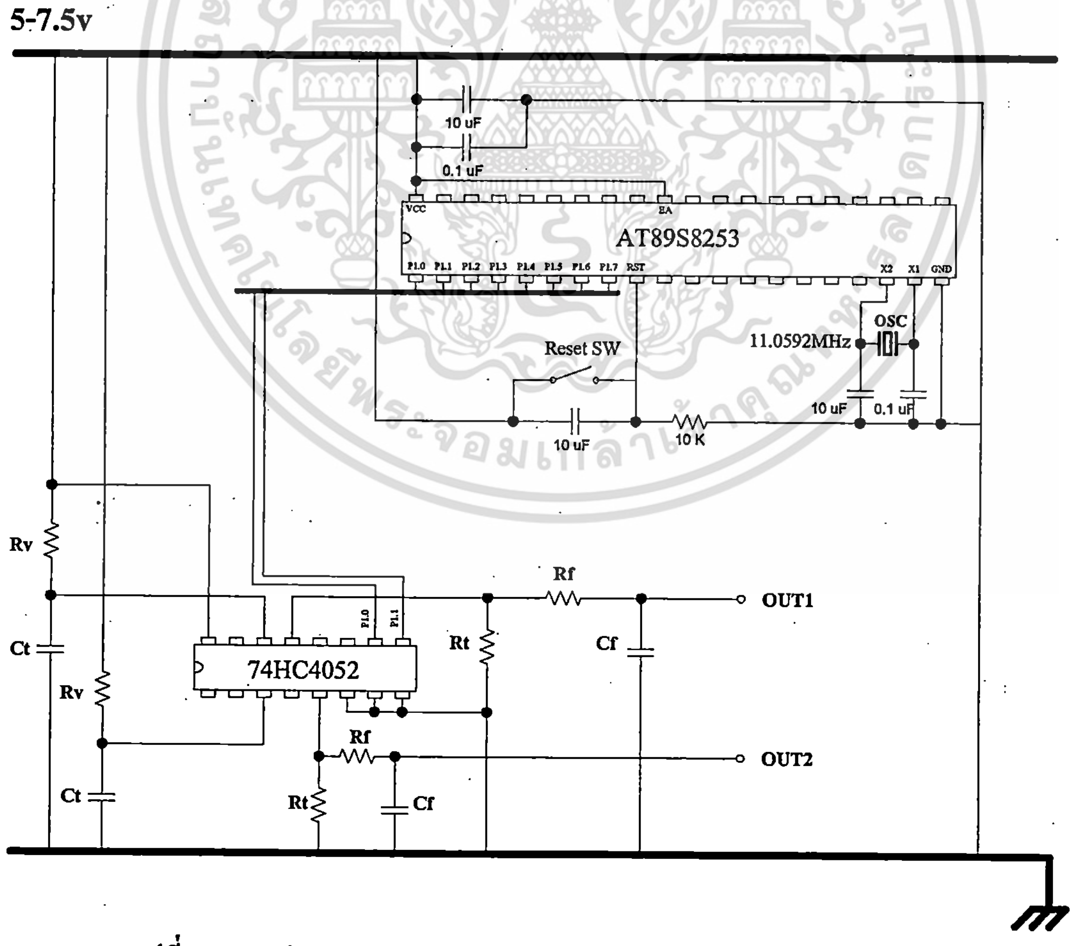
จากการคำนวณค่าพารามิเตอร์ในวงจรกำเนิดสัญญาณจำลองการเกิดดิสชาร์จบางส่วน เมื่อนำมาสร้างวงจรเครื่องกำเนิดสัญญาณจำลองแล้วรูปสัญญาณที่สร้างออกมาจะมีช่วงเวลาหน้าคลื่นและหลังคลื่นไม่ตรงตามที่ต้องการ จึงต้องมีการปรับเปลี่ยนค่าของอุปกรณ์ที่นำมาใช้บางส่วน โดยค่าที่ปรับเปลี่ยนแล้วได้แสดงไว้ในตารางที่ 3.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.1 ค่าของอุปกรณ์ที่ใช้จริงในวงจรกำเนิดสัญญาณ PD จำลอง

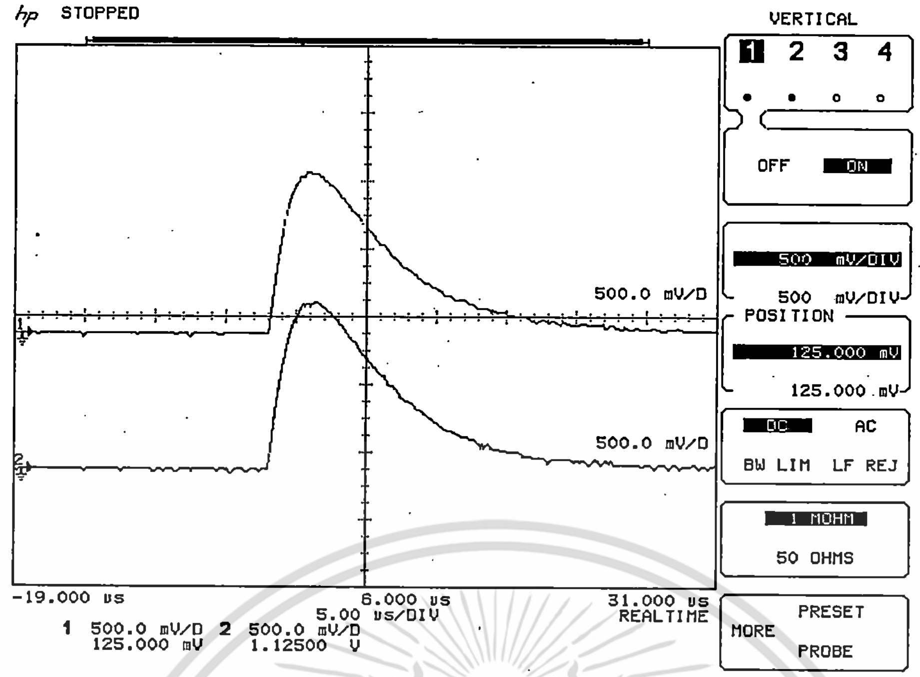
Component \ Waveform	$3/7.5\mu s$	$37.5/75ns$	$3.75/5ns$
$R_v(k\Omega)$	20.0	20.0	10,000.0
$R_t(\Omega)$	30	300	30
$R_f(\Omega)$	220	75	1.8
$C_t(nF)$	47	0.3	0.022
$C_f(nF)$	10	0.05	0.002

เพื่อที่จะทดสอบถึงสมรรถนะของอุปกรณ์ที่นำมาสร้างรูปสัญญาณก่อนที่นำไปออกแบบลายวงจร จึงมีการทดลองต่อวงจรสร้างสัญญาณ ด้วยการใช้ตัว มัลติเพล็กเซอร์เบอร์ 74HC4052 ซึ่งสามารถสร้างรูปสัญญาณ PD จำลองได้สูงสุด 2 ช่องสัญญาณพร้อมกัน ที่ควบคุม และจ่ายสัญญาณทริกด้วยตัวไมโครคอนโทรลเลอร์ดังวงจรในรูปที่ 3.8

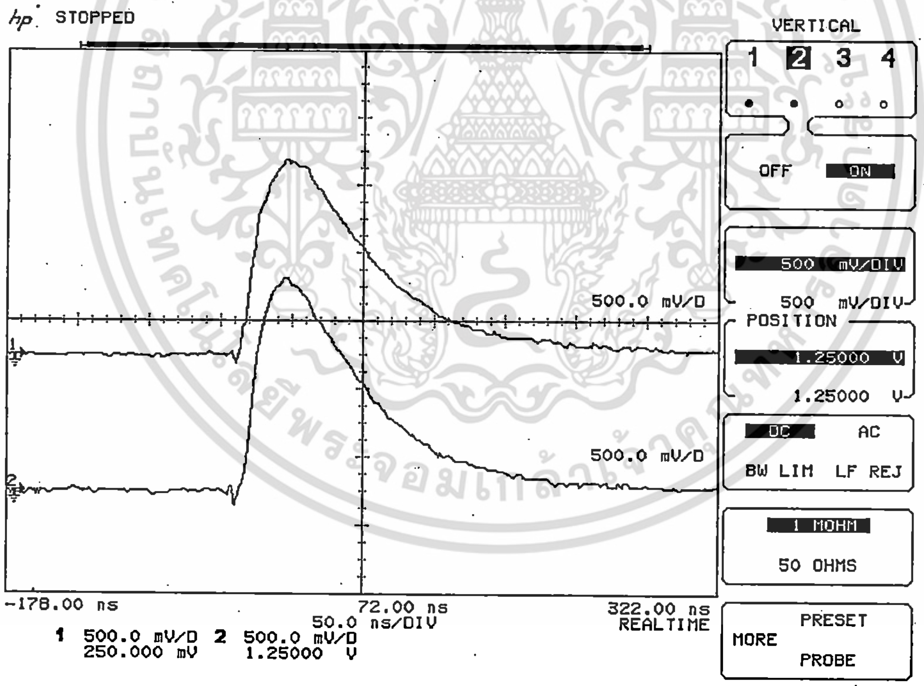


รูปที่ 3.8 การต่อวงจรกำเนิดสัญญาณ PD จำลองแบบสองลูกพร้อมกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

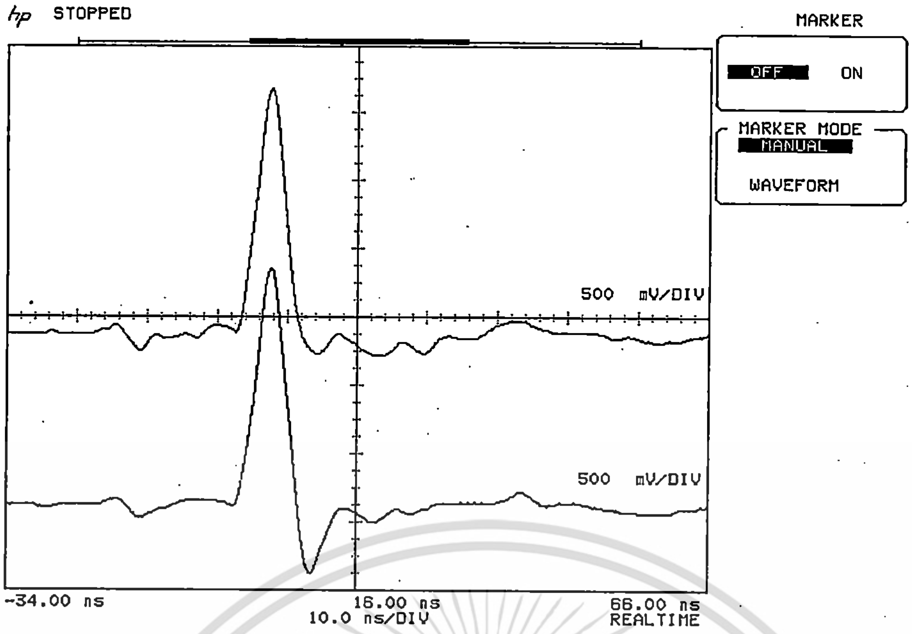


รูปที่ 3.9 รูปสัญญาณ PD จำลอง 3/7.5 ไมโครวินาทีของสองช่องสัญญาณ

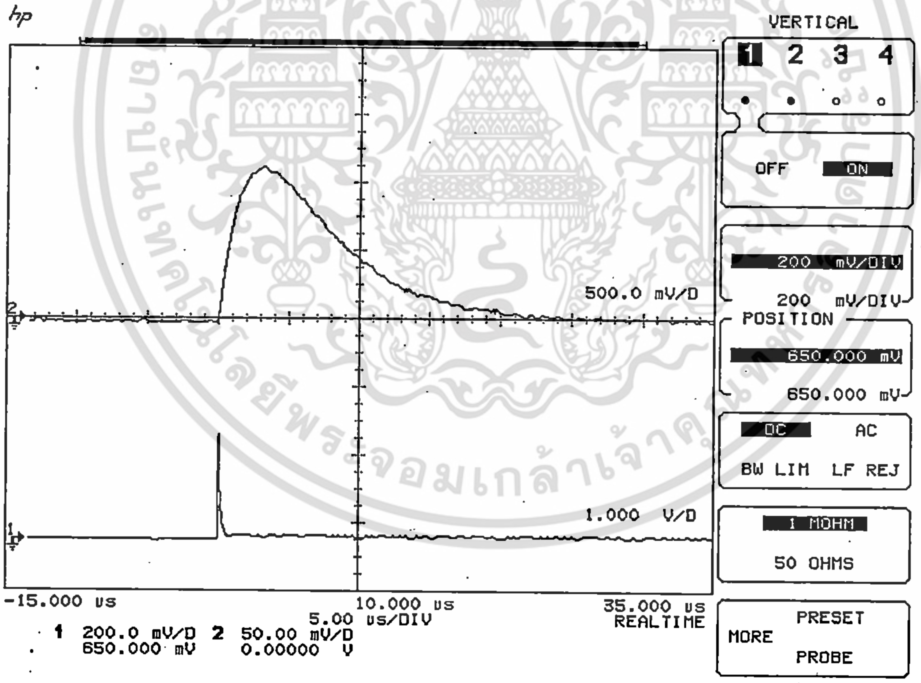


รูปที่ 3.10 รูปสัญญาณ PD จำลอง 37.5/75 นาโนวินาทีของสองช่องสัญญาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

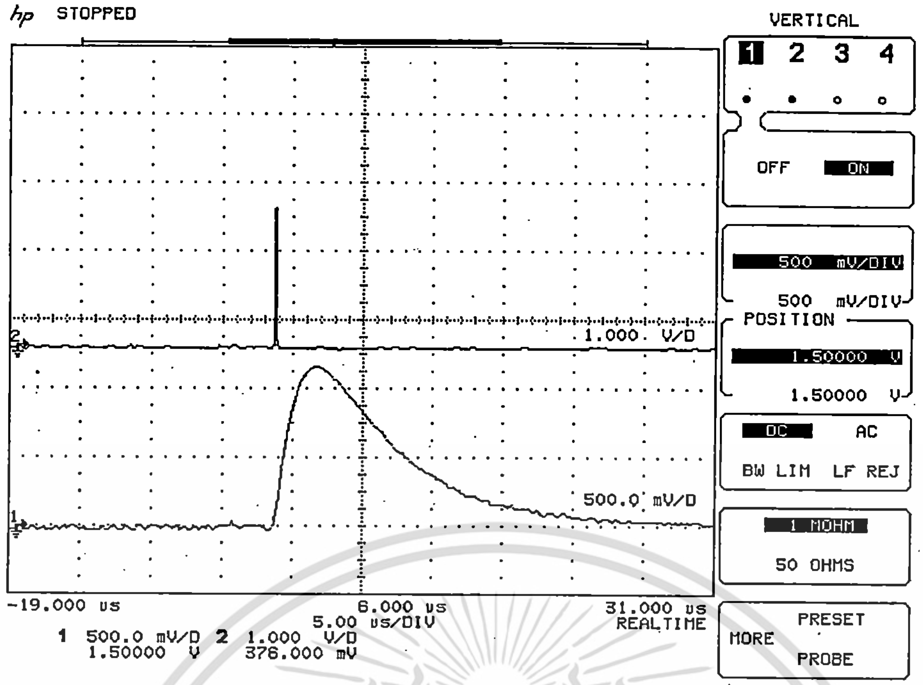


รูปที่ 3.11 รูปสัญญาณ PD จำลอง 3.75/5 นาโนวินาทีของสองช่องสัญญาณ

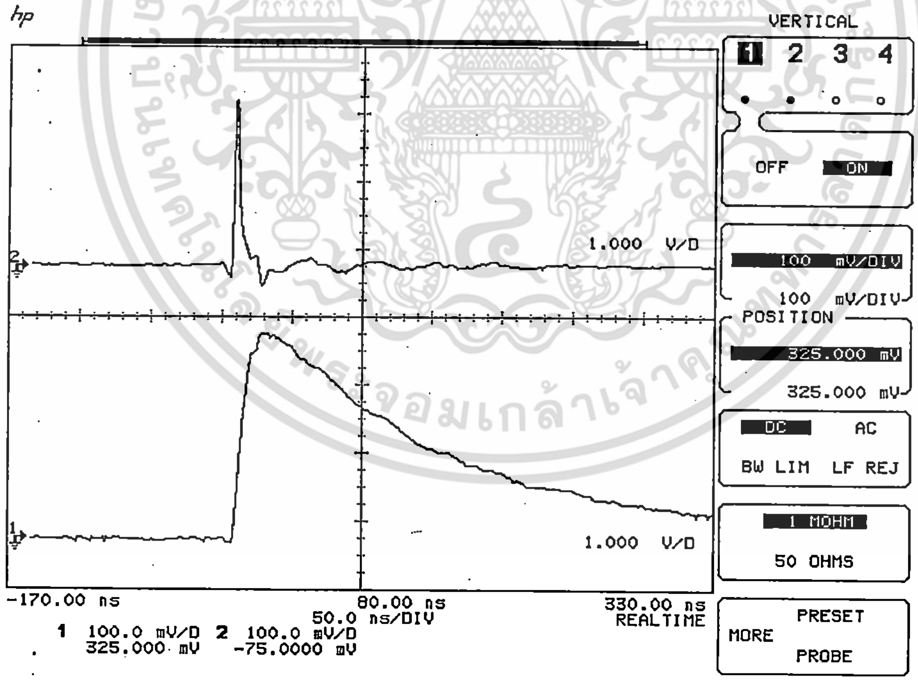


รูปที่ 3.12 รูปการเทียบสัญญาณ PD จำลอง 3/7.5 ไมโครวินาที และ 37.5/75 นาโนวินาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.13 รูปการเทียบสัญญาณ PD จำลอง 3.75/5 นาโนวินาที และ3/7.5 ไมโครวินาที

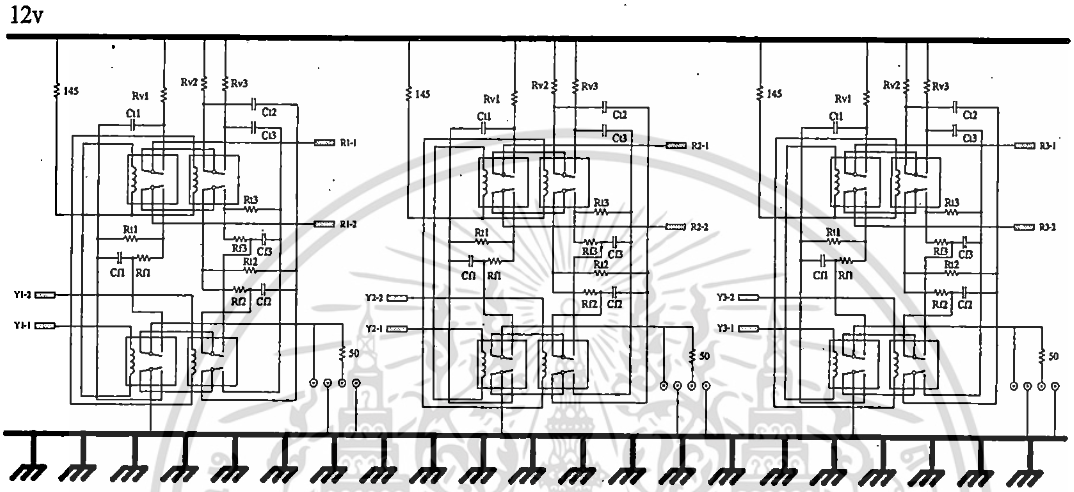


รูปที่ 3.14 รูปการเทียบสัญญาณ PD จำลอง 3.75/5 นาโนวินาที และ 37.5/75 นาโนวินาที

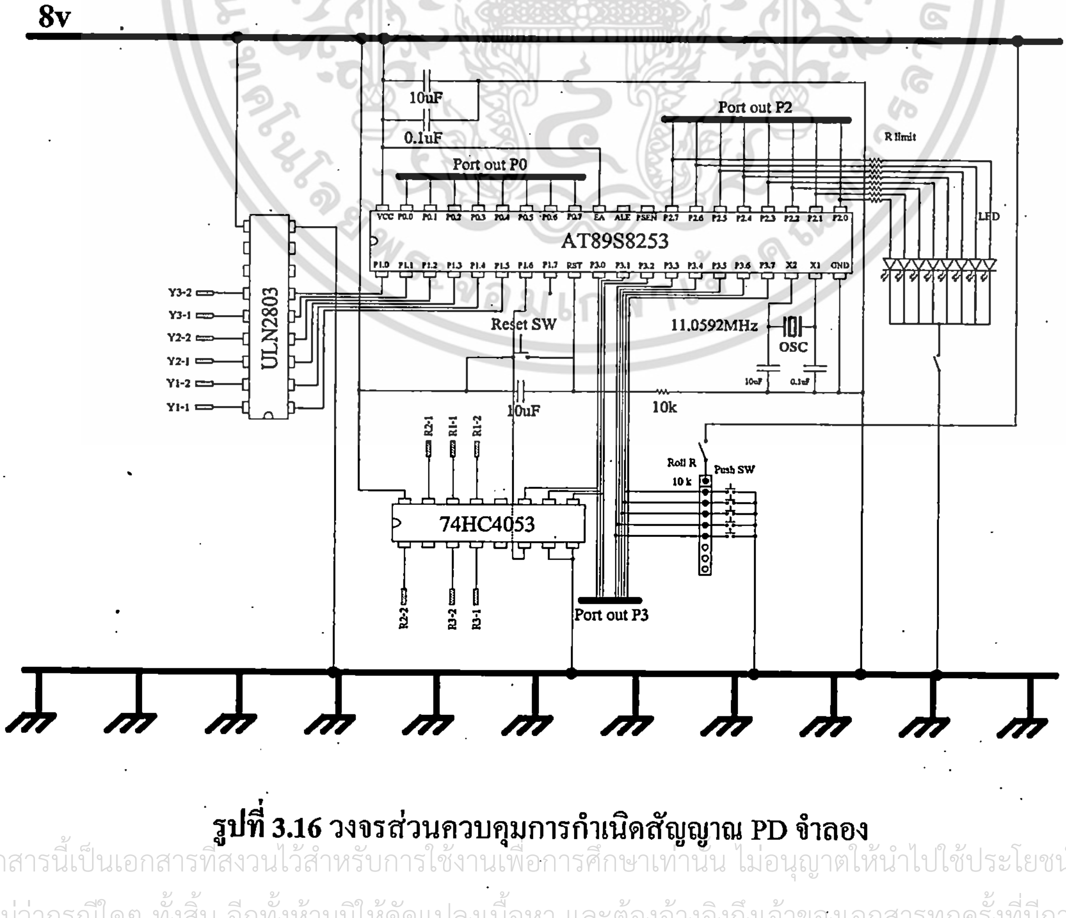
จากรูปที่ 3.9 - 3.14 เป็นรูปสัญญาณ PD จำลองที่สร้างได้ ซึ่งเป็นการสร้างสัญญาณจำลองออกมา 2 ช่องสัญญาณพร้อมกันทั้งรูปสัญญาณแบบเดียวกัน และสัญญาณต่างกัน จากรูปสัญญาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ได้แสดงให้เห็นว่ามัลติเพล็กเซอร์แบบอนาล็อกสวิตซ์เบอร์ 74HC 4052 ที่นำมาใช้ สามารถใช้สร้างรูปสัญญาณการเกิดดิสชาร์จบางส่วนได้พร้อมกัน ดังนั้นจึงสามารถที่จะนำอุปกรณ์เหล่านี้ไปออกแบบวงจรเพื่อสร้างเครื่องกำเนิดสัญญาณจำลองการเกิดดิสชาร์จบางส่วน โดยจะมัลติเพล็กเซอร์ที่ใช้จากเบอร์ 74HC4052 เป็น 74HC4053 ที่สามารถกำเนิดพัลส์ออกมาได้สูงสุด 3 ช่องสัญญาณพร้อมกัน เครื่องกำเนิดสัญญาณ PD จำลองในวิทยานิพนธ์นี้จะมีวงจรส่วนกำเนิด และวงจรส่วนควบคุม ดังในรูปที่ 3.15 และรูปที่ 3.16

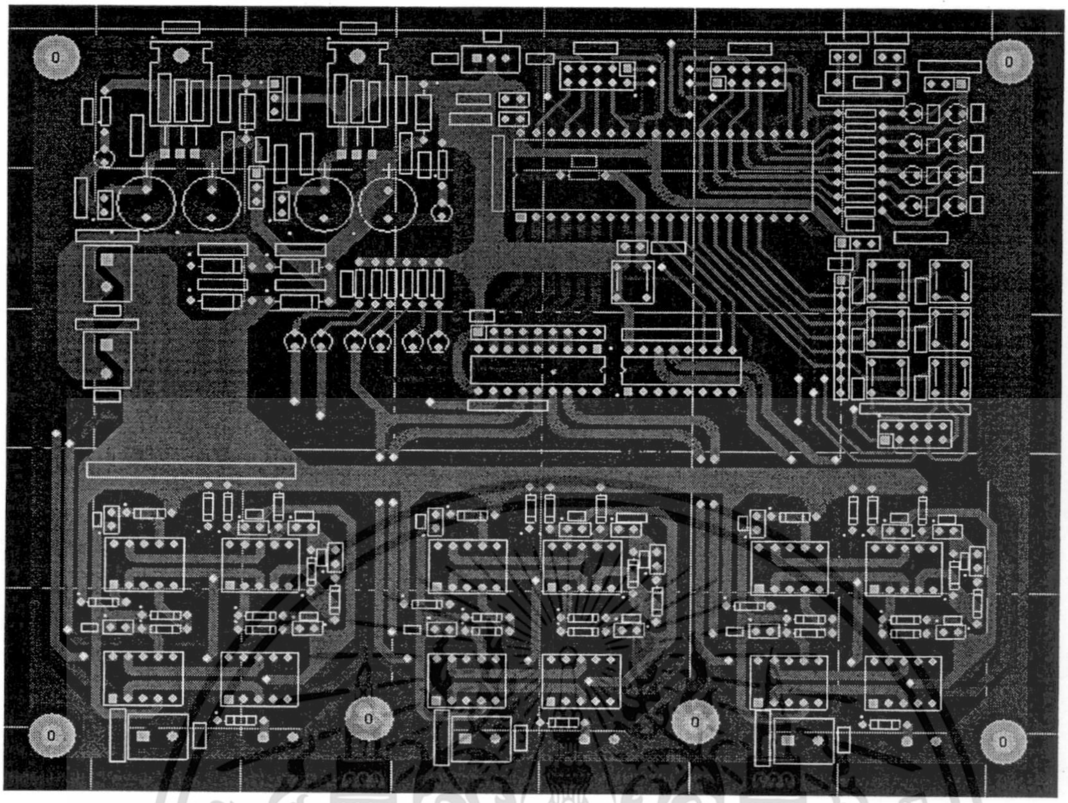


รูปที่ 3.15 วงจรส่วนกำเนิดสัญญาณ PD จำลองแบบ 3 ช่องสัญญาณพร้อมกัน

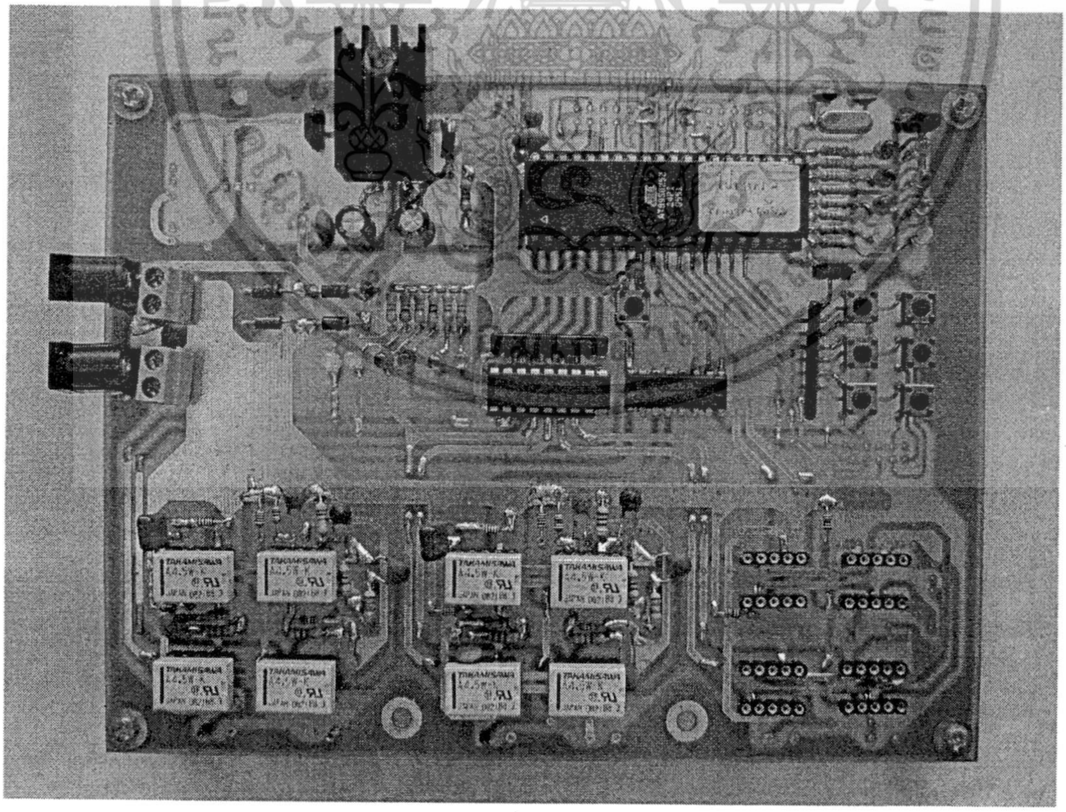


รูปที่ 3.16 วงจรส่วนควบคุมการกำเนิดสัญญาณ PD จำลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



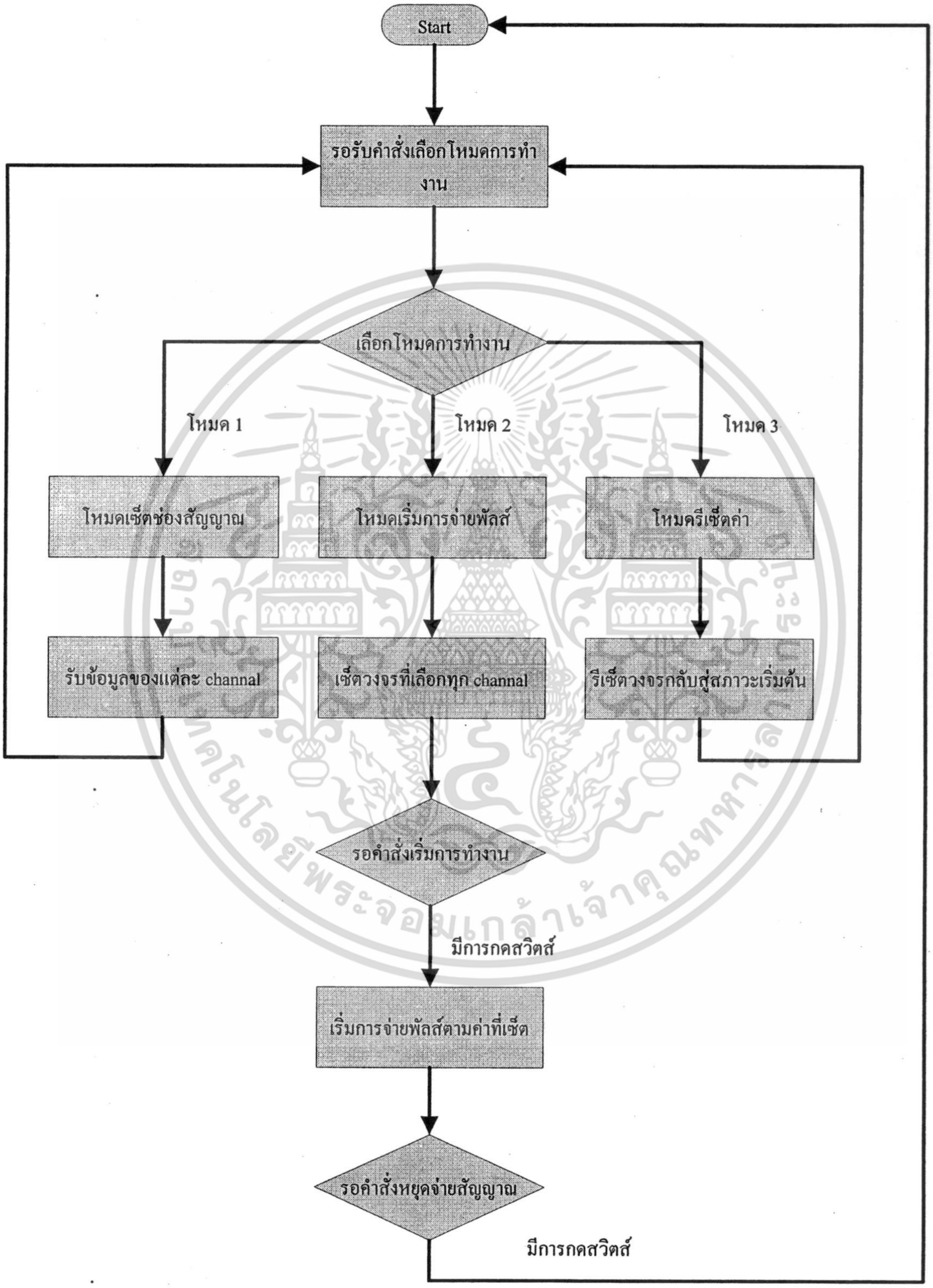
รูปที่ 3.17 ลายปริ้นวงจรส่วนควบคุม และส่วนกำเนิดสัญญาณ PD จำลอง



รูปที่ 3.18 ตัววงจรของเครื่องกำเนิดสัญญาณ PD จำลองที่ถูกสร้างขึ้นมา

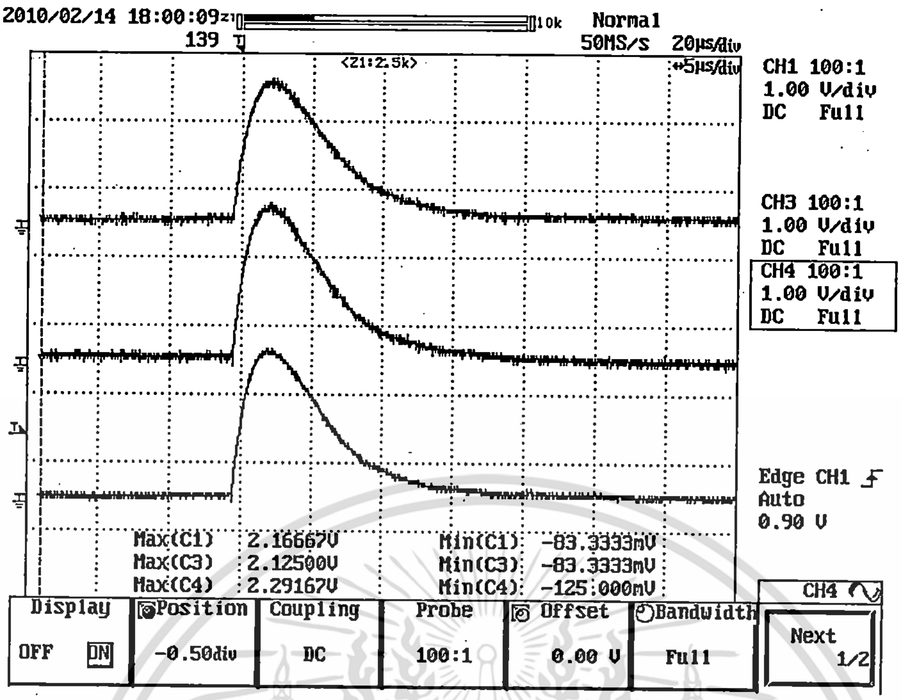
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในส่วนการทำงานของวงจรควบคุมการจ่ายสัญญาณ และส่วนกำเนิดสัญญาณจะมีการควบคุมการทำงานด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยในรูปที่ 3.19 จะแสดงแผนผังลำดับการทำงานของเครื่องกำเนิดสัญญาณ PD จำลองในวิทยานิพนธ์นี้

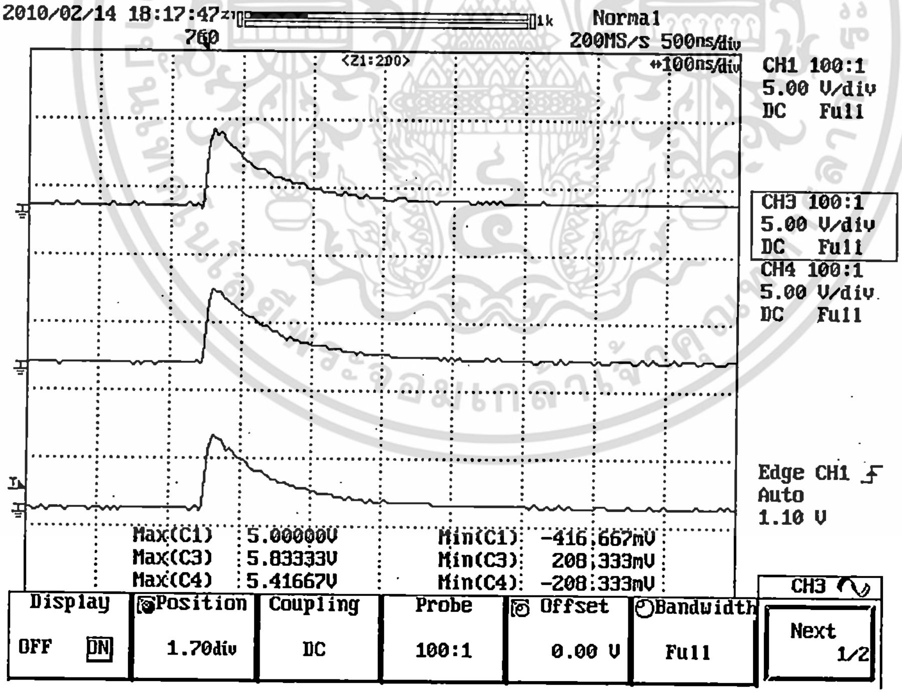


รูปที่ 3.19 แผนผังการทำงานของเครื่องกำเนิดสัญญาณ PD จำลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

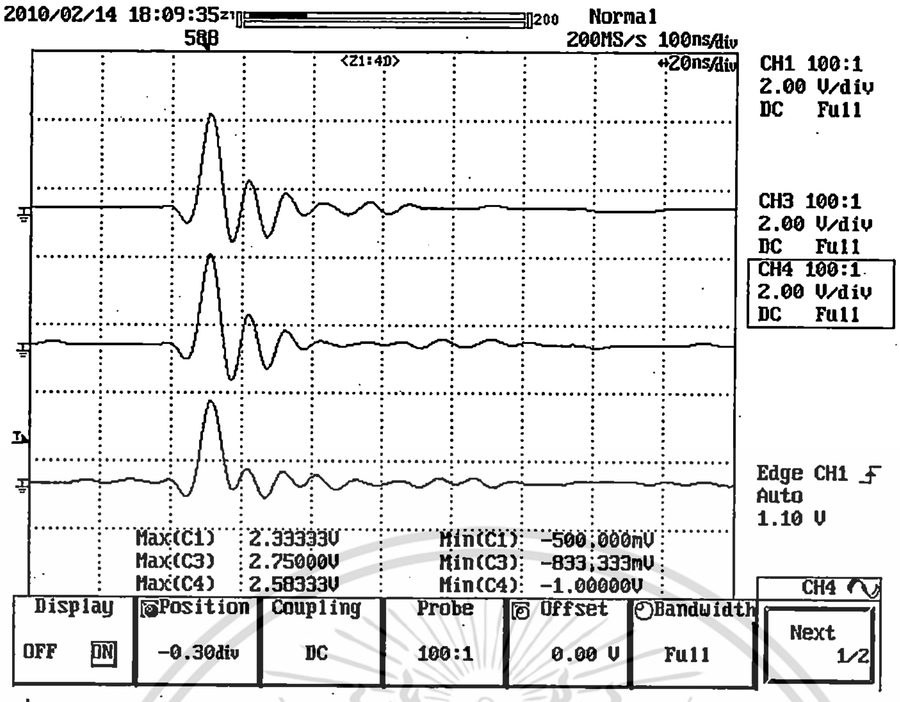


รูปที่ 3.20 สัญญาณ 3/7.5 ไมโครวินาทีที่สร้างจากวงจรกำเนิด PD จำลอง 3 ช่องสัญญาณพร้อมกัน

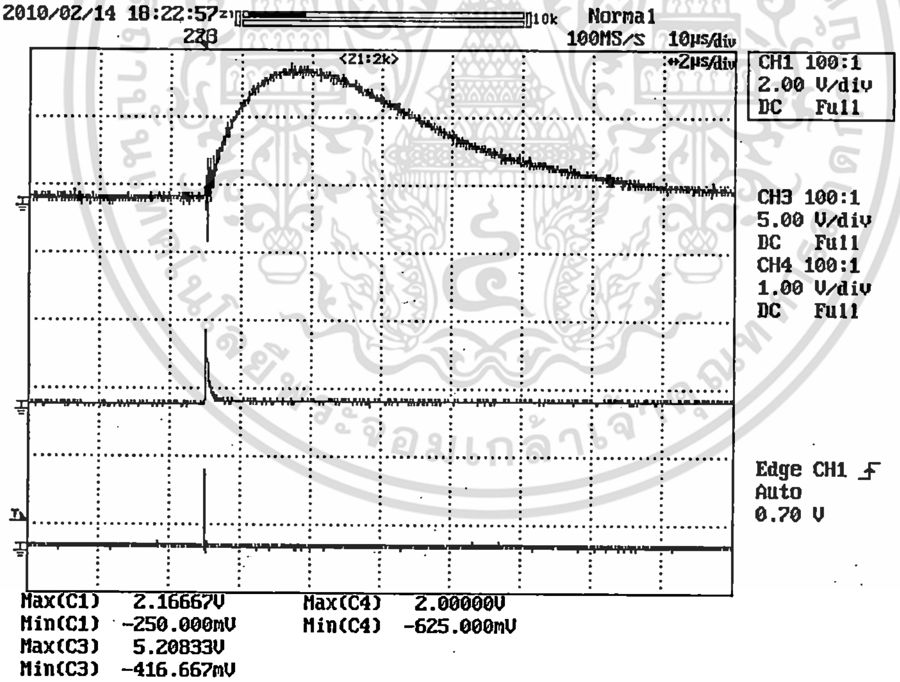


รูปที่ 3.21 สัญญาณ 37.5/75 นาโนวินาทีที่สร้างจากวงจรกำเนิด PD จำลอง 3 ช่องสัญญาณพร้อมกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



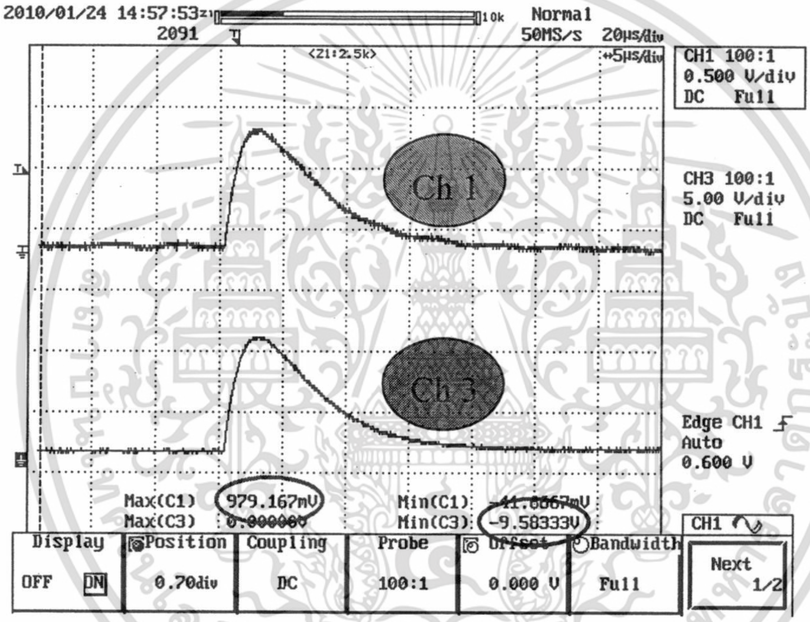
รูปที่ 3.22 สัญญาณ 3.75/5 นาโนวินาทีที่สร้างจากวงจรกำเนิด PD จำลอง 3 ช่องสัญญาณพร้อมกัน



รูปที่ 3.23 สัญญาณ 3/7.5 ไมโครวินาที ,37.5/75 นาโนวินาที และ3.75/5 นาโนวินาที ที่สร้างจากวงจรกำเนิด PD จำลอง 3 ช่องสัญญาณพร้อมกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากสัญญาณจำลองการเกิดดิสชาร์จบางส่วนที่สร้างขึ้นดังแสดงในรูปที่ 3.20 - 3.23 จะเห็นได้ว่าสัญญาณที่ได้มีขนาดแอมพลิจูดต่ำ จึงต้องนำสัญญาณที่สร้างขึ้นมาผ่านวงจรขยายสัญญาณแบบกลับเฟสด้วยออปแอมป์ตามที่นำเสนอในหัวข้อที่ 3.4 เพื่อให้รูปสัญญาณมีค่าแอมพลิจูดสูงขึ้น แต่อย่างไรก็ตามวงจรขยายแบบกลับเฟสที่สร้างด้วย ออปแอมป์เบอร์ LM6171 ยังไม่สามารถรองรับการขยายสัญญาณพัลส์จำลอง 3.75/5 นาโนวินาที ได้เนื่องจาก แบนด์วิดธ์ที่ยังไม่สูงพอ ดังนั้นวงจรขยายในวิทยานิพนธ์จะนำมาใช้งานกับสัญญาณ PD จำลอง 3/7.5 ไมโครวินาที และ 37.5/75 นาโนวินาทีเท่านั้น (ในส่วนของการทดสอบด้วยสัญญาณ 3.75/5 นาโนวินาที จะเปลี่ยนเป็นการใช้เครื่องมือจับสัญญาณกระแสที่มีประสิทธิภาพสูงแทน) โดยผลการขยายสัญญาณทั้ง 2 รูปสัญญาณได้แสดงไว้ในรูปที่ 3.24 ถึง 3.27

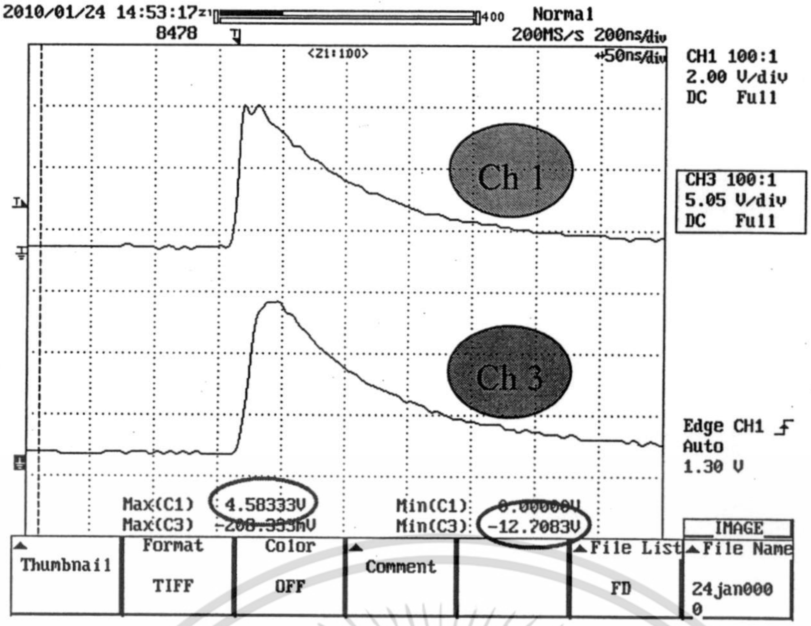


รูปที่ 3.24 พัลส์ 3/7.5 ไมโครวินาที จากวงจรกำเนิดเปรียบเทียบกับหลังจากผ่านวงจรขยาย 10 เท่า

โดย : Ch 1 คือสัญญาณจากวงจรกำเนิด

: Ch 3 คือสัญญาณจากวงจรขยาย (มีการใช้ฟังก์ชั่น Invert เพราะกลับเฟส)

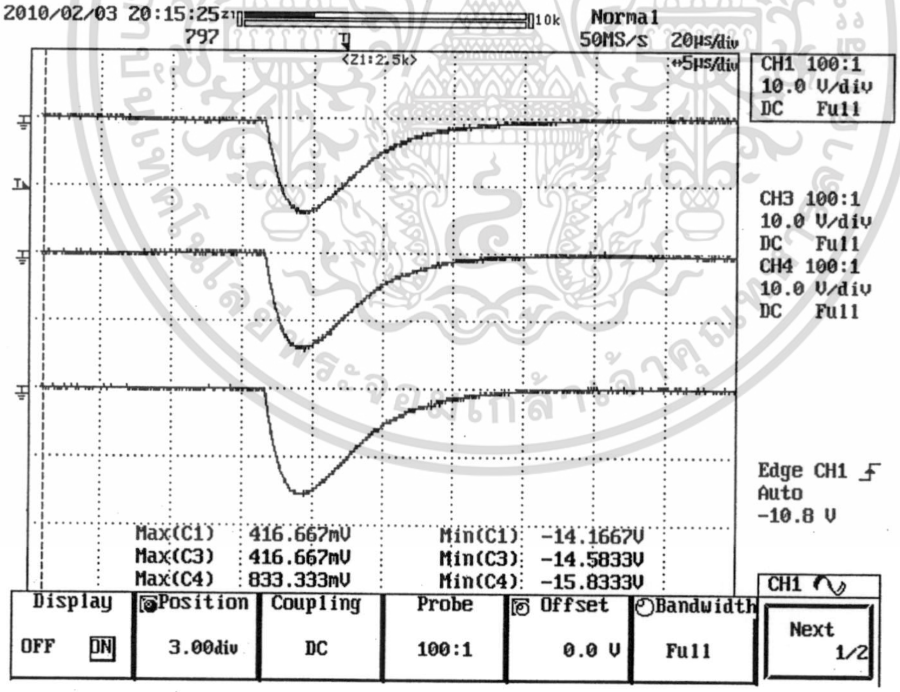
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.25 พัลส์ 37.5/75 นาโนวินาที จากวงจรกำเนิดเปรียบเทียบกับหลังจากผ่านวงจรขยาย 3 เท่า

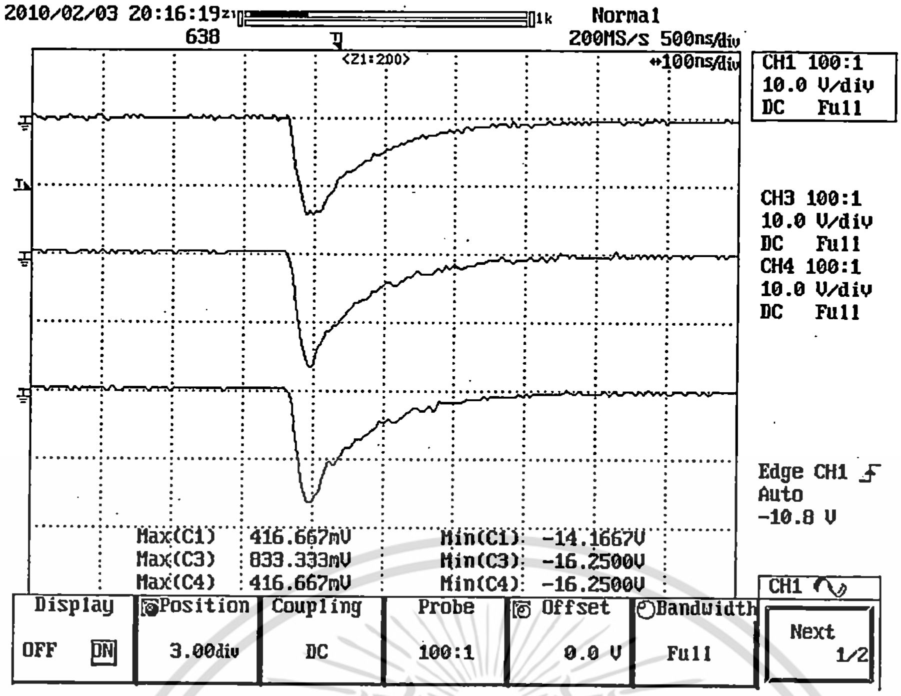
โดย : Ch 1 คือสัญญาณจากวงจรกำเนิด

: Ch 3 คือสัญญาณจากวงจรขยาย (มีการใช้ฟังก์ชั่น Invert)



รูปที่ 3.26 พัลส์ 3/7.5 ไมโครวินาที ทั้ง 3 ช่องสัญญาณหลังจากผ่านวงจรขยาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.27 พัลส์ 37.5/75 นาโนวินาที ทั้ง 3 ช่องสัญญาณหลังจากผ่านวงจรขยาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่4

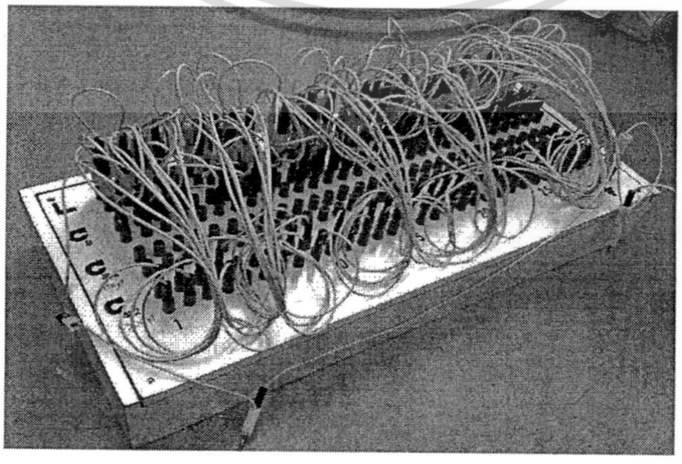
การกระจายของสัญญาณการเกิดดิสชาร์จบางส่วนในแบบจำลองความถี่สูงของหม้อแปลงไฟฟ้า

4.1บทนำ

ในบทนี้เป็นการทดสอบความสามารถในการจ่ายกระแสของเครื่องกำเนิดสัญญาณจำลองการเกิดดิสชาร์จบางส่วน ซึ่งการทดสอบจะนำสัญญาณที่สร้างได้จากเครื่องกำเนิดสัญญาณป้อนเข้าสู่จุดต่อต่างๆ ของแผงวงจรสมมูลย์ชุดขดลวด โดยการทดสอบจะแบ่งออกเป็น 3 ส่วนคือ การทดสอบจำลองสถานการณ์การเกิดดิสชาร์จบางส่วนที่จุดเดียว การทดสอบจำลองสถานการณ์การเกิดดิสชาร์จบางส่วน 2 จุดในเวลาเดียวกัน และการทดสอบจำลองสถานการณ์การเกิดดิสชาร์จบางส่วน 3 จุดในเวลาเดียวกัน

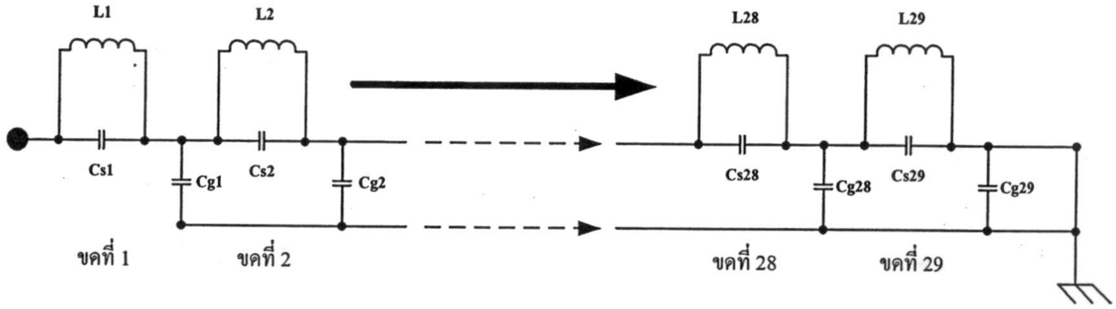
4.2 อุปกรณ์ และเครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบ

การทดลองจ่ายสัญญาณการเกิดดิสชาร์จบางส่วนจำลองในบทนี้ จะจ่ายทดลองเข้ากับแผงวงจรสมมูลย์ความถี่สูงของขดลวดหม้อแปลงไฟฟ้าดังแสดงในรูปที่ 4.1 [17] ซึ่งการทดสอบด้วยวงจรสมมูลย์จะสามารถวิเคราะห์ทิศทางการเคลื่อนที่ของกระแส และจุดที่กระแสสูญหายไปได้ง่าย ในแบบจำลองจะประกอบด้วยตัวเหนี่ยวนำ L ที่แทนค่าความเหนี่ยวนำของขดลวดหม้อแปลงมีค่า 100 μH ค่าเก็บประจุ C_s ที่แทนค่าเก็บประจุระหว่างชุดขดลวดมีค่า 3300 pF และ C_g ที่แทนค่าเก็บประจุระหว่างชุดขดลวดกับกราวด์ของหม้อแปลงมีค่า 60 pF เรียงกัน 30 ชุด โดยจะมีการต่อวงจรดังแสดงในรูปที่ 4.2 และจะแบ่งช่วงของชุดขดลวดออกเป็น 6 ช่วงๆ ละ 4 ชุดดังแสดงในรูปที่ 4.3 โดยชุดขดลวดที่ 5 ,10 ,15 ,20 ,25 และ30 จะไม่ใช้งานเพื่อความสะดวกในการทดสอบ โดยในแบบจำลองนี้จะไม่พิจารณาถึงผลของค่าความต้านทานที่มีอยู่ในขดลวดของหม้อแปลงไฟฟ้า

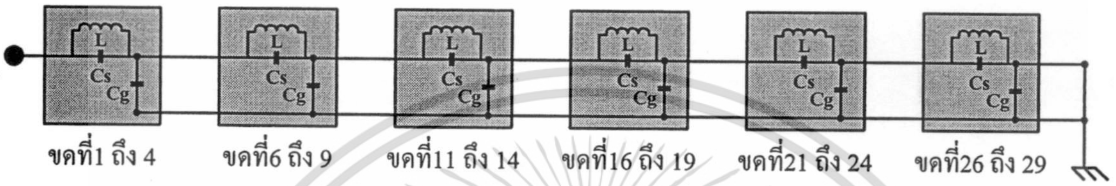


รูปที่ 4.1 แผงวงจรสมมูลย์ชุดขดลวดที่ใช้ทดสอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.2 แบบวงจรสมมูลย์ที่ต่อทดสอบ

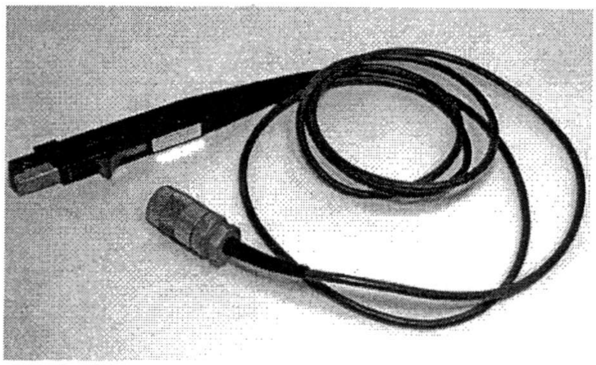


รูปที่ 4.3 การแบ่งช่วงของชุดขดลวด

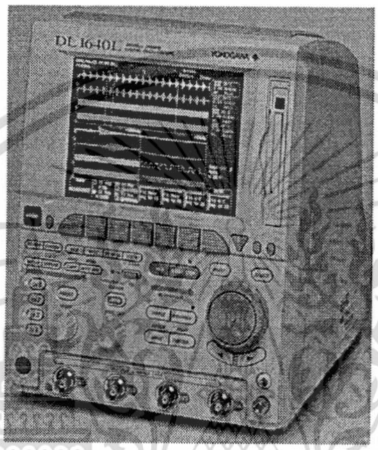
อุปกรณ์ที่ใช้ตรวจจับผลตอบสนองของสัญญาณกระแสคือ โพรบวัดกระแสรุ่น 700937 ของบริษัท YOKOGAWA ที่มีแบนด์วิดท์ 50 MHz ดังแสดงในรูปที่ 4.4 ที่ใช้ตรวจจับสัญญาณกระแสช่วงเวลา 3/7.5 ไมโครวินาที และ 37.5/75 นาโนวินาที และโพรบวัดกระแสรุ่น A6302 ของบริษัท TEKTRONIX ที่มีแบนด์วิดท์ 50 MHz ดังในรูปที่ 4.5 ที่ใช้สำหรับจับรูปสัญญาณกระแสช่วงเวลา 3.75/5 นาโนวินาทีที่ไม่สามารถขยายรูปสัญญาณด้วยออปแอมป์ได้ เนื่องจากโพรบวัดกระแสรุ่น A6302 จะมีตัวแอมพลิฟลาย (Amplifier) ที่สามารถขยายรูปสัญญาณกระแสที่จับได้อยู่ด้วย โดยโพรบวัดกระแสทั้ง 2 รุ่นจะใช้ร่วมกับดิจิตอลออสซิลโลสโคปรุ่น1640 ของบริษัท YOKOGAWA ที่มีอัตราการชักตัวอย่าง (Sampling Rate) ในกรณีรูปคลื่นที่ปรากฏสม่ำเสมอ (Repetitive Waveforms) สูงสุด 5 Gs/s ที่แสดงดังในรูปที่ 4.6

รูปที่ 4.4 โพรบวัดกระแสรุ่น 700937 ของบริษัท YOKOGAWA

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



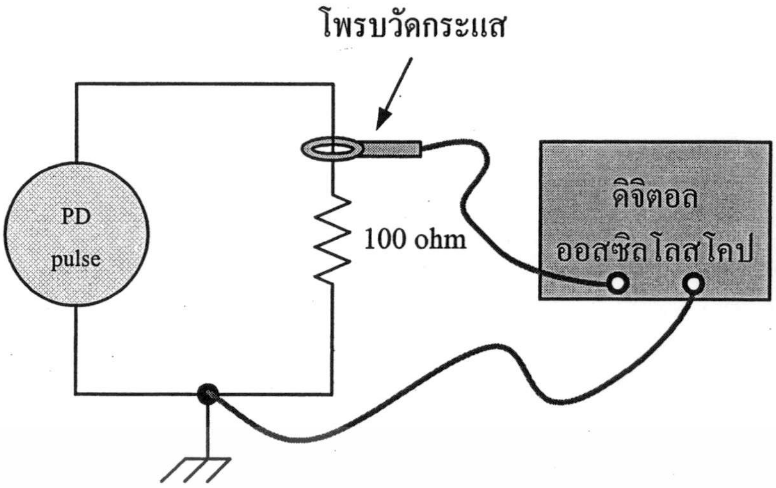
รูปที่ 4.5 โพรบวัดกระแสรุ่น A6302 ของบริษัท TEKTRONIX



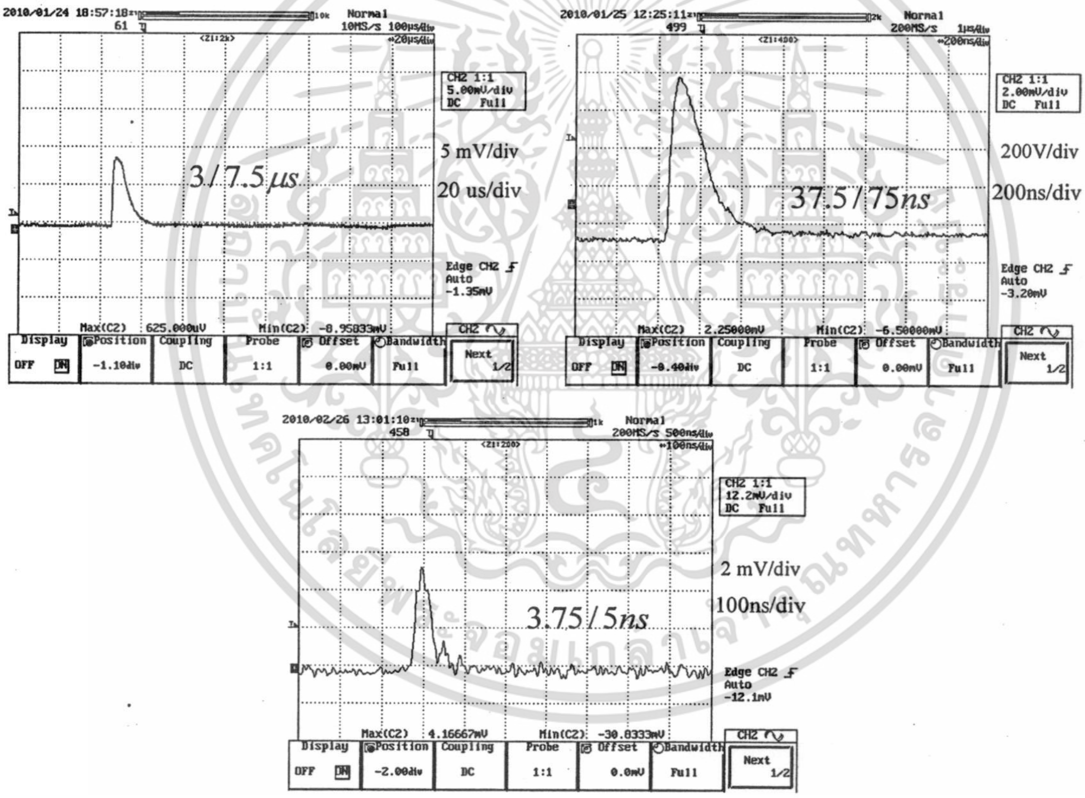
รูปที่ 4.6 ดิจิตอลออสซิลโลสโคปรุ่น DL 1640 ของบริษัท YOKOGAWA

ในการทดสอบจ่ายสัญญาณจะใส่ค่าความต้านทานไว้เพื่อใช้จำกัดกระแสของรูปสัญญาณ โดยพิจารณาจากค่าแรงดันสูงสุดของรูปพัลส์สัญญาณจำลองที่มีค่าประมาณ 10 โวลต์ เทียบกับค่ากระแสสูงสุดของออปแอมป์ที่นำมาใช้ขยายรูปสัญญาณสามารถจ่ายได้ ซึ่งออปแอมป์เบอร์ LM6171 มีความสามารถจ่ายกระแสสูงสุดประมาณ 100 มิลลิแอป์ ดังนั้นจึงเลือกค่าความต้านทานที่มีค่า 100 โอห์มมาใช้เพื่อจำกัดกระแสเพื่อทำให้ค่ากระแสสูงสุดที่จำลองออกมามีค่าไม่เกินค่ากระแสพิกัดของออปแอมป์ โดยในการทดสอบจะมีการติดตั้งโพรบตรวจจับกระแสที่เชื่อมต่อกับดิจิตอลออสซิลโลสโคปดังแสดงในรูปที่ 4.7 และรูปสัญญาณกระแสที่จับได้จากการต่อวงจรทดสอบแสดงไว้ดังในรูปที่ 4.8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.7 การติดตั้งอุปกรณ์เพื่อจับสัญญาณกระแส



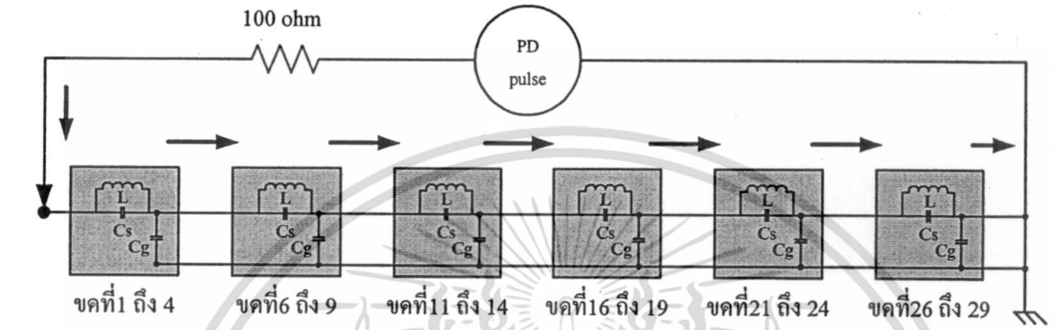
รูปที่ 4.8 สัญญาณกระแสที่วัดได้จากโพรบวัดกระแสในรูปที่ 4.5

4.3 การจ่ายสัญญาณเข้าจำลองสถานการณ์การเกิดดิสชาร์จบางส่วนจุดเดียว

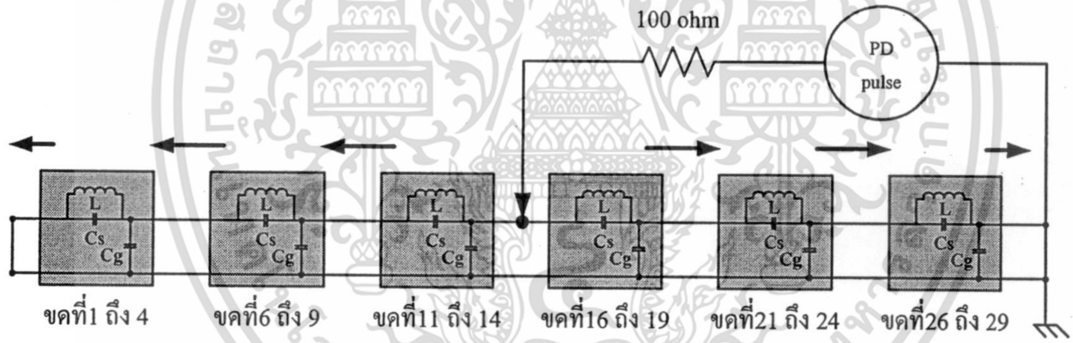
การทดสอบจำลองการเกิดดิสชาร์จบางส่วนในหม้อแปลงไฟฟ้ากำลังเพียงจุดเดียวสามารถทำได้โดยการจ่ายสัญญาณกระแสดิสชาร์จบางส่วนจำลองเข้าทดสอบจุดที่ต้องการจำลองการเกิดดิสชาร์จบางส่วน ซึ่งการทดสอบจ่ายสัญญาณจำลองที่จุดเดียวในหัวข้อนี้ จะทดสอบจำลองการเกิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดิสชาร์จบางส่วน 2 สถานการณ์คือ จำลองสถานการณ์การเกิดดิสชาร์จบางส่วนที่ต้นทางของชุดขดลวด หรือก็คือขดลวดที่ 1 ดังแสดงในรูปที่ 4.9 และที่กลางชุดขดลวด หรือก็คือขดลวดที่ 16 ดังแสดงในรูปที่ 4.10 โดยจะทดสอบด้วยสัญญาณทั้ง 3 รูปแบบที่สร้างขึ้นในบทที่ 3 และก่อนการทดสอบจำลองการเกิดดิสชาร์จบางส่วนในหม้อแปลงไฟฟ้ากำลังเพียงจุดเดียวจะมีการจำลองการจ่ายสัญญาณเข้าวงจรสมมูลย์ขดลวดหม้อแปลงความถี่สูงเพื่อศึกษาทิศทางการแพร่ของสัญญาณกระแสเบื้องต้นด้วยโปรแกรม Pspice ดังแสดงผลการจำลองในภาคผนวก ข.



รูปที่ 4. 9 วงจรการจ่ายสัญญาณทดสอบเข้าที่ต้นขดลวดที่ 1 ของแบบหม้อแปลงจำลอง

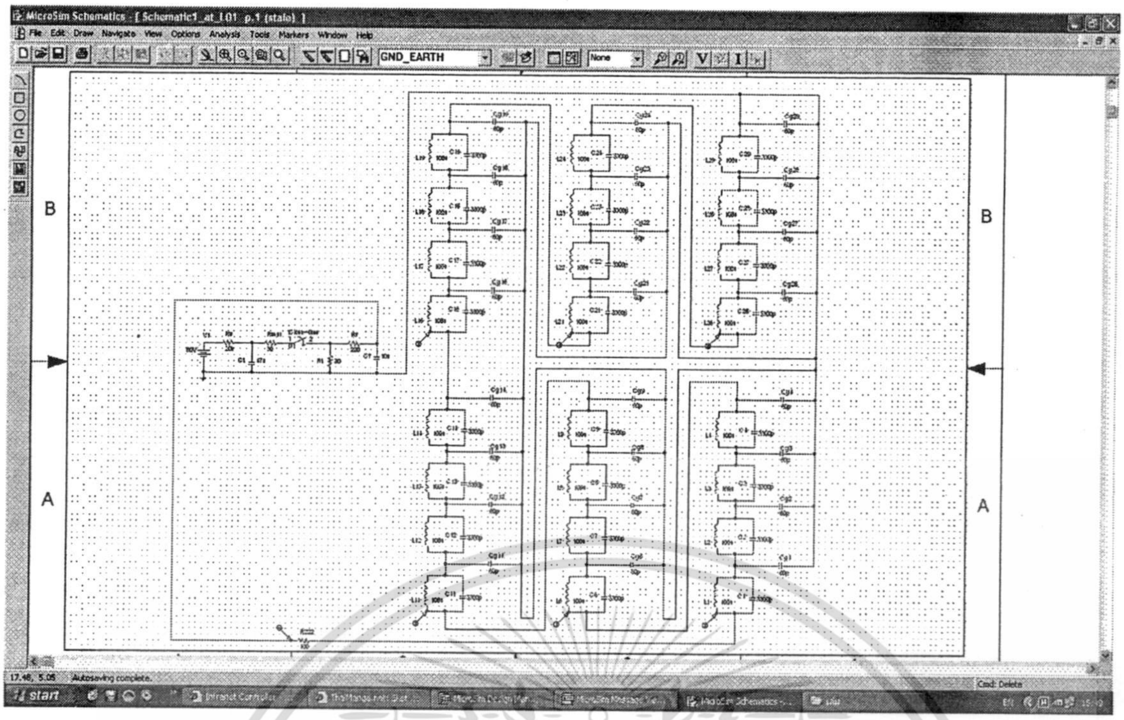


รูปที่ 4. 10 วงจรการจ่ายสัญญาณทดสอบเข้าที่ต้นขดลวดลำดับที่ 16 ของแบบหม้อแปลงจำลอง

4.3.1 การจ่ายสัญญาณ PD จำลองช่วงเวลา 3/7.5 ไมโครวินาทีเข้าต้นขดลวดที่ 1

การทดสอบในหัวข้อนี้เป็นการทดสอบจำลองการเกิดดิสชาร์จบางส่วนในฉนวนน้ำมันหม้อแปลงที่บริเวณต้นขดลวด โดยการทดสอบจะจ่ายสัญญาณช่วงเวลา 3/7.5 ไมโครวินาทีเข้าที่ด้านต้นชุดขดลวดที่ 1 และมีการจำลองผลตอบสนองสัญญาณการดิสชาร์จบางส่วนในน้ำมันหม้อแปลงที่ต้นขดลวดที่ 1 ด้วยโปรแกรม Pspice ดังในรูปที่ 4.11 – 4.26

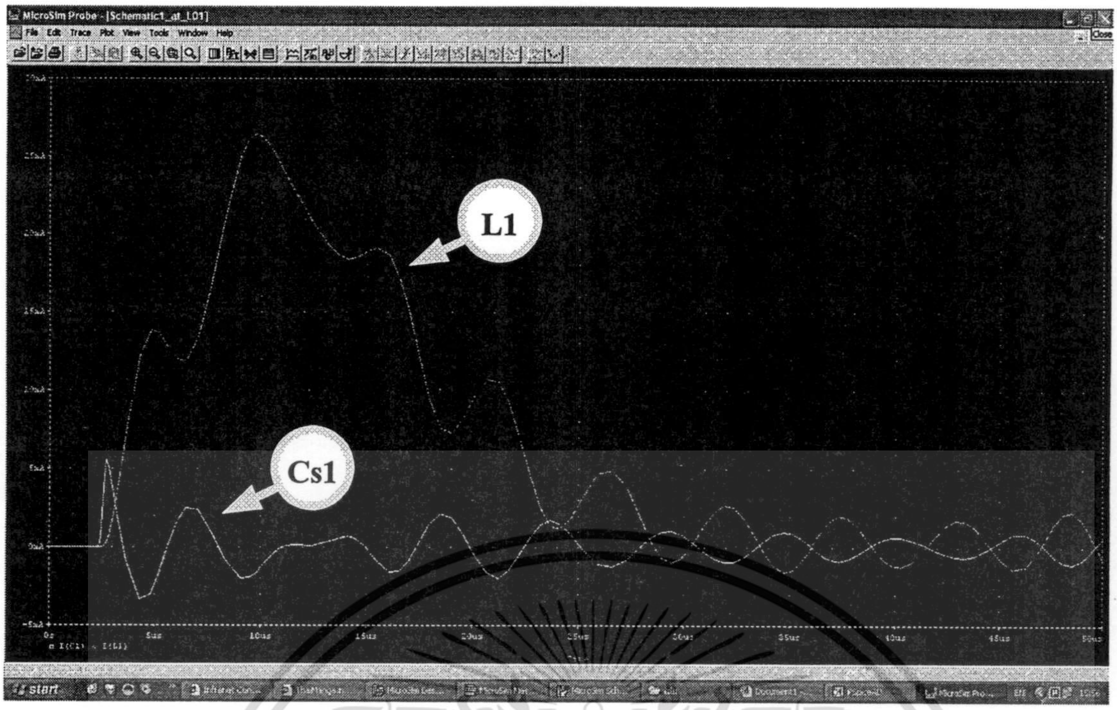
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.11 วงจรจำลองการจ่ายสัญญาณ 3/7.5 ไมโครวินาทีเข้าวงจรสมมูลย์หม้อแปลงชุดที่ 1

รูปที่ 4.12 สัญญาณกระแส 3/7.5 ไมโครวินาทีจากวงจรกำเนิด

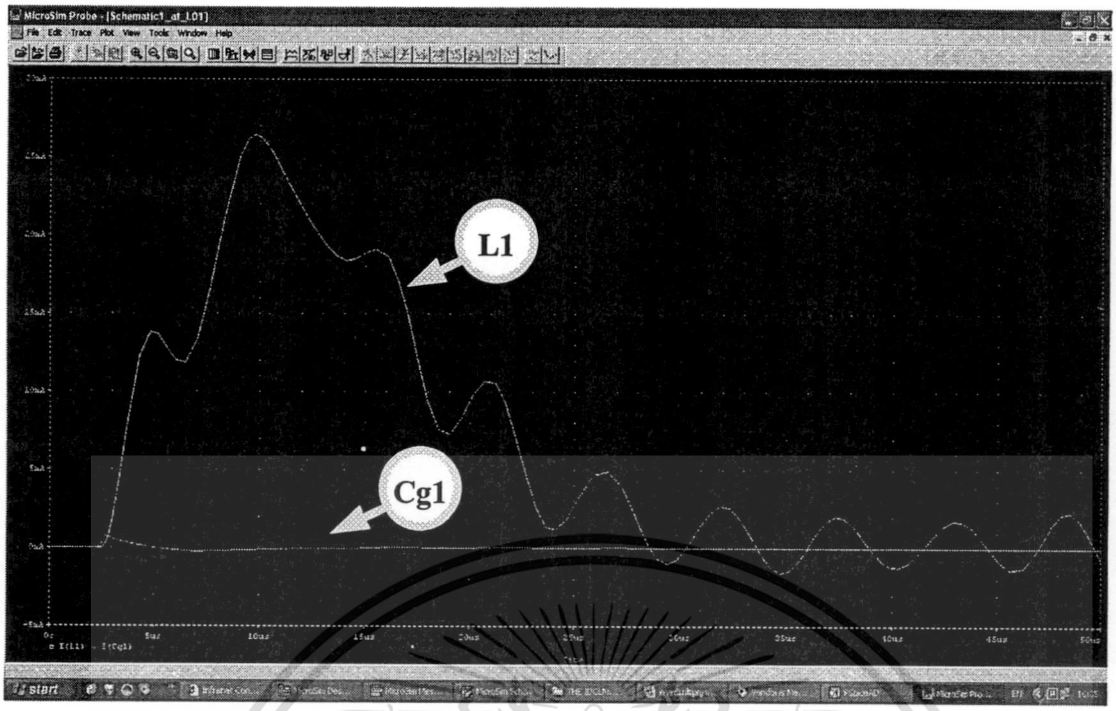
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



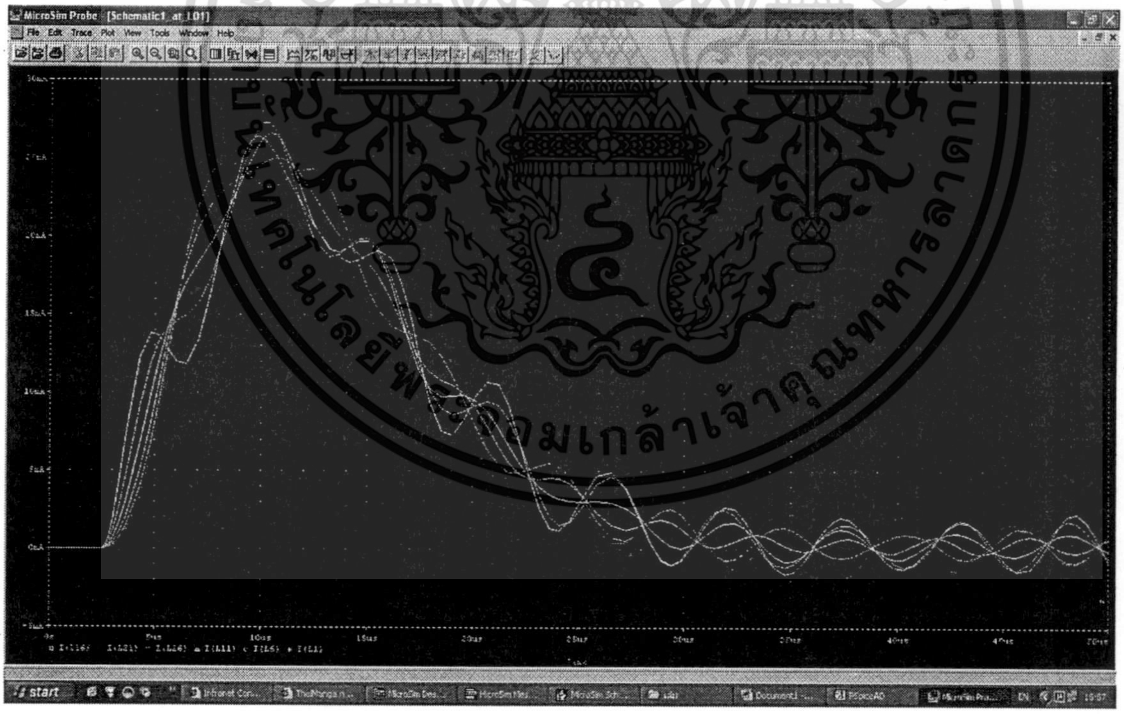
รูปที่ 4.13 สัญญาณกระแสที่ไหลผ่านตัว $L\,1$ เทียบกับ $C_s\,1$

รูปที่ 4.14 สัญญาณกระแสที่ไหลผ่านตัว $C_g\,1$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



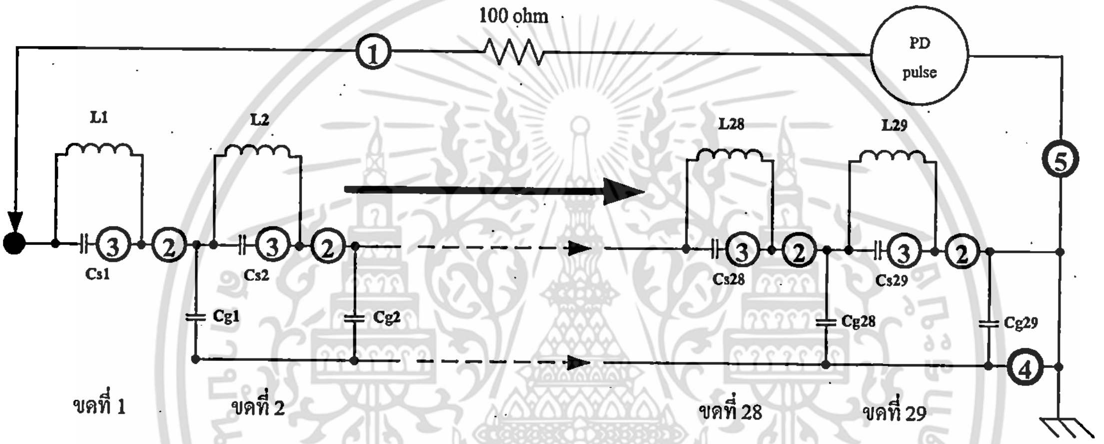
รูปที่ 4.15 สัญญาณกระแสที่ไหลผ่านตัว $C_g 1$ เทียบกับ $L1$



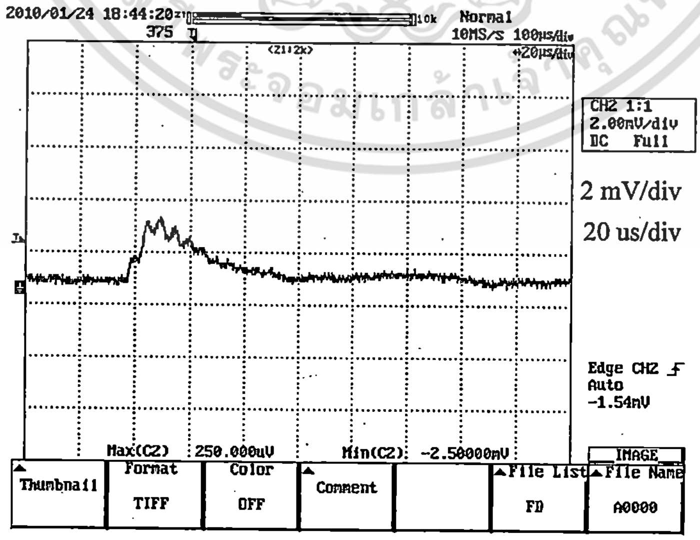
รูปที่ 4.16 สัญญาณกระแสที่ไหลผ่านตัว L ในชุดขดลวดที่ 1, 6, 11, 16, 21 และ 26

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการผลจำลองการจ่ายสัญญาณการเกิดดิสชาร์จบางส่วนจำลองเข้าทดสอบวงจรสมมูลย์ขดลวดหม้อแปลงความถี่สูงด้วยโปรแกรม Pspice แสดงให้เห็นว่าสัญญาณการเกิดดิสชาร์จบางส่วนในน้ำมันหม้อแปลงช่วงพัลส์ 3/7.5 ไมโครวินาทีส่วนใหญ่จะเคลื่อนที่ไปในชุดขดลวดผ่านทางตัวเหนี่ยวนำ L มีสัญญาณเพียงบางส่วนที่เคลื่อนที่ผ่านตัวเก็บประจุ C_s และ C_g ซึ่งจะสังเกตได้ว่าสัญญาณที่เดินทางผ่านตัวเหนี่ยวนำ L ในแต่ละชุดขดลวดจะมีขนาดแอมพลิจูดใกล้เคียงกัน และหลังจากการทดสอบด้วยวิธีการจำลองทางโปรแกรมคอมพิวเตอร์ จะเป็นการทดสอบด้วยการจ่ายสัญญาณจริงดังการต่อวงจรทดสอบในรูปที่ 4.9 โดยจะมีการติดตั้งโพรบวัดกระแสที่จุดต่างๆ ดังแสดงในรูปที่ 4.17 เพื่อสังเกตทิศทางที่กระแสไหลผ่าน ซึ่งสามารถวิเคราะห์ได้จากผลตอบสนองของรูปสัญญาณกระแสที่แสดงไว้ดังในรูปที่ 4.18 ถึง 4.21

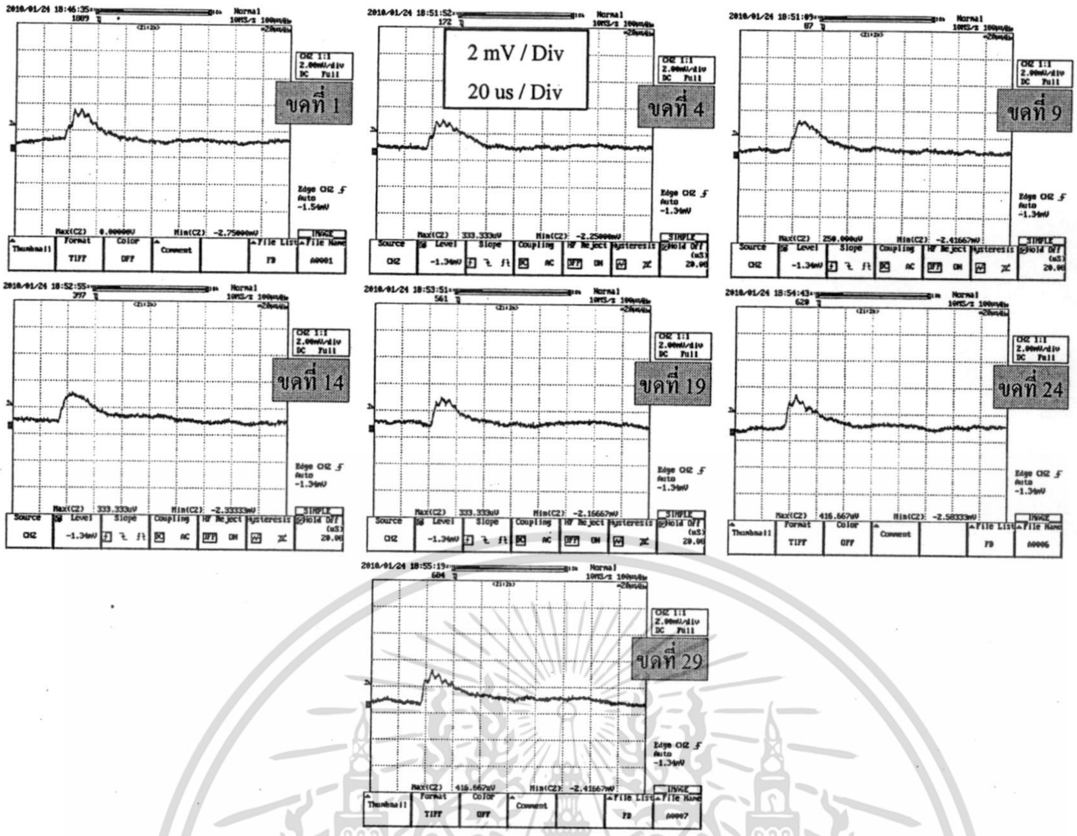


รูปที่ 4.17 จุดที่ติดตั้งโพรบวัดกระแสของการทดสอบจ่ายพัลส์ช่วงเวลา 3/7.5 ไมโครวินาทีที่ต้นขดลวดลำดับที่ 1

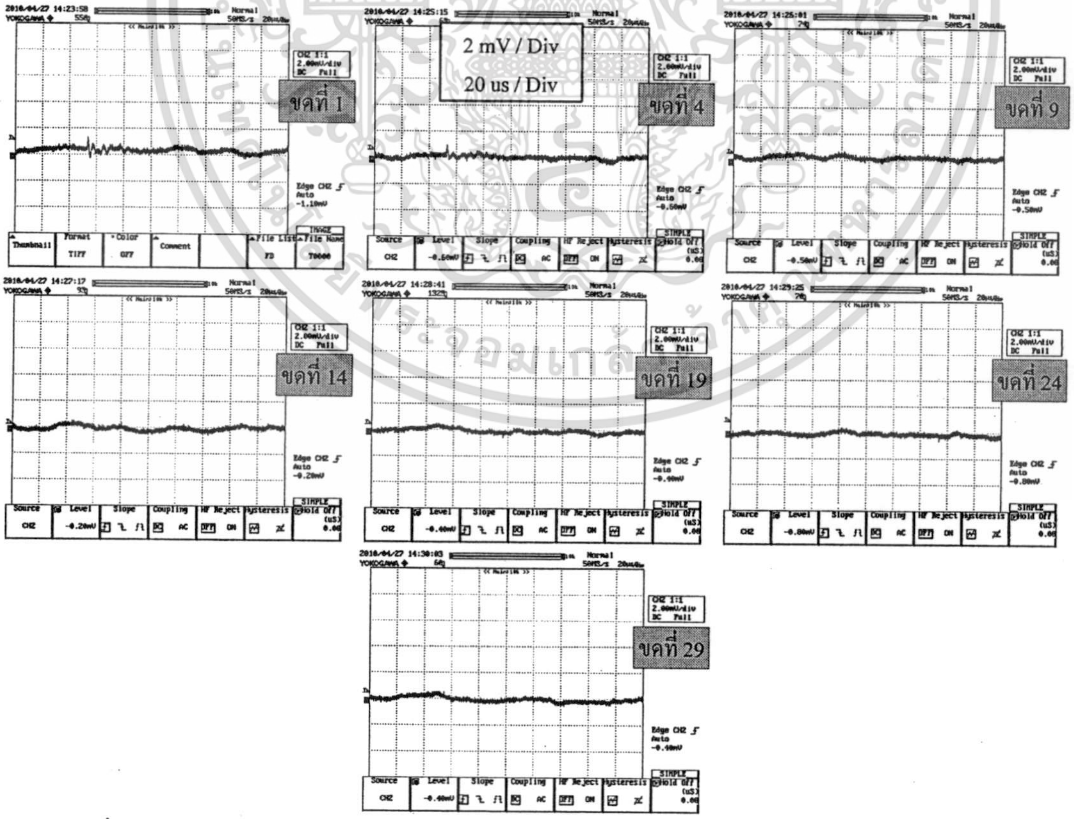


รูปที่4. 18 สัญญาณกระแสจุดวัดที่ 1 ในการทดสอบหัวข้อที่ 4.3.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

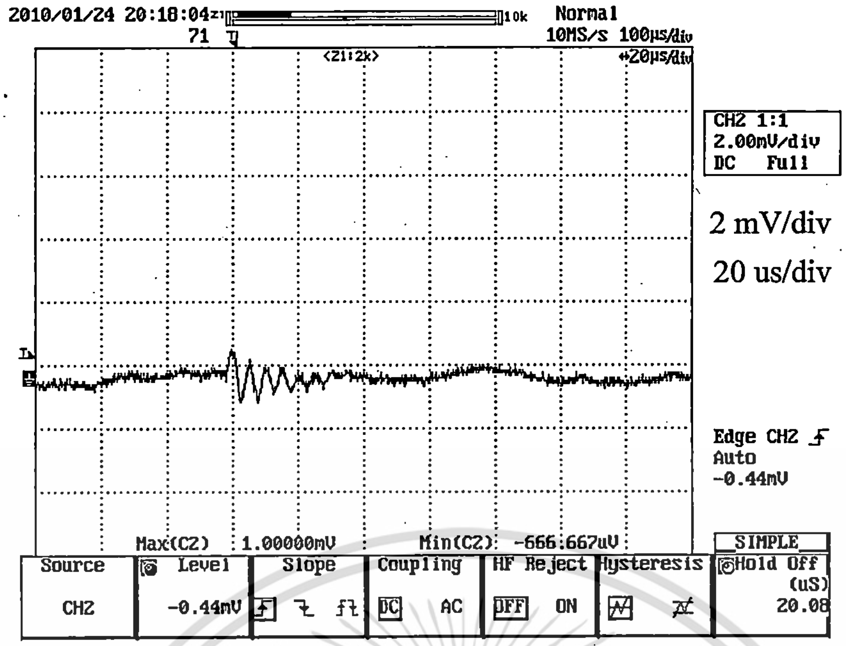


รูปที่ 4.19 สัญญาณกระแสจุดวัดที่ 2 ของขดลวดแต่ละขดในการทดสอบหัวข้อที่ 4.3.1

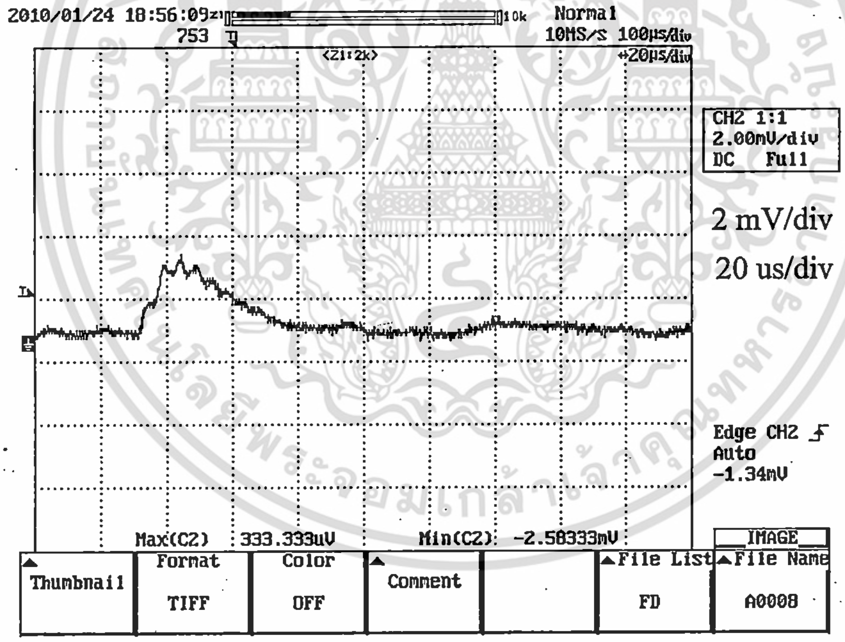


รูปที่ 4.20 สัญญาณกระแสจุดวัดที่ 3 ของขดลวดแต่ละขดในการทดสอบหัวข้อที่ 4.3.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.21 สัญญาณกระแสจุดวัดที่ 4 ในการทดสอบหัวข้อที่ 4.3.1

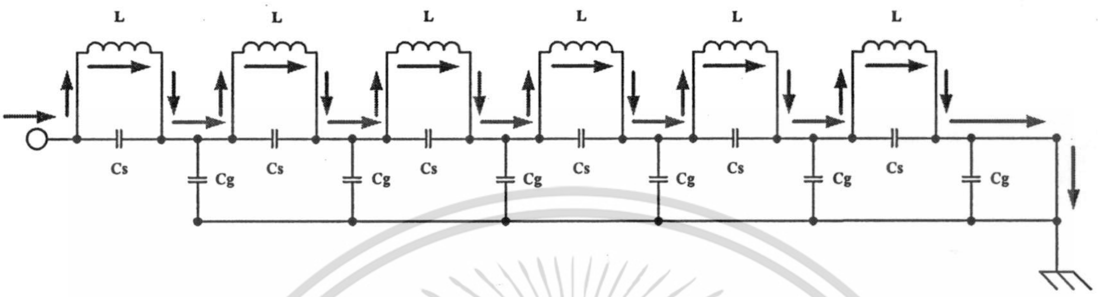


รูปที่ 4.22 สัญญาณกระแสจุดวัดที่ 5 ในการทดสอบหัวข้อที่ 4.3.1

จากรูปผลตอบสนองต่อสัญญาณกระแสจำลองช่วงเวลา 3/7.5 ไมโครวินาทีที่จ่ายเข้าทางด้านต้นขดลวดชุดที่ 1 ในรูปที่ 4.19 สังเกตได้ว่าสัญญาณกระแสจะเดินทางผ่านชุดขดลวดแต่ละขดโดยแทบไม่มีการเปลี่ยนแปลง ซึ่งสัญญาณจะไม่เดินทางผ่านตัวเก็บประจุ C_s ดังสังเกตได้ในรูปสัญญาณกระแสที่ไหลผ่านตัวเก็บประจุ C_s ที่แสดงในรูปที่ 4.20 และเมื่อเปรียบเทียบกับในรูปที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

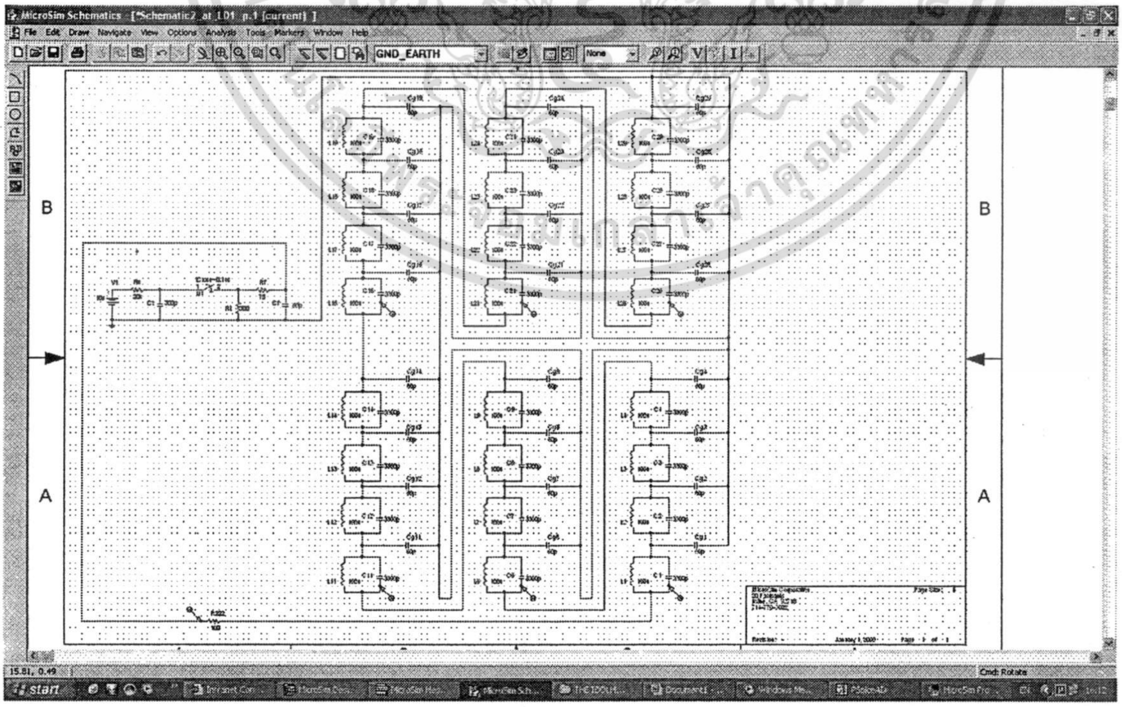
4.21 จะเห็นว่าสัญญาณที่ผ่านตัวเก็บประจุ C_g มีเพียงส่วนที่เป็นออสซิลเลต (Oscillating Component) เช่นเดียวกันกับการจำลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ ดังนั้นจึงสามารถกล่าวได้ว่าทิศทางการเคลื่อนที่ของสัญญาณช่วงเวลา 3/7.5 ไมโครวินาทีส่วนใหญ่จะเดินทางไปในชุดขดลวดผ่านทางตัวเหนี่ยวนำ L โดยมีเพียงส่วนน้อยที่เดินทางผ่านตัวเก็บประจุ C_s และ C_g ดังแสดงในรูปที่ 4.23



รูปที่ 4.23 ทิศทางการเคลื่อนที่ของสัญญาณกระแสจากการจ่ายสัญญาณทดสอบที่ต้นขดลวดลำดับที่ 1 ด้วยพัลส์ 3/7.5 ไมโครวินาที

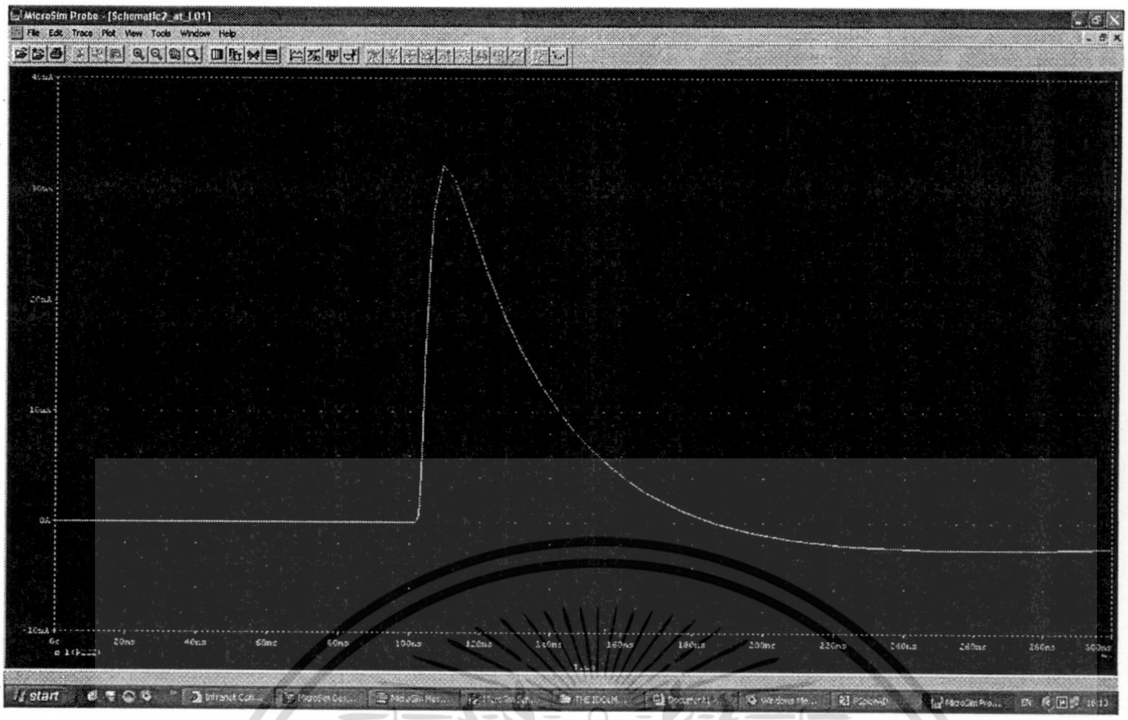
4.3.2 การจ่ายสัญญาณ PD จำลองช่วงเวลา 37.5/75 นาโนวินาทีเข้าต้นขดลวดที่ 1

การทดสอบในหัวข้อนี้เป็นการทดสอบจำลองการเกิดดิสชาร์จบางส่วนแบบ Trichel Pulse (Corona Discharge) ที่บริเวณต้นขดลวด โดยจะมีการจำลองผลตอบสนองต่อการเกิดดิสชาร์จบางส่วนแบบ Trichel Pulse ที่ต้นขดลวดที่ 1 ด้วยโปรแกรม Pspice ดังแสดงในรูปที่ 4.24 – 4.28

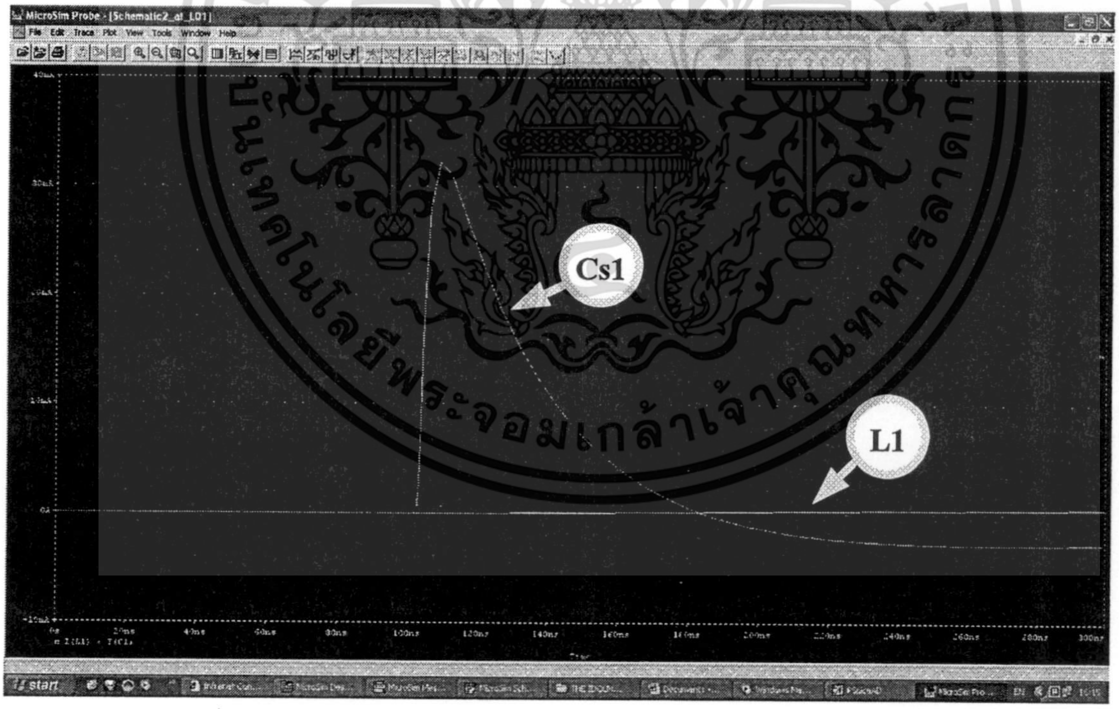


รูปที่ 4.24 วงจรจำลองการจ่ายสัญญาณ 37.5/75 นาโนวินาทีเข้าวงจรสมมูลย์หม้อแปลงชุดที่ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

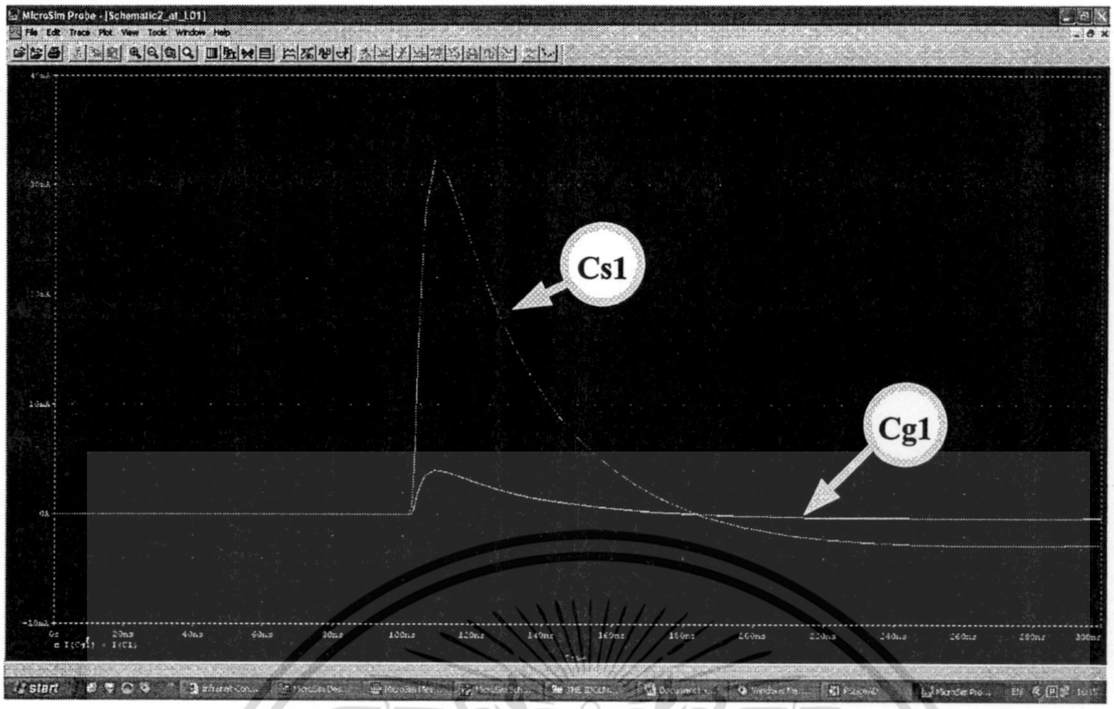


รูปที่ 4.25 สัญญาณกระแส 37.5/75 นาโนวินาทีจากวงจรกำเนิด

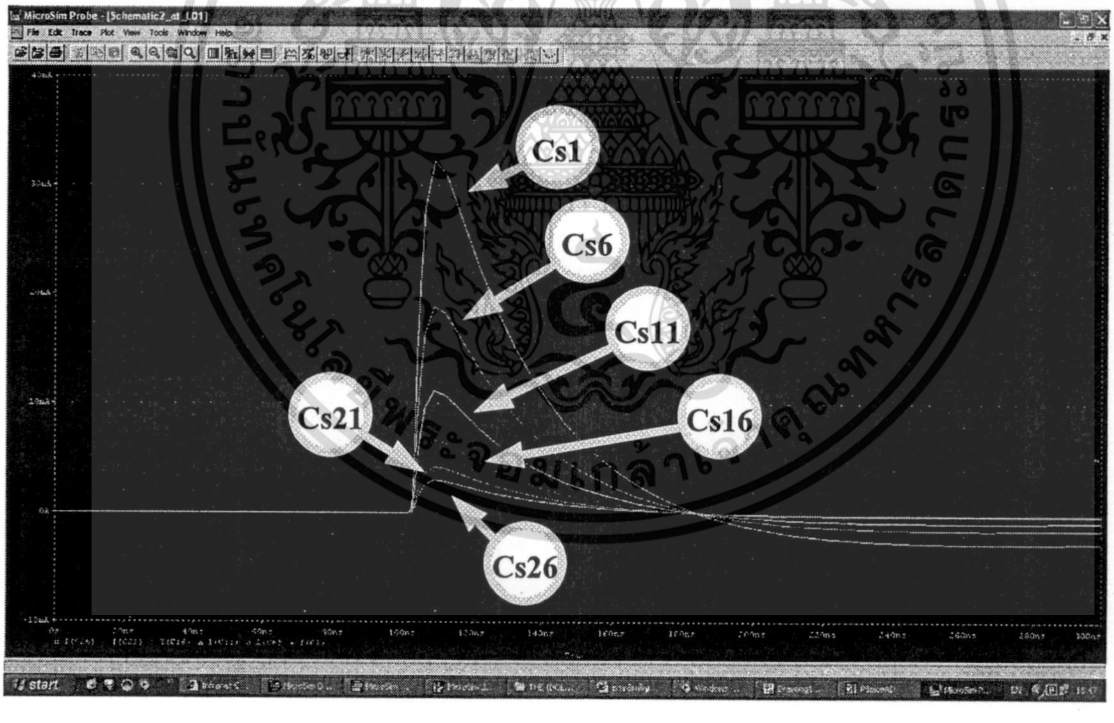


รูปที่ 4.26 สัญญาณกระแส 37.5/75 นาโนวินาทีที่ไหลผ่านตัว C_s1 เทียบกับ $L1$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.27 สัญญาณกระแส 37.5/75 นาโนวินาทีที่ไหลผ่านตัว C_s1 เทียบกับ C_g1



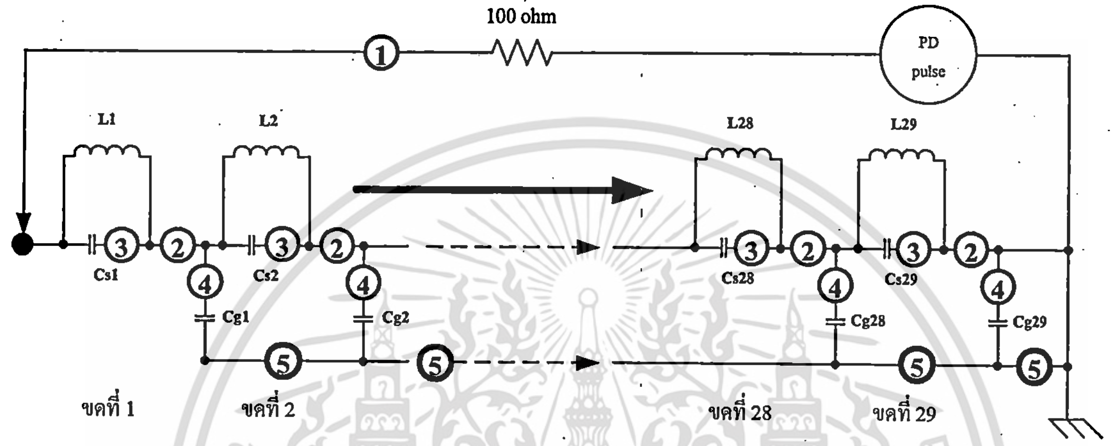
รูปที่ 4.28 สัญญาณ 37.5/75 นาโนวินาทีที่ไหลผ่านตัว C_s ในขดลวดที่ 1, 6, 11, 16, 21 และ 26

จากการจำลองผลตอบสนองทิศทางการแพร่กระจายของสัญญาณการเกิดดิสชาร์จบางส่วนแบบ Trichel Pulse ช่วงเวลา 37.5/75 นาโนวินาที ในรูปที่ 4.26 จะสังเกตุได้ว่ารูปสัญญาณกระแสจะเดินทางไปในชุดขดลวดผ่านทางตัวเก็บประจุ C_s โดยที่สัญญาณจะไม่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำ L

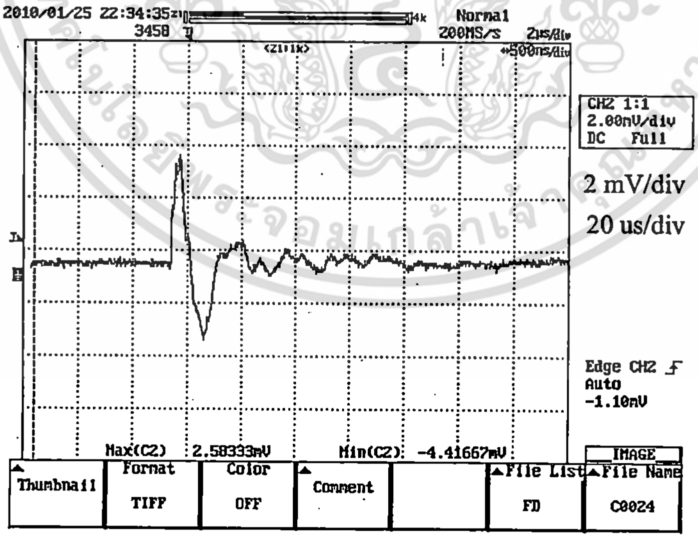
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และจะมีสัญญาณบางส่วนไหลผ่านไปทางตัวเก็บประจุ C_g ลงกราวด์ดังรูปผลการจำลองรูปที่ 4.27 ซึ่งจะทำให้สัญญาณกระแสที่เดินทางผ่านตัวเก็บประจุ C_g มีระดับแอมพลิจูดลดลงในทุกชุดดังแสดงผลเปรียบเทียบในรูปที่ 4.28

ในส่วนการทดสอบจะจ่ายสัญญาณช่วงเวลา 37.5/75 นาโนวินาทีเข้าที่ด้านต้นชุดขดลวดที่ 1 ดังแสดงในรูปที่ 4.9 ซึ่งมีการติดตั้งโพรบวัดกระแสที่จุดต่อต่างๆ ดังแสดงในรูปที่ 4.29 โดยผลการตรวจจับสัญญาณกระแสที่วัดได้ตามจุดต่างๆ ได้แสดงไว้ดังรูปที่ 4.30 ถึง 4.34

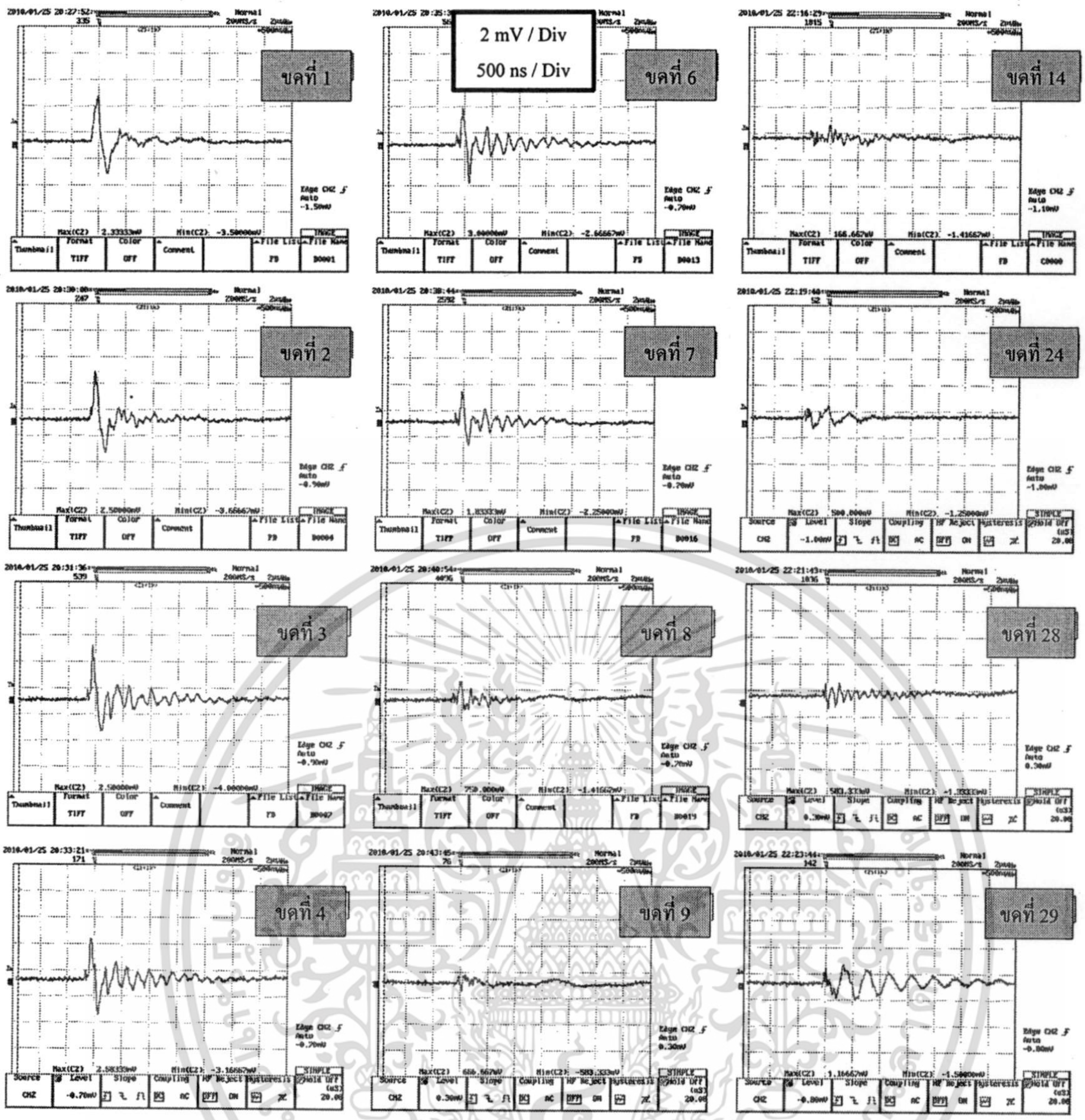


รูปที่ 4.29 จุดที่ติดตั้งโพรบวัดกระแสของการทดสอบจ่ายพัลส์ช่วงเวลา 37.5/75 นาโนวินาทีที่ต้นขดลวดลำดับที่ 1



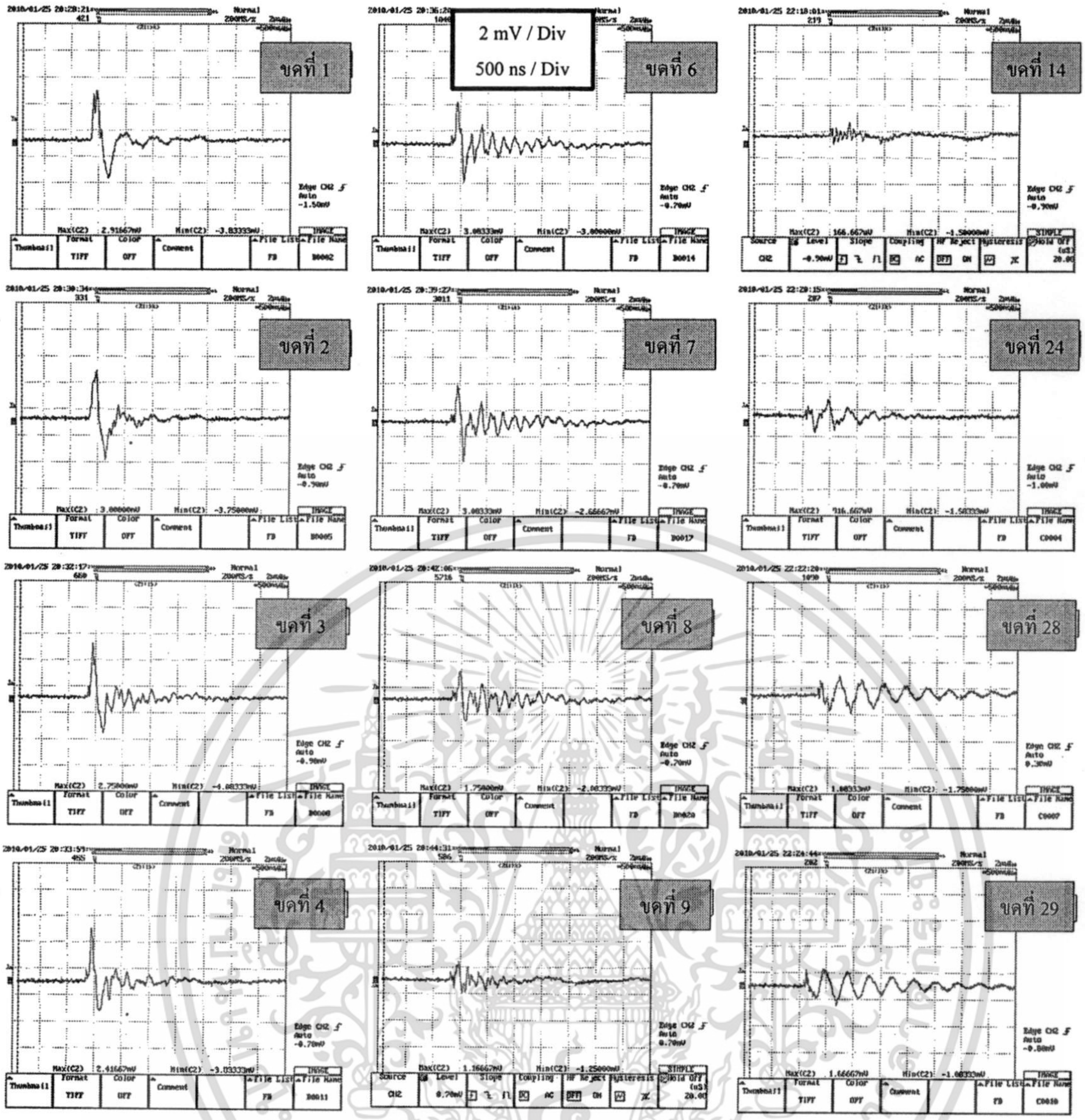
รูปที่ 4.30 สัญญาณกระแสจุดวัดที่ 1 ในการทดสอบหัวข้อที่ 4.3.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



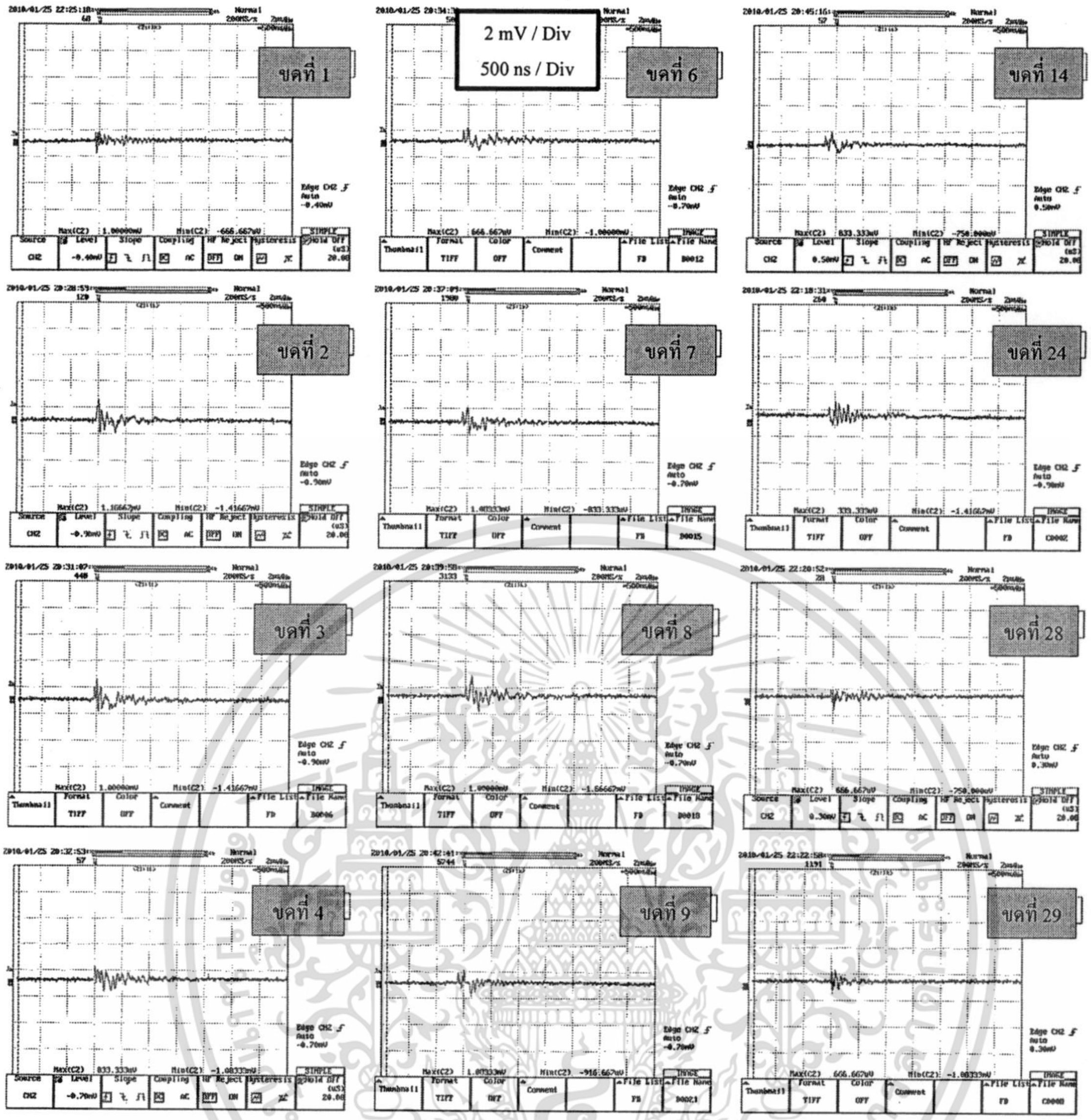
รูปที่ 4.31 สัญญาณกระแสจุดวัดที่ 2 ของขดลวดแต่ละขดในการทดสอบหัวข้อที่ 4.3.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



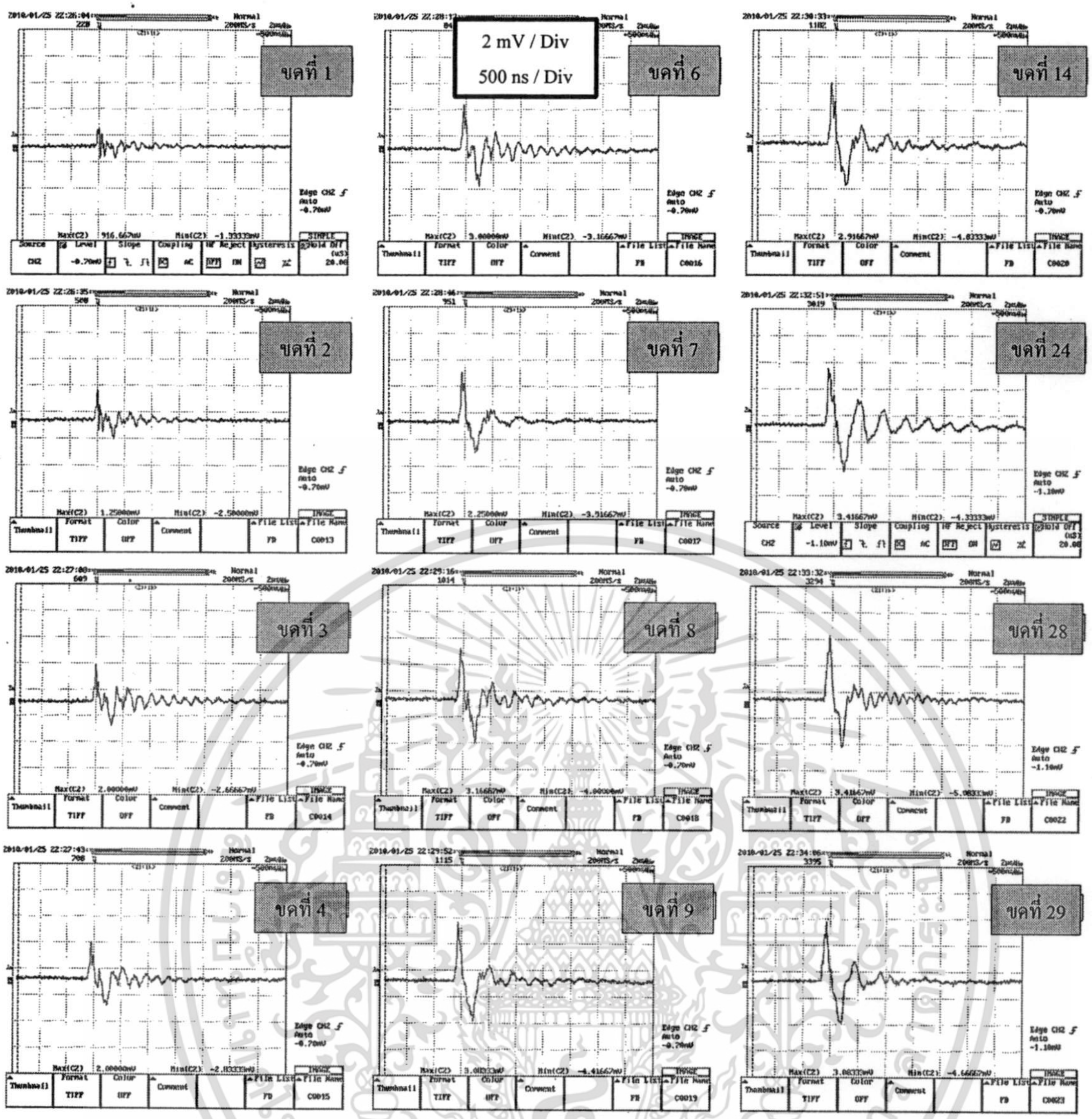
รูปที่ 4.32 สัญญาณกระแสจุดวัดที่ 3 ของขดลวดแต่ละขดในการทดสอบหัวข้อที่ 4.3.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.33 ผลสัญญาณกระแสจุดวัดที่ 4 ของขดลวดแต่ละขดในการทดสอบหัวข้อที่ 4.3.2

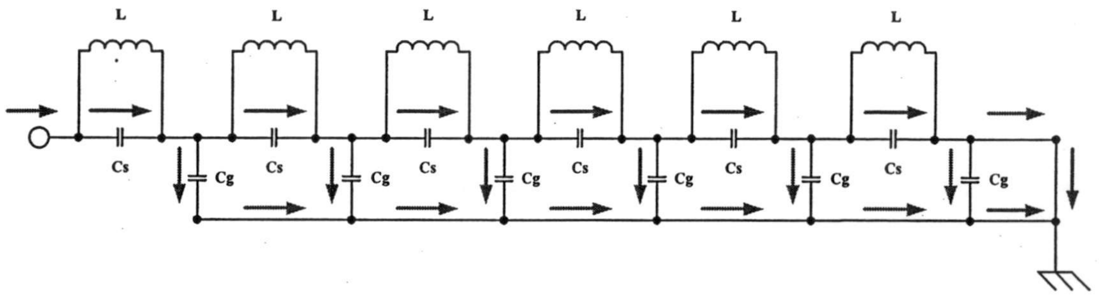
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.34 สัญญาณกระแสจุดวัดที่ 5 ของขดลวดแต่ละขดในการทดสอบหัวข้อที่ 4.3.2

จากรูปผลตอบสนองสัญญาณที่จับได้จากปลายชุดขดลวดในรูปที่ 4.31 เปรียบเทียบกับสัญญาณที่ผ่านตัวเก็บประจุ C_s ในรูปที่ 4.32 จะเห็นได้ว่ารูปสัญญาณมีรูปร่างแตกต่างกันเพียงเล็กน้อย ทำให้สามารถวิเคราะห์ได้ว่าสัญญาณกระแสช่วงเวลา 37.5/75 นาโนวินาทีจะเดินทางผ่านตัวตัวเก็บประจุ C_s โดยสัญญาณที่เดินทางผ่านชุดขดลวดจะมีระดับแอมพลิจูดลดลงเรื่อยๆ จนเหลือเพียงสัญญาณที่เป็น ออสซิลเลต ซึ่งการที่สัญญาณมีขนาดแอมพลิจูดลดลงสามารถวิเคราะห์สาเหตุได้จากรูปสัญญาณที่ไหลผ่านตัวเก็บประจุ C_g ของแต่ละชุดขดลวด ในรูปที่ 4.33 เป็นสัญญาณที่เดินทางผ่านมาจากตัวเก็บประจุ C_s แล้วผ่านตัวเก็บประจุ C_g ลงกราวด์เรื่อยๆ ดูได้จากรูปสัญญาณจากตัวเก็บประจุ C_g ที่รวมกันลงกราวด์ดังแสดงในรูปที่ 4.34 ที่มีขนาดแอมพลิจูดสูงขึ้นในทุกชุดขดลวดจนกระทั่งมีขนาดเท่ากับกระแสอินพุตที่จ่ายเข้าทดสอบในรูปที่ 4.30 โดยทิศทางการเดินทางของสัญญาณกระแสช่วงเวลา 37.5/75 นาโนวินาทีแสดงไว้ในรูปที่ 4.35

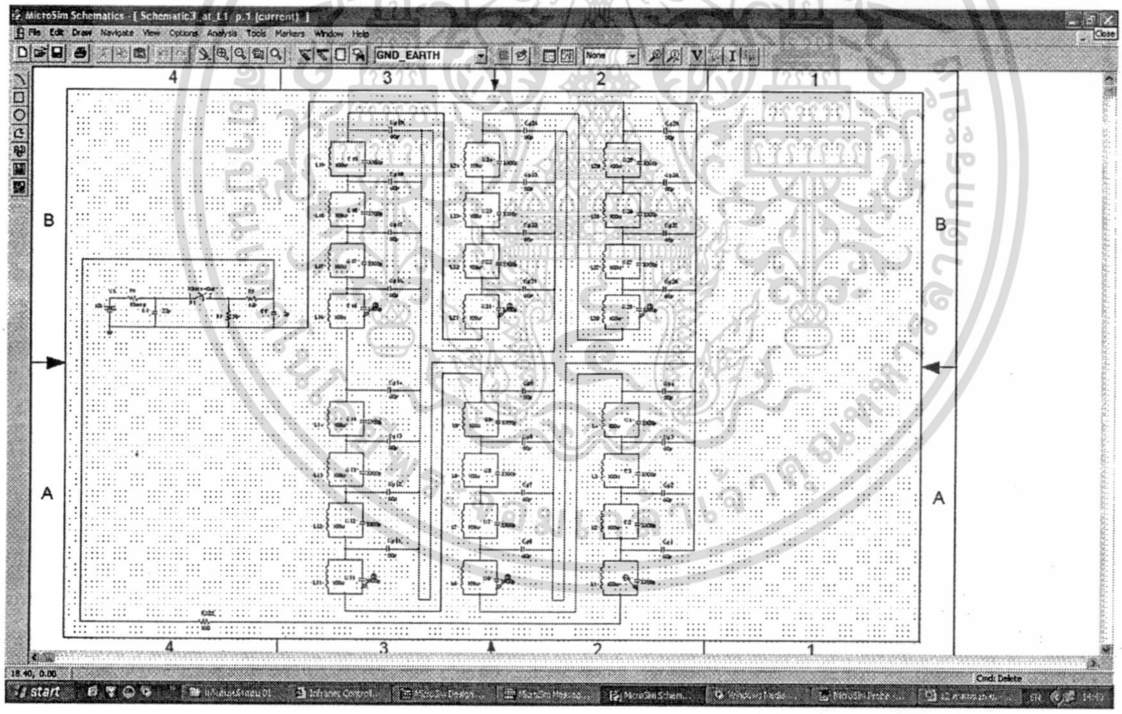
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.35 ทิศทางการเคลื่อนที่ของสัญญาณกระแสจากการจ่ายสัญญาณทดสอบที่ต้นขดลวดที่ 1 ด้วยพัลส์ 37.5/75 นาโนวินาที

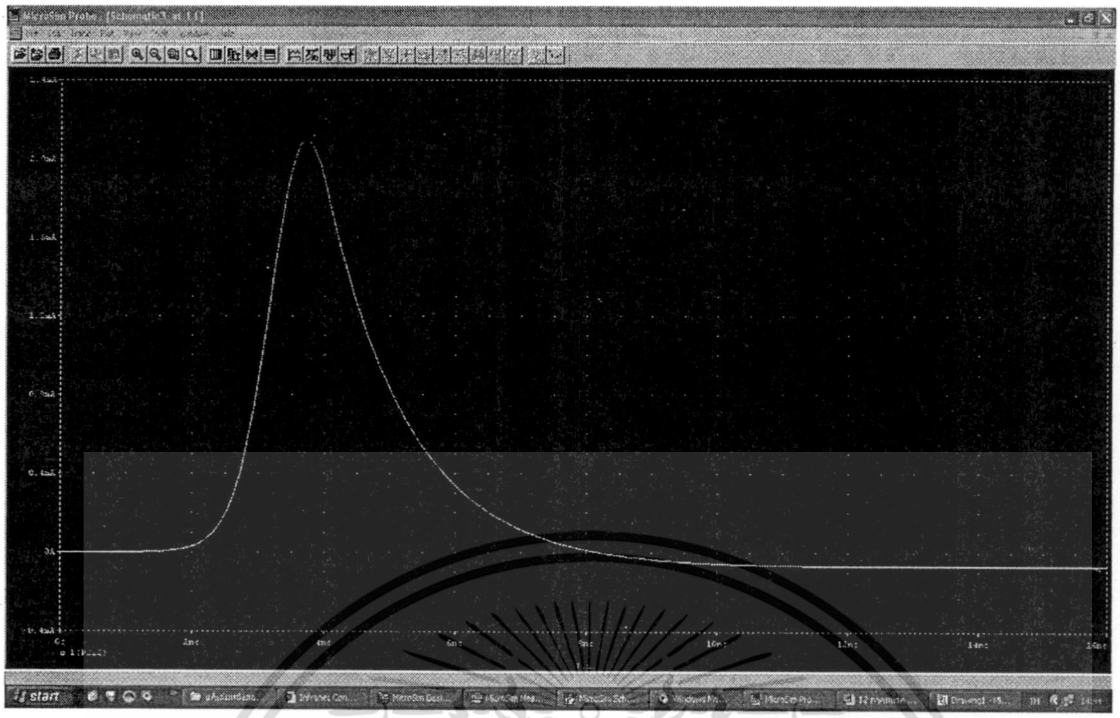
4.3.3 การจ่ายสัญญาณ PD จำลองช่วงเวลา 3.75/5 นาโนวินาทีเข้าต้นขดลวดที่ 1

การทดสอบในหัวข้อนี้เป็นการทดสอบจำลองการเกิดดิสชาร์จบางส่วนในฟองอากาศที่บริเวณต้นขดลวด โดยจะมีการจำลองผลตอบสนองต่อการเกิดดิสชาร์จบางส่วนในฟองก๊าซที่ต้นขดลวดที่ 1 ด้วยโปรแกรม Pspice ดังแสดงในรูปที่ 4.36 – 4.40

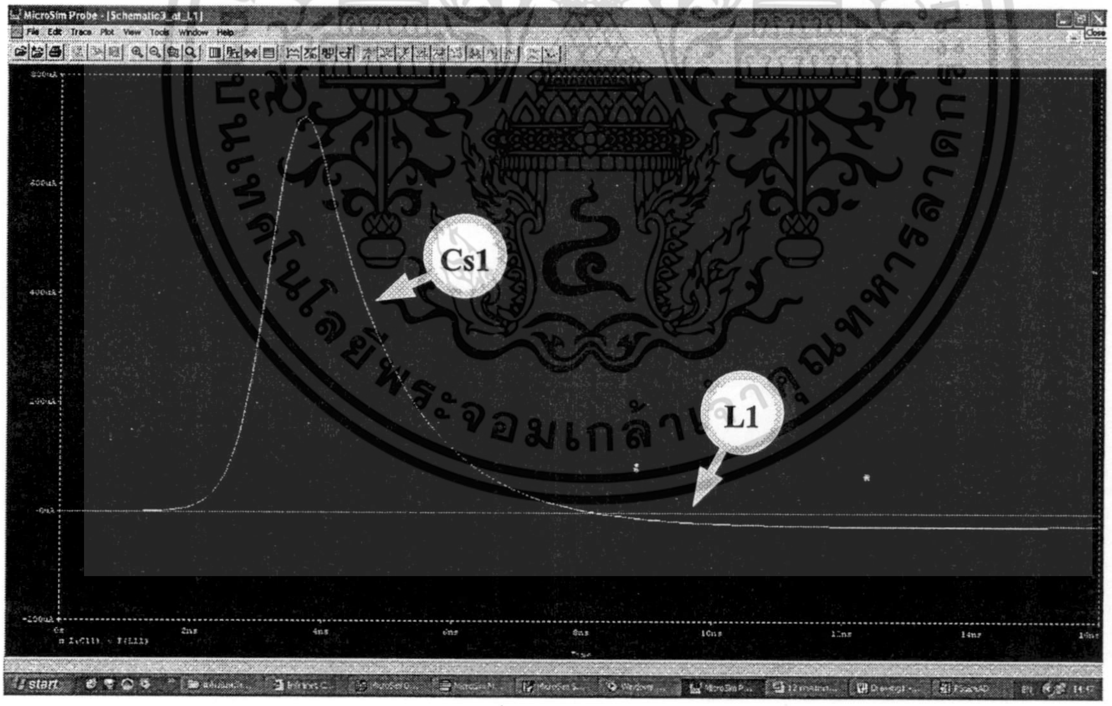


รูปที่ 4.36 วงจรจำลองการจ่ายสัญญาณ 3.75/5 นาโนวินาทีเข้าวงจรสมมูลย์หม้อแปลงชุดที่ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

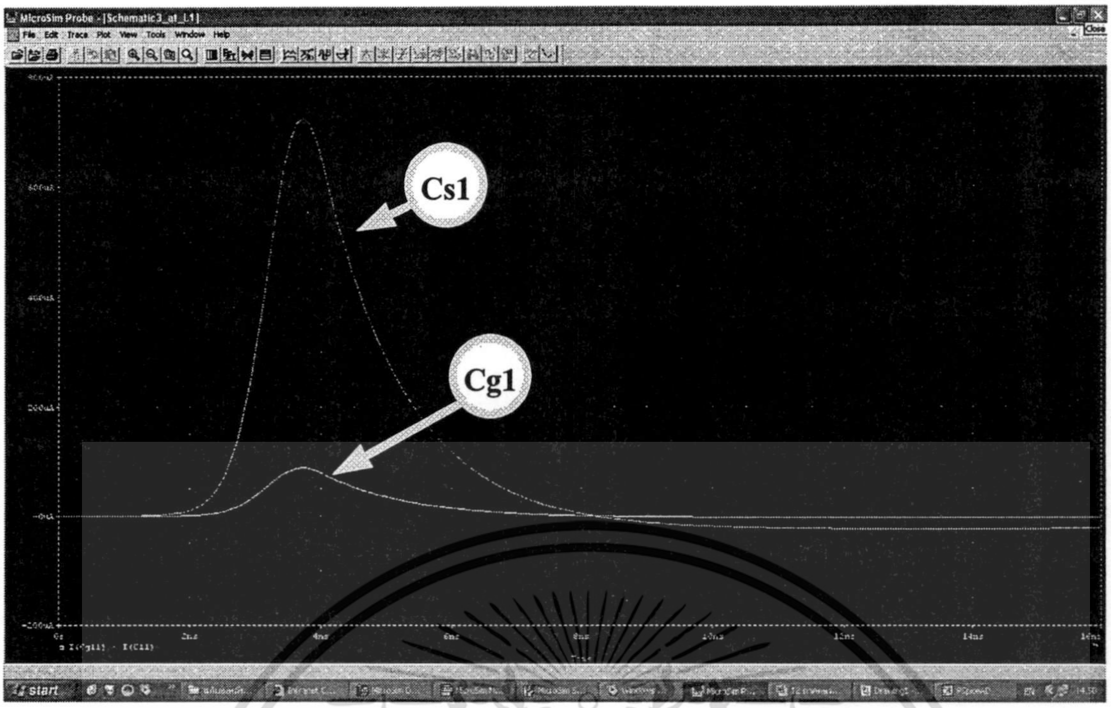


รูปที่ 4.37 สัญญาณกระแส 3.75/5 นาโนวินาทีจากวงจรกำเนิด

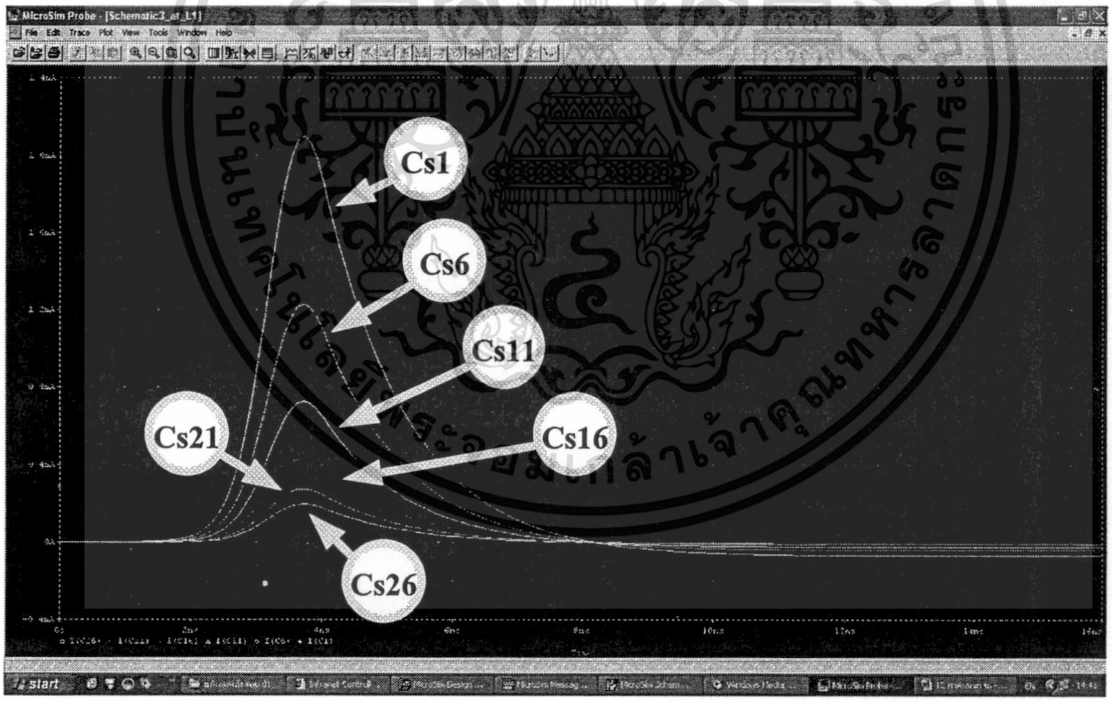


รูปที่ 4.38 สัญญาณกระแส 3.75/5 นาโนวินาทีที่ไหลผ่านตัว $C_s 1$ เทียบกับ $L 1$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.39 สัญญาณกระแส 3.75/5 นาโนวินาทีที่ไหลผ่านตัว C_s1 เทียบกับ C_g1



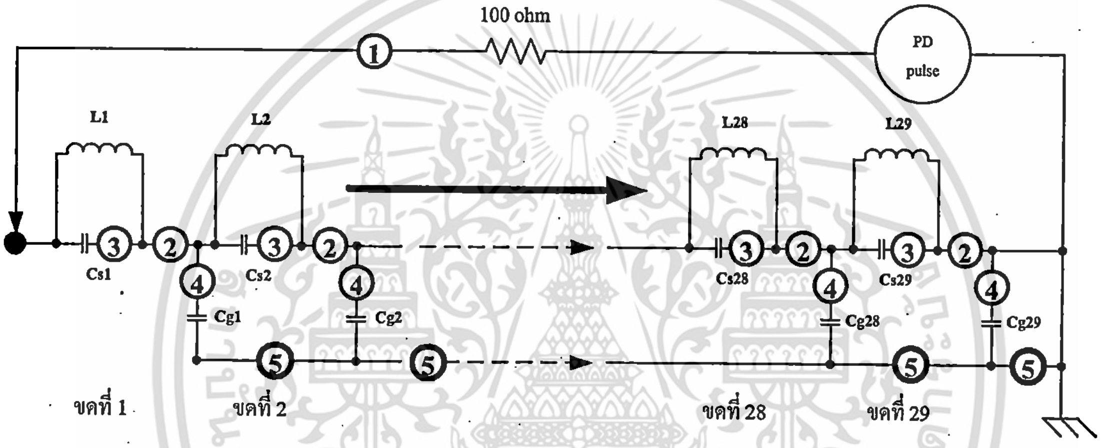
รูปที่ 4.40 สัญญาณกระแส 3.75/5 นาโนวินาทีที่ไหลผ่าน C_s ในขดลวดที่ 1, 6, 11, 16, 21 และ 26

จากผลการจำลองทิศทางการแพร่กระจายของสัญญาณการเกิดดิสชาร์จบางส่วนในฟองก๊าซช่วงเวลา 3.75/5 นาโนวินาทีในรูปที่ 4.38 แสดงให้เห็นว่ารูปสัญญาณการเกิดดิสชาร์จบางส่วนในฟองก๊าซจะเดินทางผ่านตัวเก็บประจุ C_s โดยที่สัญญาณจะไม่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำ L และจะมี

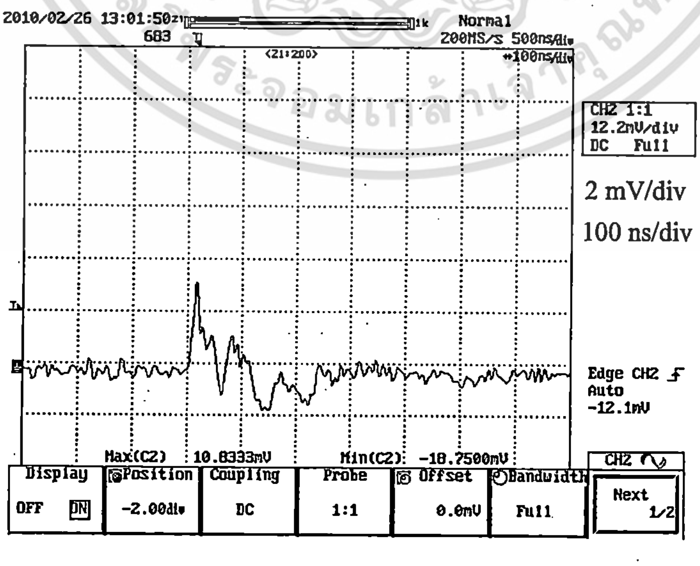
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สัญญาณบางส่วนไหลผ่านไปทางตัวเก็บประจุ C_g ลงกราวด์ดังรูปผลการจำลองรูปที่ 4.39 ซึ่งจะทำให้สัญญาณกระแสที่เดินทางผ่านตัวเก็บประจุ C_g มีระดับแอมพลิจูดลดลงในทุกชุดขดลวดดังแสดงผลเปรียบเทียบสัญญาณกระแสในรูปที่ 4.40 ซึ่งจะวิเคราะห์ได้ว่าสัญญาณการดิสชาร์จบางส่วนแบบ Trichel Pulse และดิสชาร์จในฟองก๊าซ จะมีทิศทางการแพร่กระจายของสัญญาณกระแสในวงจรสมมูลย์ขดลวดหม้อแปลงความถี่สูงที่เหมือนกัน

ในการทดสอบจะจ่ายสัญญาณช่วงเวลา 3.75/5 นาโนวินาทีเข้าที่ด้านต้นชุดขดลวดที่ 1 ดังแสดงในรูปที่ 4.9 ซึ่งมีการติดตั้งโพรบวัดกระแสเหมือนกับการทดสอบด้วยสัญญาณช่วงเวลา 37.5/75 นาโนวินาทีดังแสดงในรูปที่ 4.41 และผลการตรวจจับสัญญาณกระแสดังแสดงในรูปที่ 4.42 ถึง 4.46

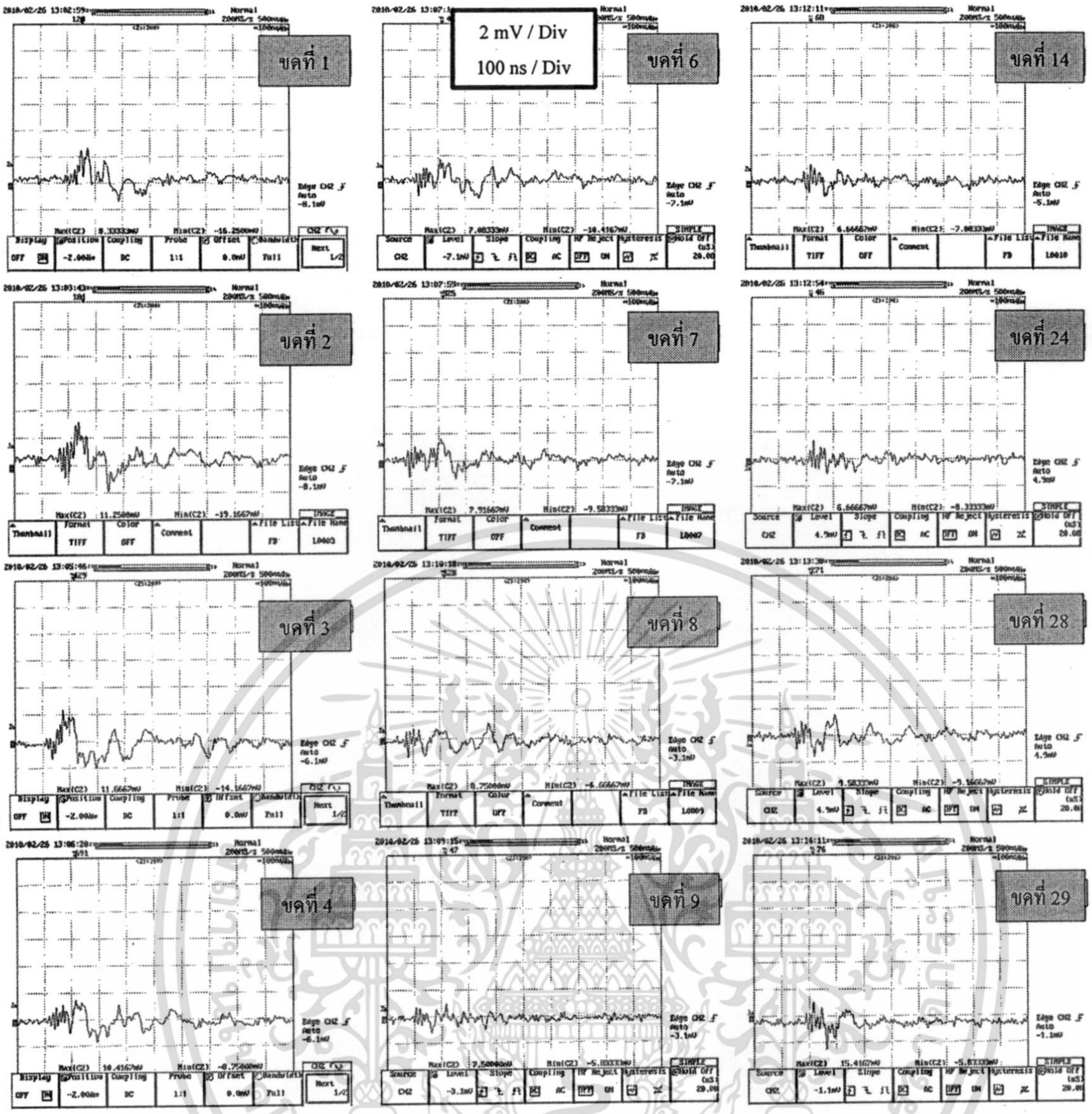


รูปที่ 4.41 จุดที่ติดตั้งโพรบวัดกระแสของการทดสอบจ่ายพัลส์ช่วงเวลา 3.75/5 นาโนวินาทีที่ต้นขดลวดลำดับที่ 1



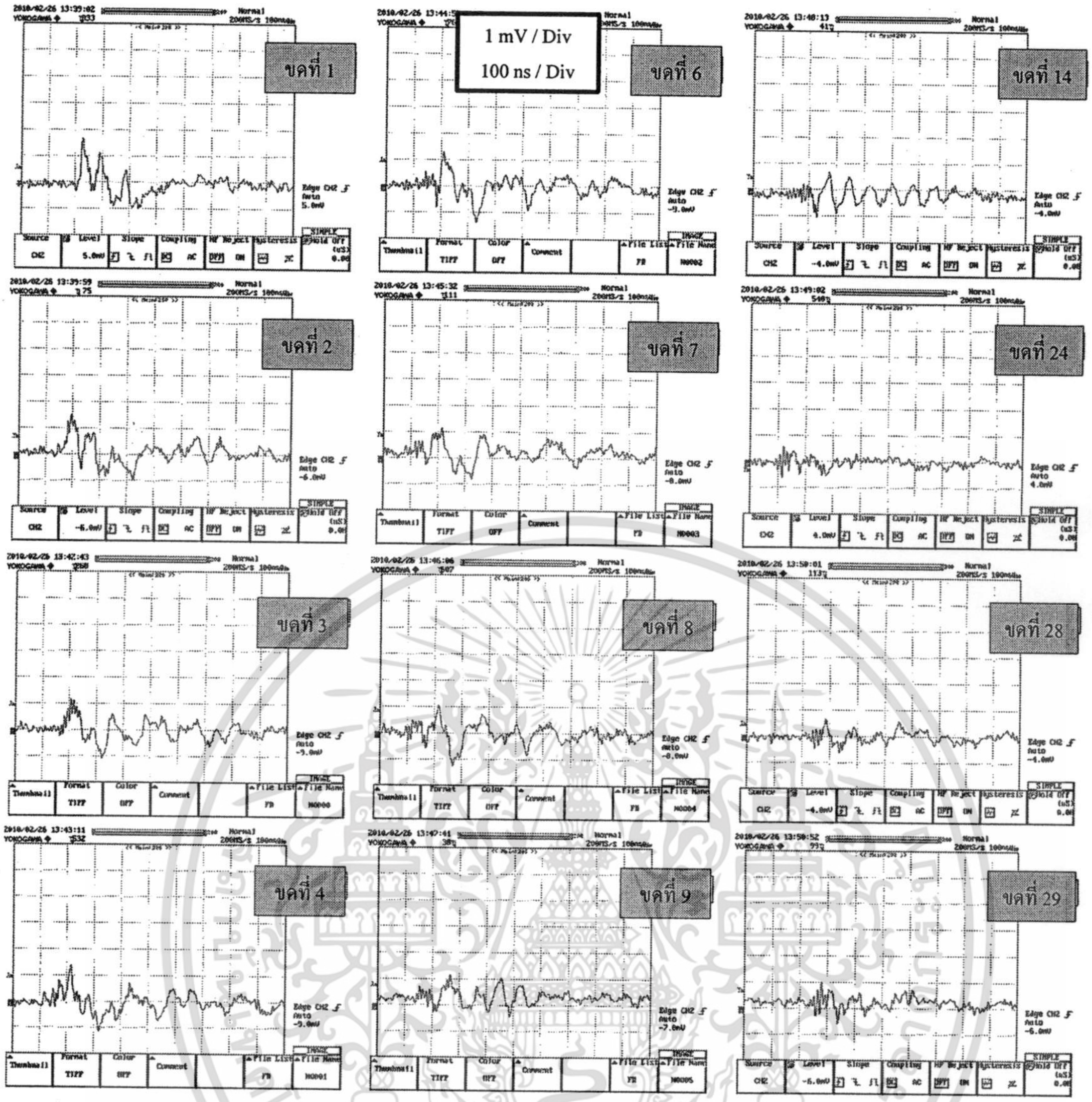
รูปที่ 4.42 สัญญาณกระแสจุดวัดที่ 1 ในการทดสอบหัวข้อที่ 4.3.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



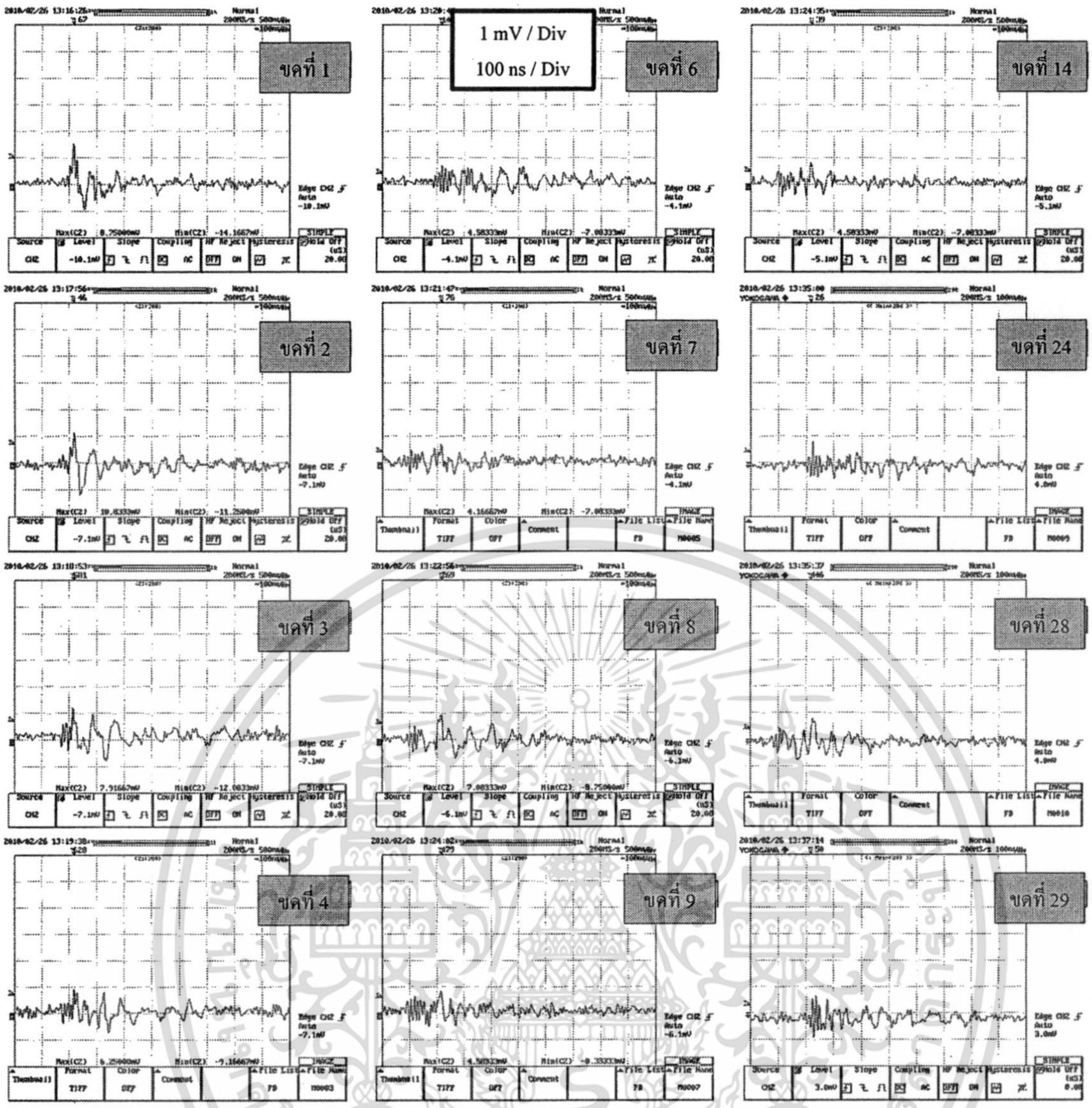
รูปที่ 4.43 สัญญาณกระแสจุดวัดที่ 2 ของขดลวดแต่ละขดในการทดสอบหัวข้อที่ 4.3.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



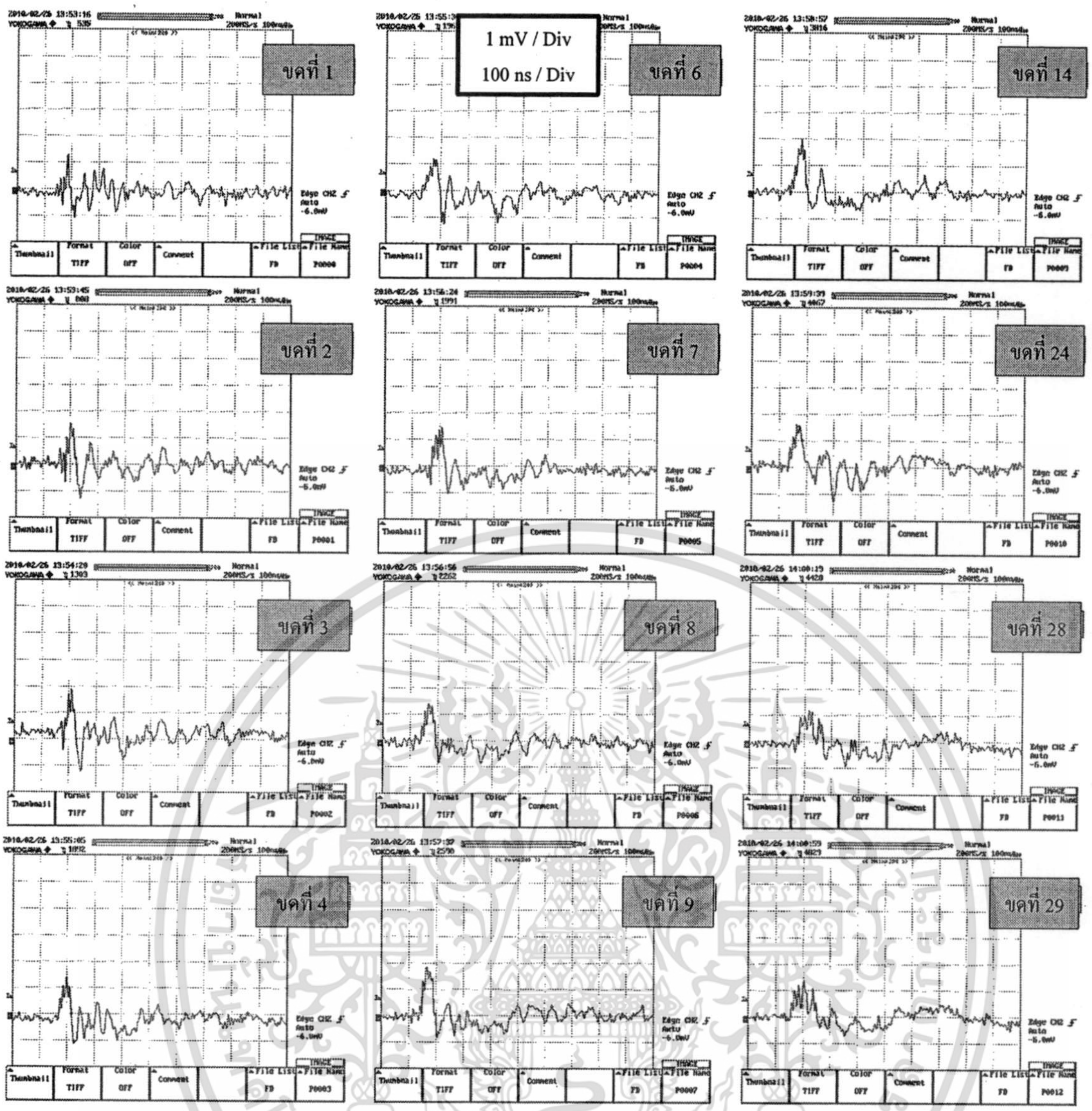
รูปที่ 4.44 สัญญาณกระแสจุดวัดที่ 3 ของขดลวดแต่ละขดในการทดสอบหัวข้อที่ 4.3.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.45 สัญญาณกระแสจุดวัดที่ 4 ของขดลวดแต่ละขดในการทดสอบหัวข้อที่ 4.3.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



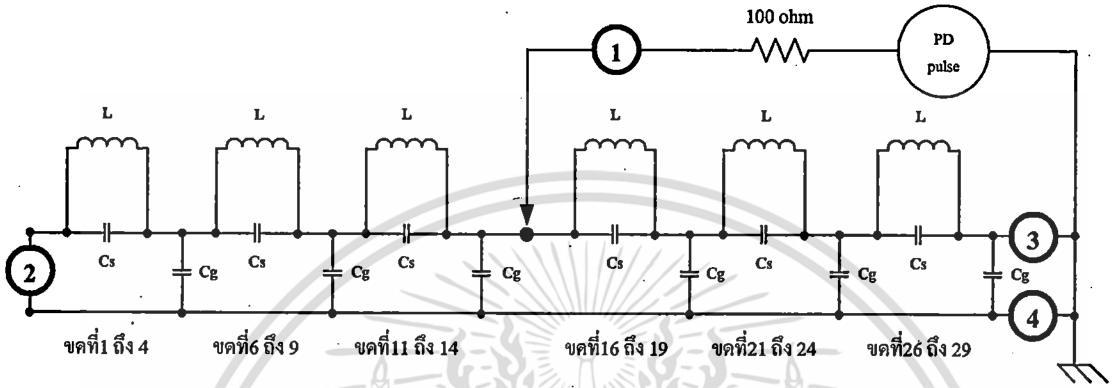
รูปที่ 4.46 สัญญาณกระแสจุดวัดที่ 5 ของขดลวดแต่ละขดในการทดสอบหัวข้อที่ 4.3.3

จากรูปสัญญาณกระแสที่เดินทางผ่านชุดขดลวดดังแสดงในรูปที่ 4.43 และสัญญาณกระแสที่เดินทางผ่านตัวเก็บประจุ C_s ดังแสดงในรูปที่ 4.44 จะเห็นว่าสัญญาณทั้ง 2 รูปมีลักษณะรูปสัญญาณใกล้เคียงกันทำให้วิเคราะห์ได้ว่ากระแสของสัญญาณช่วงเวลา 3.75/5 นาโนวินาทีจะเดินทางในชุดขดลวดผ่านทางตัวเก็บประจุ C_s เหมือนกับสัญญาณช่วงเวลา 37.5/75 นาโนวินาที และจากรูปสัญญาณทั้ง 2 รูปสังเกตได้ว่าสัญญาณจะมีขนาดแอมพลิจูดลดลงเรื่อยๆ สัญญาณส่วนที่หายไปจะพิจารณาหาได้จากสัญญาณกระแสที่ไหลผ่านตัวเก็บประจุ C_g ลงกราวด์ดังแสดงในรูปที่ 4.45 โดยสัญญาณกระแสช่วงเวลา 3.75/5 นาโนวินาทีส่วนใหญ่จะไหลผ่านตัวเก็บประจุ C_g ลงกราวด์ในขดลวดชุดแรกๆ จนหมด ซึ่งสังเกตได้จากสัญญาณกระแสที่เดินทางมารวมกันลงกราวด์ดังแสดงในรูปที่ 4.46 จะมีขนาดเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่าสัญญาณกระแสช่วงเวลา 3.75/5 นาโนวินาทีจะเดินทางผ่านตัวเก็บประจุ C_s และ C_g ลงกราวด์ โดยทิศทางการเคลื่อนที่ของกระแสมีทิศทางดังแสดงในรูปที่ 4.35 เหมือนกับสัญญาณกระแสช่วงเวลา 37.5/75 นาโนวินาที

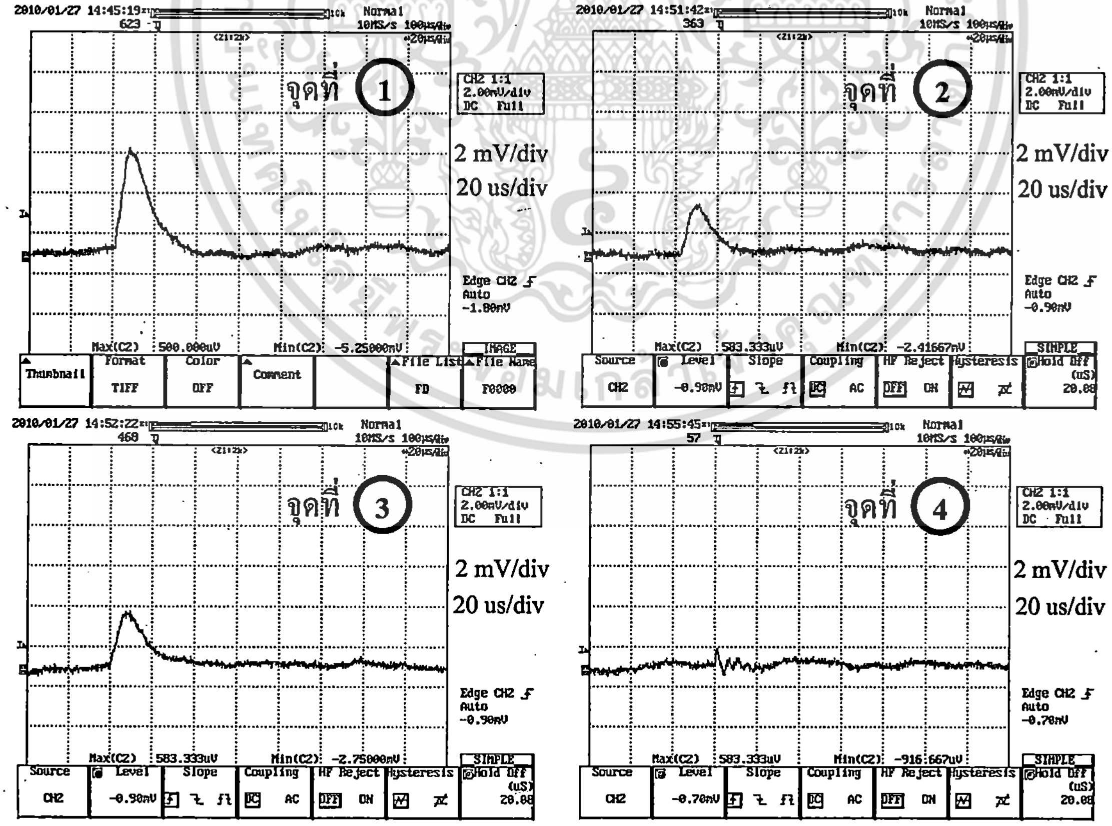
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.4 การจ่ายสัญญาณ PD จำลองช่วงเวลา 3/7.5 ไมโครวินาทีเข้าต้นขดลวดที่ 16

การทดสอบในหัวข้อนี้เป็นการทดสอบจำลองการเกิดดิสชาร์จบางส่วนในฉนวนน้ำมันหม้อแปลงที่บริเวณกลางขดลวด โดยการทดสอบจะจ่ายสัญญาณช่วงเวลา 3/7.5 ไมโครวินาทีเข้าที่ด้านต้นชุดขดลวดลำดับที่ 16 ดังในรูปที่ 4.10 ซึ่งมีการติดตั้งโพรบวัดกระแสที่จุดต่อต่างๆ ตามจุดที่ 1 - 4 ดังแสดงในรูปที่ 4.47 โดยผลการตรวจจับสัญญาณกระแสได้แสดงไว้ในรูปที่ 4.48



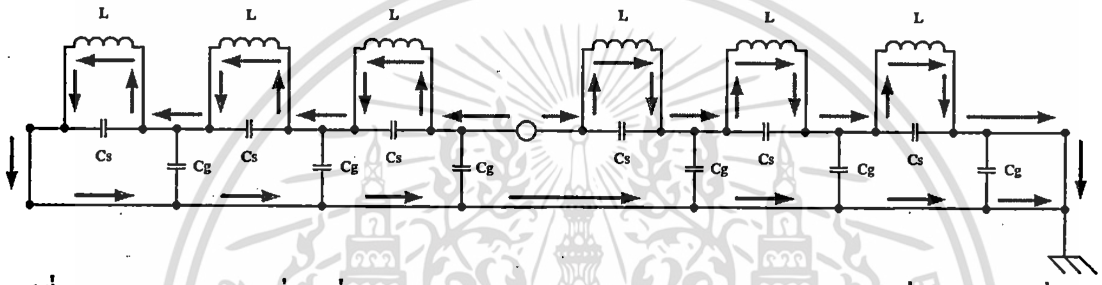
รูปที่ 4.47 จุดที่ติดตั้งโพรบวัดกระแสของการทดสอบจ่ายพัลส์ช่วงเวลา 3/7.5 ไมโครวินาทีที่ต้นขดลวดที่ 16



รูปที่ 4.48 สัญญาณกระแสจุดวัดที่ 1-4 ในการทดสอบหัวข้อที่ 4.3.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

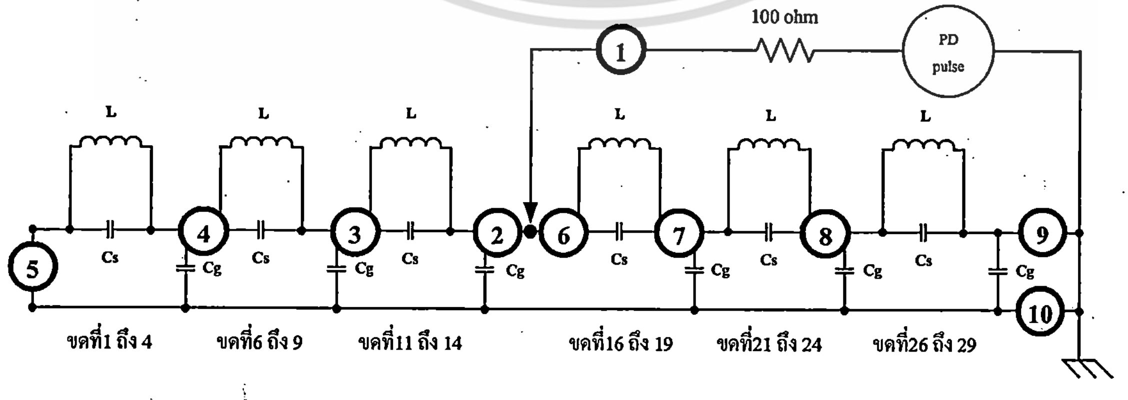
รูปที่ 4.48 (จุดที่ 1) เป็นรูปสัญญาณกระแสที่จ่ายออกจากเครื่องกำเนิดสัญญาณที่มีแอมพลิจูดประมาณ 5 มิลลิโวลต์ เมื่อจ่ายเข้าทดสอบที่กลางชุดขดลวดทั้งหมด (ต้นขดลวดชุดที่ 16) จะเห็นว่าสัญญาณกระแสที่เดินทางแยกออกไปทั้งทางต้นขดลวดชุดที่ 1 ดังแสดงในรูปที่ 4.48 (จุดที่ 2) และปลายขดลวดชุดที่ 29 ดังแสดงในรูปที่ 4.48 (จุดที่ 3) มีขนาดแอมพลิจูดแตกต่างกันเพียงเล็กน้อย เนื่องจากค่าอิมพิแดนซ์ของทั้งสองทางมีค่าใกล้เคียงกัน และจากรูปสัญญาณกระแสของตัวเก็บประจุ C_g ดังแสดงในรูปที่ 4.48 (จุดที่ 4) แทบจะไม่ปรากฏรูปสัญญาณใดๆ ทำให้สามารถวิเคราะห์ได้ว่ากระแสของสัญญาณช่วงเวลา 3/7.5 ไมโครวินาทีจะเดินทางไปที่ต้นขดลวด และท้ายขดลวดโดยผ่านทางตัวเหนี่ยวนำ L เหมือนกับการทดสอบในหัวข้อที่ 4.3.1 ซึ่งสามารถแสดงทิศทางการเคลื่อนที่ของกระแสได้ดังแสดงในรูปที่ 4.49



รูปที่ 4.49 ทิศทางการเคลื่อนที่ของสัญญาณกระแสจากการจ่ายสัญญาณทดสอบที่ต้นขดลวดที่ 16 ด้วยพัลส์ 3/7.5 ไมโครวินาที

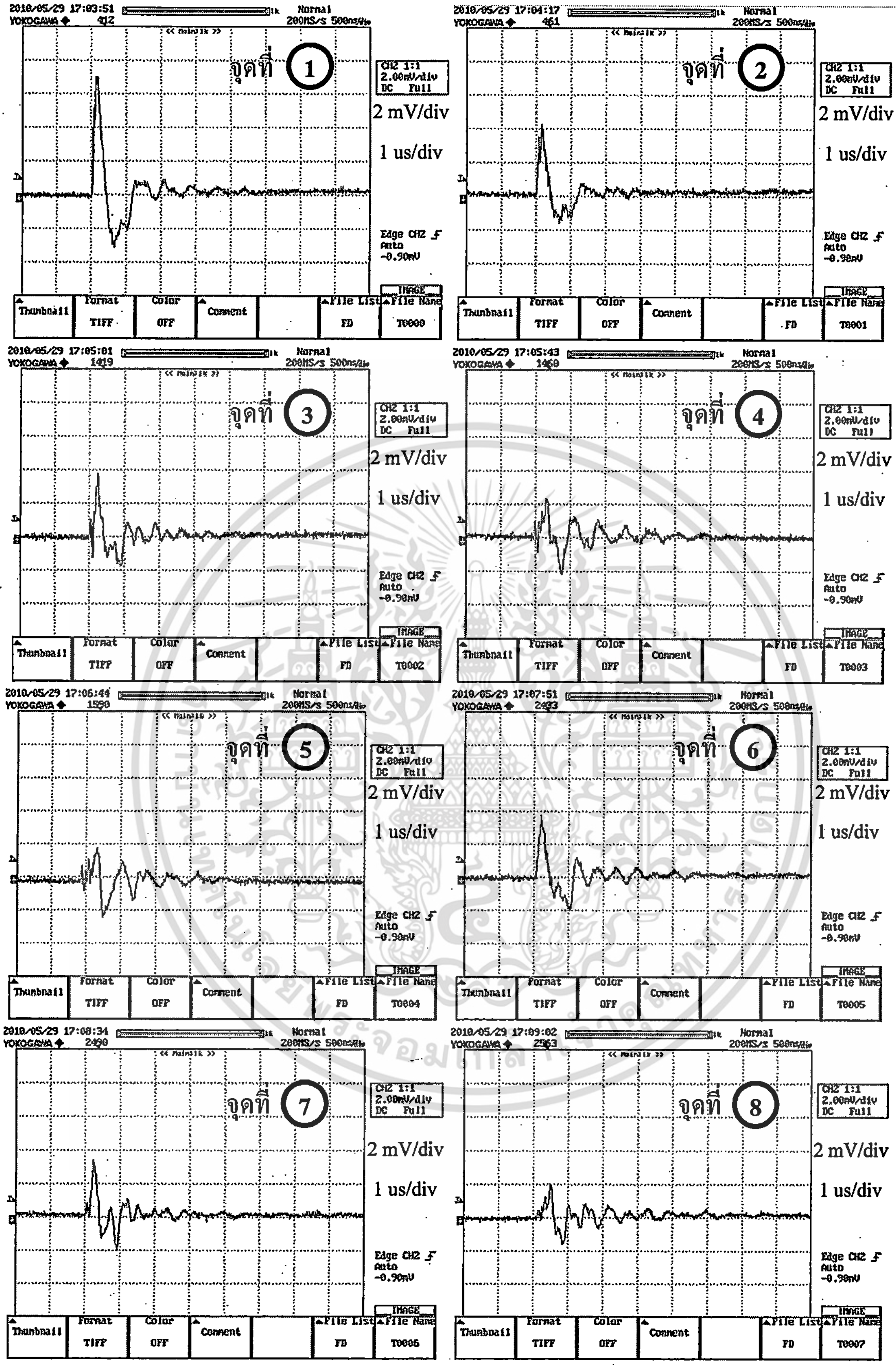
4.3.5 การจ่ายสัญญาณ PD จำลองช่วงเวลา 37.5/75 นาโนวินาทีเข้าต้นขดลวดที่ 16

การทดสอบในหัวข้อนี้เป็นการทดสอบจำลองการเกิดดิสชาร์จบางส่วนแบบ Trichel pulse (Corona Discharge) ที่บริเวณกลางขดลวด โดยการทดสอบจะจ่ายสัญญาณช่วงเวลา 37.5/75 นาโนวินาทีเข้าที่ด้านต้นชุดขดลวดที่ 16 ดังแสดงในรูปที่ 4.10 ซึ่งมีการติดตั้งโพรบวัดกระแสที่จุดต่อต่างๆ ดังแสดงในรูปที่ 4.50และได้ผลการตรวจจับสัญญาณกระแสดังรูปที่ 4.51 และ 4.52



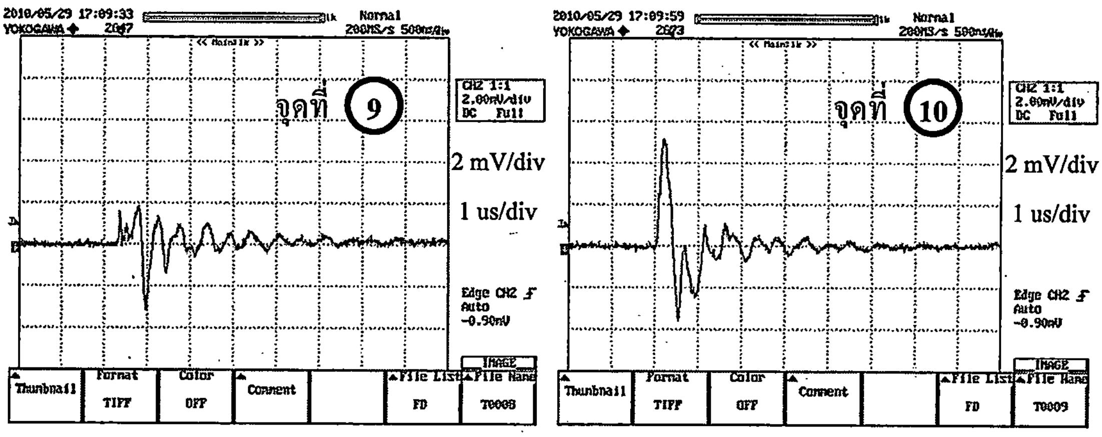
รูปที่ 4.50 จุดติดตั้งโพรบวัดกระแสของการทดสอบจ่ายพัลส์ช่วงเวลา 37.5/75 นาโนวินาทีที่ต้นขดลวดที่ 16

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



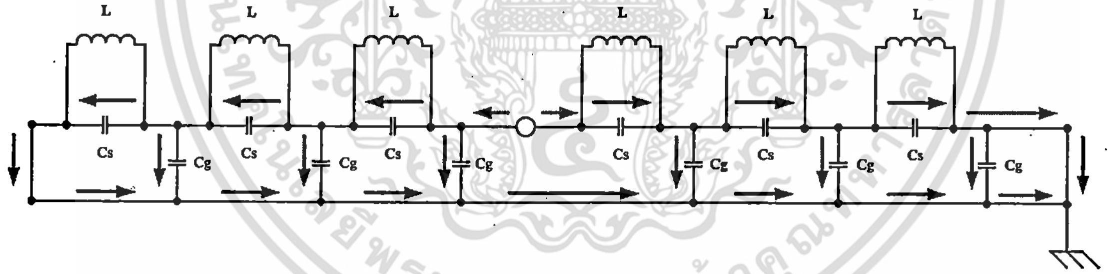
รูปที่ 4.51 สัญญาณกระแสจุดวัดที่ 1-8 ในการทดสอบหัวข้อที่ 4.3.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.52 สัญญาณกระแสจุดวัดที่ 9-10 ในการทดสอบหัวข้อที่ 4.3.5

จากผลตอบสนองการทดสอบจ่ายสัญญาณช่วงเวลา 37.5/75 นาโนวินาทีเข้าที่ด้านต้นชุดขดลวดที่ 16 ทำให้เห็นถึงทิศทางการเคลื่อนที่ของสัญญาณได้ โดยจากรูปสัญญาณกระแสที่จ่ายออกจากเครื่องกำเนิดในรูปที่ 4.51 (จุดที่ 1) แยกออกเป็น 2 ทางคือ ทางด้านปลายชุดขดลวดที่ 14 ดังรูปที่ 4.51 (จุดที่ 2) และทางด้านต้นชุดขดลวดที่ 16 ซึ่งจะสังเกตได้ว่ารูปสัญญาณที่เดินทางไปในแต่ละทางจะมีขนาดแอมพลิจูดลดลงเรื่อยๆ ดังแสดงในรูปที่ 4.51 (จุดที่ 3 ,4 ,5 ,7 ,8) และ รูปที่ 4.52 (จุดที่ 9) โดยสัญญาณจะเดินทางผ่านทางตัวเก็บประจุ C_s และ C_g มารวมกันดังแสดงในรูปที่ 4.52(จุดที่ 10) ซึ่งจะสามารถวิเคราะห์ทิศทางการเคลื่อนที่ของกระแสได้ดังแสดงในรูปที่ 4.53

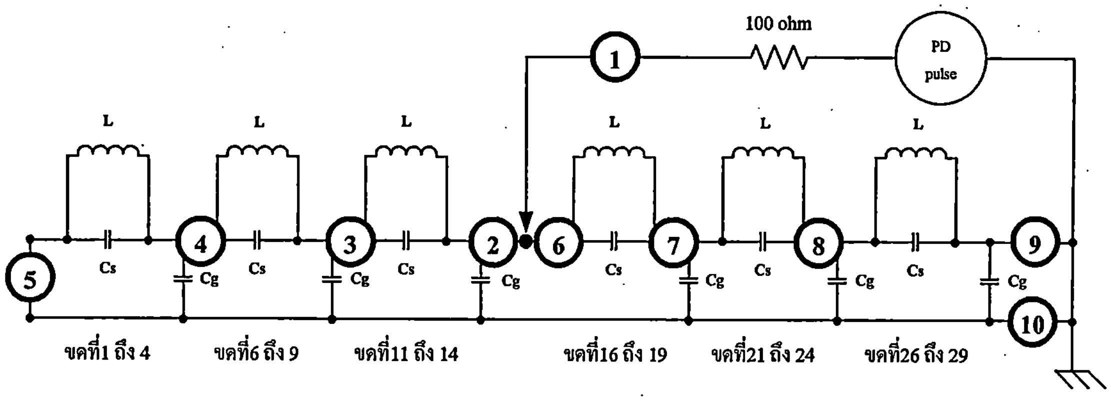


รูปที่ 4.53 ทิศทางการเคลื่อนที่ของสัญญาณกระแสจากการจ่ายสัญญาณทดสอบที่ต้นขดลวดที่ 16 ด้วยพัลส์ 37.5/75 นาโนวินาที

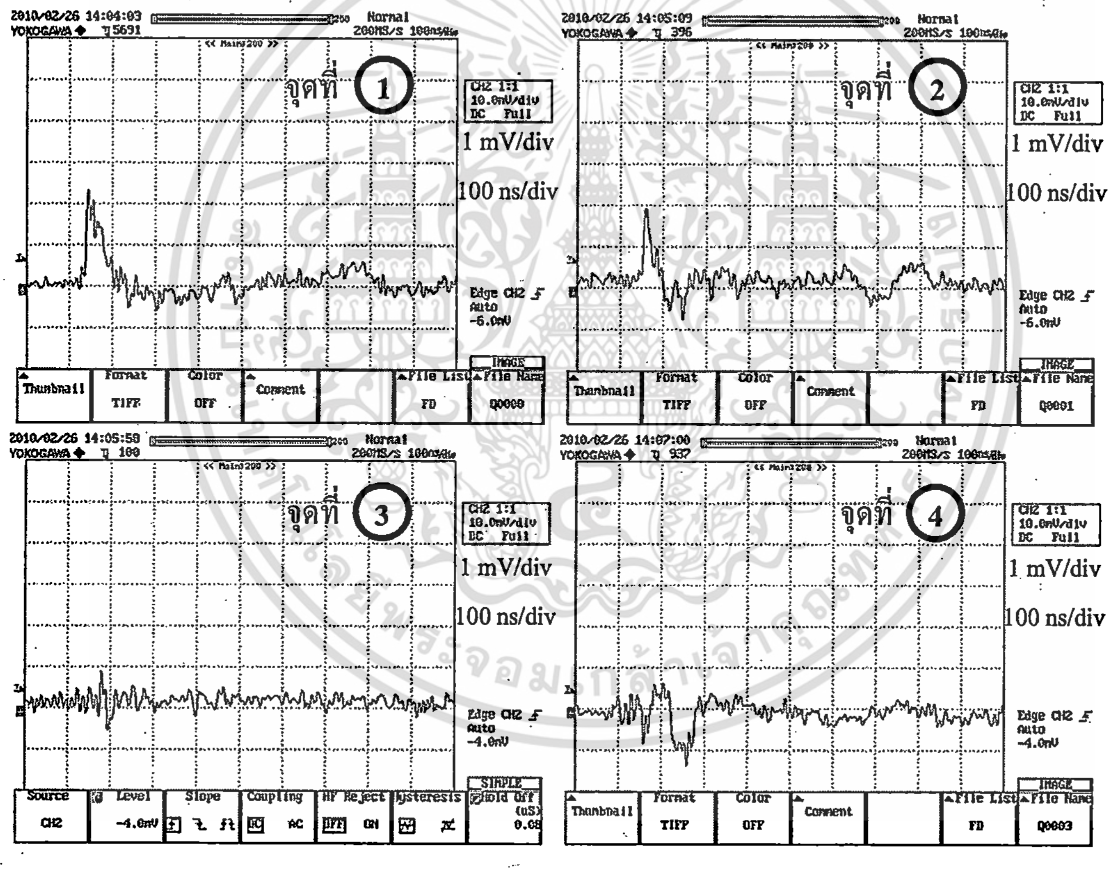
4.3.6 การจ่ายสัญญาณ PD จำลองช่วงเวลา3.75/5 นาโนวินาทีเข้าต้นขดลวดที่16

การทดสอบในหัวข้อนี้เป็นการทดสอบจำลองการเกิดดิสชาร์จบางส่วนในฟองอากาศที่บริเวณกลางขดลวด โดยการทดสอบจะจ่ายสัญญาณช่วงเวลา 3.75/5 นาโนวินาทีเข้าที่ด้านต้นชุดขดลวดที่ 16 ดังแสดงในรูปที่ 4.10 ซึ่งมีการติดตั้งโพรบวัดกระแสที่จุดต่อต่างๆ ดังแสดงในรูปที่ 4.54 และได้ผลการตรวจจับสัญญาณกระแสดังรูปที่ 4.55 และ 4.56

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

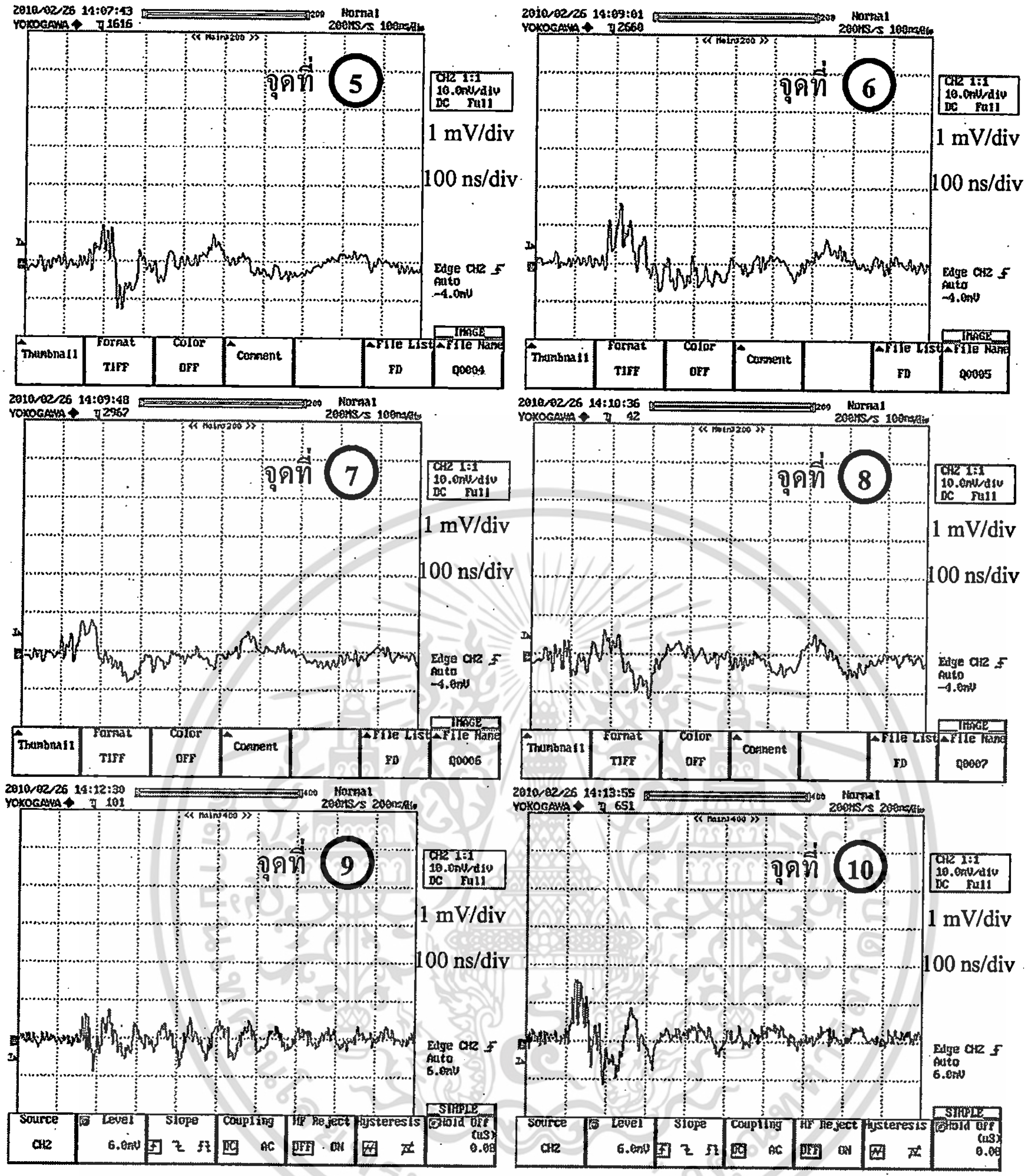


รูปที่ 4.54 จุดติดตั้งโพรบวัดกระแสของการทดสอบจ่ายพัลส์ช่วงเวลา 37.5/75 นาโนวินาทีที่ต้นขดลวดที่ 16



รูปที่4.55 สัญญาณกระแสจุดวัดที่ 1-4 ในการทดสอบหัวข้อที่ 4.3.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



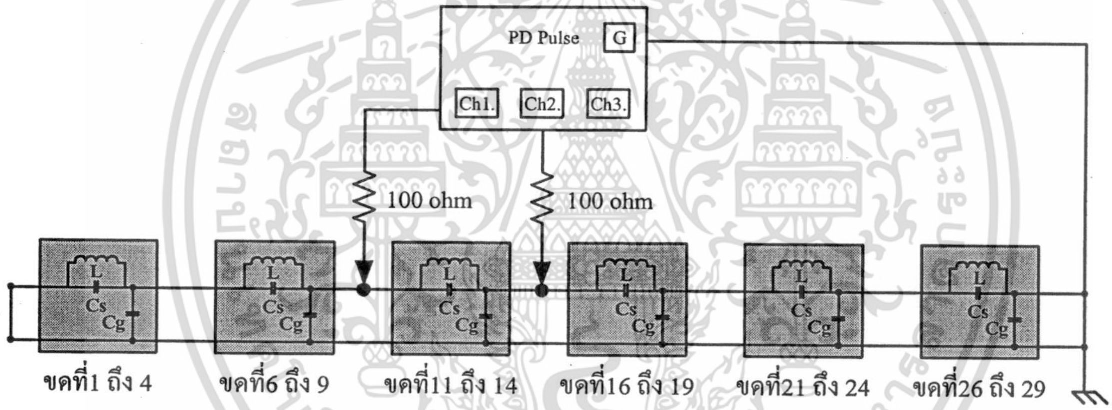
รูปที่ 4.56 สัญญาณกระแสจุดวัดที่ 5-10 ในการทดสอบหัวข้อที่ 4.3.5

จากผลตอบสนองการทดสอบจ่ายสัญญาณช่วงเวลา 3.75/5 นาโนวินาทีเข้าที่ด้านต้นชุดขดลวดที่ 16 ทำให้เห็นถึงทิศทางการเคลื่อนที่ของสัญญาณได้ โดยจากรูปสัญญาณกระแสที่จ่ายออกจากเครื่องกำเนิดในรูปที่ 4.55 (จุดที่ 1) แยกออกเป็น 2 ทางคือ ทางด้านปลายชุดขดลวดที่ 14 ดังรูปที่ 4.55 (จุดที่ 2) และทางด้านต้นชุดขดลวดที่ 16 ดังรูปที่ 4.56 (จุดที่ 6) ซึ่งจะสังเกตได้ว่ารูปสัญญาณที่เดินทางไปในแต่ละทางจะมีขนาดแอมพลิจูดลดลงอย่างรวดเร็วดังแสดงในรูปที่ 4.55 (จุดที่ 3 และ 4) และ รูปที่ 4.56 (จุดที่ 7-9) โดยสัญญาณจะเดินทางผ่านทางตัวเก็บประจุ C_s และ C_g มารวมกันดังแสดงในรูปที่ 4.56 (จุดที่ 10) เช่นเดียวกับการทดสอบด้วยสัญญาณ 37.5/75 นาโนวินาทีในหัวข้อที่ 4.3.5

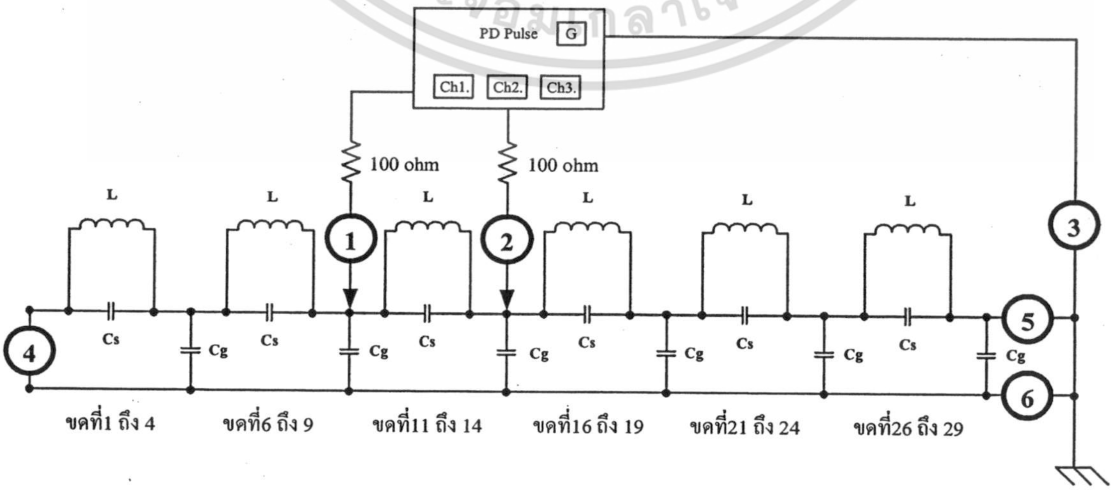
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4 การจ่ายสัญญาณทดสอบจำลองสถานการณ์การเกิด PD 2 จุดพร้อมกัน

การทดสอบจำลองการเกิดดิสชาร์จบางส่วนในหม้อแปลงไฟฟ้ากำลัง 2 จุด เป็นการทดสอบที่จำลองสถานการณ์การเกิดจุดที่มีความบกพร่องของระบบฉนวนพร้อมกัน 2 จุด โดยการทดสอบในหัวข้อนี้จะทำการจ่ายสัญญาณจำลองเข้าทดสอบที่ด้านต้นชุดขดลวดที่ 11 และ 16 พร้อมกันดังวงจรที่แสดงในรูปที่ 4.57 ในการทดสอบจะทำการทดสอบ 3 รูปแบบคือ 1. จ่ายสัญญาณ 3/7.5 ไมโครวินาทีเข้าทดสอบพร้อมกัน 2 จุด 2. จ่ายสัญญาณ 37.5/75 นาโนวินาทีเข้าทดสอบพร้อมกัน 2 จุด 3. จ่ายสัญญาณ 3.75/5 นาโนวินาทีเข้าทดสอบพร้อมกัน 2 จุด และ 4. จ่ายสัญญาณ 3/7.5 ไมโครวินาที และ37.5/75 นาโนวินาทีพร้อมกัน ซึ่งการทดสอบในหัวข้อนี้จะไม่ใช้สัญญาณช่วงเวลา 3.75/5 นาโนวินาทีจ่ายเข้าทดสอบร่วมกับรูปสัญญาณอื่นเนื่องจากสัญญาณช่วงเวลา 3.75/5 นาโนวินาทีไม่สามารถขยายสัญญาณด้วยวงจรขยายที่สร้างขึ้นในวิทยานิพนธ์นี้ได้จึงทำให้แสดงผลแอมพลิจูดของรูปสัญญาณได้ยาก โดยทั้ง 4 การทดสอบจะมีการติดตั้งโพรบวัดกระแสดังแสดงในรูปที่ 4.58



รูปที่ 4.57 วงจรการจ่ายสัญญาณทดสอบจำลองสถานการณ์การเกิด PD 2 จุดพร้อมกัน

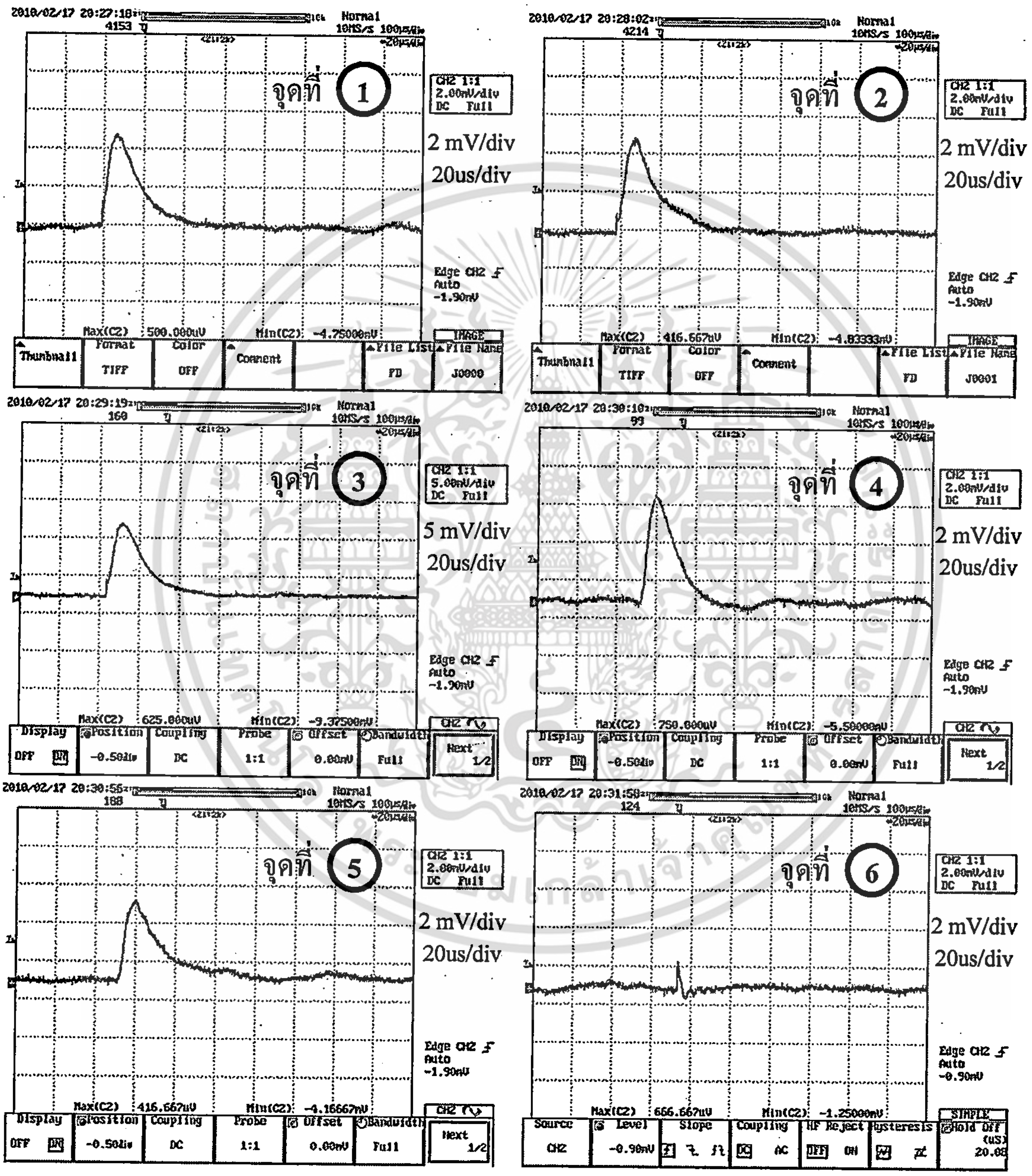


รูปที่ 4.58 จุดที่ติดตั้งโพรบวัดกระแสของการทดสอบจ่ายสัญญาณที่ต้นขดลวดที่ 11 และ 16

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4.1 การทดสอบจ่ายสัญญาณ PD จำลองช่วงเวลา 3/7.5 ไมโครวินาที 2 จุด

การทดสอบในหัวข้อนี้เป็นการทดสอบจำลองการเกิดดิสชาร์จบางส่วนในฉนวนน้ำมันหม้อแปลง 2 จุดพร้อมกัน โดยการทดสอบจะจ่ายสัญญาณช่วงเวลา 3/7.5 ไมโครวินาทีเข้าที่ด้านต้นชุดขดลวดที่ 11 และ 16 ดังในรูปที่ 4.57 และมีการติดตั้งโพรบวัดกระแสที่จุดต่อต่างๆ จุดที่ 1 – 6 ดังแสดงในรูปที่ 4.58 ซึ่งผลการตรวจจับสัญญาณของกระแสได้แสดงไว้ในรูปที่ 4.59



รูปที่4.59 สัญญาณกระแสจุดวัดที่ 1-6 ในการทดสอบหัวข้อที่ 4.4.1

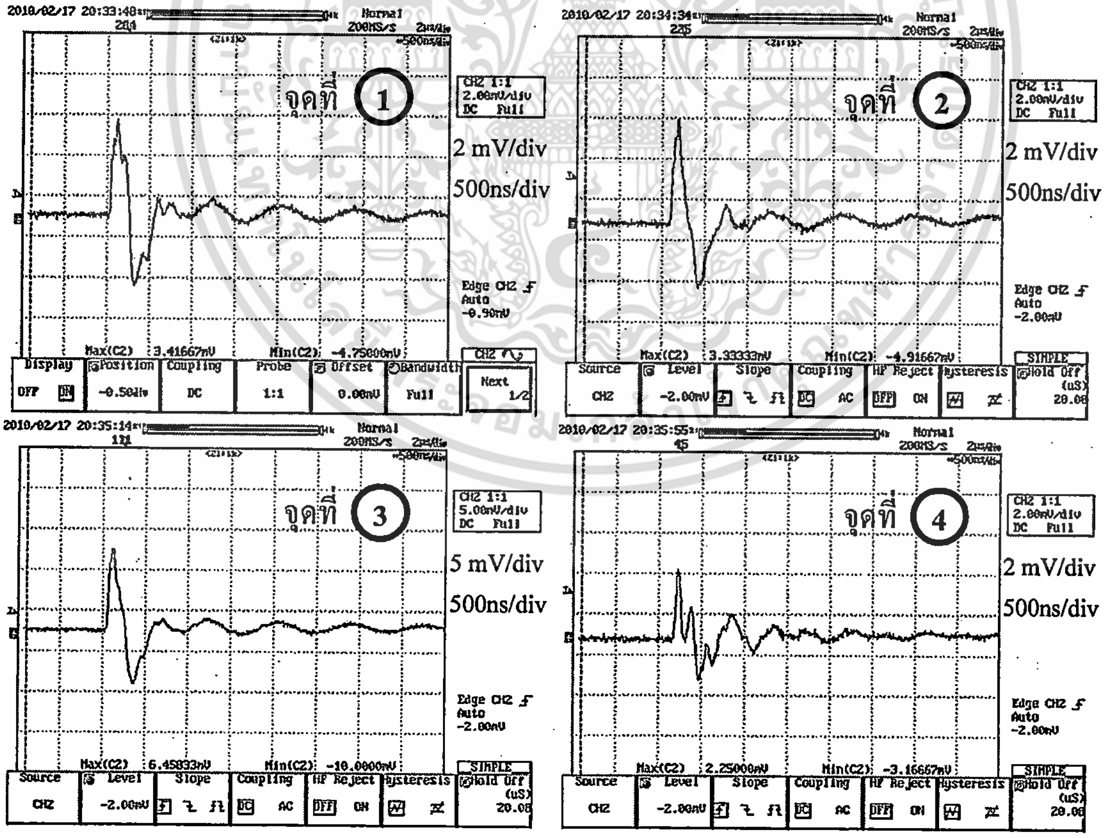
สัญญาณในรูปที่ 4.59 (จุดที่ 1 และ จุดที่2) เป็นสัญญาณกระแสที่แหล่งจ่ายช่องสัญญาณที่ 1 และ 2 ของเครื่องกำเนิดจ่ายออกมา เมื่อพิจารณาจากในรูปที่ 4.59 (จุดที่ 3) จะสังเกตได้ว่ากระแส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่รวมกันลงกราวด์จะมีขนาดเท่ากับสัญญาณจากเครื่องกำเนิดทั้ง 2 ช่องสัญญาณ โดยกระแสจะเดินทางไปตามชุดขดลวดต่างๆ และผ่านออกทางด้านต้นขดลวดของชุดขดลวดที่ 1 ดังแสดงในรูปที่ 4.59 (จุดที่ 4) และด้านปลายขดลวดของชุดขดลวดที่ 29 ดังแสดงในรูปที่ 4.59 (จุดที่ 5) ซึ่งสังเกตเห็นได้ว่าสัญญาณกระแสที่เดินทางผ่านไปทางด้านขดลวดชุดที่ 1 จะมีแอมพลิจูดสูงกว่าทางด้านขดลวดชุดที่ 29 เนื่องจากระยะทางจากแหล่งจ่ายไปยังต้นขดลวดชุดที่ 1 สั้นกว่าทางด้านปลายขดลวดชุดที่ 29 ทำให้มีค่าอิมพิแดนซ์ต่ำ จึงทำให้กระแสเดินทางไปทางชุดขดลวดที่ 1 มากกว่า และจากรูปสัญญาณมาจากตัวเก็บประจุ C_g ที่แสดงในรูปที่ 4.59 (จุดที่ 6) ทำให้วิเคราะห์ได้ว่าสัญญาณช่วงเวลา 3/7.5 ไมโครวินาทีทั้ง 2 ช่องสัญญาณจะรวมขนาดแอมพลิจูดกัน และเดินทางผ่านตัวเหนี่ยวนำ L ไปในทิศทางที่มีค่าอิมพิแดนซ์ต่ำเช่นเดียวกับการทดสอบในหัวข้อที่ 4.3.4

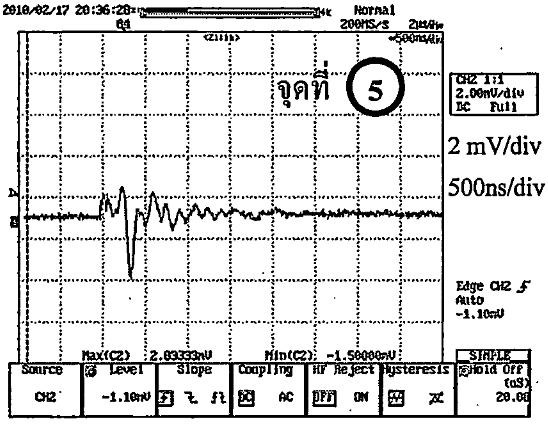
4.4.2 การทดสอบจ่ายสัญญาณ PD จำลองช่วงเวลา 37.5/75 นาโนวินาที 2 จุด

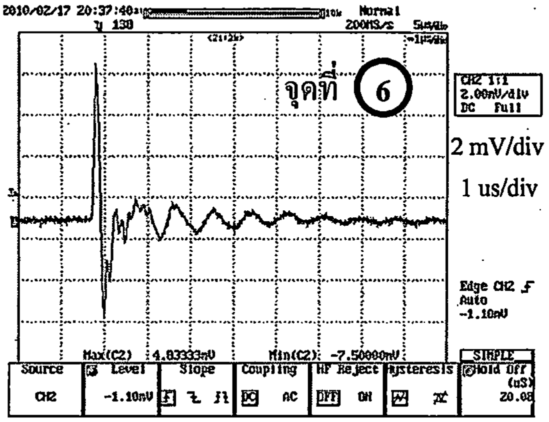
การทดสอบในหัวข้อนี้เป็นการทดสอบจำลองการเกิดดิสชาร์จบางส่วนแบบ Trichel pulse (Corona Discharge) 2 จุดพร้อมกัน โดยการทดสอบจะจ่ายสัญญาณช่วงเวลา 37.5/75 นาโนวินาทีเข้าที่ด้านต้นชุดขดลวดที่ 11 และ 16 ดังแสดงในรูปที่ 4.57 และมีการติดตั้งโพรบวัดกระแสที่จุดต่อต่างๆ ดังแสดงในรูปที่ 4.58 ซึ่งผลการตรวจจับสัญญาณกระแสได้แสดงดังในรูปที่ 4.60 และ 4.61



รูปที่ 4.60 สัญญาณกระแสจุดวัดที่ 1-4 ในการทดสอบหัวข้อที่ 4.4.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้





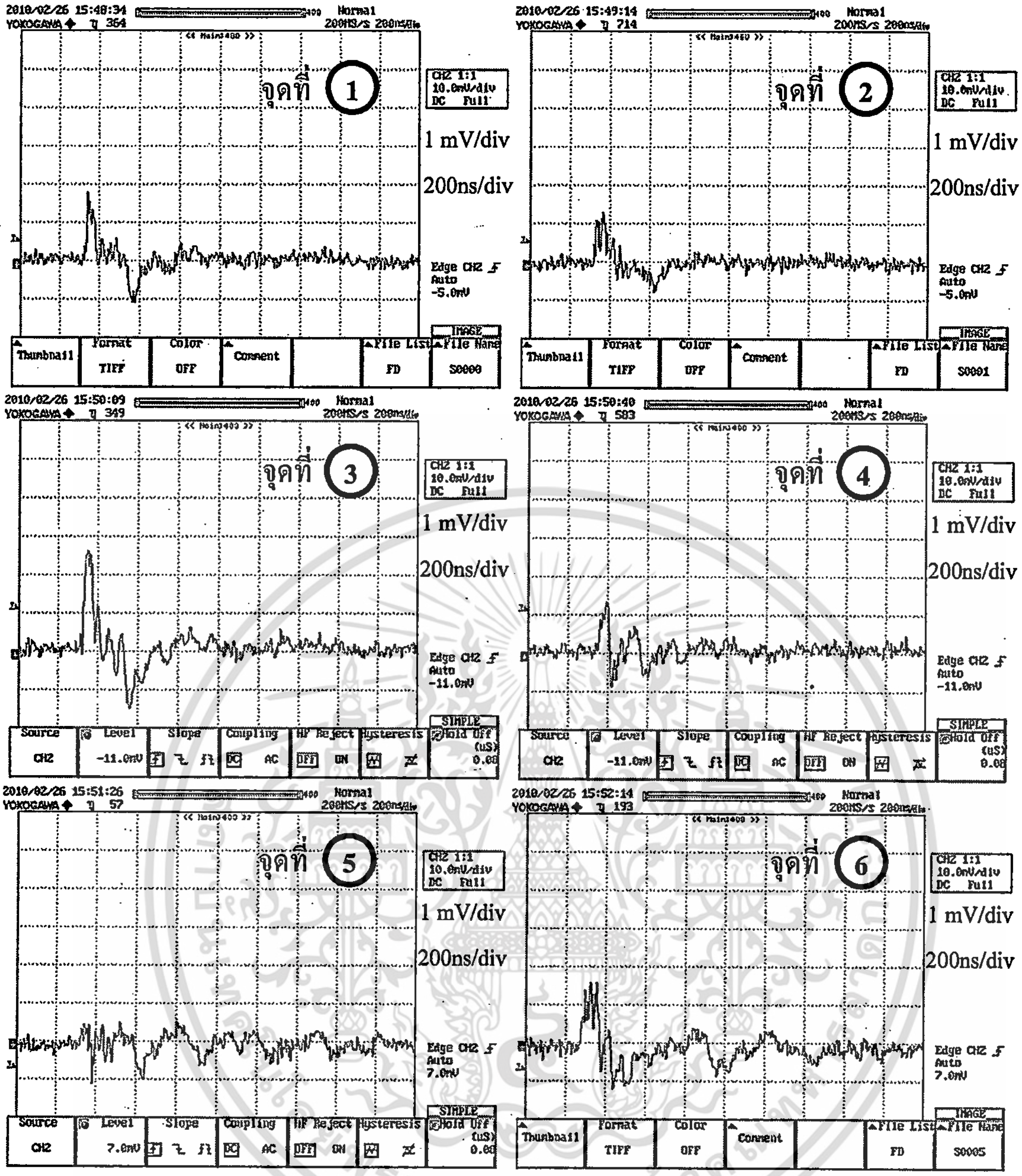
รูปที่ 4.61 สัญญาณกระแสจุดวัดที่ 5 และ 6 ในการทดสอบหัวข้อที่ 4.4.2

จากรูปสัญญาณกระแสในรูปที่ 4.60 (จุดที่ 1 และ จุดที่2) เป็นสัญญาณกระแสจากเครื่องกำเนิดช่องสัญญาณที่ 1 และ 2 เมื่อพิจารณาสัญญาณกระแสที่ไหลผ่านทางชุดขดลวดที่ 1 และ 29 ที่แสดงดังในรูปที่ 4.60 (จุดที่ 4) และรูปที่ 4.61 (จุดที่ 5) จะเห็นว่ารูปสัญญาณที่ไหลไปทั้ง 2 ทิศทางนั้นมีขนาดแอมพลิจูดรวมน้อยกว่าสัญญาณกระแสรวมที่มีขนาดแอมพลิจูดเท่ากับกระแสของเครื่องกำเนิดทั้ง 2 ช่องสัญญาณรวมกันดังแสดงในรูปที่ 4.60 (จุดที่ 3) โดยสัญญาณส่วนที่หายไปสามารถวิเคราะห์ได้จากรูปสัญญาณกระแสที่ไหลผ่านตัวเก็บประจุ C_g ในรูปที่ 4.61 (จุดที่ 6) ซึ่งจะสังเกตได้ว่ามีขนาดแอมพลิจูดที่สูงกว่าสัญญาณกระแสที่จับได้ในจุดที่ 4 และ จุดที่ 5 ดังนั้นจึงสามารถวิเคราะห์ได้ว่าสัญญาณกระแสช่วงเวลา 37.5/75 นาโนวินาทีที่จ่ายทดสอบจากทั้ง 2 ช่องสัญญาณจะไหลผ่านไปทางตัวตัวเก็บประจุ C_s และ C_g ลงกราวด์ โดยแบ่งกระแสเดินทางไปทั้งด้านต้นขดลวด และปลายขดลวดพร้อมกันเช่นเดียวกับการทดสอบในหัวข้อที่ 4.3.5

4.4.3 การทดสอบจ่ายสัญญาณ PD จำลองช่วงเวลา 3.75/5 นาโนวินาที 2 จุด

การทดสอบในหัวข้อนี้เป็นการทดสอบจำลองการเกิดดิสชาร์จบางส่วนในฟองอากาศ 2 จุดพร้อมกัน โดยการทดสอบจะจ่ายสัญญาณช่วงเวลา 3.75/5 นาโนวินาทีเข้าที่ด้านต้นชุดขดลวดที่ 11 และ 16 ดังแสดงในรูปที่ 4.57 และมีการติดตั้งโพรบวัดกระแสที่จุดต่อต่างๆ ดังแสดงในรูปที่ 4.58 ซึ่งผลการตรวจจับสัญญาณกระแสได้แสดงดังในรูปที่ 4.62

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.62 สัญญาณกระแสจุดวัดที่ 1-6 ในการทดสอบหัวข้อที่ 4.4.3

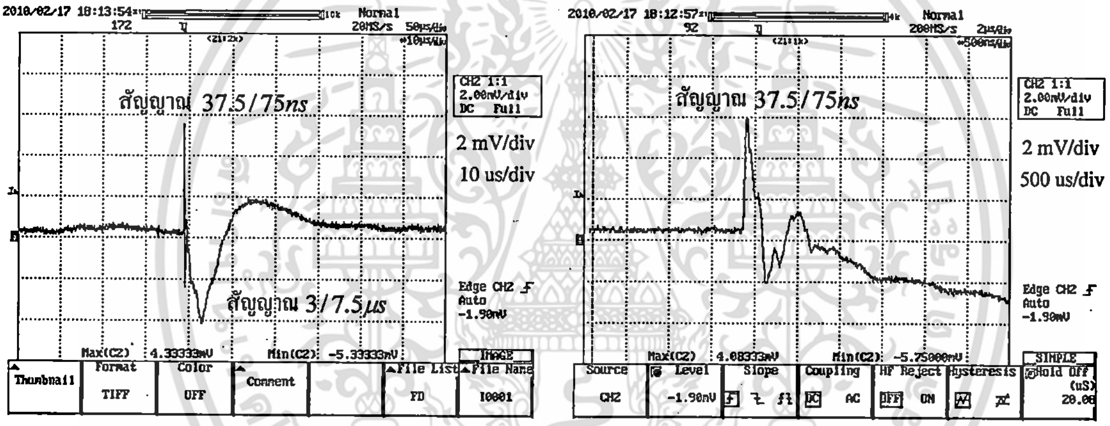
จากรูปสัญญาณกระแสในรูปที่ 4.62 (จุดที่ 1 และ จุดที่2) เป็นสัญญาณกระแสจากเครื่องกำเนิดช่องสัญญาณที่ 1 และ 2 เมื่อพิจารณาสัญญาณกระแสที่ไหลผ่านทางชุดขดลวดที่ 1 ดังแสดงในรูปที่ 4.62 (จุดที่ 4) และชุดขดลวดที่ 29 ที่แสดงดังในรูปที่ 4.62 (จุดที่ 5) จะเห็นว่าสัญญาณกระแสที่จ่ายเข้าทดสอบได้ลดทอนหายไปเหลือแต่เพียงสัญญาณออสซิลเลตเท่านั้น โดยเมื่อนำมาพิจารณาเทียบกับสัญญาณกระแสที่ไหลผ่านตัวเก็บประจุ C_g ที่แสดงในรูปที่ 4.62 (จุดที่ 6) และสัญญาณกระแส 2 ช่องสัญญาณรวมกันที่แสดงในรูปที่ 4.62 (จุดที่ 3) จะวิเคราะห์ได้ว่าสัญญาณกระแสช่วงเวลา 3.75/5 นาโนวินาทีที่จ่ายทดสอบจากทั้ง 2 ช่องสัญญาณจะไหลผ่านไปทางตัวเก็บประจุ C_s และ ลงกราวด์ผ่านทางตัวเก็บประจุ C_g จนหมดในชุดขดลวดชุดต้นๆ จากจุดที่จ่าย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

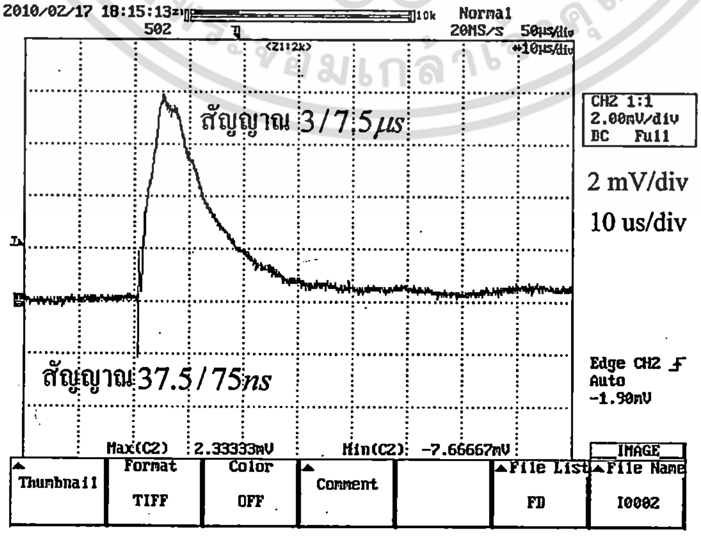
สัญญาณเข้าทดสอบ โดยแบ่งกระแสเดินทางไปทั้งด้านต้นขดลวด และปลายขดลวดพร้อมกัน เช่นเดียวกับการทดสอบด้วยสัญญาณช่วงเวลา 37.5/75 นาโนวินาทีในหัวข้อที่ 4.4.2

4.4.4 การทดสอบจ่ายสัญญาณ PD จำลองช่วงเวลา 3/7.5 ไมโครวินาที และ 37.5/75 นาโนวินาทีพร้อมกัน

การทดสอบในหัวข้อนี้เป็นการทดสอบจำลองการเกิดดิสชาร์จบางส่วนในฉนวนน้ำมันหม้อแปลง และแบบ Trichel pulse (Corona Discharge) 2 จุดพร้อมกัน ในการทดสอบจะจ่ายสัญญาณจำลองเข้าที่ด้านต้นชุดขดลวดที่ 11 และ 16 ดังแสดงในรูปที่ 4.57 โดยจ่ายสัญญาณช่วงเวลา3/7.5 ไมโครวินาทีเข้าที่ชุดขดลวดที่ 11 และจ่ายสัญญาณช่วงเวลา37.5/75 นาโนวินาทีเข้าที่ชุดขดลวดที่ 16 และมีการติดตั้งโพรบวัดกระแสที่จุดต่อต่างๆ ดังแสดงในรูปที่ 4.58 ซึ่งผลการตรวจจับสัญญาณกระแสได้แสดงไว้ดังในรูปที่ 4.63 - 4.68

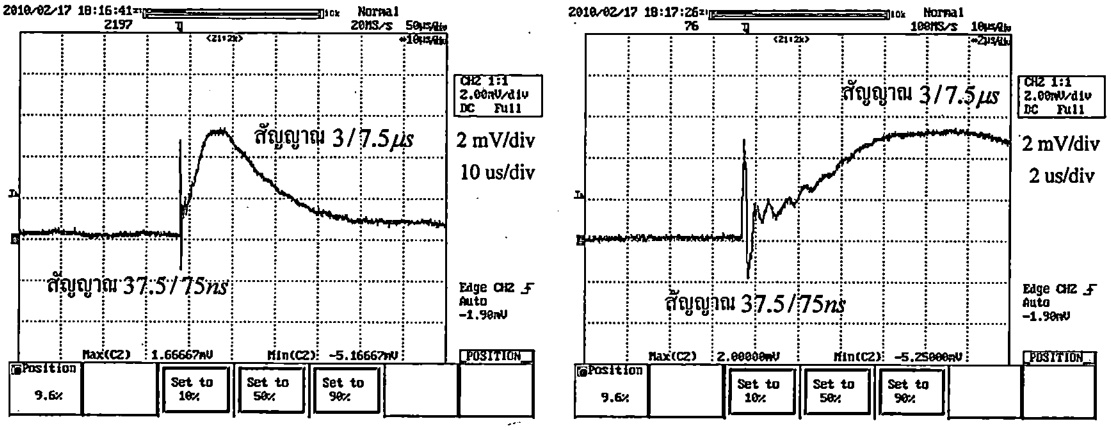


รูปที่ 4.63 สัญญาณกระแสจุดวัดที่ 1 ในการทดสอบหัวข้อที่ 4.4.4

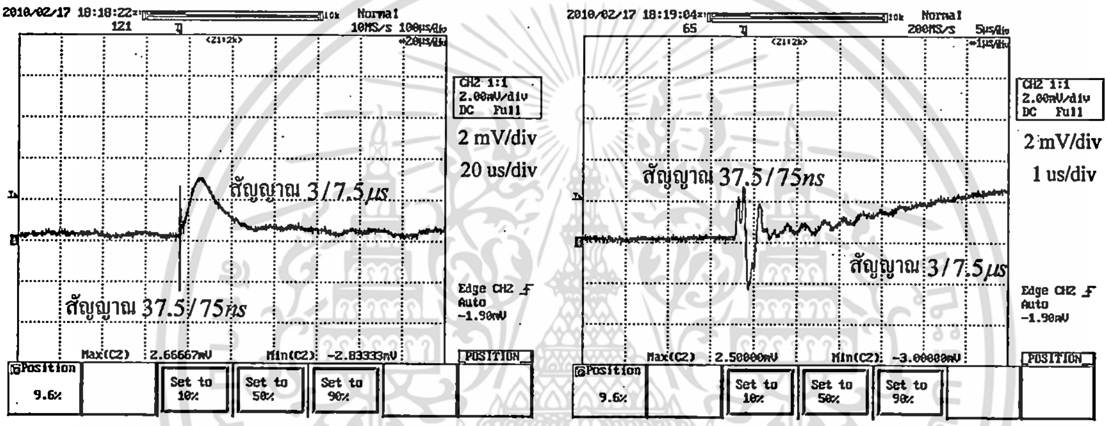


รูปที่ 4.64 สัญญาณกระแสจุดวัดที่ 2 ในการทดสอบหัวข้อที่ 4.4.4

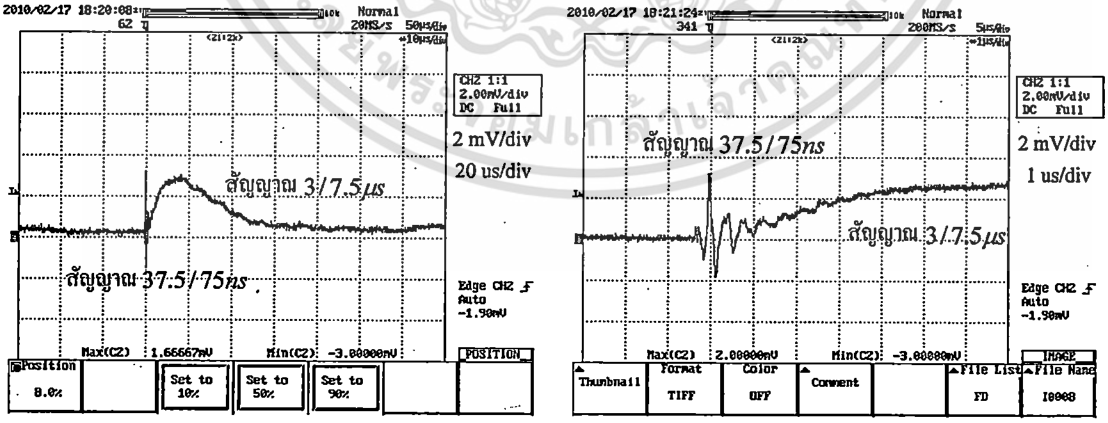
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.65 สัญญาณกระแสจุดวัดที่ 3 ในการทดสอบหัวข้อที่ 4.4.4

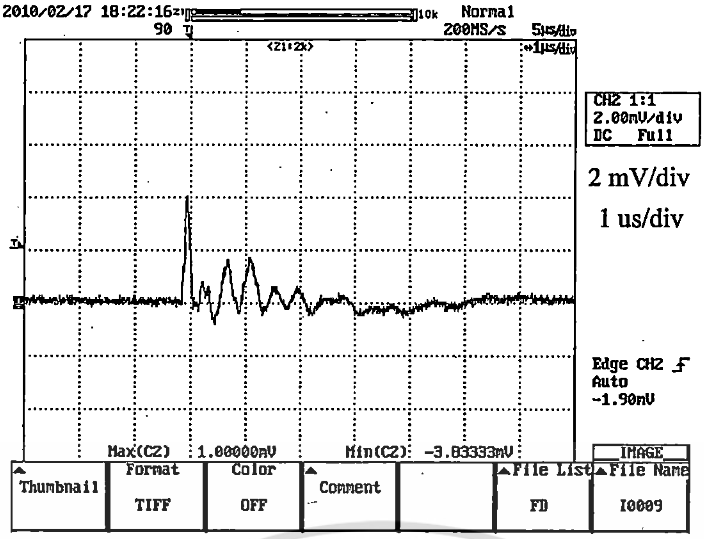


รูปที่ 4.66 สัญญาณกระแสจุดวัดที่ 4 ในการทดสอบหัวข้อที่ 4.4.4



รูปที่ 4.67 สัญญาณกระแสจุดวัดที่ 5 ในการทดสอบหัวข้อที่ 4.4.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



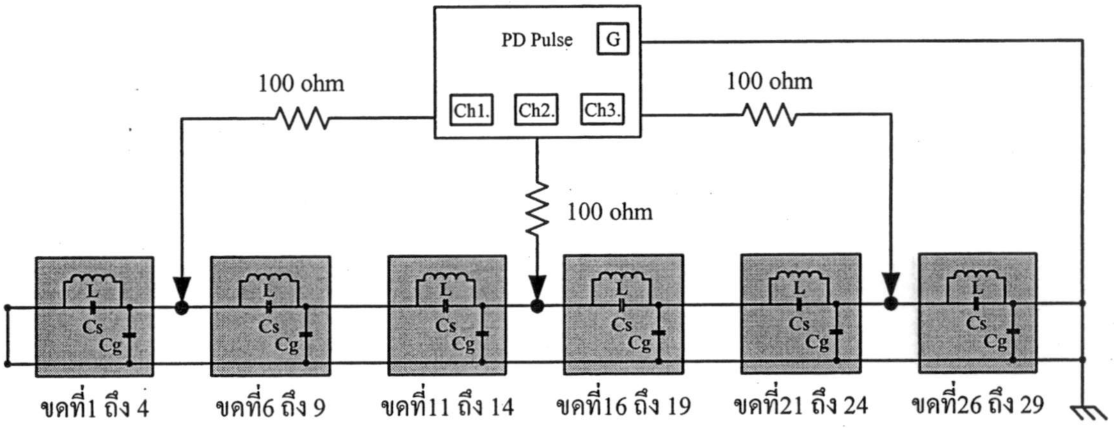
รูปที่ 4.68 สัญญาณกระแสจุดวัดที่ 6 ในการทดสอบหัวข้อที่ 4.4.4

จากการทดสอบจ่ายสัญญาณกระแสช่วงเวลา 3/7.5 ไมโครวินาที และ 37.5/75 นาโนวินาที ดังแสดงในรูปที่ 4.63 และ 4.64 เข้าทดสอบแผงวงจรสมมูลย์หม้อแปลง 2 จุดพร้อมกัน ทำให้ได้ผลตอบสนองของรูปสัญญาณกระแสที่เดินทางผ่านชุดขดลวดออกมาทางด้านต้นของชุดขดลวดที่ 1 และด้านปลายของชุดขดลวดที่ 29 ดังแสดงในรูปที่ 4.66 และ รูปที่ 4.67 สังเกตได้ว่ารูปสัญญาณกระแสทั้ง 2 รูปแบบที่จ่ายทดสอบจะแบ่งกระแสเคลื่อนที่ไปทางต้นขดลวด และปลายขดลวดเหมือนกับการทดสอบในหัวข้อที่ 4.4.1และ 4.4.2 แต่รูปสัญญาณทั้ง 2 รูปแบบจะแยกทิศทางการเคลื่อนที่ตามระดับความถี่ของแต่ละรูปสัญญาณ โดยที่รูปสัญญาณกระแสช่วงเวลา 3/7.5 ไมโครวินาทีจะเคลื่อนที่ผ่านไปทางตัวเหนี่ยวนำ L ลงกราวด์ ส่วนสัญญาณกระแสช่วงเวลา 37.5/75 นาโนวินาทีจะเคลื่อนที่ผ่านทางตัวเก็บประจุ C_s และ C_g ลงกราวด์ ซึ่งสามารถพิสูจน์ได้จากรูปสัญญาณที่เดินทางออกมาจากตัวเก็บประจุ C_g ดังแสดงในรูปที่ 4.68 จะสังเกตเห็นได้ว่ามีเพียงสัญญาณช่วงเวลา37.5/75 นาโนวินาทีที่เดินทางผ่านออกมา

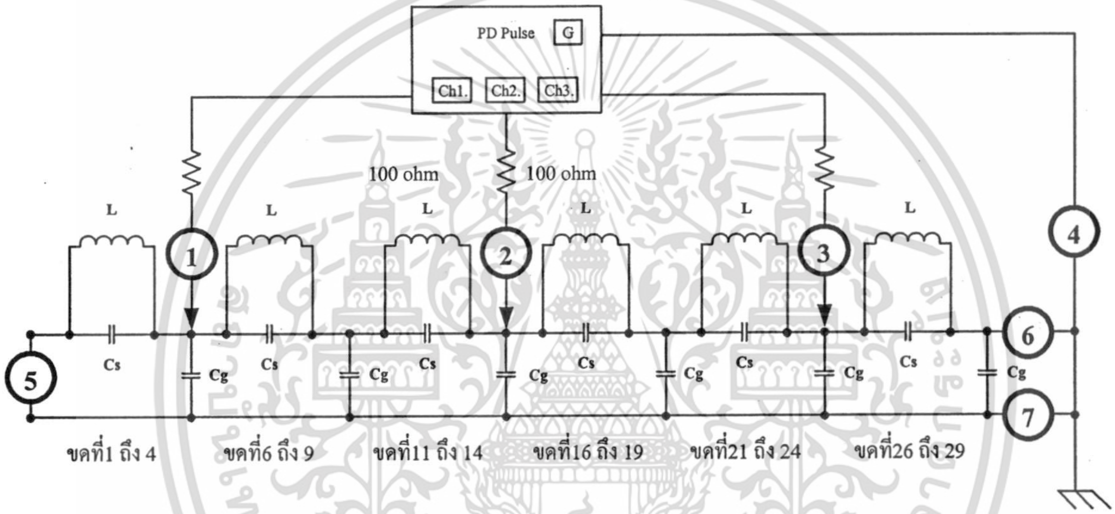
4.5 การจ่ายสัญญาณทดสอบจำลองสถานการณ์การเกิด PD 3 จุดพร้อมกัน

ในหัวข้อนี้เป็นการทดสอบการจ่ายสัญญาณจำลองที่สร้างเข้าสู่แผงวงจรสมมูลย์ขดลวดหม้อแปลงจำลองพร้อมกัน 3 จุดเพื่อจำลองถึงสถานการณ์การเกิดดิสชาร์จบางส่วนในหม้อแปลงไฟฟ้า 3 จุดพร้อมกันโดยจ่ายเข้าที่หัวขดลวดชุดที่ 6 ชุดที่ 16 และ ชุดที่ 26 ดังวงจรที่แสดงในรูปที่ 4.69 ซึ่งจะแบ่งการทดสอบออกเป็น 3 การทดสอบคือ 1. การทดสอบจ่ายสัญญาณ 3/7.5 ไมโครวินาทีเข้าทดสอบพร้อมกัน 3 จุด 2. การทดสอบจ่ายสัญญาณ 37.5/75 นาโนวินาทีเข้าทดสอบพร้อมกัน 3 จุด และ 3. การทดสอบจ่ายสัญญาณ 3.75/5 นาโนวินาทีเข้าทดสอบพร้อมกัน 3 จุด ซึ่งทั้ง 3 การทดสอบจะมีการติดตั้งโพรบวัดกระแสดังในรูปที่ 4.70

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.69 วงจรการจ่ายสัญญาณทดสอบจำลองสถานการณ์การเกิด PD 3 จุดพร้อมกัน

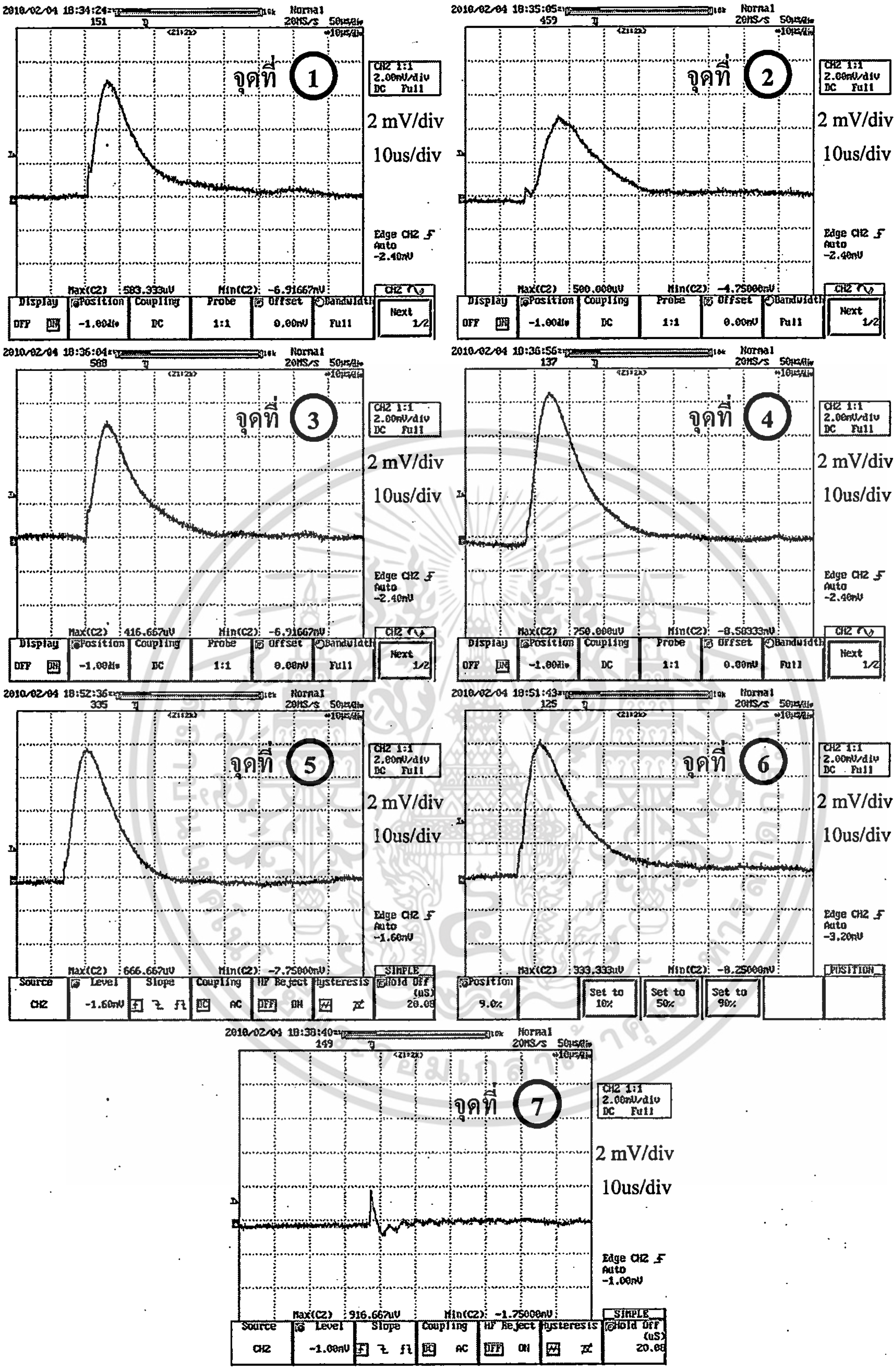


รูปที่ 4.70 จุดติดตั้งโพรบวัดกระแสของการทดสอบจ่ายสัญญาณที่ต้นขดลวดที่ 6 ,16 และ 26

4.5.1 การทดสอบจ่ายสัญญาณ PD จำลองช่วงเวลา 3/7.5 ไมโครวินาที 3 จุด

การทดสอบในหัวข้อนี้เป็นการทดสอบจำลองการเกิดดิสชาร์จบางส่วนในฉนวนน้ำมันหม้อแปลง 3 จุดพร้อมกัน โดยการทดสอบจะจ่ายสัญญาณช่วงเวลา 3/7.5 ไมโครวินาทีเข้าที่ด้านต้นชุดขดลวดที่ 6 ,16และ 26 ดังแสดงในรูปที่ 4.69 และมีการติดตั้งโพรบวัดกระแสที่จุดต่อต่างๆ ดังแสดงในรูปที่ 4.70 ซึ่งผลการตรวจจับสัญญาณกระแสได้แสดงไว้ในรูปที่ 4.71

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



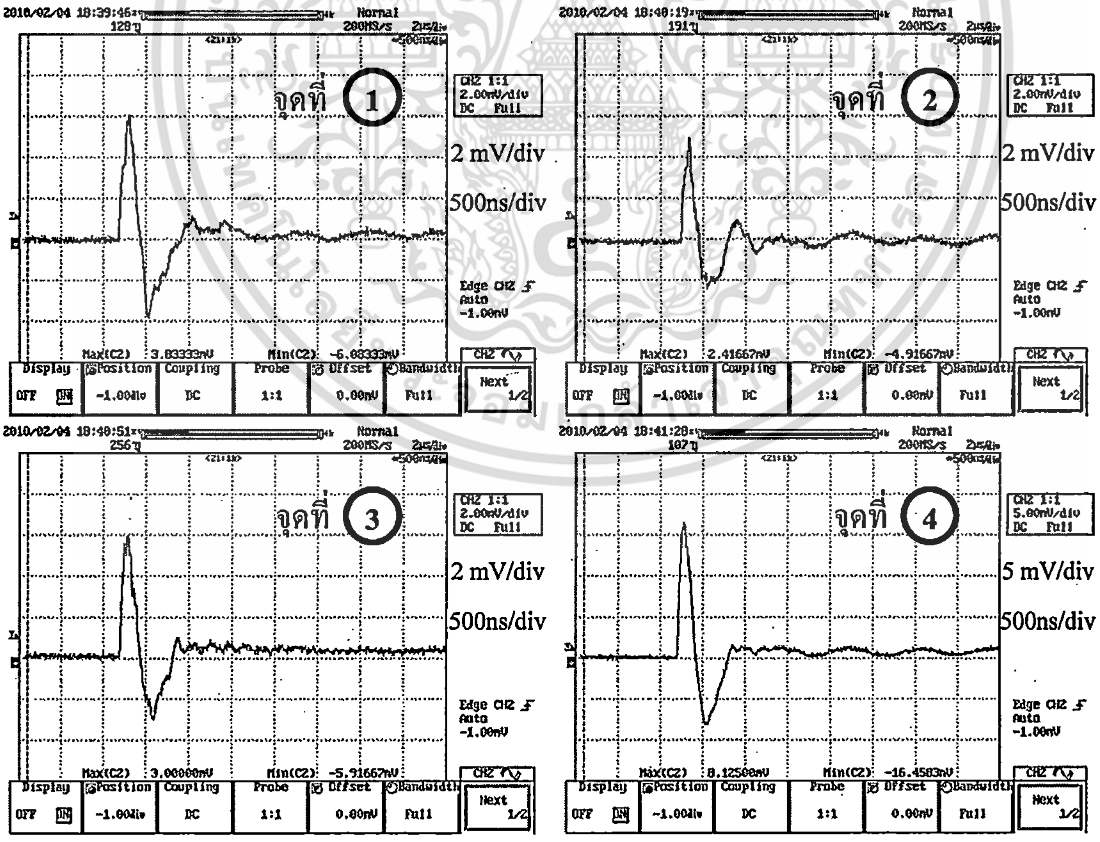
รูปที่ 4.71 สัญญาณกระแสจุดวัดที่ 1-7 ในการทดสอบหัวข้อที่ 4.5.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการทดสอบจ่ายสัญญาณกระแสช่วงเวลา 3/7.5 ไมโครวินาที 3 ช่องสัญญาณดังแสดงในรูปที่ 4.71 (จุดที่ 1 ,2 และ 3) เข้าทดสอบที่แผงวงจรสมมูลย์หม้อแปลงพร้อมกัน และตรวจจับรูปผลตอบสนองของสัญญาณกระแสจากด้านต้นชุดขดลวดที่ 1 และปลายชุดขดลวดที่ 29 ดังแสดงในรูปที่ 4.71 (จุดที่ 5 และ 6) จะสังเกตได้ว่ากระแสที่เดินทางไปทางด้านต้นขดลวด และปลายขดลวดมีขนาดแอมพลิจูดใกล้เคียงกันเนื่องจากระหว่างจุดที่จ่ายกระแสทดสอบรวมทั้ง 3 จุดกับกราวด์ที่ด้านต้น และปลายขดลวดมีระยะห่างเท่ากันทั้ง 2 ทิศทาง โดยเมื่อพิจารณาจากสัญญาณที่เดินทางผ่านตัวเก็บประจุ C_g ที่แสดงในรูปที่ 4.71 (จุดที่ 7) มีเพียงสัญญาณออสซิลเลตจึงสามารถวิเคราะห์ได้ว่าสัญญาณกระแสของแหล่งจ่ายทั้ง 3 ช่องสัญญาณจะเดินทางไปในชุดขดลวดลงกราวด์โดยการไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำ L เช่นเดียวกับการทดสอบในหัวข้อที่ 4.4.1

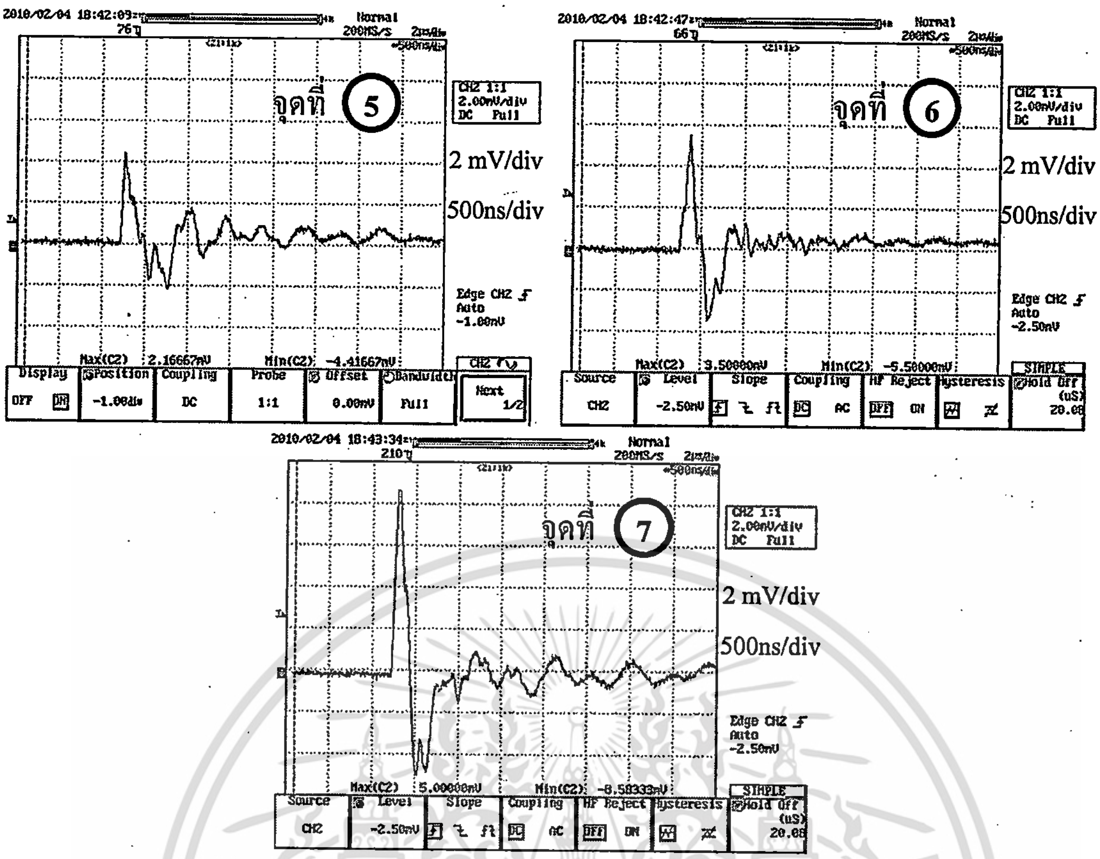
4.5.2 การทดสอบจ่ายสัญญาณ PD จำลองช่วงเวลา 37.5/75 นาโนวินาที 3 จุด

การทดสอบในหัวข้อนี้เป็นการทดสอบจำลองการเกิดดิสชาร์จบางส่วนแบบ Trichel pulse (Corona Discharge) 3 จุดพร้อมกัน โดยการทดสอบจะจ่ายสัญญาณช่วงเวลา 37.5/75 นาโนวินาที เข้าที่ด้านต้นชุดขดลวดที่ 6 ,16 และ 26 ดังแสดงในรูปที่ 4.69 และติดตั้งโพรบวัดกระแสที่จุดต่างๆ ดังแสดงในรูปที่ 4.70 ซึ่งผลการตรวจจับสัญญาณกระแสได้แสดงไว้ในรูปที่ 4.72 และ 4.73



รูปที่ 4.72 สัญญาณกระแสจุดวัดที่ 1-4 ในการทดสอบหัวข้อที่ 4.5.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



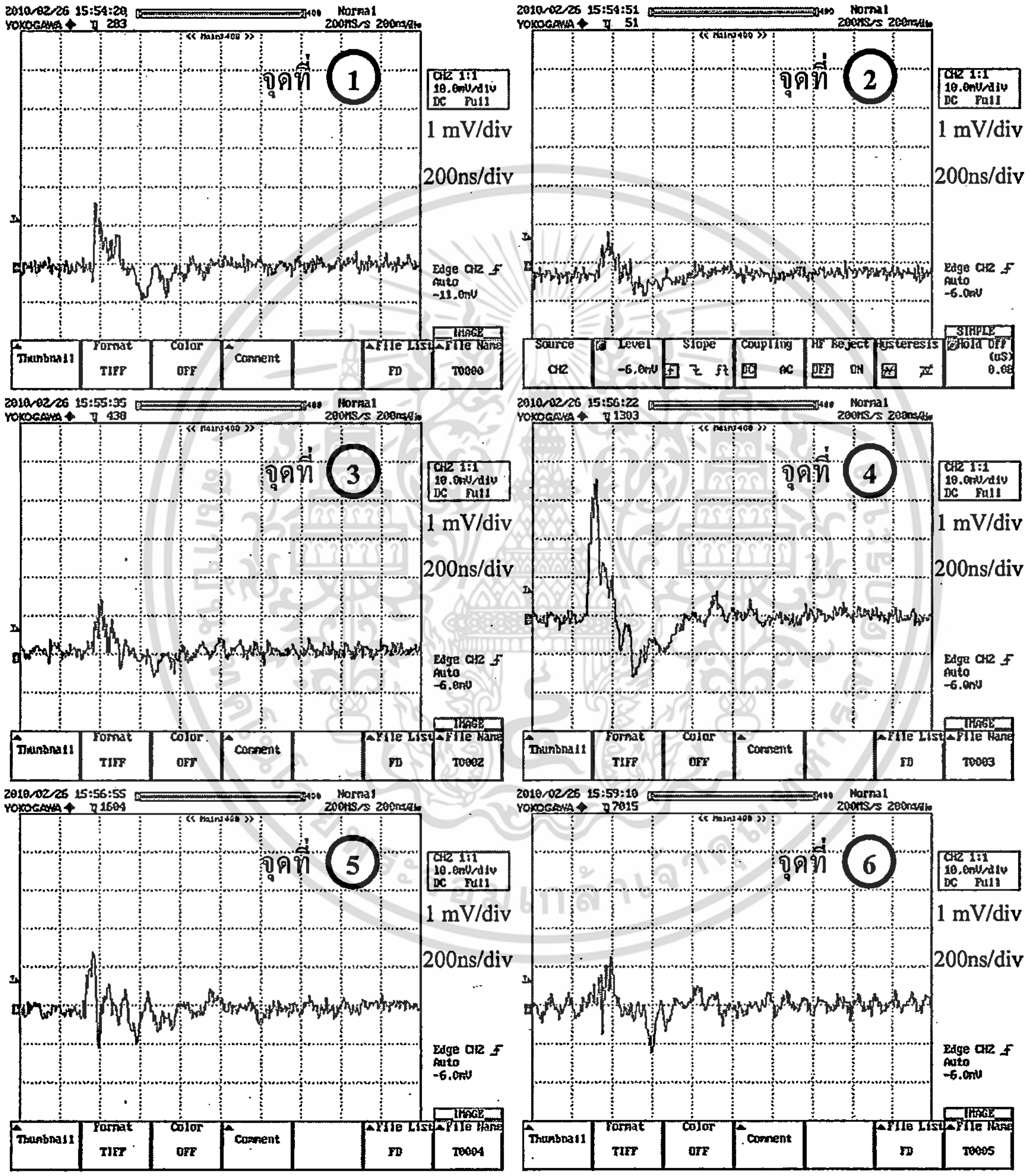
รูปที่ 4.73 สัญญาณกระแสจุดวัดที่ 5-7 ในการทดสอบหัวข้อที่ 4.5.2

สัญญาณกระแสช่วงเวลา 37.5/75 นาโนวินาที 3 ช่องสัญญาณที่จ่ายเข้าแผงวงจรสมมูลย์ดังแสดงในรูปที่ 4.72 (จุดที่ 1 ,2 และ 3) มีขนาดแอมพลิจูดแตกต่างกันขึ้นอยู่กับระยะห่างจากจุดที่จ่ายสัญญาณกับกราวด์ ซึ่งสังเกตได้ว่าสัญญาณกระแสจากช่องสัญญาณที่ 1 และ 2 มีขนาดแอมพลิจูดแตกต่างกันน้อยมาก เนื่องจากระยะห่างระหว่างจุดที่จ่ายสัญญาณทั้ง 2 ช่องสัญญาณจนถึงกราวด์มีระยะเท่ากันดังในรูปวงจรที่ 4.69 โดยสัญญาณกระแสของทั้ง 3 ช่องสัญญาณจะแยกเดินทางไปทางต้นขดลวดที่ 1 และปลายขดลวดที่ 29 ดังสัญญาณกระแสในรูปที่ 4.73 (จุดที่ 5 และ 6) และสัญญาณที่แยกเดินทางจะรวมลงสู่กราวด์ดังแสดงในรูปที่ 4.72 (จุดที่ 4) ซึ่งจากการพิจารณารูปสัญญาณกระแสที่เดินทางผ่านตัวเก็บประจุ C_g ในรูปที่ 4.73 (จุดที่ 7) จะเห็นได้ว่ากระแสส่วนใหญ่จะรวมกันลงกราวด์ทางตัวเก็บประจุ C_g ทำให้วิเคราะห์ได้ว่าสัญญาณกระแสช่วงเวลา 37.5/75 นาโนวินาทีที่จ่ายเข้าทดสอบจะเดินทางในชุดขดลวดลงสู่กราวด์โดยผ่านทางตัวเก็บประจุ C_s และ C_g เช่นเดียวกับการทดสอบในหัวข้อที่ 4.4.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

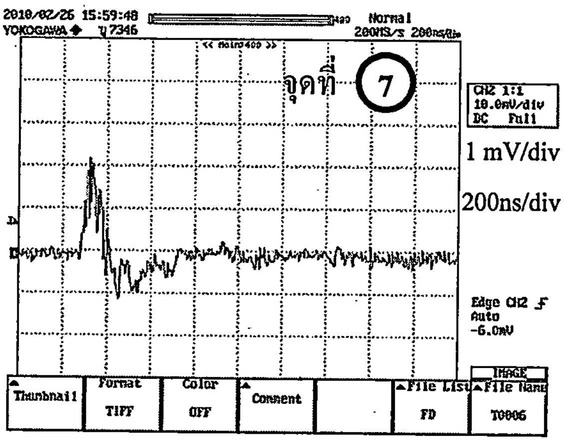
4.5.3 การทดสอบจ่ายสัญญาณ PD จำลองช่วงเวลา 3.75/5 นาโนวินาที 3 จุด

การทดสอบในหัวข้อนี้เป็นการทดสอบจำลองการเกิดดิสชาร์จบางส่วนในฟองอากาศ 3 จุดพร้อมกัน โดยการทดสอบจะจ่ายสัญญาณช่วงเวลา 3.75/5 นาโนวินาทีเข้าที่ด้านต้นชุดขดลวดที่ 6 ,16 และ 26 ดังแสดงในรูปที่ 4.69 และมีการติดตั้งโพรบวัดกระแสที่จุดต่อต่างๆ ดังแสดงในรูปที่ 4.70 ซึ่งผลการตรวจจับสัญญาณกระแสได้แสดงไว้ในรูปที่ 4.74 และ 4.75



รูปที่ 4.74 สัญญาณกระแสจุดวัดที่ 1-6 ในการทดสอบหัวข้อที่ 4.5.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.75 สัญญาณกระแสจุดวัดที่ 7 ในการทดสอบหัวข้อที่ 4.5.2

สัญญาณกระแสช่วงเวลา 37.5/75 นาโนวินาที 3 ช่องสัญญาณที่จ่ายเข้าแผงวงจรสมมูลย์ดังแสดงในรูปที่ 4.74 (จุดที่ 1 ,2 และ 3) และสัญญาณที่รวมกันทั้ง 3 ช่องสัญญาณจะแสดงไว้ดังรูปที่ 4.74 (จุดที่ 4) ซึ่งจะเห็นได้ว่าแอมพลิจูดรวมสูงสุดมีขนาดเท่ากับสัญญาณที่จ่ายเข้าทดสอบทั้ง 3 ช่องสัญญาณ โดยหากพิจารณาจากรูปสัญญาณที่เดินทางออกจากต้นขดลวดที่ 1 ดังแสดงในรูปที่ 4.74 (จุดที่ 5) และปลายขดลวดที่ 29 ดังแสดงในรูปที่ 4.74 (จุดที่ 6) จะเห็นว่ามีสัญญาณเพียงส่วนน้อยที่ผ่านออกมาลงกราวด์ทางชุดขดลวดที่ 1 และ 29 ซึ่งเมื่อเทียบกับสัญญาณที่เดินทางผ่านทางตัวเก็บประจุ C_g ที่แสดงในรูปที่ 4.75 จะเห็นได้ว่ากระแสส่วนใหญ่จะรวมกันลงกราวด์ผ่านทางตัวเก็บประจุ C_g ทำให้วิเคราะห์ได้ว่าสัญญาณกระแสช่วงเวลา 37.5/75 นาโนวินาทีที่จ่ายเข้าทดสอบจะเดินทางในชุดขดลวดลงสู่กราวด์โดยผ่านทางตัวเก็บประจุ C_s และ C_g เช่นเดียวกับการทดสอบในด้วยสัญญาณช่วงเวลา 37.5/75 นาโนวินาทีในหัวข้อที่ 4.5.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

วิทยานิพนธ์นี้นำเสนอการสร้างเครื่องสร้างสัญญาณเลียนแบบการเกิดดิสชาร์จบางส่วนในหม้อแปลงไฟฟ้า ที่สร้างจากวงจรสองส่วนคือ วงจรส่วนควบคุมการกำเนิดสัญญาณที่มีหน้าที่จ่ายสัญญาณทริกให้ตัวมัลติเพล็กเซอร์พร้อมทั้งควบคุมการทำงานของอุปกรณ์ทั้งหมดของตัวเครื่องกำเนิดด้วยอุปกรณ์ไอซีไมโครคอนโทรลเลอร์ และอีกส่วนคือวงจรกำเนิดสัญญาณที่มีหน้าที่ในการกำเนิดสัญญาณ PD ทั้ง 3 รูปแบบคือ 1.การดิสชาร์จบางส่วนในน้ำมันหม้อแปลง 2.การดิสชาร์จบางส่วนในฟองอากาศ หรือฟองก๊าซ และ 3.การดิสชาร์จบางส่วนแบบ Trichel pulse หรือ Corona Discharge ซึ่งเครื่องกำเนิดสัญญาณดิสชาร์จบางส่วนจำลองเป็นอุปกรณ์สำคัญที่ใช้สำหรับการทดสอบการหาจุดที่เกิดสัญญาณดิจชาร์จบางส่วนในหม้อแปลงด้วยวิธีการจ่ายสัญญาณ PD จำลองเข้าทดสอบหม้อแปลงเพื่อเก็บผลตอบสนองของชุดขดลวดไว้เป็นฐานข้อมูลอ้างอิง

จากการนำเอาอุปกรณ์ไมโครคอนโทรลเลอร์มาใช้ในการสร้างสัญญาณทริกแทนวงจร Astable และ Monostable และนำมัลติเพล็กเซอร์มาใช้ทำหน้าที่เป็นสปาร์คแก็ปแทนรีดรีเลย์ทำให้เครื่องกำเนิดสัญญาณจำลองที่สร้างขึ้นมีความสามารถจ่ายสัญญาณจำลองการเกิดดิสชาร์จบางส่วนได้พร้อมกัน 3 ช่องสัญญาณ ซึ่งแต่ละช่องสัญญาณสามารถให้กำเนิดสัญญาณรูปแบบเดียวกัน หรือต่างกันก็ได้ ทั้งนี้เพื่อใช้จำลองถึงสถานการณ์การเกิดดิสชาร์จบางส่วนในหม้อแปลงไฟฟ้ากำลังหลายรูปแบบ และหลายจุดกำเนิดได้ตามต้องการ โดยจะสรุปความสามารถของไมโครคอนโทรลเลอร์ และมัลติเพล็กเซอร์ที่นำมาใช้ในการสร้างเครื่องกำเนิดสัญญาณการเกิดดิสชาร์จบางส่วนจำลองได้ดังตารางที่ 5.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.1 ความสามารถของ Microcontroller และ Multiplexer ในการสร้างสัญญาณ PD จำลอง

อุปกรณ์ที่ใช้งาน	ความสามารถในการสร้างรูป PD สัญญาณจำลอง
Microcontroller	- สร้างสัญญาณทริก และสัญญาณควบคุมจากการเขียนโปรแกรมคอมพิวเตอร์ - กำหนดช่วงความกว้างรูปพัลส์ของสัญญาณทริกได้ - กำหนดจำนวนครั้งในการสร้างพัลส์สัญญาณจำลองในช่วงเวลา 1 ไซเคิลได้ - ควบคุมตัว Multiplexer ด้วยสัญญาณดิจิตอล
Multiplexer	- ทำงานปิด - เปิดหน้าสัมผัสด้วยความเร็วระดับนาโนวินาที - สร้างสัญญาณ PD จำลองได้พร้อมกันมากกว่า 1 พัลส์ - รับคำสั่งการทำงานจากไมโครคอนโทรลเลอร์ได้

จากการนำสัญญาณการเกิดดิสชาร์จบางส่วนในหม้อแปลงจำลองไปจ่ายทดสอบให้แก่แผงวงจรสมมูลย์ชุดขดลวดหม้อแปลง และจับรูปสัญญาณผลตอบสนองต่อรูปสัญญาณกระแสทำให้สามารถวิเคราะห์ถึงทิศทางการเคลื่อนที่ของกระแสการเกิดดิสชาร์จบางส่วนในแต่ละแบบได้ดังแสดงในตารางที่ 5.2

ตารางที่ 5.2 ทิศทางการแพร่กระจายของกระแสดิสชาร์จบางส่วนในวงจรสมมูลย์หม้อแปลงไฟฟ้า

รูปร่างพัลส์	คุณลักษณะ	ทิศทางการแพร่กระจายของพัลส์
3/7.5 μs	การเกิดดิสชาร์จบางส่วนในน้ำมันหม้อแปลง	เคลื่อนที่ผ่านค่าความเหนี่ยวนำ L
37.5/75 ns	การเกิดดิสชาร์จบางส่วนในฟองอากาศ หรือก๊าซ	เคลื่อนที่ผ่านทางตัวเก็บประจุ C_s และ C_g
3.75/5 ns	การเกิดดิสชาร์จบางส่วนแบบ Trichel pulse	เคลื่อนที่ผ่านทางตัวเก็บประจุ C_s และ C_g

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2 ข้อเสนอแนะ

การทดสอบจ่ายสัญญาณจำลองที่สร้างขึ้นจากเครื่องกำเนิดสัญญาณการเกิดดิสชาร์จบางส่วนในวิทยานิพนธ์นี้ ได้ทำการทดสอบกับแผงวงจรสมมูลย์ความถี่สูงของขดลวดหม้อแปลงไฟฟ้า โดยที่ในแผงแบบจำลองวงจรสมมูลย์ที่ใช้ทดสอบนี้จะไม่มีการนำค่าความต้านทานมาใช้ในการสร้างวงจรสมมูลย์ ซึ่งโดยทั่วไปแล้วในหม้อแปลงไฟฟ้าจะมีค่าความต้านทานของเส้นลวดทองแดงที่นำมาใช้สร้างขดลวดหม้อแปลงอยู่ด้วย ทำให้ผลตอบสนองรูปสัญญาณที่ทดสอบได้อาจไม่ตรงตามการทดสอบด้วยหม้อแปลงไฟฟ้าจริง อีกทั้งการทดสอบด้วยแผงวงจรสมมูลย์หม้อแปลงจะไม่มีการพิจารณาถึงผลกระทบจากค่าความเหนี่ยวนำร่วมระหว่างชุดขดลวด หรือค่าความเหนี่ยวนำร่วมระหว่างเฟสในกรณีที่ทดสอบด้วยหม้อแปลงไฟฟ้า 3 เฟส โดยผลจากค่าความต้านทานของขดลวดและค่าความเหนี่ยวนำร่วมจะสรุปได้ดังตารางที่ 5.3

ตารางที่ 5.3 ผลกระทบของจากค่าความต้านทานของขดลวด และค่าความเหนี่ยวนำร่วม

แฟคเตอร์ของผลกระทบ	ผลกระทบต่อรูปสัญญาณ
ค่าความต้านทานของขดลวด	- ลดทอนขนาดแอมพลิจูดของพัลส์สัญญาณกระแสดิสชาร์จบางส่วน - เปลี่ยนแปลงรูปร่างของพัลส์สัญญาณกระแส และแรงดันดิสชาร์จบางส่วน
ค่าความเหนี่ยวนำร่วม	- ทำให้เกิดค่าอิมพีแดนซ์สะท้อนกลับ หรือเรียกว่า Reflected Impedance ในแต่ละชุดขดลวด - เปลี่ยนแปลงทิศทางการเคลื่อนที่ของสัญญาณกระแสดิสชาร์จบางส่วน - ลดทอนขนาดแอมพลิจูดของพัลส์สัญญาณกระแสดิสชาร์จบางส่วน - เปลี่ยนแปลงรูปร่างของพัลส์สัญญาณกระแสดิสชาร์จบางส่วน

ถึงแม้ว่าในวิทยานิพนธ์นี้ได้ใช้แบบจำลองความถี่สูงของหม้อแปลงไฟฟ้า ซึ่งไม่พิจารณาผลของค่าความต้านทาน และค่าความเหนี่ยวนำร่วม แต่การกระจายของพัลส์ไปตามค่าพารามิเตอร์ที่สำคัญอันได้แก่ ตัวเหนี่ยวนำ L ตัวเก็บประจุ C_s และ C_g ซึ่งสามารถพิจารณา และวิเคราะห์เส้นทางในการกระจายของพัลส์ในแต่ละแบบได้ แต่ถ้าต้องการสร้างข้อมูลสำหรับการทดสอบหม้อแปลงไฟฟ้าในทางปฏิบัตินั้นยังมีความจำเป็นที่จะต้องคิดการแพร่กระจายของพัลส์ในขดลวดหม้อแปลงไฟฟ้าจริงเพื่อที่จะได้คุณลักษณะรูปร่างของพัลส์ที่แท้จริง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

[1] IEC Standard 60270, **Partial Discharge Measurements,** 3rd edition, International Electrotechnical Commission (IEC), Geneva, Switzerland, 2000.

[2] J. Fuhr, M.Haessig, P.Boss, D. Tschudi and R.A.King **"Detection and Location of Internal Defects in the Insulation of Power Transformer"**, IEEE Transactions on Electrical Insulation, Vol.28, No.6, pp 1057-1067, 1993.

[3] Z.D. Wang, P.A. Crossley and K.J. Cornick, **"Partial Discharge Location in Power Transformer Using the Spectra of the Terminal Current Signals"** Proceeding of High Voltage Engineering Symposium, Vol.5, pp 58-61, 1999.

[4] A.M. Jafari and A. Akbari, **"Partial discharge localization in transformer windings using multi-conductor transmission line model"**, Electric Power Systems Research, Vol. 78, pp. 1028-1037, 2007.

[5] V. Jeyabalan and S. Usa **"Frequency Domain Correlation Technique for PD Location in Transformer Winding"**, IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation, Vol. 16, No. 4, pp 1160-1167, 2009.

[6] สำรวย สังข์สะอาด, **วิศวกรรมไฟฟ้าแรงสูง,** พิมพ์ครั้งที่ 3 คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2549.

[7] Kreuger, F.H., **Discharge Detection in High Voltage Equipment**, Temple Press Books Ltd., London, pp.13-25, 1964.

[8] T. Bertula, V. Pavla and E. Talvio, **"Partial Discharge Measurement on Oil Paper Insulated Transformers"**, Report 12-07, CIGRE Session, 1968.

[9] A. T. Thoeng, **"Detection and Localization of Partial Discharges in Power Transformers"**, Conf. Publication No. 94, Part 1, IEE Diagnostic Testing of HV Power Apparatus in Service, London, 1973.

[10] R. E. James, B. T. Phung and Q. Su, **"Application of Computer - Based Measurement System for the Detection of PD at Different Positions within a Transformer Winding"**, 6th ISH, New Orleans, Paper Nr. 43.06, 1989.

[11] R. E. James, F. E. Trick, B. T. Phung and P. A. White, **"Interpretation of Partial Discharge Quantities as Measured at the Terminals of HV Power Transformers"** ,IEEE Trans. on Electrical Insulation, Vol. 21, NO. 4, pp. 629-638, 1986.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

[12] R. E. James, B. T. Phung and Q. Su, **“Application of Digital Filtering Technique to the Determination of Partial Discharge Location in Transformers”**, IEEE Trans. on Electrical Insulation, Vol. 24, No. 4, pp. 657-668, 1989.

[13] C. Kieny, G. Bousaleh and A. Foggia, **“High Frequency Internal Resonance’s Study for a Power Transformer Numerical Modeling and Experiment Check”**, EDF Bulletin, Serie B, Reseaux Electriques, Material Electriques No. 2, pp. 37-42, 1990.

[14] A. Ahmad and Ph. Auriol, **“Dielectric Losses in Power Transformers under High Frequency Transients”**, Conf. Record, IEEE Int. Symp. on Electrical Insulation, June 7-10, Baltimore, pp. 460-463, 1992.

[15] R. A. King, Mr T. C. Phipps, **“Shannon, TESPAR and approximation strategies”**, Computers & Security, Volume 18, Issue 5, Pages 445-453, 1999.

[16] สันติ นุราช และอุกฤษฏ์ ตันทสุทธานนท์, **เรียนรู้ไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 ฉบับภาษา C**, Micro Research Technology Ltd.

[17] วีรยุทธ ปานทอง, เศกสรรค์ งามศรีตระกูล, สมพร เนติขจร และอุดม ปัญญารัตนะ, **ชุดทดลองการแพร่กระจายของเสิร์จในขดลวดหม้อแปลงไฟฟ้าแรงสูง**, ปริญญานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2547.

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก.

DATA SHEET

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก.1 Datasheet ของ Multiplexer

TEXAS INSTRUMENTS

Data sheet acquired from Harris Semiconductor
SCHS122I

November 1997 - Revised July 2004

CD54/74HC4051, CD54/74HCT4051, CD54/74HC4052, CD74HCT4052, CD54/74HC4053, CD74HCT4053

High-Speed CMOS Logic Analog Multiplexers/Demultiplexers

Features

- Wide Analog Input Voltage Range . . . . ±5V Max
- Low "On" Resistance
  - 70Ω Typical (V_{CC} - V_{EE} = 4.5V)
  - 40Ω Typical (V_{CC} - V_{EE} = 9V)
- Low Crosstalk between Switches
- Fast Switching and Propagation Speeds
- "Break-Before-Make" Switching
- Wide Operating Temperature Range . . -55°C to 125°C
- CD54HC/CD74HC Types
  - Operation Control Voltage . . . . 2V to 6V
  - Switch Voltage . . . . 0V to 10V
  - High Noise Immunity . . . N_{IL} = 30%, N_{IH} = 30% of V_{CC}, V_{CC} = 5V
- CD54HCT/CD74HCT Types
  - Operation Control Voltage . . . . 4.5V to 5.5V
  - Switch Voltage . . . . 0V to 10V
  - Direct LSTTL Input Logic Compatibility . . . V_{IL} = 0.8V Max, V_{IH} = 2V Min
  - CMOS Input Compatibility. . . . . $I_I \leq 1\mu A$ at V_{OL}, V_{OH}

Description

These devices are digitally controlled analog switches which utilize silicon gate CMOS technology to achieve operating speeds similar to LSTTL with the low power consumption of standard CMOS integrated circuits.

These analog multiplexers/demultiplexers control analog voltages that may vary across the voltage supply range (i.e. V_{CC} to V_{EE}). They are bidirectional switches thus allowing any analog input to be used as an output and vice-versa. The switches have low "on" resistance and low "off" leakages. In addition, all three devices have an enable control which, when high, disables all switches to their "off" state.

Ordering Information

PART NUMBER	TEMP. RANGE (°C)	PACKAGE
CD54HC4051F3A	-55 to 125	16 Ld CERDIP
CD54HC4052F3A	-55 to 125	16 Ld CERDIP
CD54HC4053F3A	-55 to 125	16 Ld CERDIP
CD54HCT4051F3A	-55 to 125	16 Ld CERDIP

Ordering Information

PART NUMBER	TEMP. RANGE (°C)	PACKAGE
CD74HC4051E	-55 to 125	16 Ld PDIP
CD74HC4051M	-55 to 125	16 Ld SOIC
CD74HC4051MT	-55 to 125	16 Ld SOIC
CD74HC4051M96	-55 to 125	16 Ld SOIC
CD74HC4051NSR	-55 to 125	16 Ld SOP
CD74HC4051PWR	-55 to 125	16 Ld TSSOP
CD74HC4051PWT	-55 to 125	16 Ld TSSOP
CD74HC4052E	-55 to 125	16 Ld PDIP
CD74HC4052M	-55 to 125	16 Ld SOIC
CD74HC4052MT	-55 to 125	16 Ld SOIC
CD74HC4052M96	-55 to 125	16 Ld SOIC
CD74HC4052NSR	-55 to 125	16 Ld SOP
CD74HC4052PW	-55 to 125	16 Ld TSSOP
CD74HC4052PWR	-55 to 125	16 Ld TSSOP
CD74HC4052PWT	-55 to 125	16 Ld TSSOP
CD74HC4053E	-55 to 125	16 Ld PDIP
CD74HC4053M	-55 to 125	16 Ld SOIC
CD74HC4053MT	-55 to 125	16 Ld SOIC
CD74HC4053M96	-55 to 125	16 Ld SOIC
CD74HC4053NSR	-55 to 125	16 Ld SOP
CD74HC4053PW	-55 to 125	16 Ld TSSOP
CD74HC4053PWR	-55 to 125	16 Ld TSSOP
CD74HC4053PWT	-55 to 125	16 Ld TSSOP
CD74HCT4051E	-55 to 125	16 Ld PDIP
CD74HCT4051M	-55 to 125	16 Ld SOIC
CD74HCT4051MT	-55 to 125	16 Ld SOIC
CD74HCT4051M96	-55 to 125	16 Ld SOIC
CD74HCT4052E	-55 to 125	16 Ld PDIP
CD74HCT4052M	-55 to 125	16 Ld SOIC
CD74HCT4052MT	-55 to 125	16 Ld SOIC
CD74HCT4052M96	-55 to 125	16 Ld SOIC
CD74HCT4053E	-55 to 125	16 Ld PDIP
CD74HCT4053M	-55 to 125	16 Ld SOIC
CD74HCT4053MT	-55 to 125	16 Ld SOIC
CD74HCT4053M96	-55 to 125	16 Ld SOIC
CD74HCT4053PWR	-55 to 125	16 Ld TSSOP
CD74HCT4053PWT	-55 to 125	16 Ld TSSOP

NOTE: When ordering, use the entire part number. The suffixes 96 and R denote tape and reel. The suffix T denotes a small-quantity reel of 250.

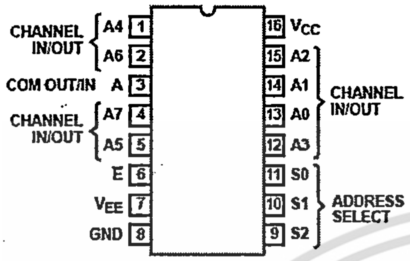
CAUTION: These devices are sensitive to electrostatic discharge. Users should follow proper IC Handling Procedures.

Copyright © 2004, Texas Instruments Incorporated

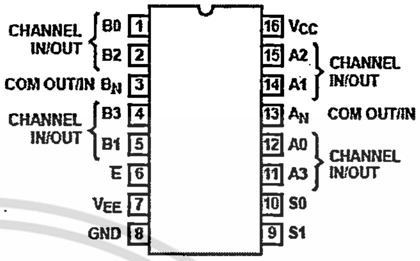
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Pinouts

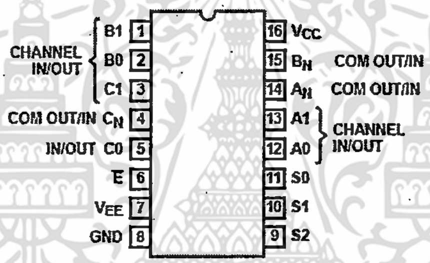
CD54HC4051, CD54HCT4051
(CERDIP)
CD74HC4051
(PDIP, SOIC, SOP, TSSOP)
CD74HCT4051
(PDIP, SOIC)
TOP VIEW



CD54HC4052
(CERDIP)
CD74HC4052
(PDIP, SOIC, SOP, TSSOP)
CD74HCT4052
(PDIP, SOIC)
TOP VIEW

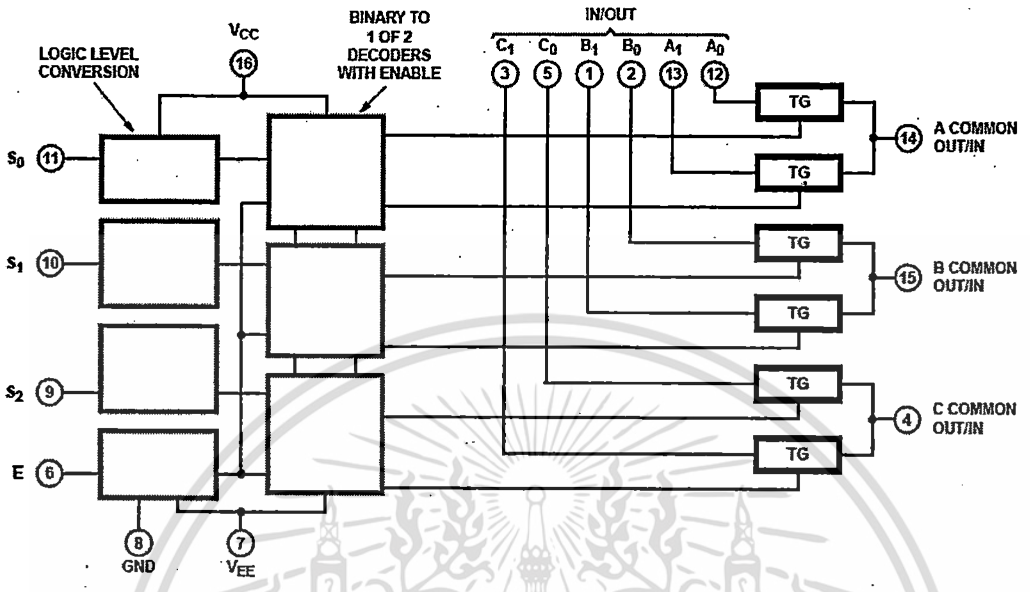


CD54HC4053
(CERDIP)
CD74HC4053
(PDIP, SOIC, SOP, TSSOP)
CD74HCT4053
(PDIP, SOIC, TSSOP)
TOP VIEW



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Functional Diagram of 'HC4053, CD74HCT4053



TRUTH TABLE
'HC4053, CD74HCT4053

INPUT STATES				"ON" CHANNELS
ENABLE	S_0	S_1	S_2	
L	L	L	L	C0, B0, A0
L	H	L	L	C0, B0, A1
L	L	H	L	C0, B1, A0
L	H	H	L	C0, B1, A1
L	L	L	H	C1, B0, A0
L	H	L	H	C1, B0, A1
L	L	H	H	C1, B1, A0
L	H	H	H	C1, B1, A1
H	X	X	X	None

X = Don't care

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Absolute Maximum Ratings (Note 2)

DC Supply Voltage, V_{CC} - V_{EE} .... -0.5V to 10.5V
DC Supply Voltage, V_{CC} .... -0.5V to +7V
DC Supply Voltage, V_{EE} .... +0.5V to -7V
DC Input Diode Current, I_{IK}
  For V_I < -0.5V or V_I > V_{CC} + 0.5V .... ±20mA
DC Switch Diode Current, I_{OK}
  For V_I < V_{EE} -0.5V or V_I > V_{CC} + 0.5V .... ±20mA
DC Switch Current, (Note 2)
  For V_I > V_{EE} -0.5V or V_I < V_{CC} + 0.5V .... ±25mA
DC V_{CC} or Ground Current, I_{CC} .... ±50mA
DC V_{EE} Current, I_{EE} .... -20mA

Thermal Information

Package Thermal Impedance, θ_{JA} (see Note 1):
  E (PDIP) Package .... 67°C/W
  M (SOIC) Package .... 73°C/W
  NS (SOP) Package .... 64°C/W
  PW (TSSOP) Package .... 108°C/W
Maximum Junction Temperature .... 150°C
Maximum Storage Temperature Range .... -65°C to 150°C
Maximum Lead Temperature (Soldering 10s) .... 300°C

NOTE:

1. The package thermal impedance is calculated in accordance with JESD 51-7.

Recommended Operating Conditions

For maximum reliability, nominal operating conditions should be selected so that operation is always within the following ranges

PARAMETER	MIN	MAX	UNITS
Supply Voltage Range (For T_A = Full Package Temperature Range), V_{CC} (Note 2)			
CD54/74HC Types	2	6	V
CD54/74HCT Types	4.5	5.5	V
Supply Voltage Range (For T_A = Full Package Temperature Range), V_{CC} - V_{EE}			
CD54/74HC Types, CD54/74HCT Types (See Figure 1)	2	10	V
Supply Voltage Range (For T_A = Full Package Temperature Range), V_{EE} (Note 3)			
CD54/74HC Types, CD54/74HCT Types (See Figure 2)	0	-6	V
DC Input Control Voltage, V_I	GND	V_{CC}	V
Analog Switch I/O Voltage, V_{IS}	V_{EE}	V_{CC}	V
Operating Temperature, T_A	-55	125	°C
Input Rise and Fall Times, t_r, t_f			
2V	0	1000	ns
4.5V	0	500	ns
6V	0	400	ns

CAUTION: Stresses above those listed in "Absolute Maximum Ratings" may cause permanent damage to the device. This is a stress only rating and operation of the device at these or any other conditions above those indicated in the operational sections of this specification is not implied.

NOTES:

2. All voltages referenced to GND unless otherwise specified.
3. In certain applications, the external load resistor current may include both V_{CC} and signal line components. To avoid drawing V_{CC} current when switch current flows into the transmission gate inputs, the voltage drop across the bidirectional switch must not exceed 0.6V (calculated from r_{ON} values shown in Electrical Specifications table). No V_{CC} current will flow through R_L if the switch current flows into terminal 3 on the HC/HCT4051; terminals 3 and 13 on the HC/HCT4052; terminals 4, 14 and 15 on the HC/HCT4053.

Recommended Operating Area as a Function of Supply Voltages

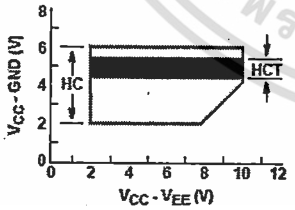


FIGURE 1.

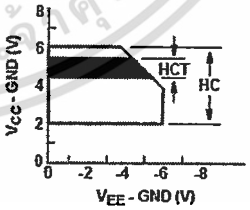


FIGURE 2.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก.2 Datasheet ของ Multiplexer

8-bit Microcontroller with 12K Bytes Flash and 2K Bytes EEPROM

AT89S8253

Features

- Compatible with MCS®-51 Products
- 12K Bytes of In-System Programmable (ISP) Flash Program Memory
  - SPI Serial Interface for Program Downloading
  - Endurance: 10,000 Write/Erase Cycles
- 2K Bytes EEPROM Data Memory
  - Endurance: 100,000 Write/Erase Cycles
- 64-byte User Signature Array
- 2.7V to 5.5V Operating Range
- Fully Static Operation: 0 Hz to 24 MHz
- Three-level Program Memory Lock
- 256 x 8-bit Internal RAM
- 32 Programmable I/O Lines
- Three 16-bit Timer/Counters
- Nine Interrupt Sources
- Enhanced UART Serial Port with Framing Error Detection and Automatic Address Recognition
- Enhanced SPI (Double Write/Read Buffered) Serial Interface
- Low-power Idle and Power-down Modes
- Interrupt Recovery from Power-down Mode
- Programmable Watchdog Timer
- Dual Data Pointer
- Power-off Flag
- Flexible ISP Programming (Byte and Page Modes)
  - Page Mode: 64 Bytes/Page for Code Memory, 32 Bytes/Page for Data Memory
- Four-level Enhanced Interrupt Controller
- Programmable and Fuseable x2 Clock Option
- Internal Power-on Reset
- 42-pin PDIP Package Option for Reduced EMC Emission
- Green (Pb/Halide-free) Packaging Option

1. Description

The AT89S8253 is a low-power, high-performance CMOS 8-bit microcontroller with 12K bytes of In-System Programmable (ISP) Flash program memory and 2K bytes of EEPROM data memory. The device is manufactured using Atmel's high-density non-volatile memory technology and is compatible with the industry-standard MCS-51 instruction set and pinout. The on-chip downloadable Flash allows the program memory to be reprogrammed in-system through an SPI serial interface or by a conventional nonvolatile memory programmer. By combining a versatile 8-bit CPU with downloadable Flash on a monolithic chip, the Atmel AT89S8253 is a powerful microcontroller which provides a highly-flexible and cost-effective solution to many embedded control applications.

3286J–MICRO–12/05

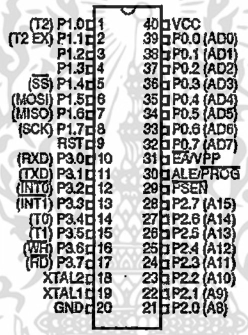
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

The AT89S8253 provides the following standard features: 12K bytes of In-System Programmable Flash, 2K bytes of EEPROM, 256 bytes of RAM, 32 I/O lines, programmable watchdog timer, two data pointers, three 16-bit timer/counters, a six-vector, four-level interrupt architecture, a full duplex serial port, on-chip oscillator, and clock circuitry. In addition, the AT89S8253 is designed with static logic for operation down to zero frequency and supports two software selectable power saving modes. The Idle Mode stops the CPU while allowing the RAM, timer/counters, serial port, and interrupt system to continue functioning. The Power-down mode saves the RAM contents but freezes the oscillator, disabling all other chip functions until the next external interrupt or hardware reset.

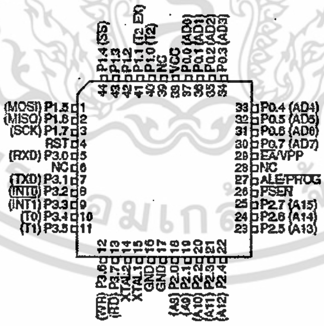
The on-board Flash/EEPROM is accessible through the SPI serial interface. Holding RESET active forces the SPI bus into a serial programming interface and allows the program memory to be written to or read from, unless one or more lock bits have been activated.

2. Pin Configurations

2.1 40P6 – 40-lead PDIP



2.2 44A – 44-lead TQFP



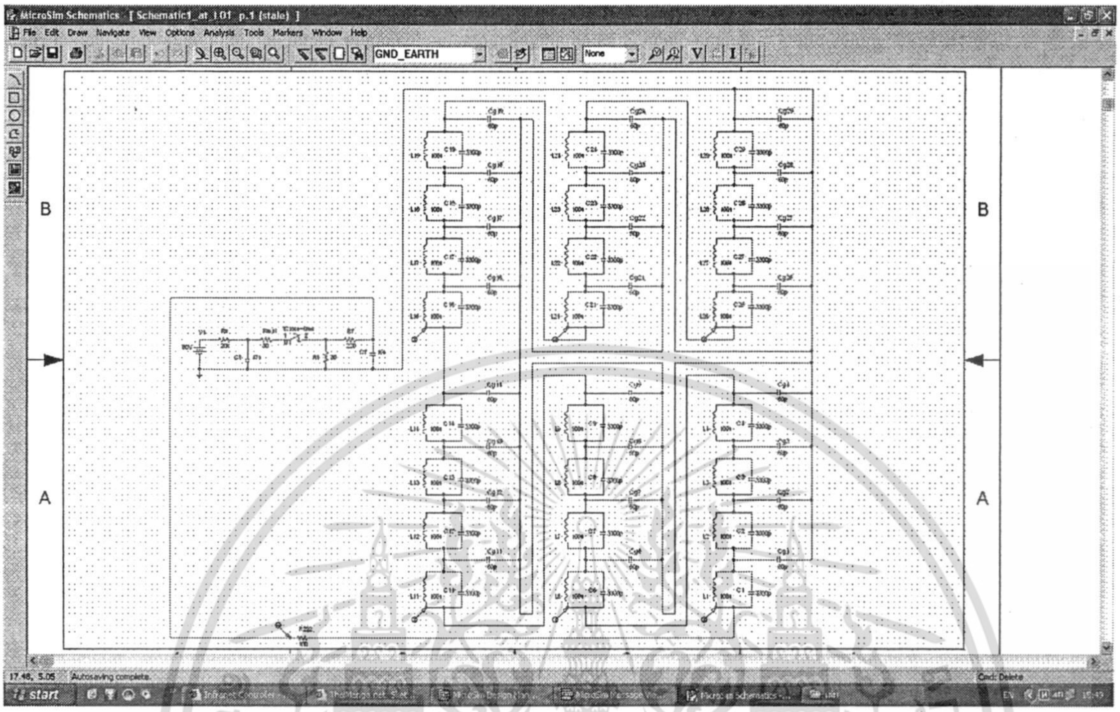
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข.

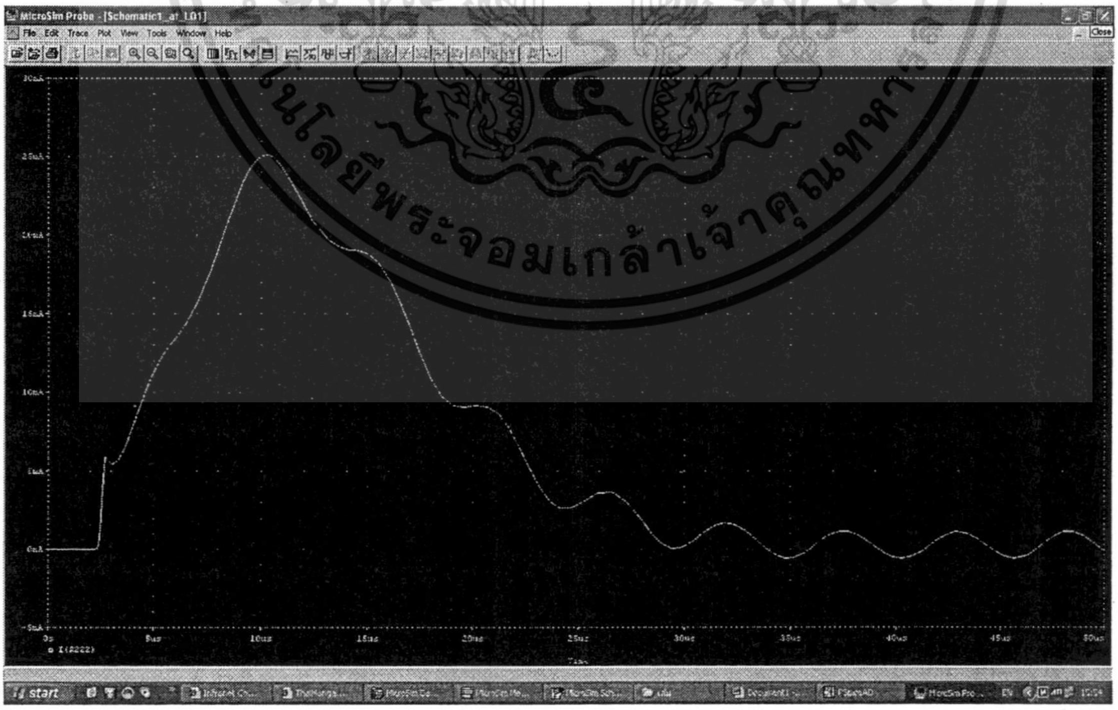
การจำลองการจ่ายสัญญาณทดสอบด้วยโปรแกรม PSpice

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข.1 การจำลองการจ่ายสัญญาณ PD จำลองช่วงเวลา 3/7.5 ไมโครวินาทีเข้าทดสอบแบบวงจรสมมูลย์หม้อแปลงความถี่สูงที่ต้นชุดขดลวดที่ 1 ด้วยโปรแกรม PSpice

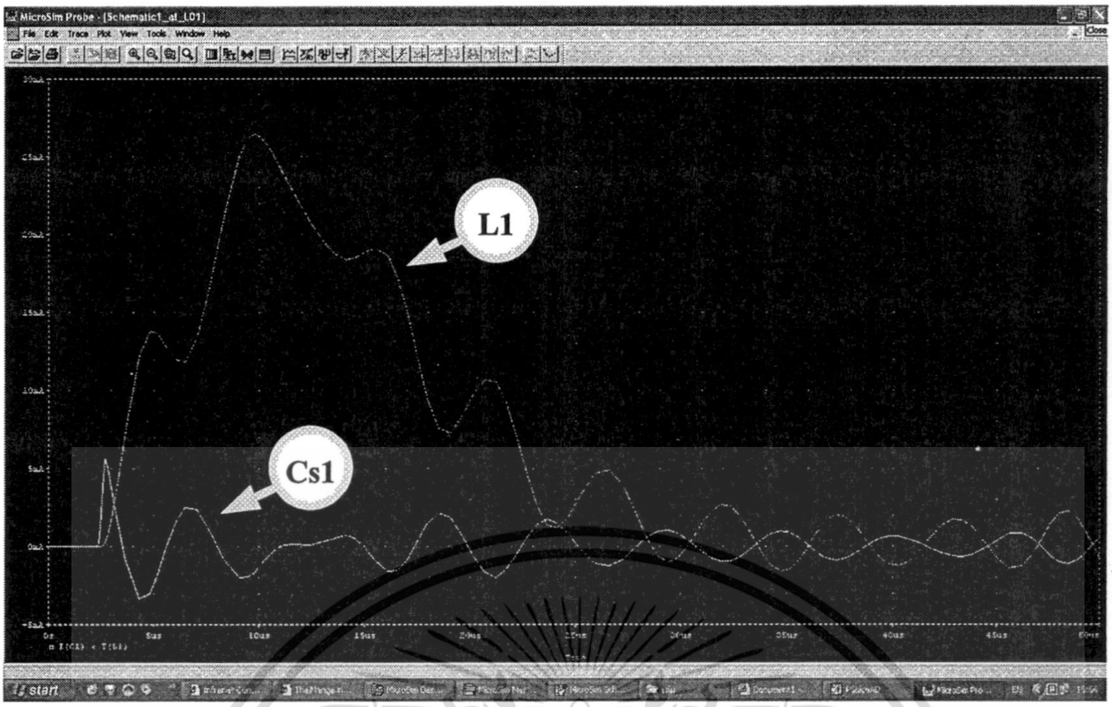


รูปที่ ข.1 วงจรจำลองการจ่ายสัญญาณ 3/7.5 ไมโครวินาทีเข้าวงจรสมมูลย์หม้อแปลงชุดที่ 1



รูปที่ ข.2 สัญญาณกระแส 3/7.5 ไมโครวินาทีจากวงจรกำเนิด

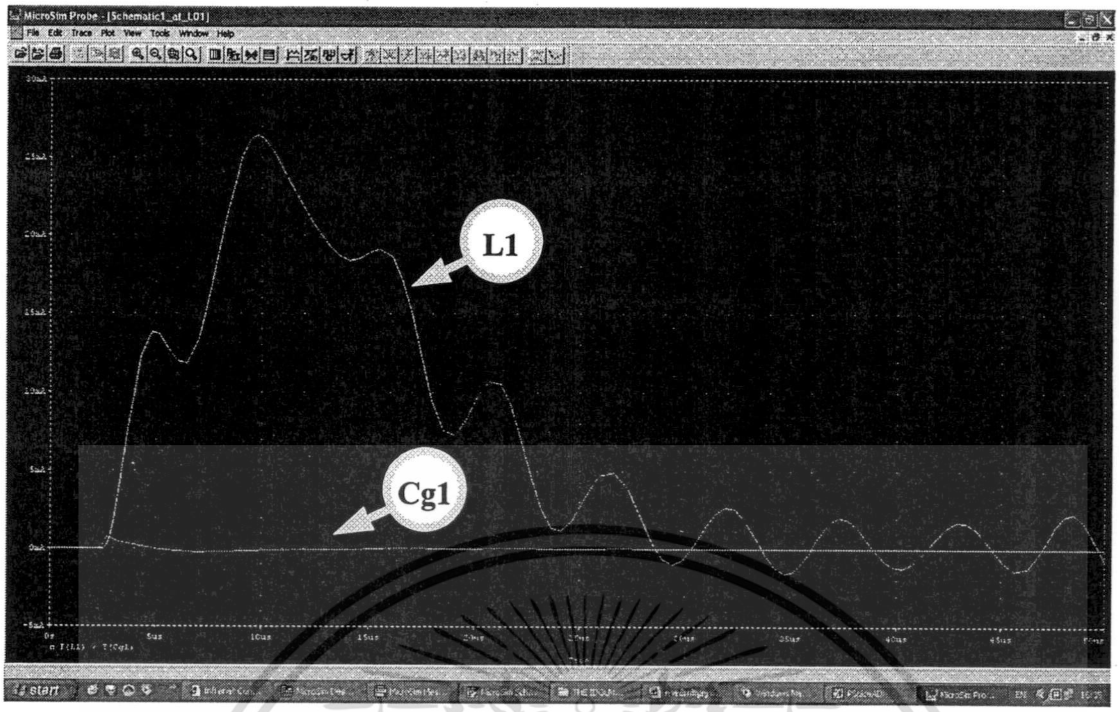
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ข.3 สัญญาณกระแสที่ไหลผ่านตัว $L1$ เทียบกับ C_s1

รูปที่ ข.4 สัญญาณกระแสที่ไหลผ่านตัว C_g1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

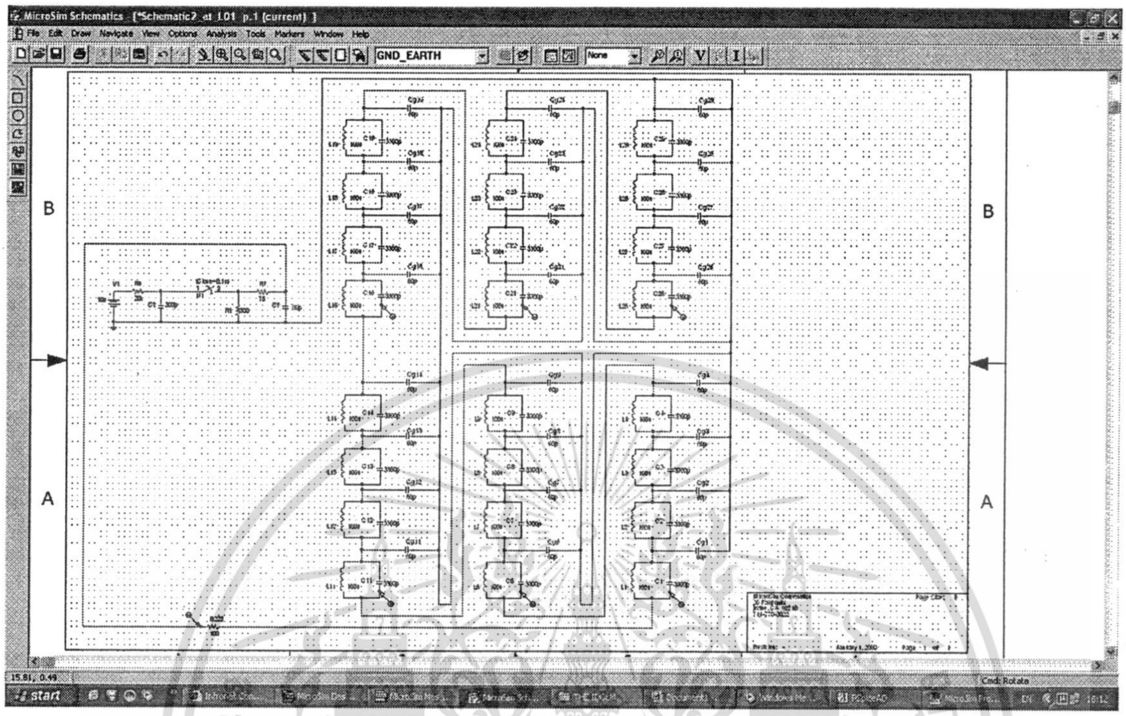


รูปที่ ข.5 สัญญาณกระแสที่ไหลผ่านตัว C_g1 เทียบกับ $L1$

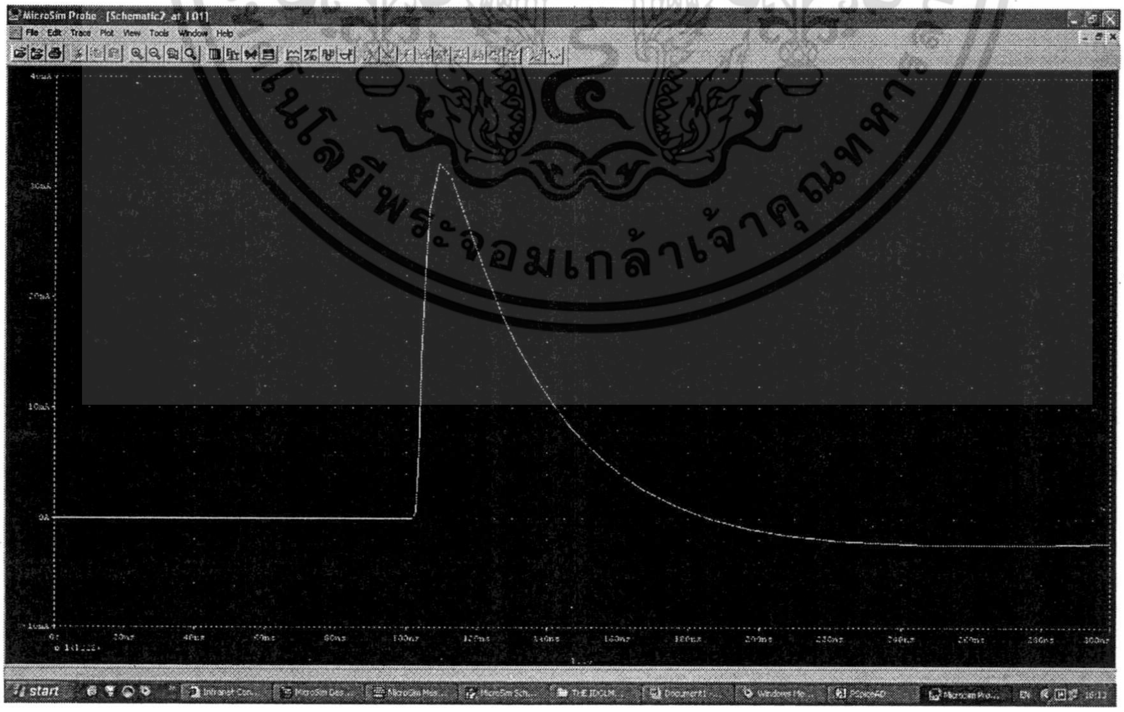
รูปที่ ข.6 สัญญาณกระแสที่ไหลผ่านตัว L ในชุดขดลวดที่ 1, 6, 11, 16, 21 และ 26

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข.2 การจำลองการจ่ายสัญญาณ PD จำลองช่วงเวลา 37.5/75 นาโนวินาทีเข้าทดสอบแบบวงจรสมมูลย์หม้อแปลงความถี่สูงที่ต้นชุดขดลวดที่ 1 ด้วยโปรแกรม PSpice

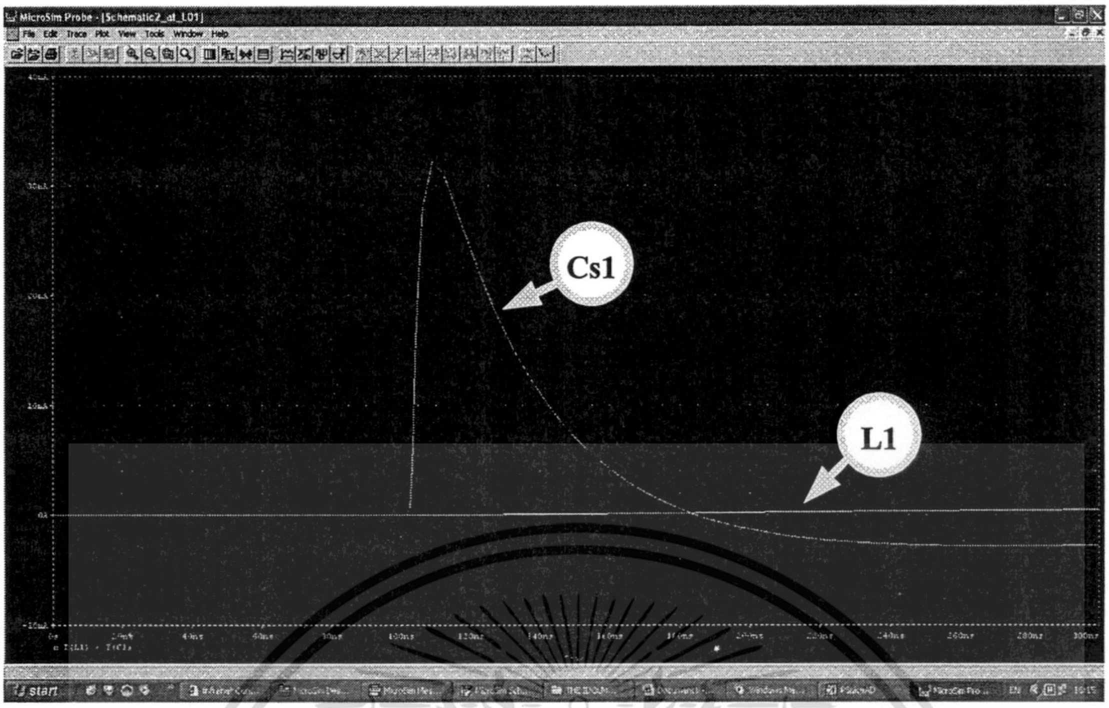


รูปที่ ข.7 วงจรจำลองการจ่ายสัญญาณ 37.5/75 นาโนวินาทีเข้าวงจรสมมูลย์หม้อแปลงชุดที่ 1

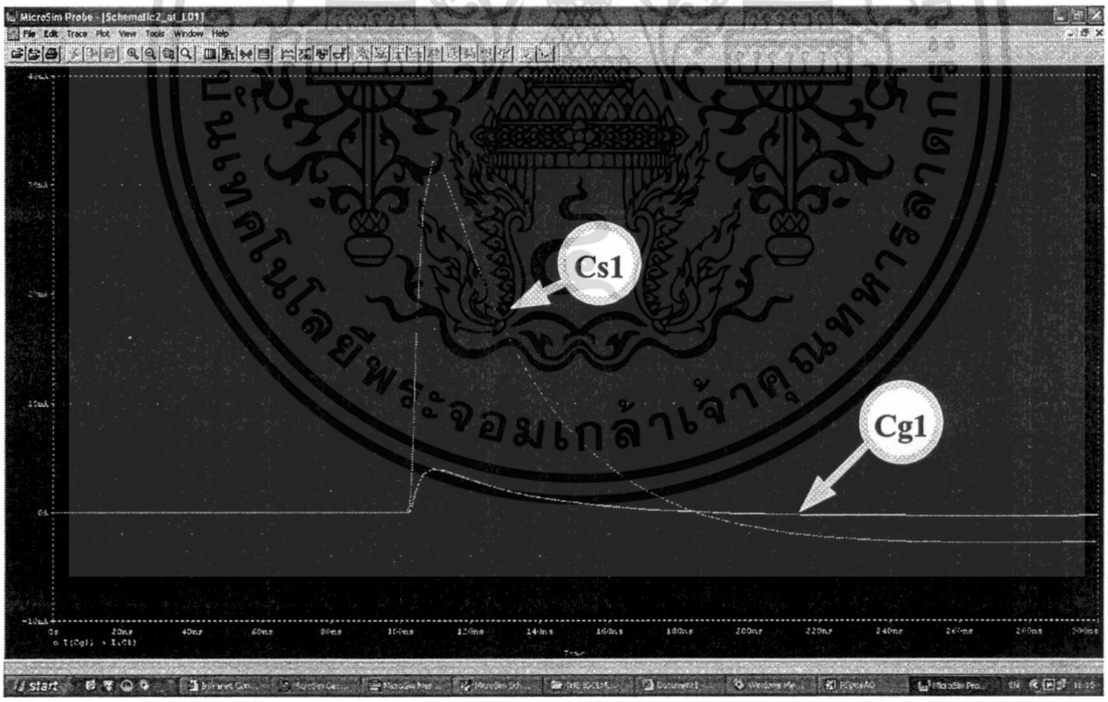


รูปที่ ข.8 สัญญาณกระแส 37.5/75 นาโนวินาทีจากวงจรกำเนิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

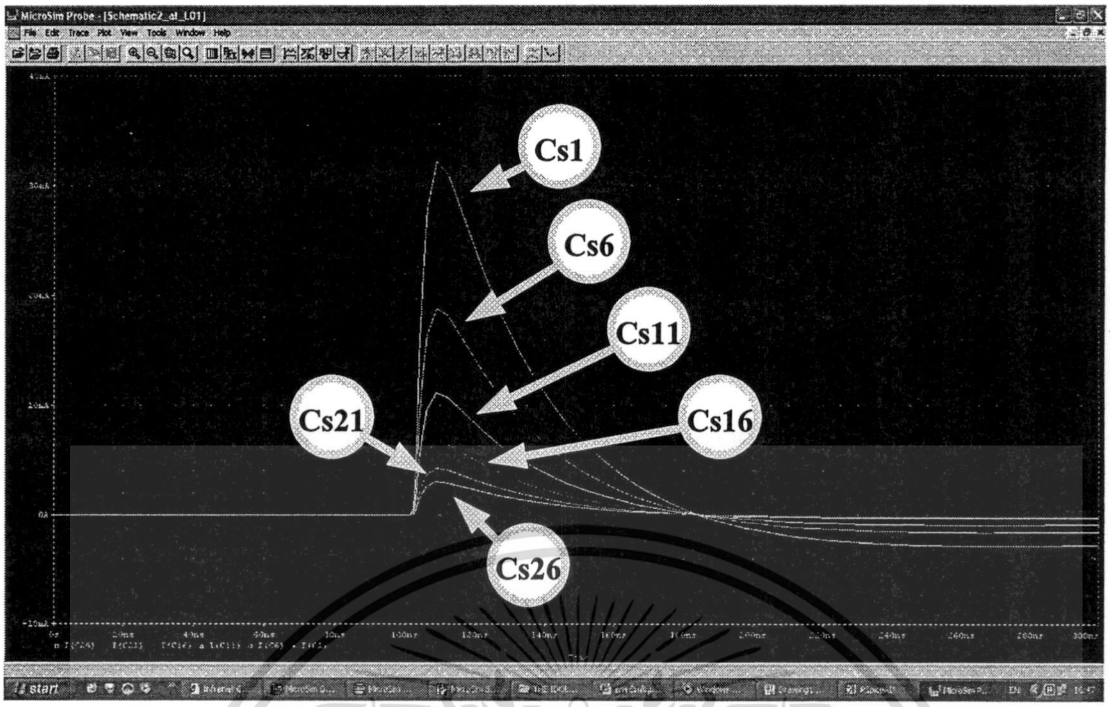


รูปที่ ข.9 สัญญาณกระแส 37.5/75 นาโนวินาทีที่ไหลผ่านตัว $C_s 1$ เทียบกับ $L1$



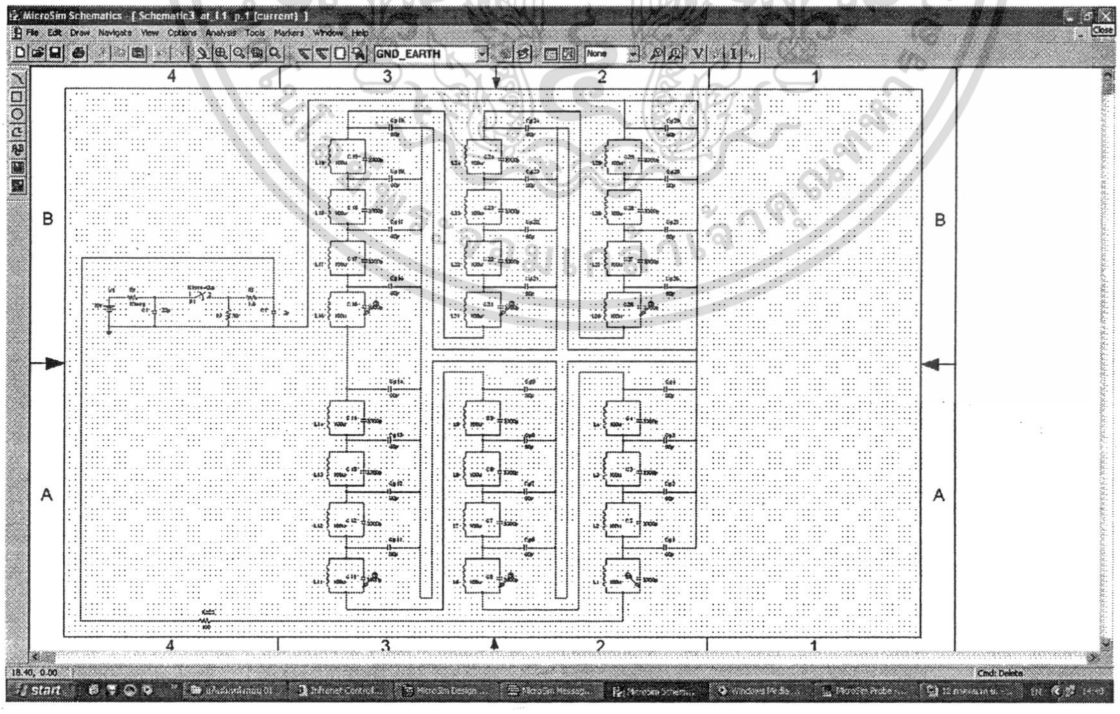
รูปที่ ข.10 สัญญาณกระแส 37.5/75 นาโนวินาทีที่ไหลผ่านตัว $C_s 1$ เทียบกับ $C_G 1$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



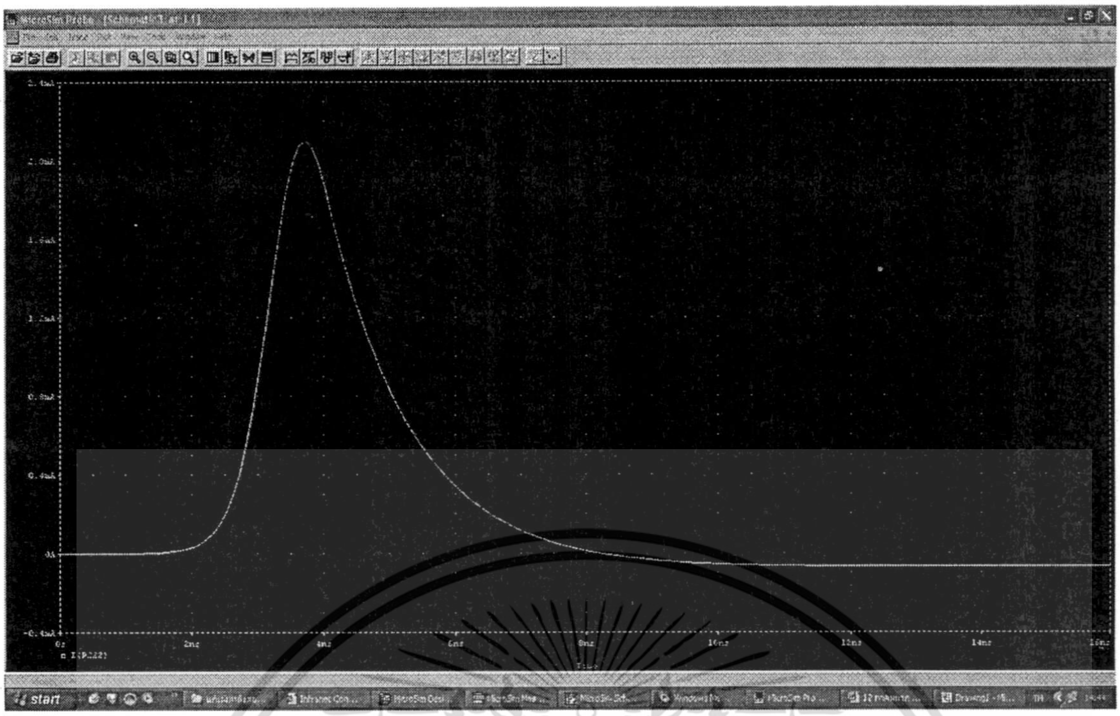
รูปที่ ข.11 สัญญาณ 37.5/75 นาโนวินาทีที่ไหลผ่านตัว C_s ในขดลวดที่ 1, 6, 11, 16, 21 และ 26

ข.3 การจำลองการจ่ายสัญญาณ PD จำลองช่วงเวลา 3.75/5 นาโนวินาทีเข้าทดสอบแบบวงจรสมมูลย์หม้อแปลงความถี่สูงที่ต้นชุดขดลวดที่ 1 ด้วยโปรแกรม PSpice

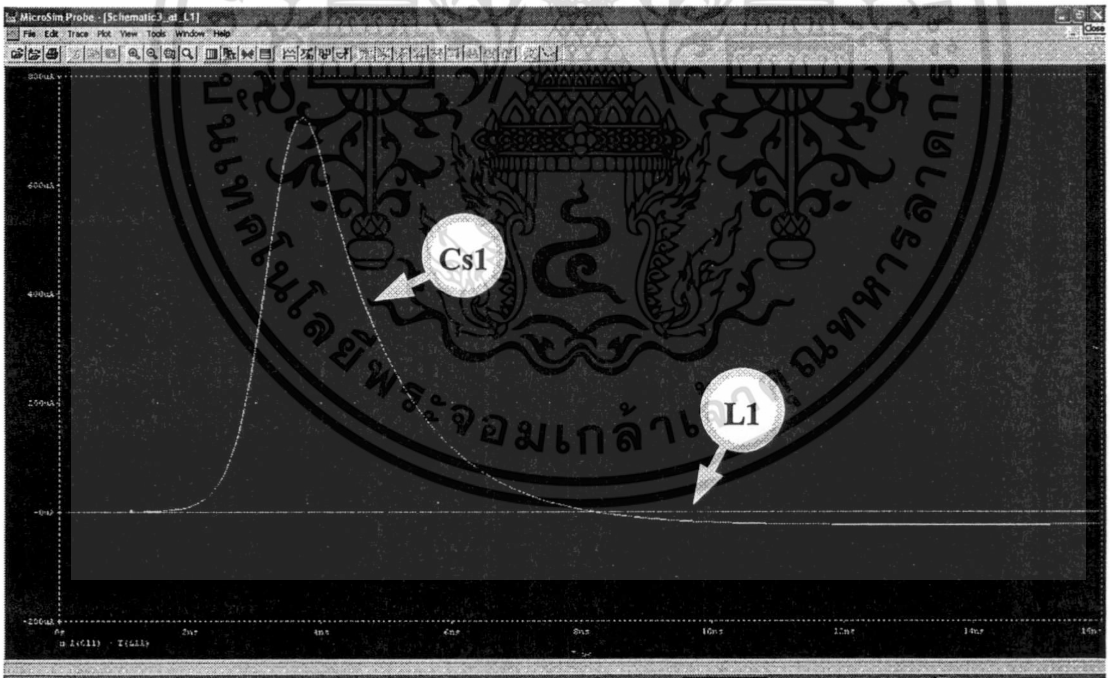


รูปที่ ข.12 วงจรจำลองการจ่ายสัญญาณ 3.75/5 นาโนวินาทีเข้าวงจรสมมูลย์หม้อแปลงชุดที่ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

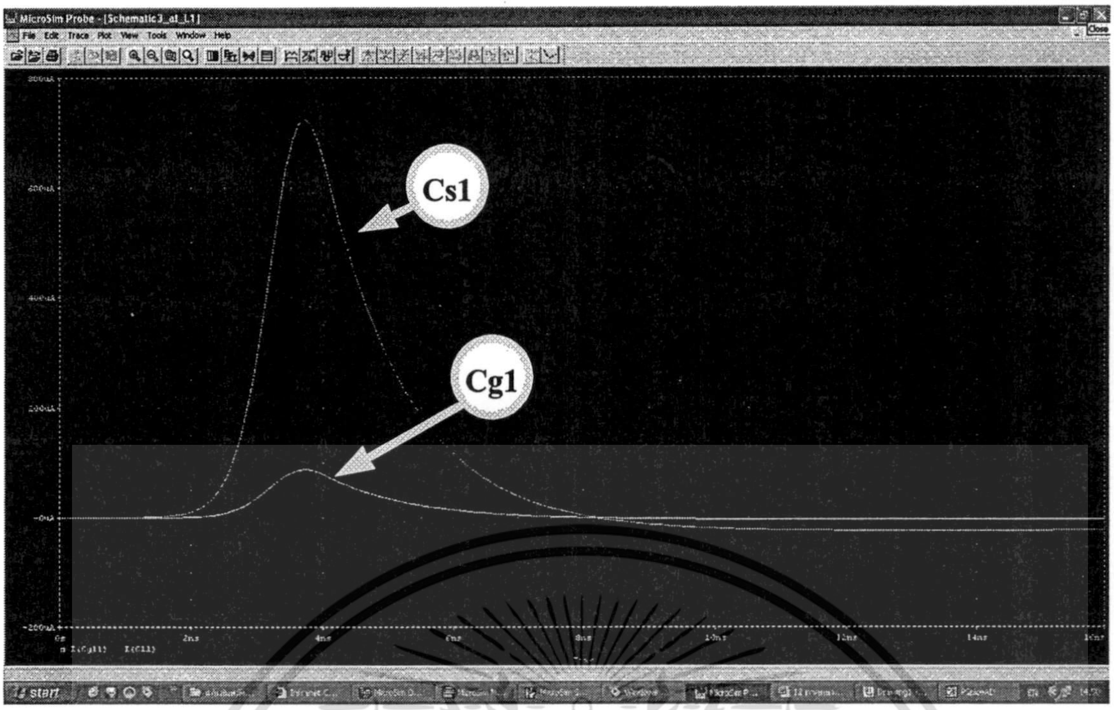


รูปที่ ข.13 สัญญาณกระแส 3.75/5 นาโนวินาทีจากวงจรกำเนิด

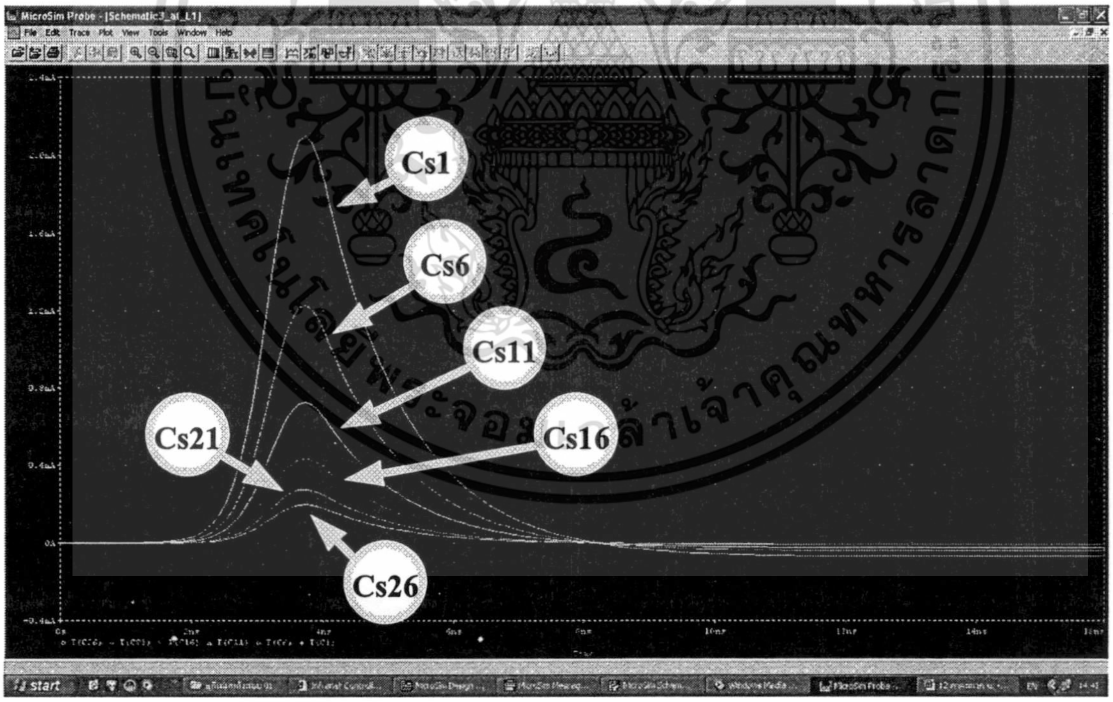


รูปที่ ข.14 สัญญาณกระแส 3.75/5 นาโนวินาทีที่ไหลผ่านตัว C_s1 เทียบกับ $L1$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



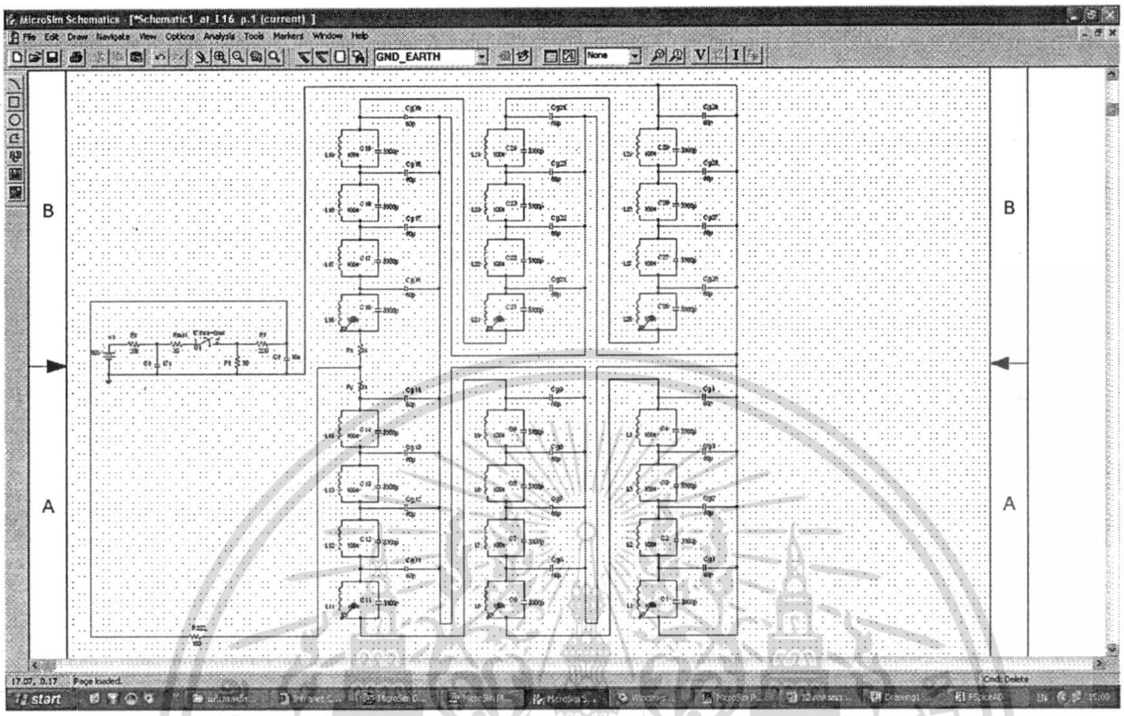
รูปที่ ข.15 สัญญาณกระแส 3.75/5 นาโนวินาทีที่ไหลผ่านตัว C_s 1 เทียบกับ C_G 1



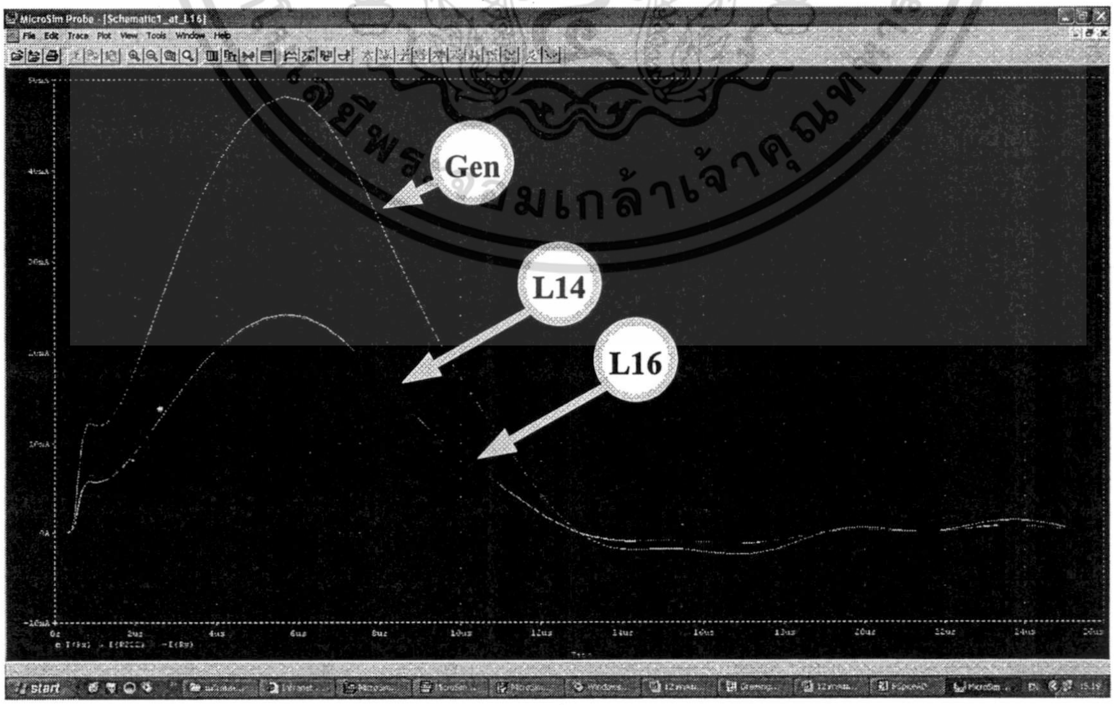
รูปที่ ข.16 สัญญาณกระแส 3.75/5 นาโนวินาทีที่ไหลผ่าน C_s ในขดลวดที่ 1, 6, 11, 16, 21 และ 26

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข.4 การจำลองการจ่ายสัญญาณ PD จำลองช่วงเวลา 3/7.5 ไมโครวินาทีเข้าทดสอบแบบวงจรสมมูลย์หม้อแปลงความถี่สูงที่ต้นชุดขดลวดที่ 16 ด้วยโปรแกรม PSpice

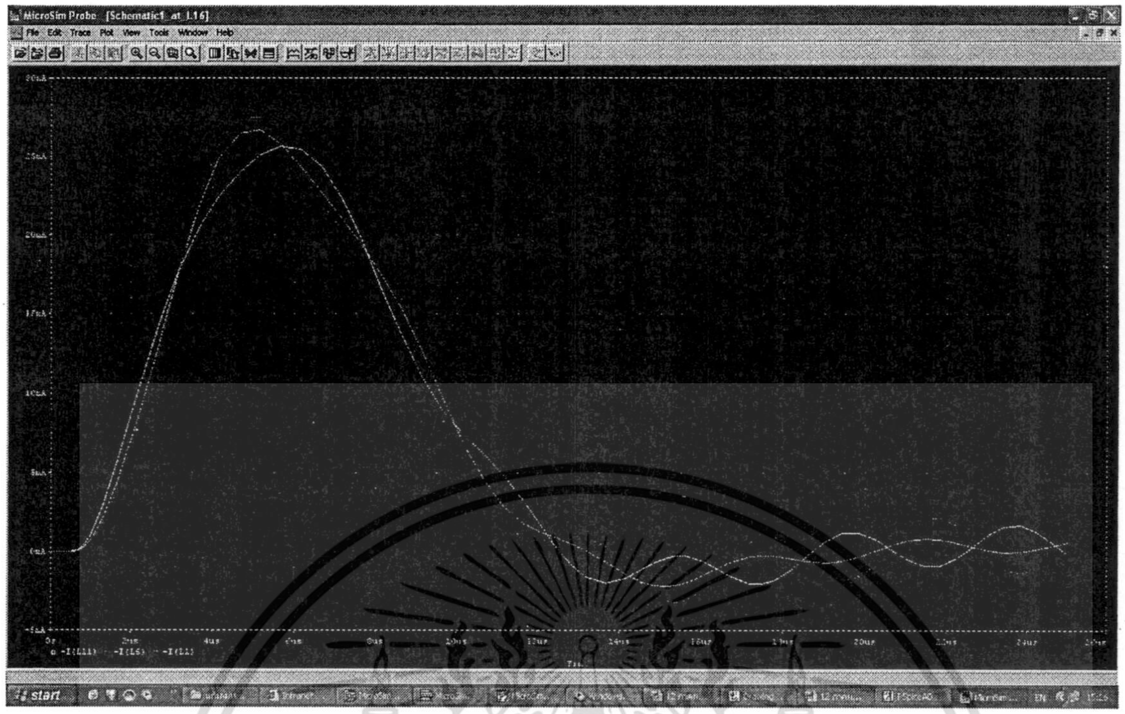


รูปที่ ข.17 วงจรจำลองการทดสอบจ่ายสัญญาณ 3/7.5ไมโครวินาทีเข้าวงจรสมมูลย์หม้อแปลงชุดที่ 16

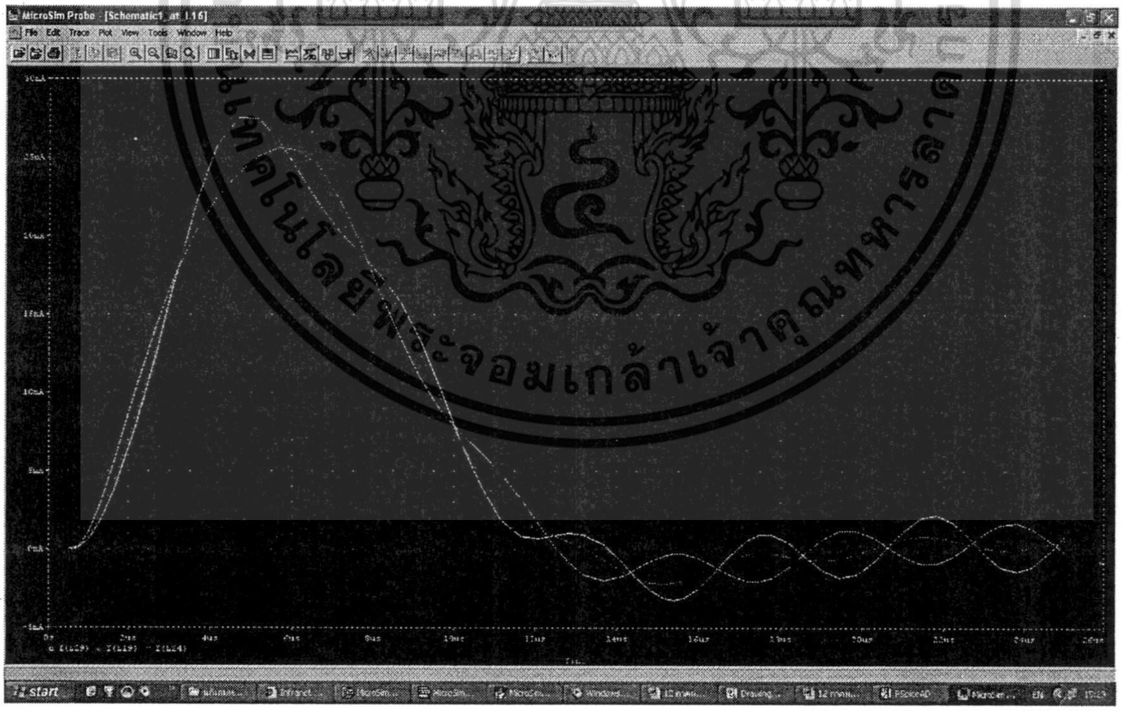


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ ข.18 สัญญาณกระแส 3/7.5 ไมโครวินาทีจากวงจรกำเนิด และสัญญาณที่ผ่าน *L* 14 และ *L* 16

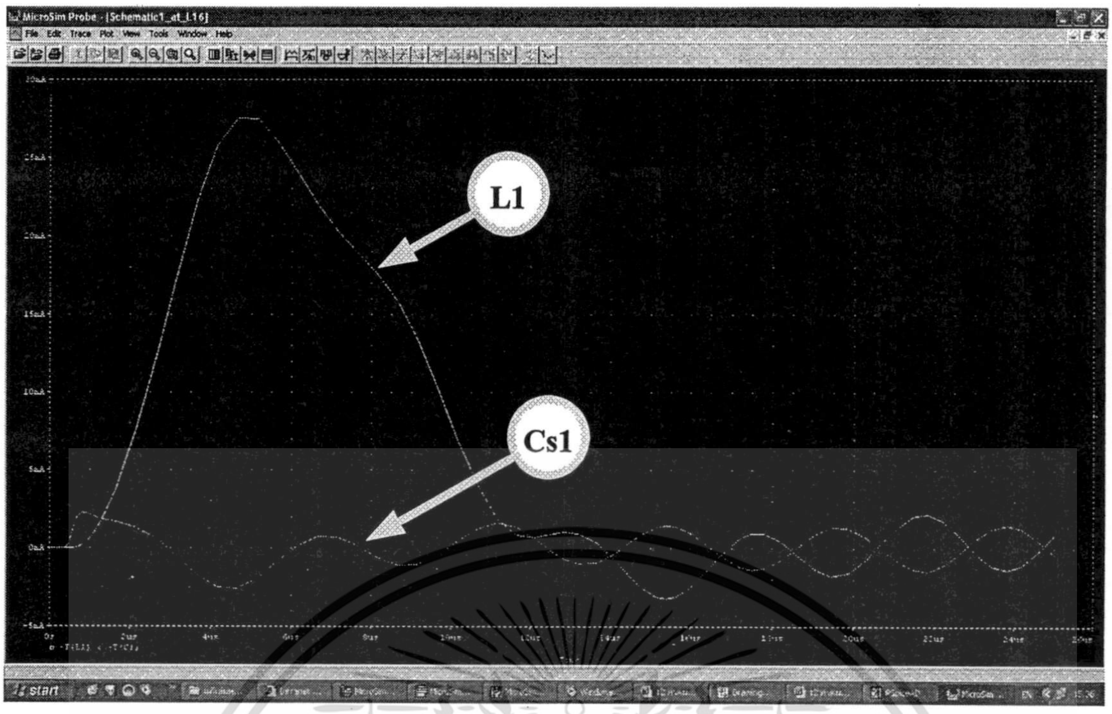


รูปที่ ข.19 สัญญาณกระแส 3/7.5 ไมโครวินาทีที่ผ่าน *L* 11, *L* 6 และ *L* 1

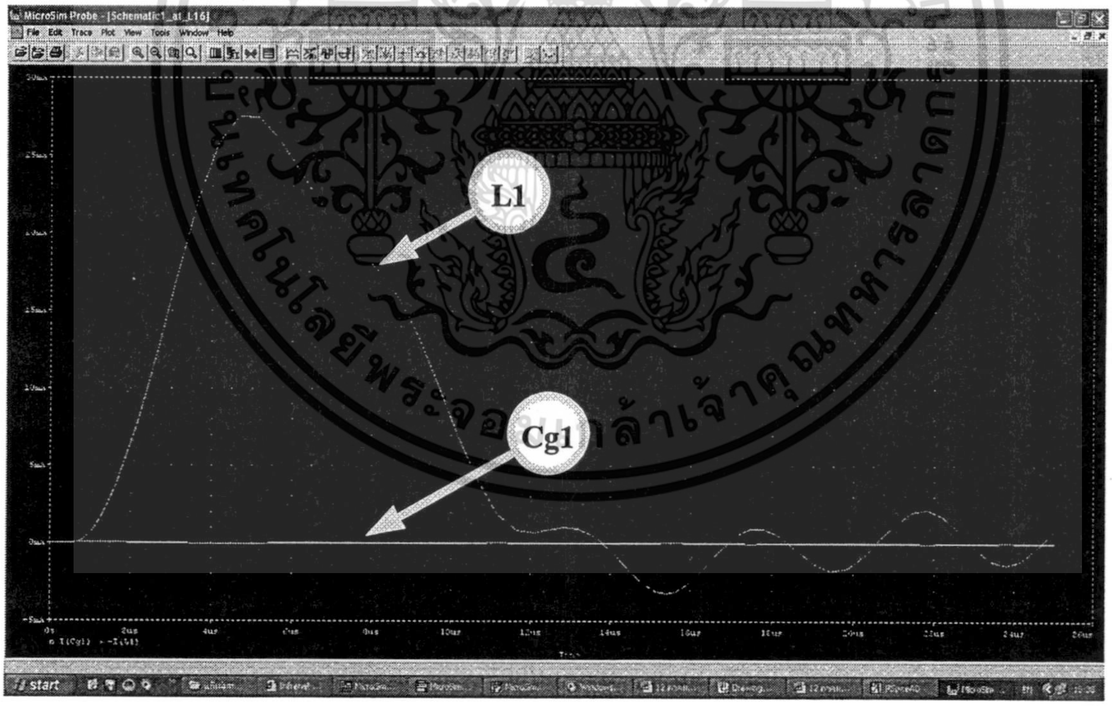


รูปที่ ข.20 สัญญาณกระแส 3/7.5 ไมโครวินาทีที่ผ่าน *L* 19, *L* 24 และ *L* 29

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



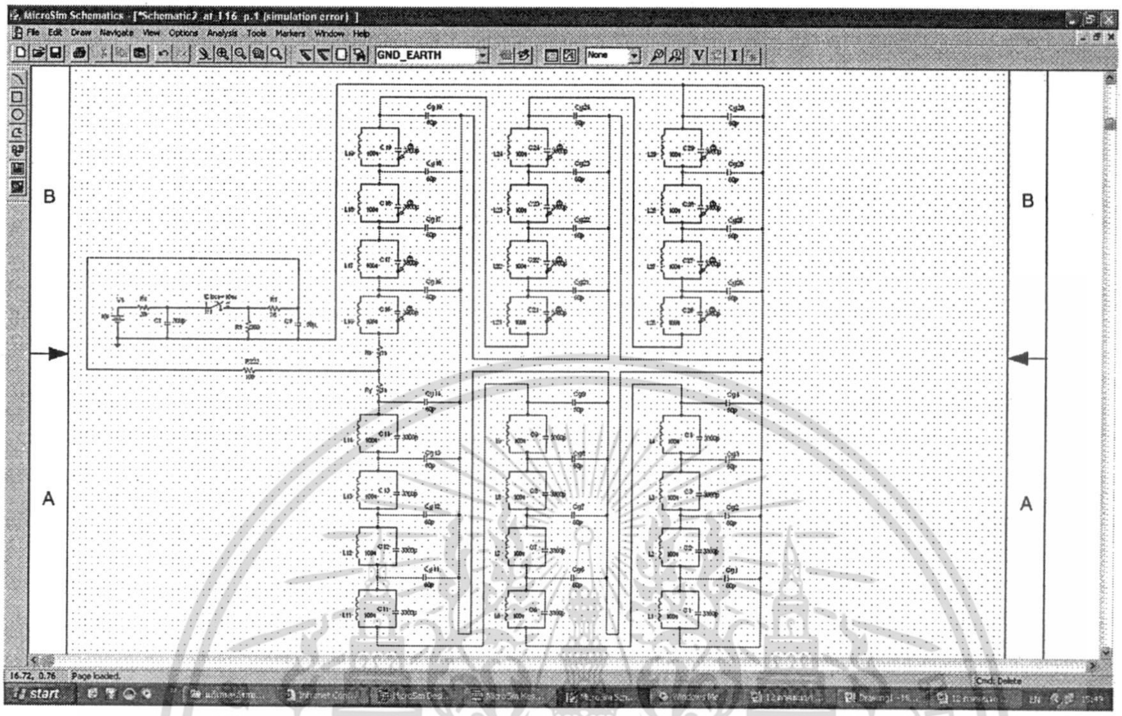
รูปที่ ข.21 สัญญาณกระแส 3/7.5 ไมโครวินาทีที่ผ่าน $L1$ เทียบกับ C_s1



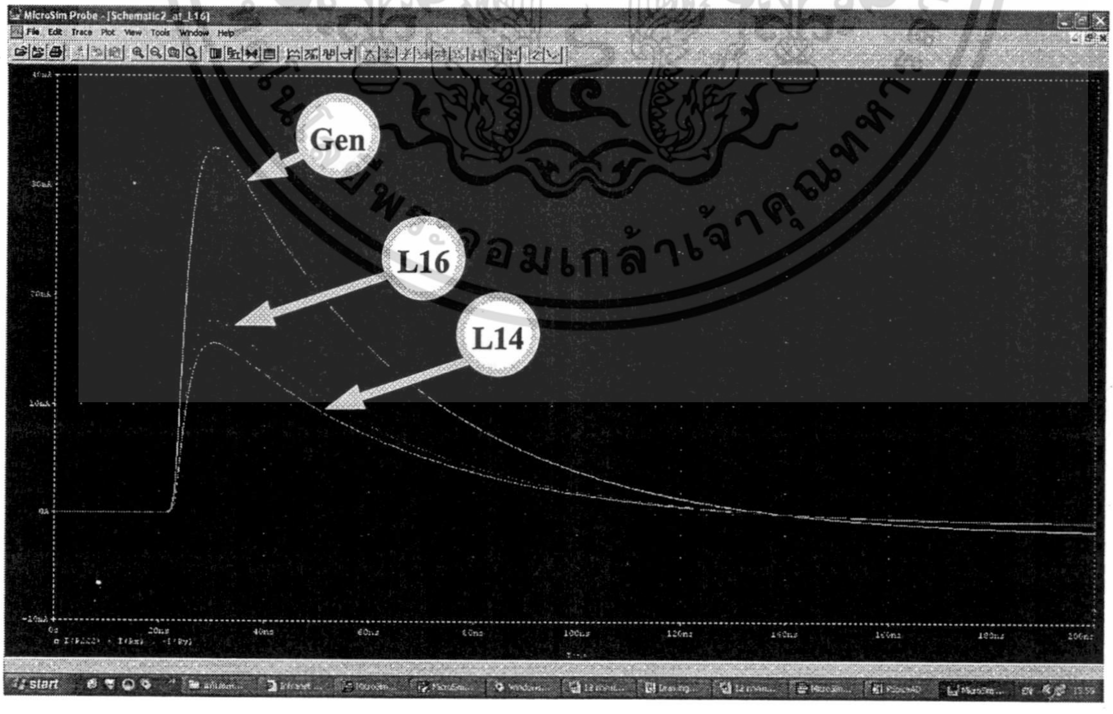
รูปที่ ข.22 สัญญาณกระแส 3/7.5 ไมโครวินาทีที่ผ่าน $L1$ เทียบกับ C_g1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข.5 การจำลองการจ่ายสัญญาณ PD จำลองช่วงเวลา 37.5/75 นาโนวินาทีเข้าทดสอบแบบวงจรสมมูลย์หม้อแปลงความถี่สูงที่ต้นชุดขดลวดที่ 16 ด้วยโปรแกรม PSpice

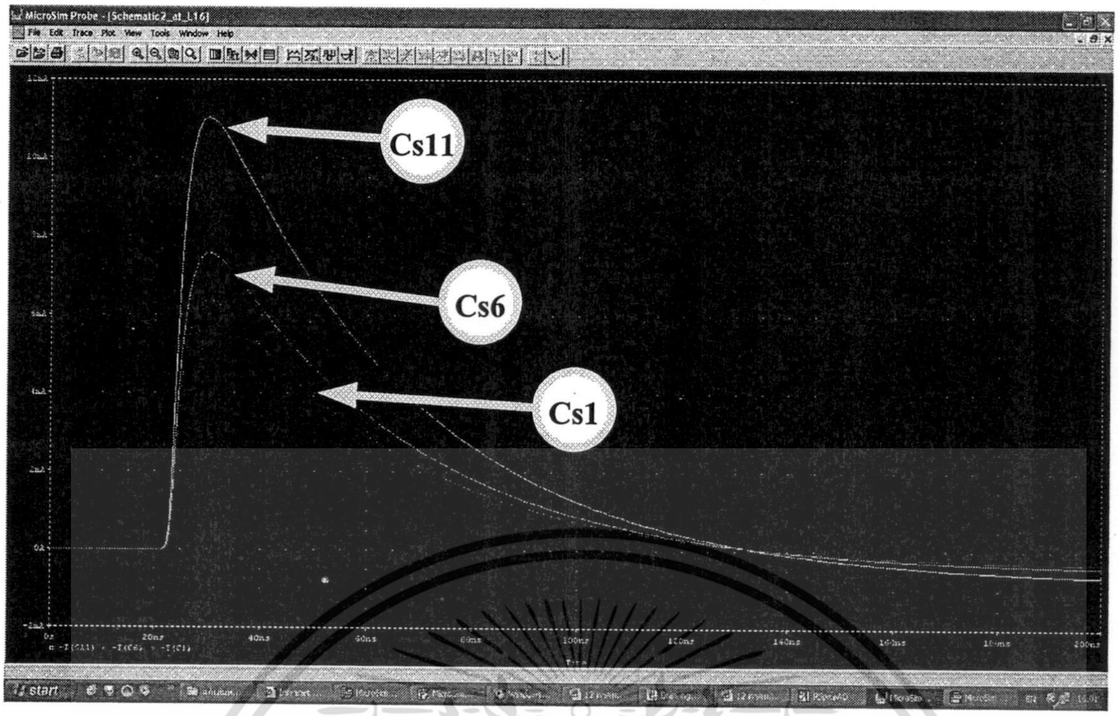


รูปที่ ข.23 วงจรจำลองการจ่ายสัญญาณ 37.5/75 นาโนวินาทีเข้าวงจรสมมูลย์หม้อแปลงชุดที่16

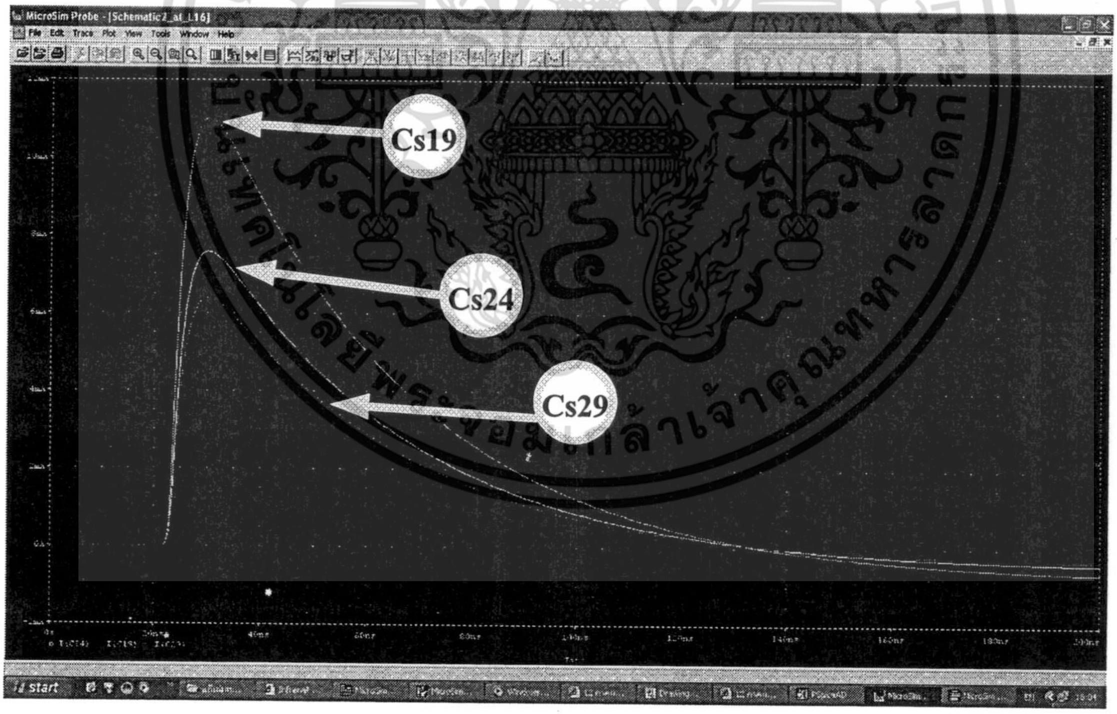


รูปที่ ข.24 สัญญาณ 37.5/75 นาโนวินาทีจากวงจรกำเนิดเทียบกับสัญญาณที่ผ่าน C_s14 และ C_s16

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

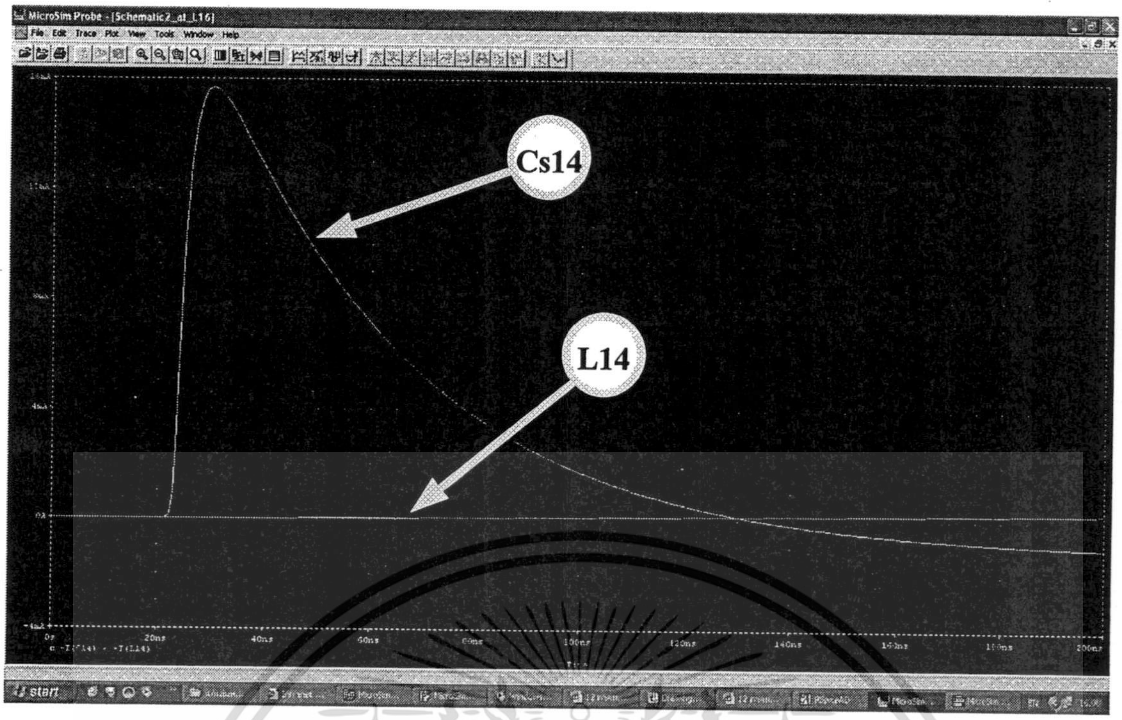


รูปที่ ข.25 สัญญาณกระแส 37.5/75 นาโนวินาทีที่ผ่าน C_s11, C_s6 และ C_s1

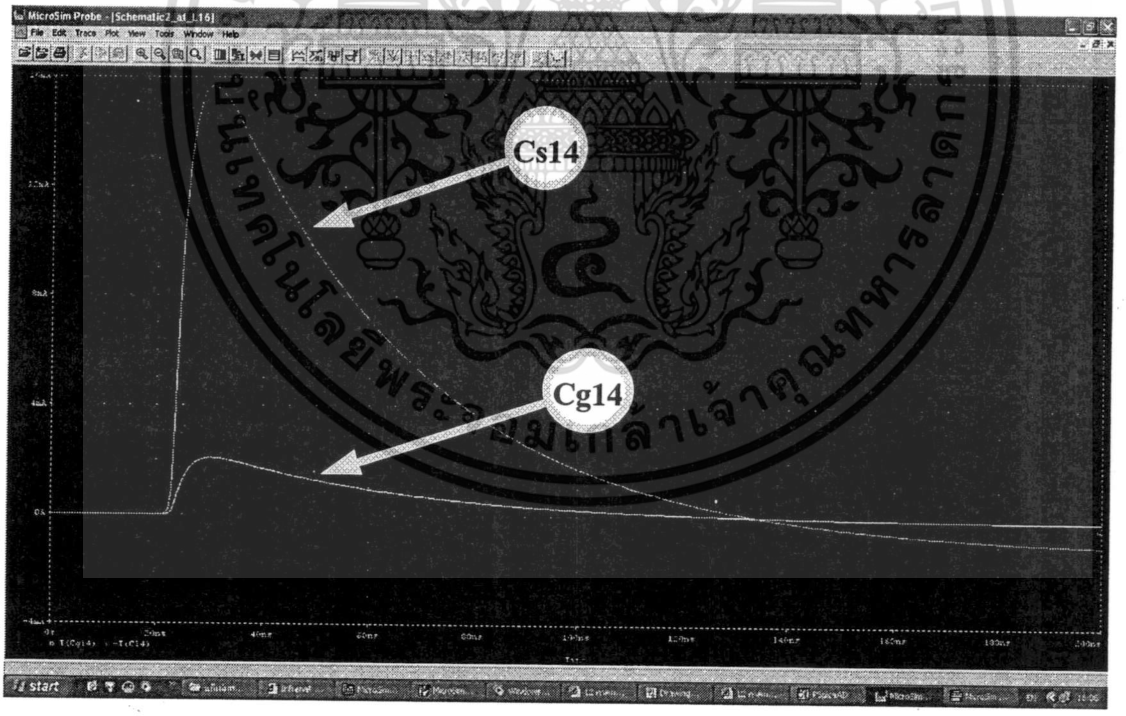


รูปที่ ข.26 สัญญาณกระแส 37.5/75 นาโนวินาทีที่ผ่าน C_s19, C_s24 และ C_s29

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



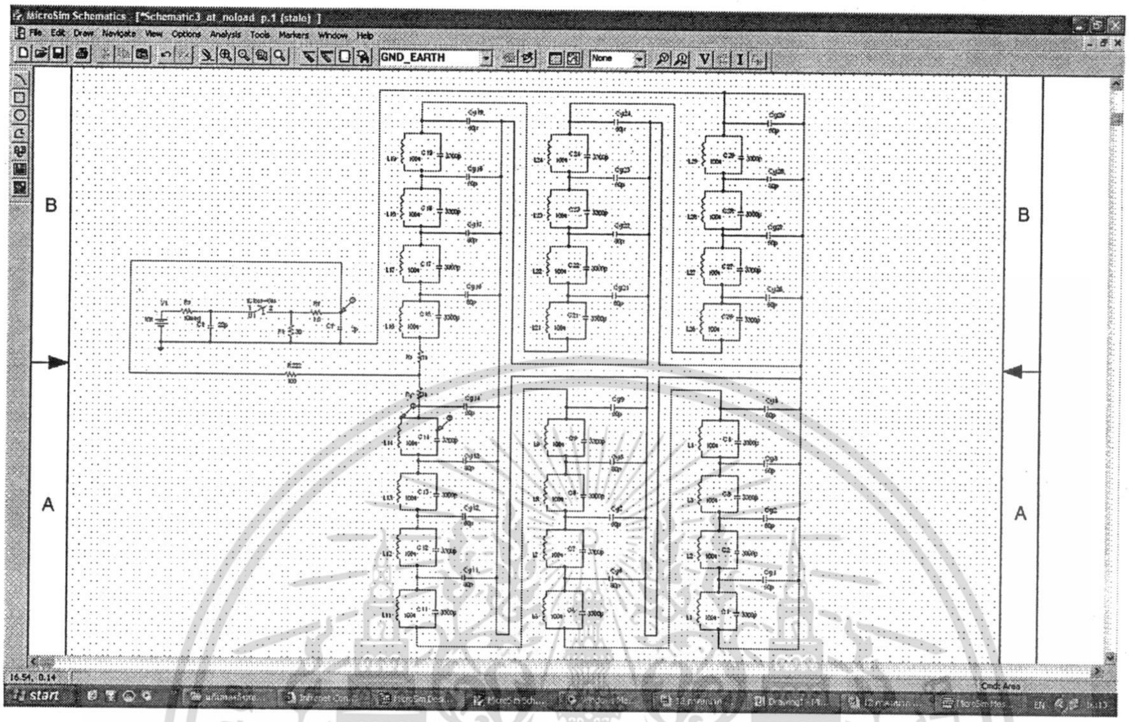
รูปที่ ข.27 สัญญาณกระแส 37.5/75 นาโนวินาทีที่ผ่าน C_s 14 เทียบกับ L 14



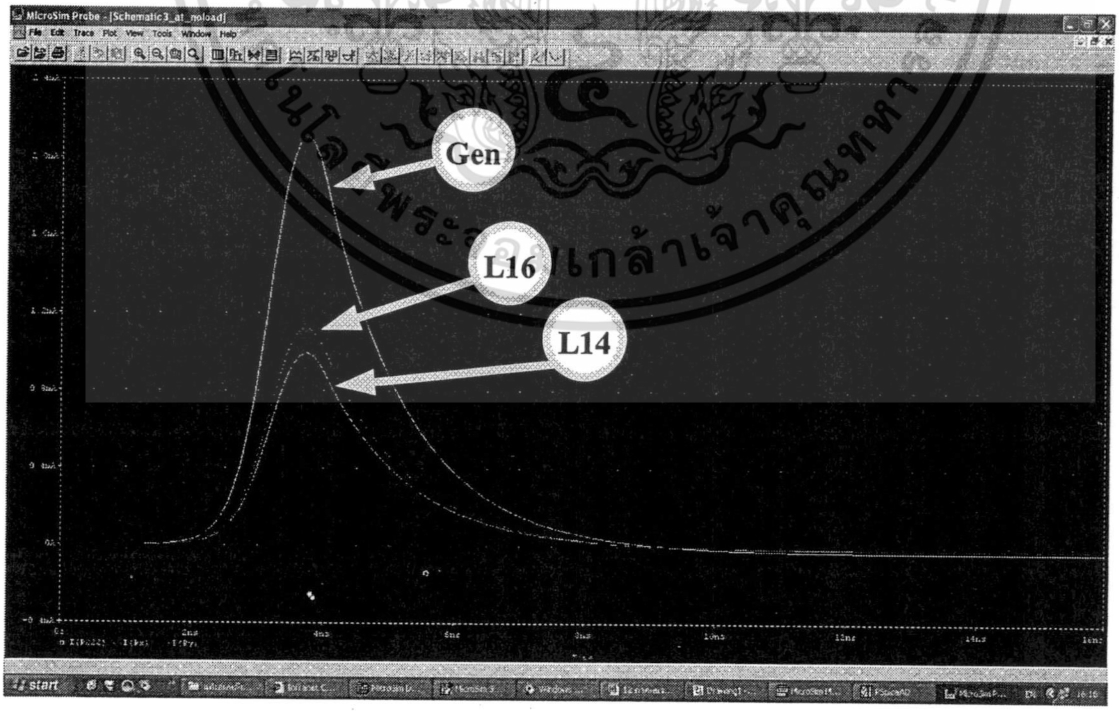
รูปที่ ข.28 สัญญาณกระแส 37.5/75 นาโนวินาทีที่ผ่าน C_s 14 เทียบกับ C_g 14

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข.6 การจำลองการจ่ายสัญญาณ PD จำลองช่วงเวลา 3.75/5 นาโนวินาทีเข้าทดสอบแบบวงจรสมมูลย์หม้อแปลงความถี่สูงที่ต้นชุดขดลวดที่ 16 ด้วยโปรแกรม PSpice

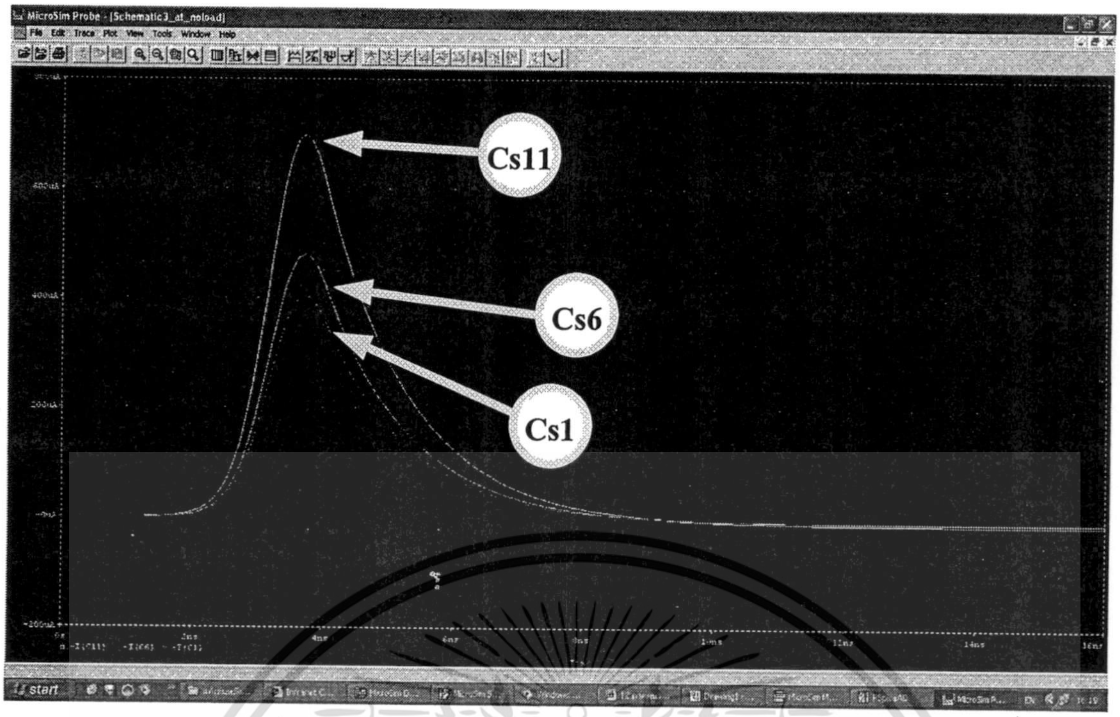


รูปที่ ข.29 วงจรจำลองการจ่ายสัญญาณ 3.75/5 นาโนวินาทีเข้าวงจรสมมูลย์หม้อแปลงชุดที่ 16

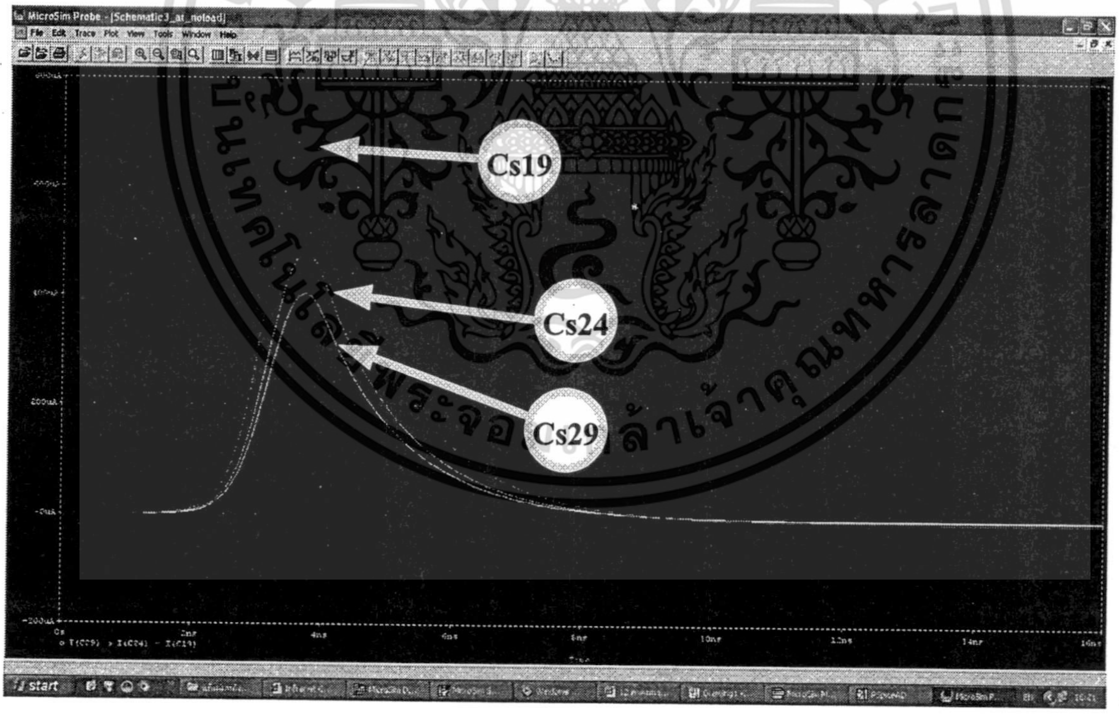


รูปที่ ข.30 สัญญาณ 3.75/5 นาโนวินาทีจากวงจรกำเนิดเทียบกับสัญญาณที่ผ่าน C_s 14 และ C_s 16

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

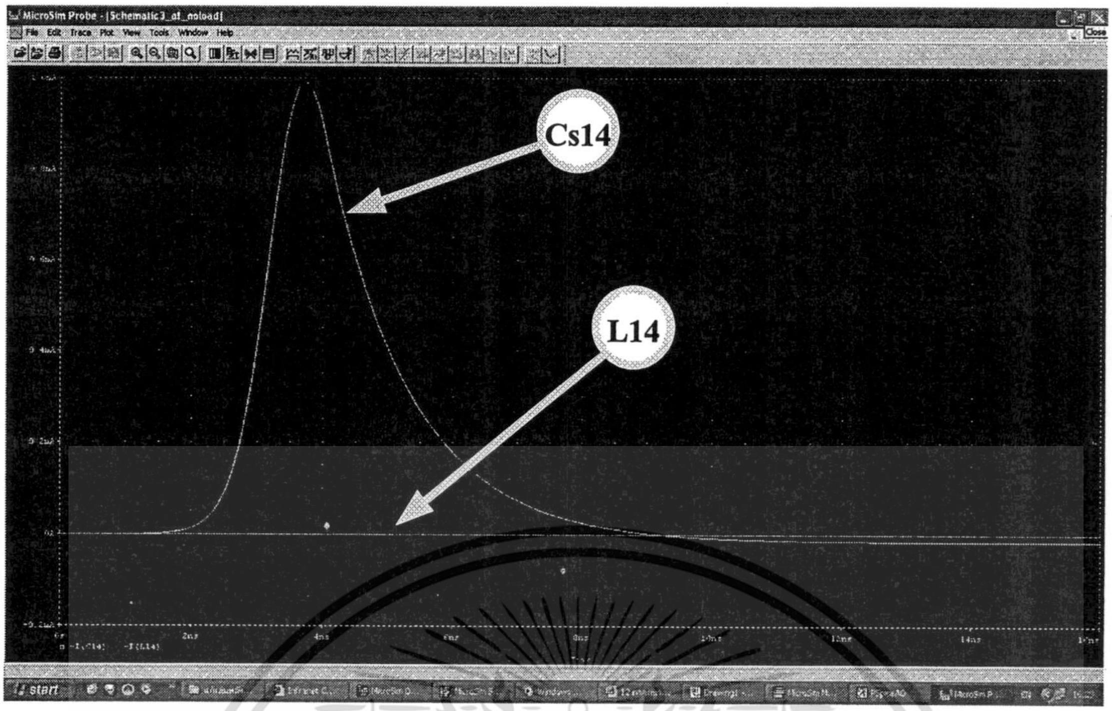


รูปที่ ข.31 สัญญาณกระแส 3.75/5 นาโนวินาทีที่ผ่าน C_s11, C_s6 และ C_s1

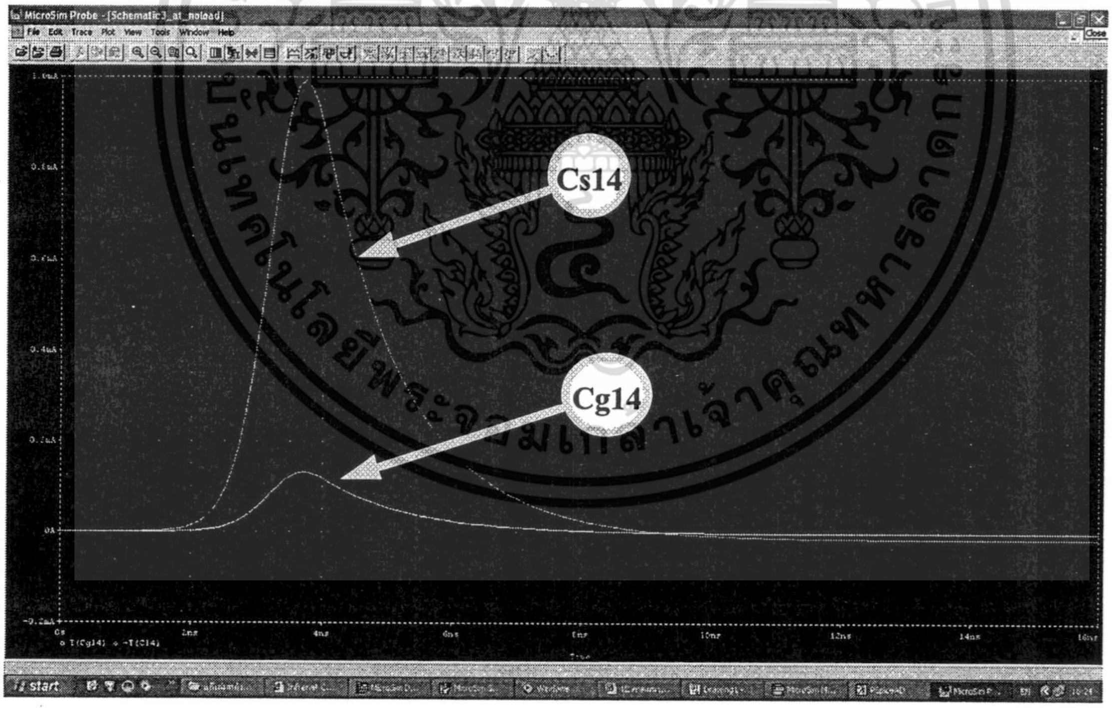


รูปที่ ข.32 สัญญาณกระแส 3.75/5 นาโนวินาทีที่ผ่าน C_s19, C_s24 และ C_s29

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ข.33 สัญญาณกระแส 3.75/5 นาโนวินาทีที่ผ่าน C_s 14 เทียบกับ L 14



รูปที่ ข.34 สัญญาณกระแส 3.75/5 นาโนวินาทีที่ผ่าน C_s 14 เทียบกับ C_g 14

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

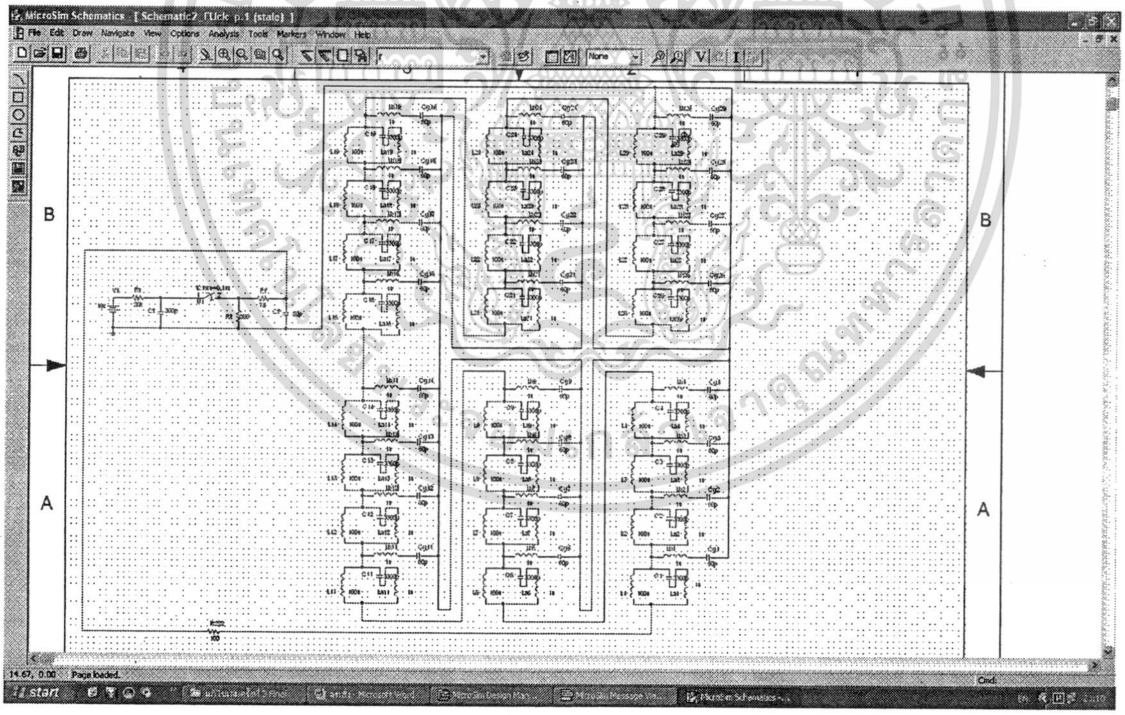
ภาคผนวก ค.

การจำลองเปรียบเทียบผลกระทบจากสายเชื่อมอุปกรณ์ด้วยโปรแกรม PSpice

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

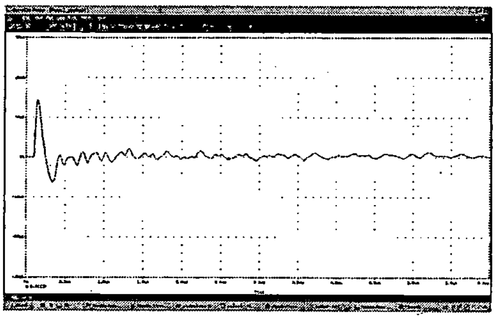
ค1 การจำลองเปรียบเทียบผลกระทบจากค่าความเหนี่ยวนำของสายเชื่อมอุปกรณ์ด้วย PSpice

จากการทดสอบทดสอบเปรียบเทียบผลการจำลองด้วยโปรแกรม Pspice กับผลการทดสอบจ่ายดิสชาร์จบางส่วนแบบ Trichel Pulse (Corona Discharge) ที่บริเวณต้นขดลวดในหัวข้อที่ 4.3.2 ทำให้สังเกตได้ว่ารูปสัญญาณที่ได้จากการจำลองด้วยโปรแกรม PSpice เปรียบเทียบกับการทดสอบจ่ายสัญญาณจำลองเข้าแบบจำลองวงจรสมมูลขดลวดหม้อแปลงความถี่สูงมีการแพร่กระจายของพัลส์สัญญาณไปในทิศทางเดียวกัน เพียงแต่รูปสัญญาณจากการทดสอบจะมีลักษณะผลตอบสนองในส่วนของสัญญาณออสซิลเลตที่แตกต่างกับการจำลองด้วยโปรแกรม PSpice ทั้งนี้เนื่องจากการจำลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ในหัวข้อที่ 4.3.2 และในภาคผนวก ข. จะจำลองเพื่อวิเคราะห์ถึงทิศทางเคลื่อนที่ของสัญญาณโดยไม่พิจารณาถึงผลของค่าความเหนี่ยวนำภายของสายเชื่อมอุปกรณ์ในชุดทดสอบวงจรสมมูลหม้อแปลงไฟฟ้าความถี่สูงจึงทำให้รูปสัญญาณที่จำลองได้ไม่มีส่วนที่เกิดการออสซิลเลต ดังนั้นจึงได้จัดทำภาคผนวก ค. เพื่อจำลองถึงผลกระทบของค่าความเหนี่ยวนำในสายเชื่อมอุปกรณ์ โดยการใส่ค่าความเหนี่ยวนำที่มีค่า 1 μH ไว้ในทุกจุดที่มีการต่อสายเชื่อมอุปกรณ์ลงในการจำลองด้วยโปรแกรม PSpice ดังในรูปที่ ค.1 และได้ผลการจำลองพร้อมเปรียบเทียบกับผลทดสอบในหัวข้อที่ 4.3.2 ไว้ดังในรูปที่ ค.2 ถึง ค.50

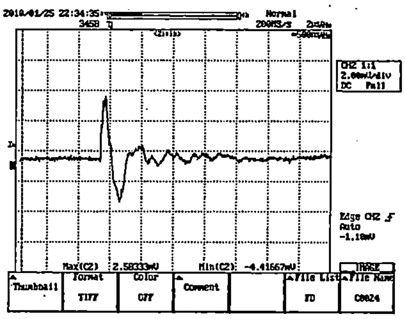


รูปที่ ค.1 วงจรจำลองการจ่ายสัญญาณ 37.5/75 นาโนวินาทีเข้าวงจรสมมูลย์หม้อแปลงชุดที่ 1 โดยมีการต่อค่าความเหนี่ยวนำภายในสายเชื่อมอุปกรณ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

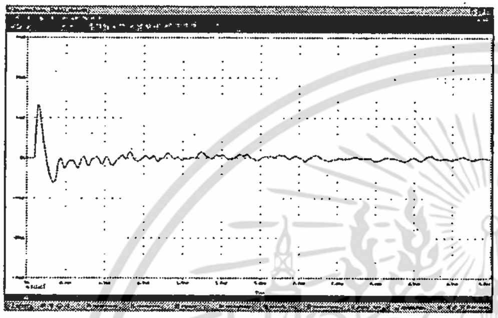


ก. ผลการจำลองด้วย PSpice

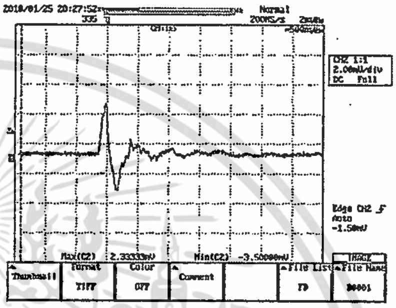


ข. ผลการทดสอบจริง

รูปที่ ค.2 เปรียบเทียบผลการจำลอง และผลการทดสอบจุดวัดที่ 1 ในหัวข้อที่ 4.3.2

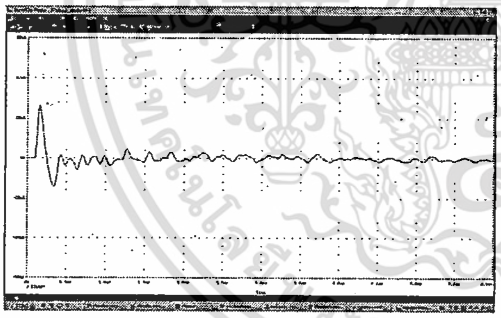


ก. ผลการจำลองด้วย PSpice

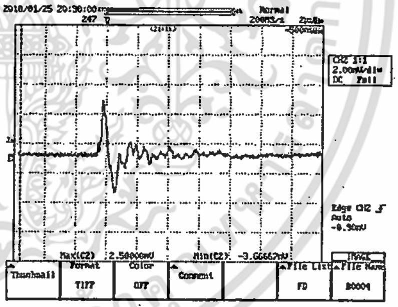


ข. ผลการทดสอบจริง

รูปที่ ค.3 เปรียบเทียบผลการจำลอง และผลการทดสอบจุดวัดที่ 2 (ชุดที่ 1)ในหัวข้อที่ 4.3.2

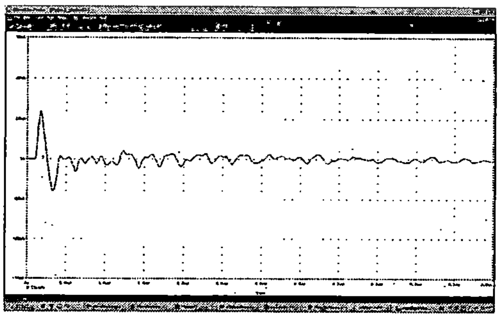


ก. ผลการจำลองด้วย PSpice

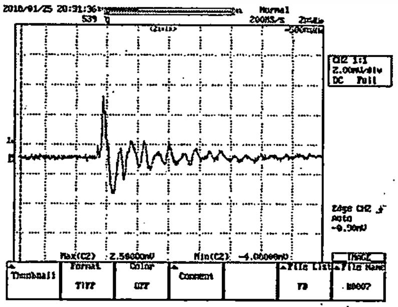


ข. ผลการทดสอบจริง

รูปที่ ค.4 เปรียบเทียบผลการจำลอง และผลการทดสอบจุดวัดที่ 2 (ชุดที่ 2)ในหัวข้อที่ 4.3.2



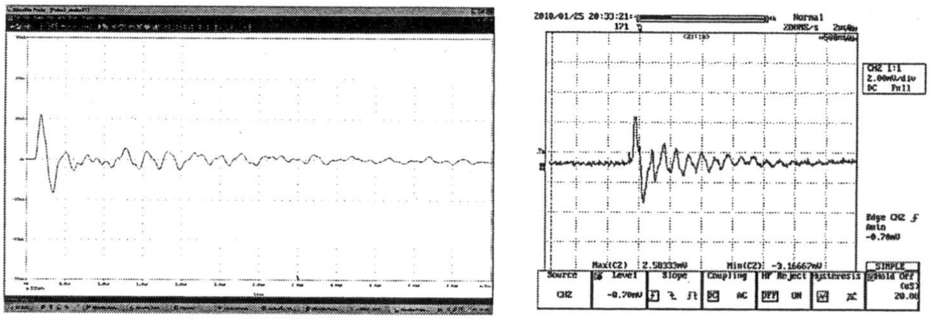
ก. ผลการจำลองด้วย PSpice



ข. ผลการทดสอบจริง

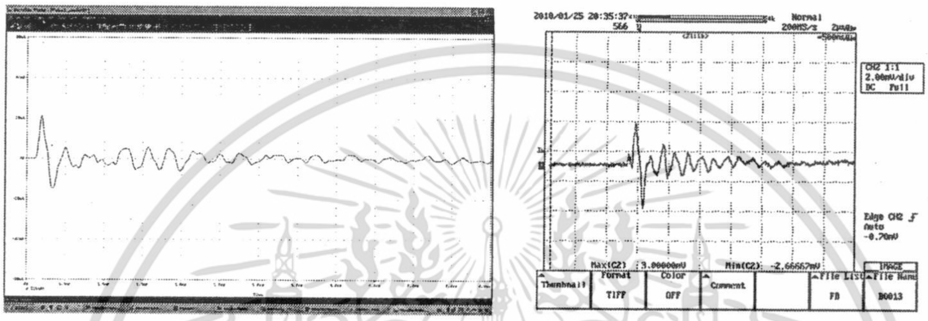
รูปที่ ค.5 เปรียบเทียบผลการจำลอง และผลการทดสอบจุดวัดที่ 2 (ชุดที่ 3)ในหัวข้อที่ 4.3.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



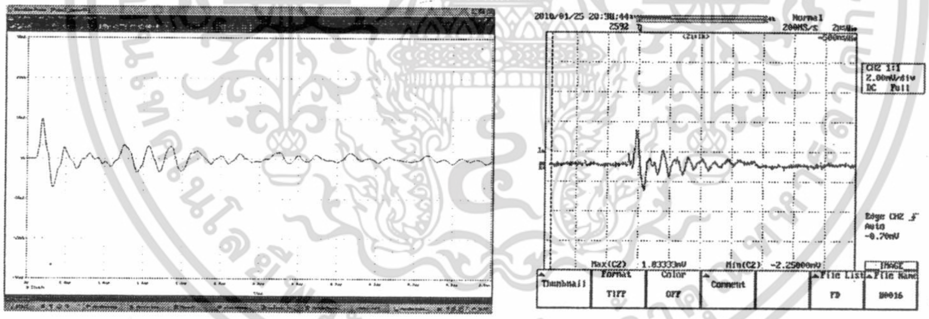
ก. ผลการจำลองด้วย PSpice ข. ผลการทดสอบจริง

รูปที่ ค.6 เปรียบเทียบผลการจำลอง และผลการทดสอบจุดวัดที่ 2 (ชุดที่ 4)ในหัวข้อที่ 4.3.2



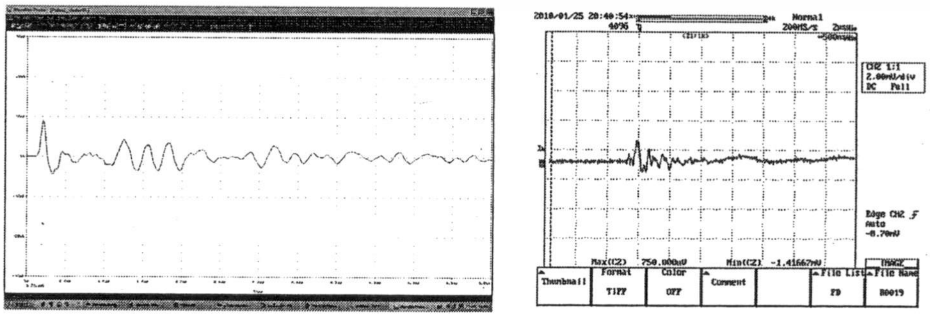
ก. ผลการจำลองด้วย PSpice ข. ผลการทดสอบจริง

รูปที่ ค.7 เปรียบเทียบผลการจำลอง และผลการทดสอบจุดวัดที่ 2 (ชุดที่ 6)ในหัวข้อที่ 4.3.2



ก. ผลการจำลองด้วย PSpice ข. ผลการทดสอบจริง

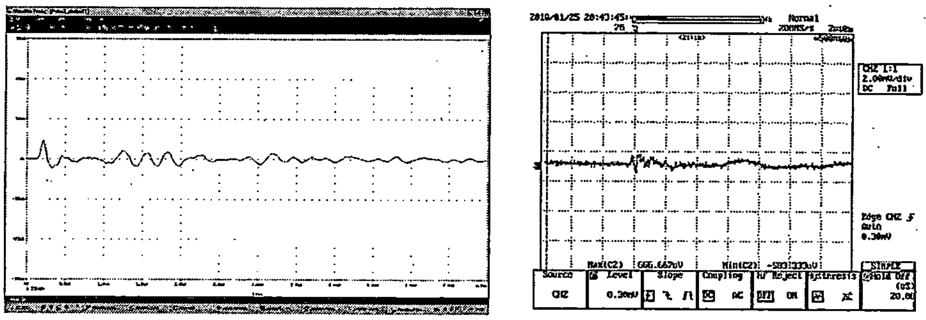
รูปที่ ค.8 เปรียบเทียบผลการจำลอง และผลการทดสอบจุดวัดที่ 2 (ชุดที่ 7)ในหัวข้อที่ 4.3.2



ก. ผลการจำลองด้วย PSpice ข. ผลการทดสอบจริง

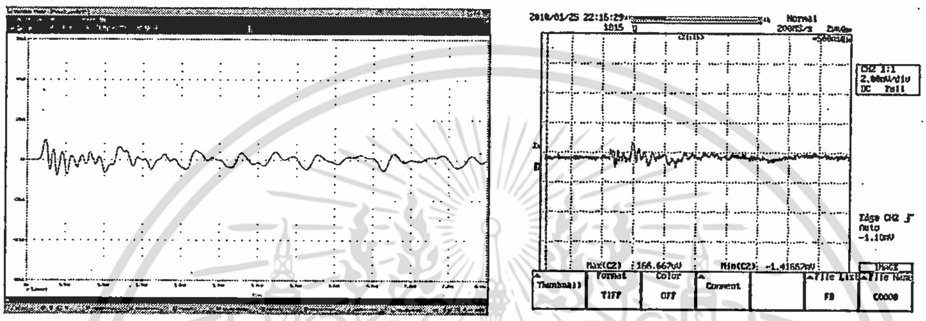
รูปที่ ค.9 เปรียบเทียบผลการจำลอง และผลการทดสอบจุดวัดที่ 2 (ชุดที่ 8)ในหัวข้อที่ 4.3.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



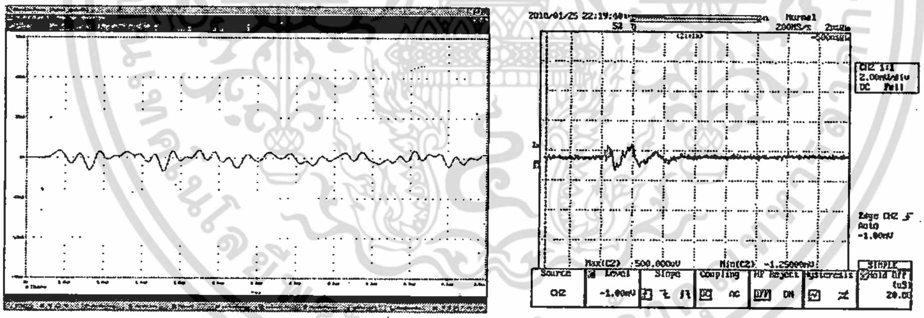
ก. ผลการจำลองด้วย PSpice ข. ผลการทดสอบจริง

รูปที่ ค.10 เปรียบเทียบผลการจำลอง และผลการทดสอบจุดวัดที่ 2 (ชุดที่ 9)ในหัวข้อที่ 4.3.2



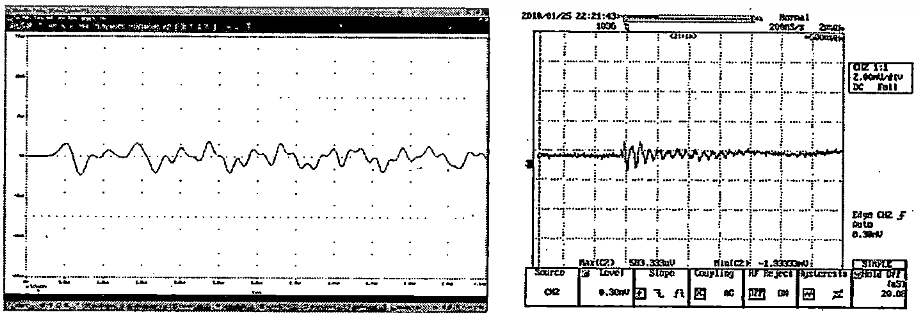
ก. ผลการจำลองด้วย PSpice ข. ผลการทดสอบจริง

รูปที่ ค.11 เปรียบเทียบผลการจำลอง และผลการทดสอบจุดวัดที่ 2 (ชุดที่ 14)ในหัวข้อที่ 4.3.2



ก. ผลการจำลองด้วย PSpice ข. ผลการทดสอบจริง

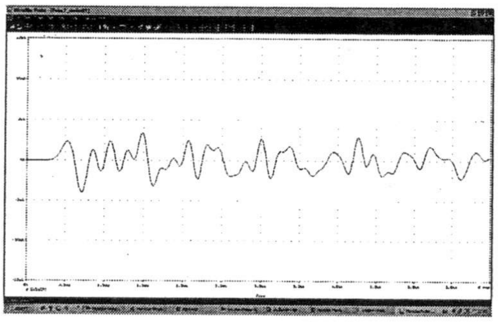
รูปที่ ค.12 เปรียบเทียบผลการจำลอง และผลการทดสอบจุดวัดที่ 2 (ชุดที่ 24)ในหัวข้อที่ 4.3.2



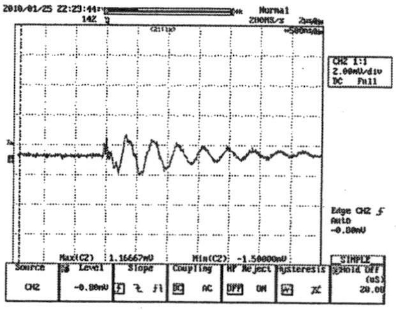
ก. ผลการจำลองด้วย PSpice ข. ผลการทดสอบจริง

รูปที่ ค.13 เปรียบเทียบผลการจำลอง และผลการทดสอบจุดวัดที่ 2 (ชุดที่ 28)ในหัวข้อที่ 4.3.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

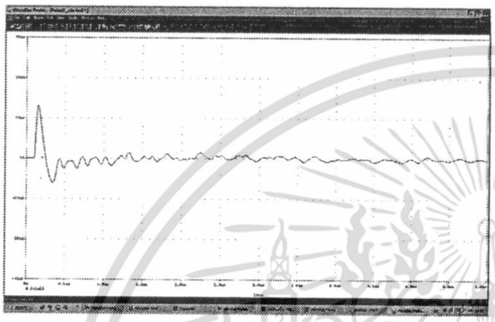


ก. ผลการจำลองด้วย PSpice

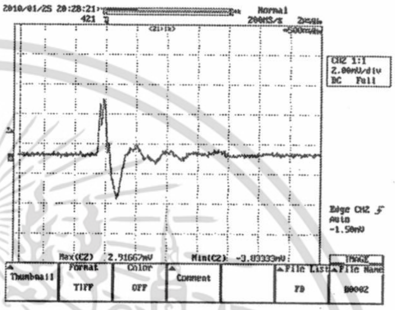


ข. ผลการทดสอบจริง

รูปที่ ค.14 เปรียบเทียบผลการจำลอง และผลการทดสอบจุดวัดที่ 2 (ชุดที่ 29)ในหัวข้อที่ 4.3.2

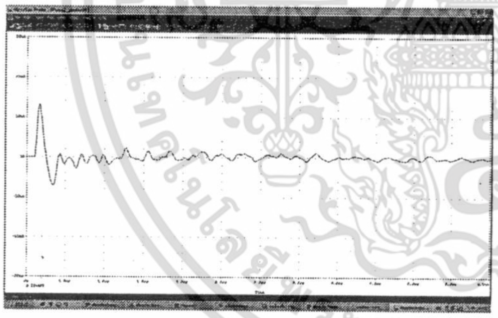


ก. ผลการจำลองด้วย PSpice

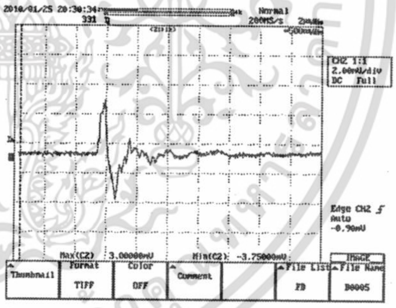


ข. ผลการทดสอบจริง

รูปที่ ค.15 เปรียบเทียบผลการจำลอง และผลการทดสอบจุดวัดที่ 3 (ชุดที่ 1)ในหัวข้อที่ 4.3.2

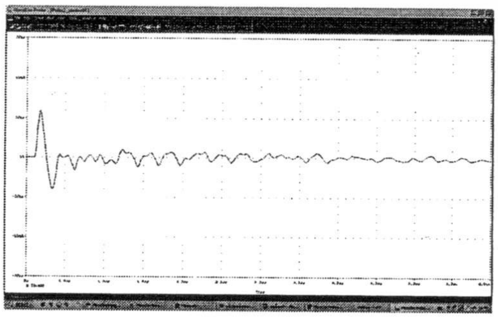


ก. ผลการจำลองด้วย PSpice

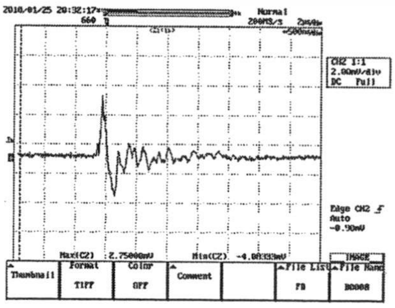


ข. ผลการทดสอบจริง

รูปที่ ค.16 เปรียบเทียบผลการจำลอง และผลการทดสอบจุดวัดที่ 3 (ชุดที่ 2)ในหัวข้อที่ 4.3.2



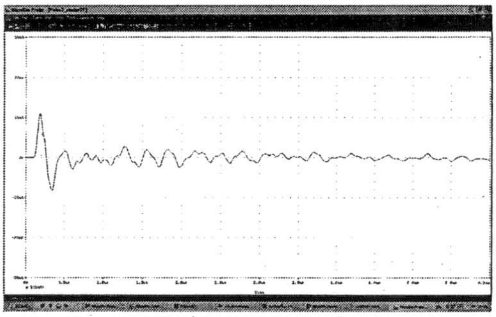
ก. ผลการจำลองด้วย PSpice

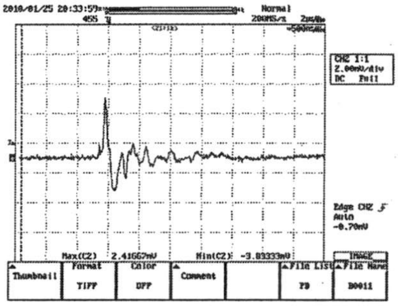


ข. ผลการทดสอบจริง

รูปที่ ค.17 เปรียบเทียบผลการจำลอง และผลการทดสอบจุดวัดที่ 3 (ชุดที่ 3)ในหัวข้อที่ 4.3.2

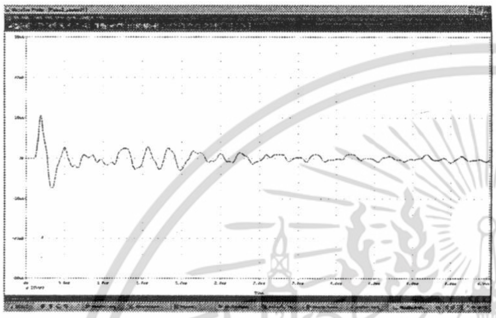
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

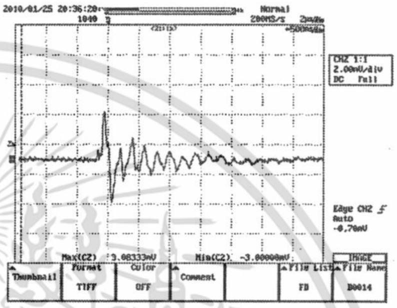




ก. ผลการจำลองด้วย PSpice **ข.** ผลการทดสอบจริง

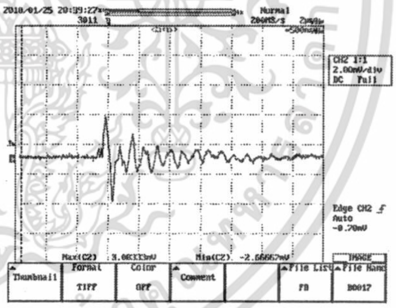
รูปที่ ค.18 เปรียบเทียบผลการจำลอง และผลการทดสอบจุดวัดที่ 3 (ชุดที่ 4)ในหัวข้อที่ 4.3.2





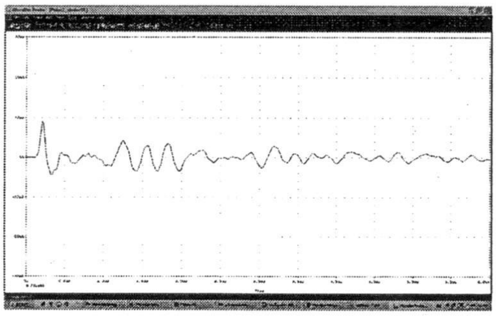
ก. ผลการจำลองด้วย PSpice **ข.** ผลการทดสอบจริง

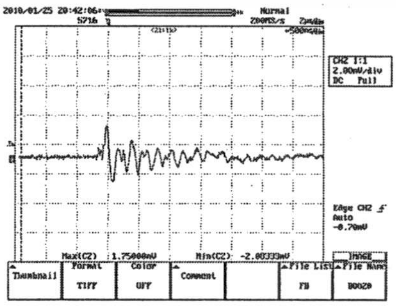
รูปที่ ค.19 เปรียบเทียบผลการจำลอง และผลการทดสอบจุดวัดที่ 3 (ชุดที่ 6)ในหัวข้อที่ 4.3.2



ก. ผลการจำลองด้วย PSpice **ข.** ผลการทดสอบจริง

รูปที่ ค.20 เปรียบเทียบผลการจำลอง และผลการทดสอบจุดวัดที่ 3 (ชุดที่ 7)ในหัวข้อที่ 4.3.2

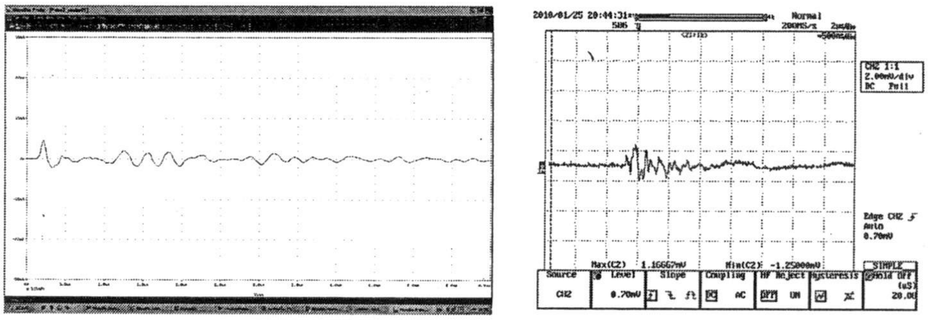




ก. ผลการจำลองด้วย PSpice **ข.** ผลการทดสอบจริง

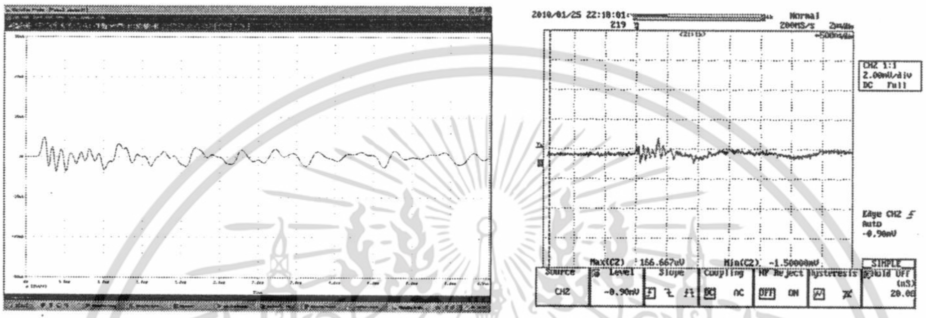
รูปที่ ค.21 เปรียบเทียบผลการจำลอง และผลการทดสอบจุดวัดที่ 3 (ชุดที่ 8)ในหัวข้อที่ 4.3.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



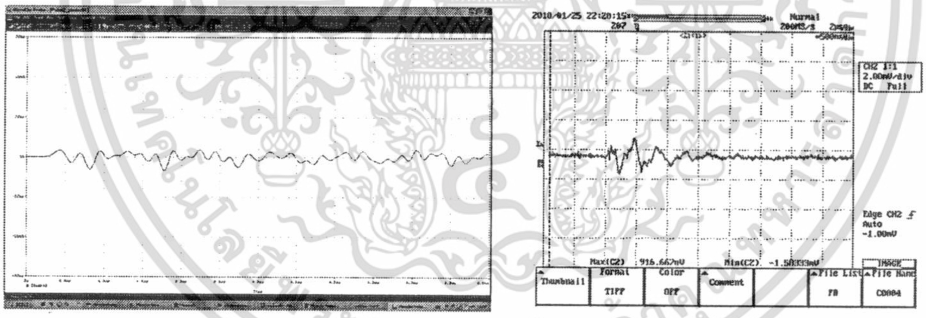
ก. ผลการจำลองด้วย PSpice ข. ผลการทดสอบจริง

รูปที่ ค.22 เปรียบเทียบผลการจำลอง และผลการทดสอบจุดวัดที่ 3 (ชุดที่ 9)ในหัวข้อที่ 4.3.2



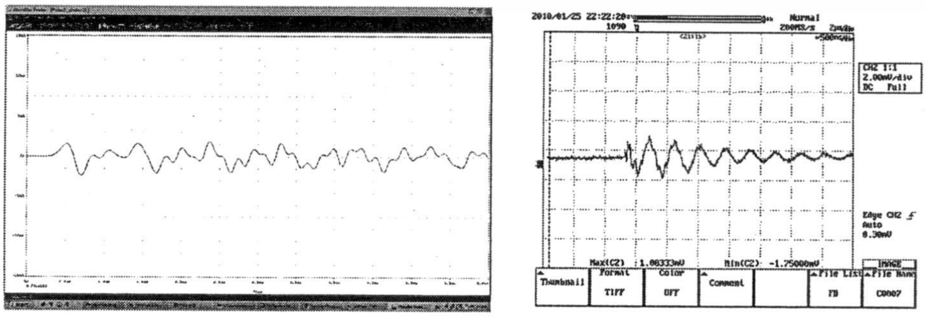
ก. ผลการจำลองด้วย PSpice ข. ผลการทดสอบจริง

รูปที่ ค.23 เปรียบเทียบผลการจำลอง และผลการทดสอบจุดวัดที่ 3 (ชุดที่ 14)ในหัวข้อที่ 4.3.2



ก. ผลการจำลองด้วย PSpice ข. ผลการทดสอบจริง

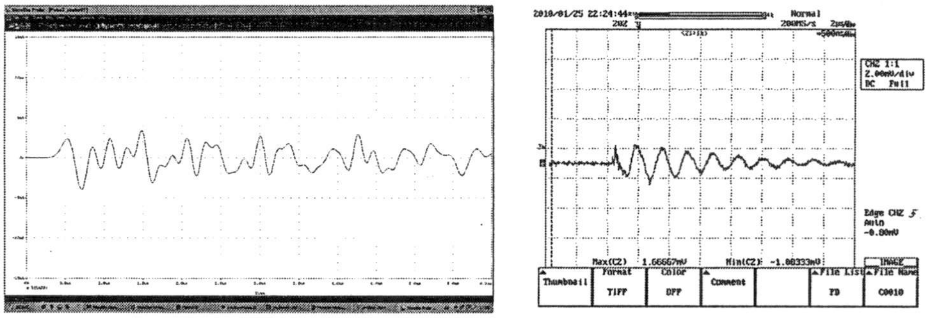
รูปที่ ค.24 เปรียบเทียบผลการจำลอง และผลการทดสอบจุดวัดที่ 3 (ชุดที่ 24)ในหัวข้อที่ 4.3.2



ก. ผลการจำลองด้วย PSpice ข. ผลการทดสอบจริง

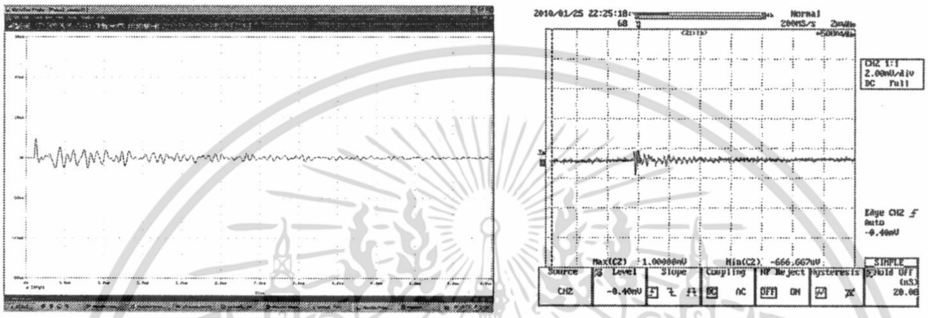
รูปที่ ค.25 เปรียบเทียบผลการจำลอง และผลการทดสอบจุดวัดที่ 3 (ชุดที่ 28)ในหัวข้อที่ 4.3.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



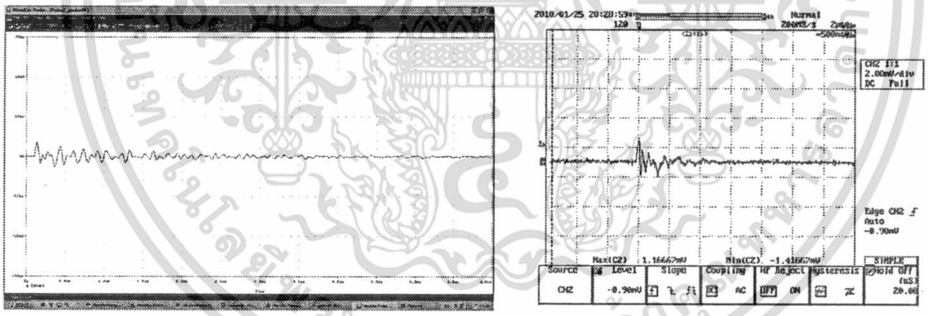
ก. ผลการจำลองด้วย PSpice **ข.** ผลการทดสอบจริง

รูปที่ ค.26 เปรียบเทียบผลการจำลอง และผลการทดสอบจุดวัดที่ 3 (ชุดที่ 29)ในหัวข้อที่ 4.3.2



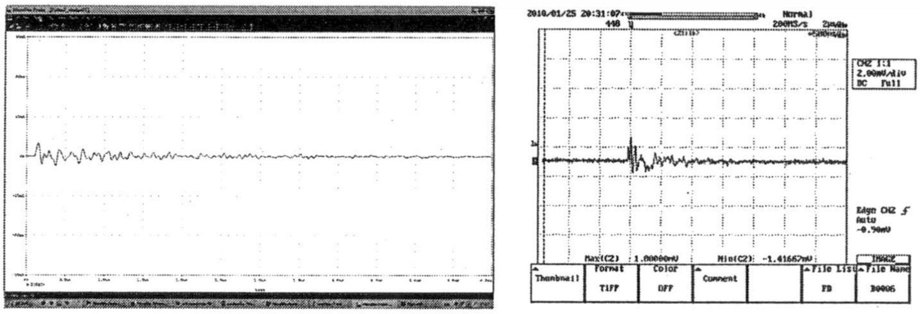
ก. ผลการจำลองด้วย PSpice **ข.** ผลการทดสอบจริง

รูปที่ ค.27 เปรียบเทียบผลการจำลอง และผลการทดสอบจุดวัดที่ 4 (ชุดที่ 1)ในหัวข้อที่ 4.3.2



ก. ผลการจำลองด้วย PSpice **ข.** ผลการทดสอบจริง

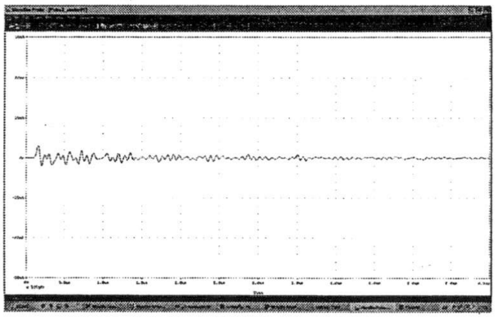
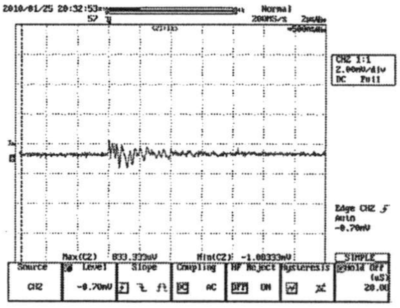
รูปที่ ค.28 เปรียบเทียบผลการจำลอง และผลการทดสอบจุดวัดที่ 4 (ชุดที่ 2)ในหัวข้อที่ 4.3.2



ก. ผลการจำลองด้วย PSpice **ข.** ผลการทดสอบจริง

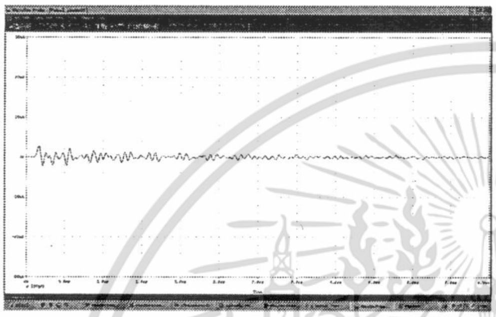
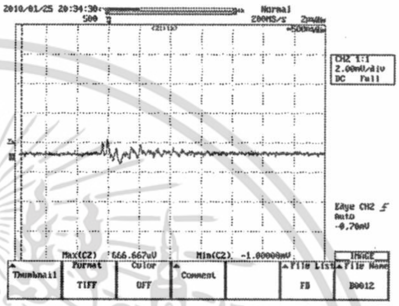
รูปที่ ค.29 เปรียบเทียบผลการจำลอง และผลการทดสอบจุดวัดที่ 4 (ชุดที่ 3)ในหัวข้อที่ 4.3.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

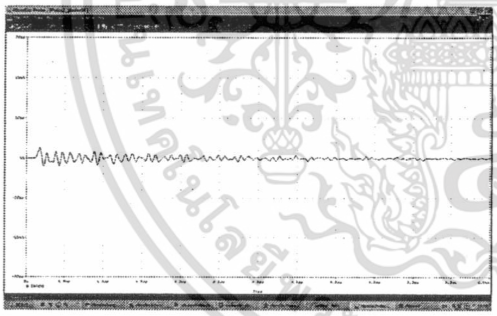
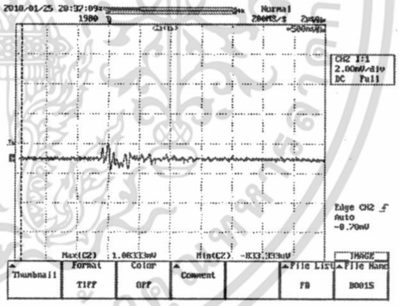
ก. ผลการจำลองด้วย PSpice **ข.** ผลการทดสอบจริง

รูปที่ ค.30 เปรียบเทียบผลการจำลอง และผลการทดสอบจุดวัดที่ 4 (ชุดที่ 4)ในหัวข้อที่ 4.3.2

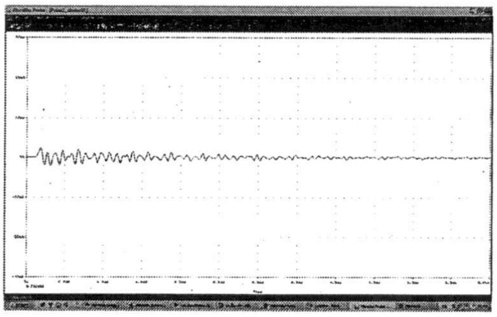
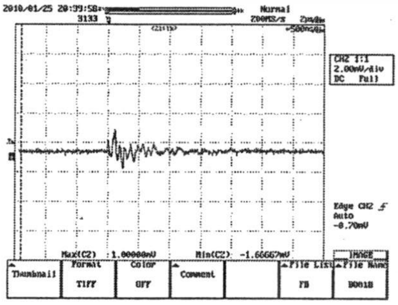
ก. ผลการจำลองด้วย PSpice **ข.** ผลการทดสอบจริง

รูปที่ ค.31 เปรียบเทียบผลการจำลอง และผลการทดสอบจุดวัดที่ 4 (ชุดที่ 6)ในหัวข้อที่ 4.3.2

ก. ผลการจำลองด้วย PSpice **ข.** ผลการทดสอบจริง

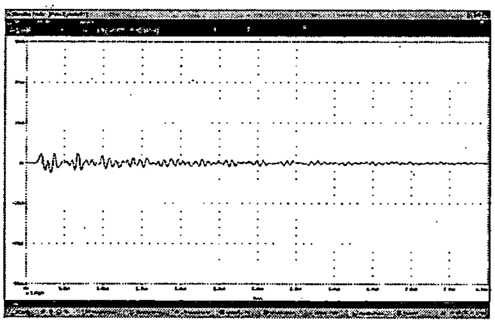
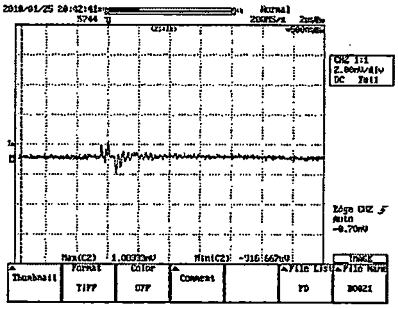
รูปที่ ค.32 เปรียบเทียบผลการจำลอง และผลการทดสอบจุดวัดที่ 4 (ชุดที่ 7)ในหัวข้อที่ 4.3.2

ก. ผลการจำลองด้วย PSpice **ข.** ผลการทดสอบจริง

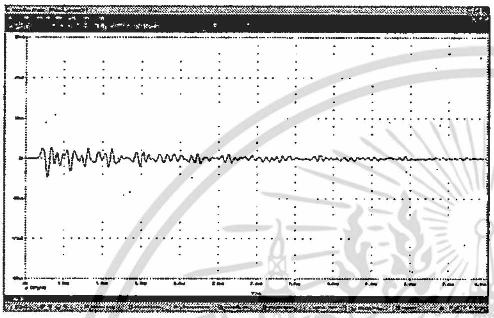
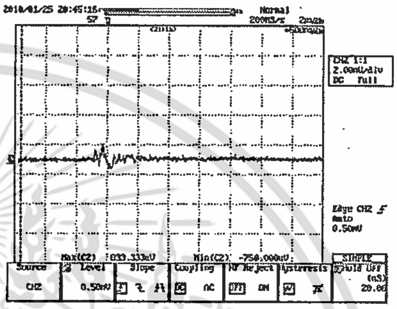
รูปที่ ค.33 เปรียบเทียบผลการจำลอง และผลการทดสอบจุดวัดที่ 4 (ชุดที่ 8)ในหัวข้อที่ 4.3.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

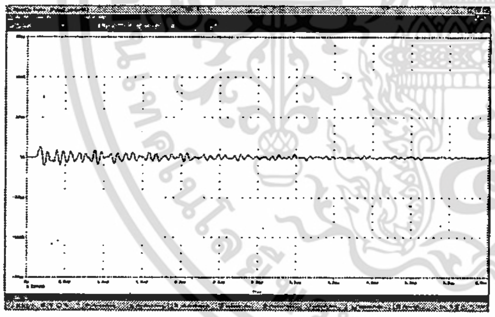
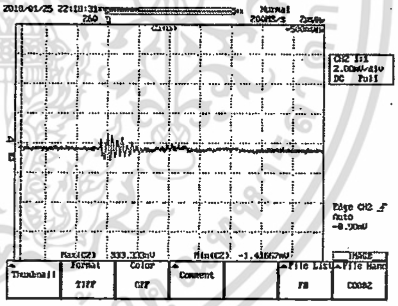
ก. ผลการจำลองด้วย PSpice **ข.** ผลการทดสอบจริง

รูปที่ ค.34 เปรียบเทียบผลการจำลอง และผลการทดสอบจุดวัดที่ 4 (ชุดที่ 9)ในหัวข้อที่ 4.3.2

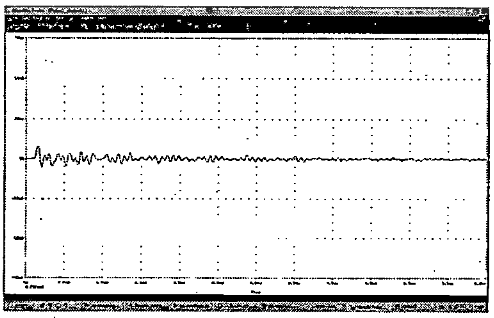
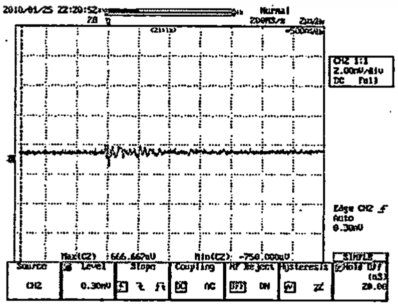
ก. ผลการจำลองด้วย PSpice **ข.** ผลการทดสอบจริง

รูปที่ ค.35 เปรียบเทียบผลการจำลอง และผลการทดสอบจุดวัดที่ 4 (ชุดที่ 14)ในหัวข้อที่ 4.3.2

ก. ผลการจำลองด้วย PSpice **ข.** ผลการทดสอบจริง

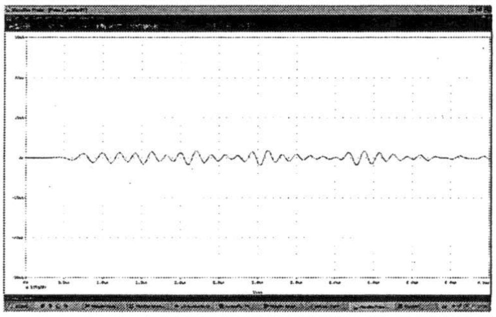
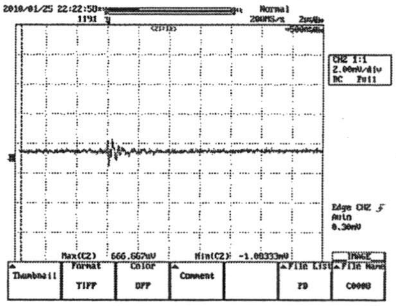
รูปที่ ค.36 เปรียบเทียบผลการจำลอง และผลการทดสอบจุดวัดที่ 4 (ชุดที่ 24)ในหัวข้อที่ 4.3.2

ก. ผลการจำลองด้วย PSpice **ข.** ผลการทดสอบจริง

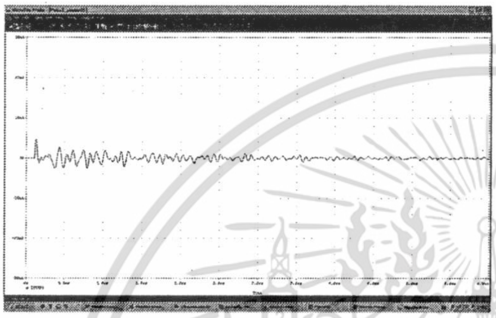
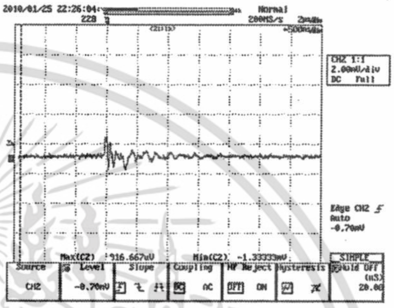
รูปที่ ค.37 เปรียบเทียบผลการจำลอง และผลการทดสอบจุดวัดที่ 4 (ชุดที่ 28)ในหัวข้อที่ 4.3.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

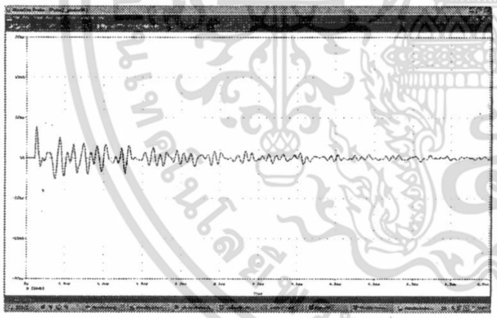
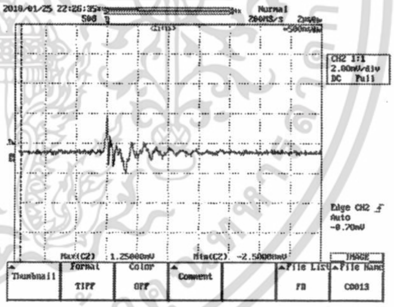
ก. ผลการจำลองด้วย PSpice **ข.** ผลการทดสอบจริง

รูปที่ ค.38 เปรียบเทียบผลการจำลอง และผลการทดสอบจุดวัดที่ 4 (ชุดที่ 29)ในหัวข้อที่ 4.3.2

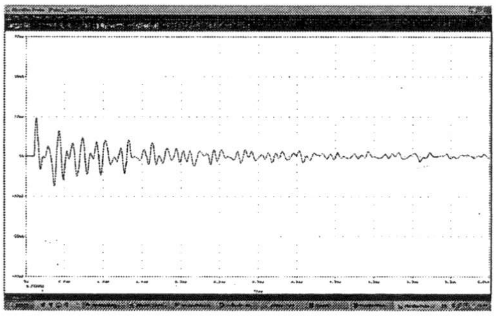
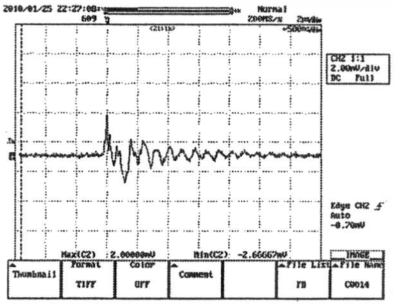
ก. ผลการจำลองด้วย PSpice **ข.** ผลการทดสอบจริง

รูปที่ ค.39 เปรียบเทียบผลการจำลอง และผลการทดสอบจุดวัดที่ 5 (ชุดที่ 1)ในหัวข้อที่ 4.3.2

ก. ผลการจำลองด้วย PSpice **ข.** ผลการทดสอบจริง

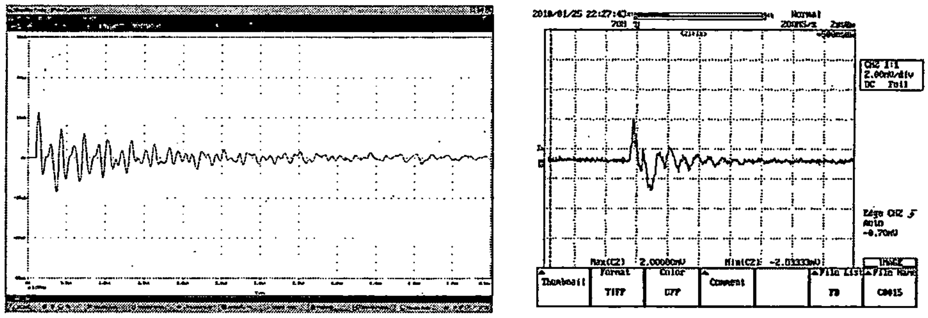
รูปที่ ค.40 เปรียบเทียบผลการจำลอง และผลการทดสอบจุดวัดที่ 5 (ชุดที่ 2)ในหัวข้อที่ 4.3.2

ก. ผลการจำลองด้วย PSpice **ข.** ผลการทดสอบจริง

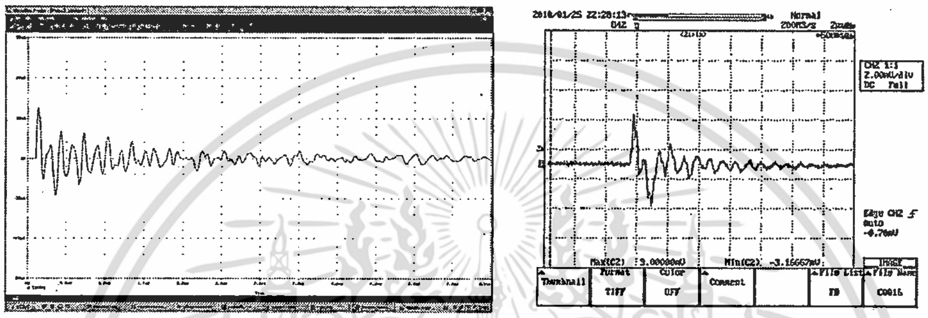
รูปที่ ค.41 เปรียบเทียบผลการจำลอง และผลการทดสอบจุดวัดที่ 5 (ชุดที่ 3)ในหัวข้อที่ 4.3.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



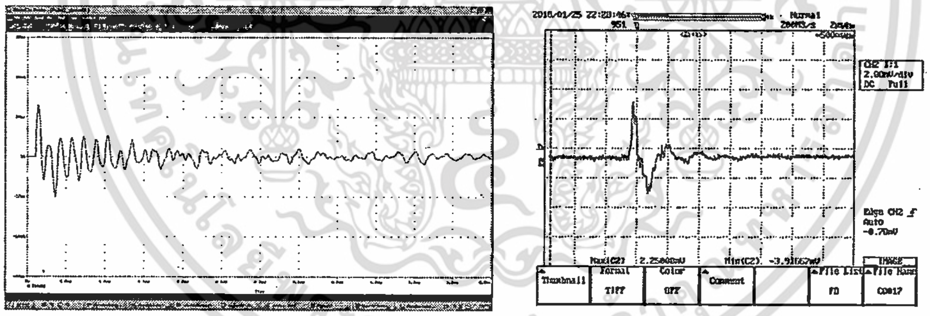
ก. ผลการจำลองด้วย PSpice ข. ผลการทดสอบจริง

รูปที่ ค.42 เปรียบเทียบผลการจำลอง และผลการทดสอบจุดวัดที่ 5 (ชุดที่ 4)ในหัวข้อที่ 4.3.2



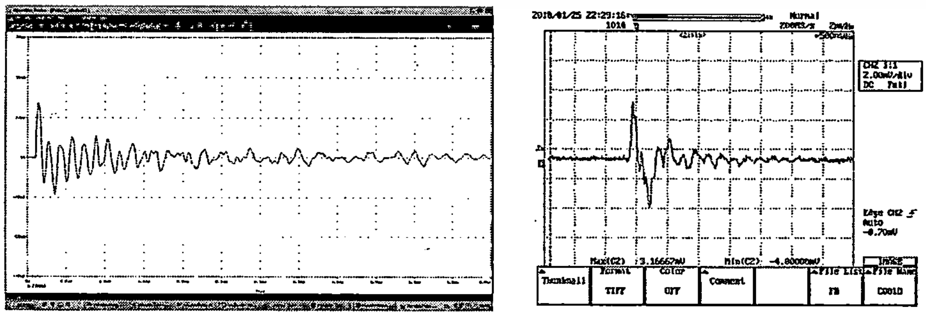
ก. ผลการจำลองด้วย PSpice ข. ผลการทดสอบจริง

รูปที่ ค.43 เปรียบเทียบผลการจำลอง และผลการทดสอบจุดวัดที่ 5 (ชุดที่ 6)ในหัวข้อที่ 4.3.2



ก. ผลการจำลองด้วย PSpice ข. ผลการทดสอบจริง

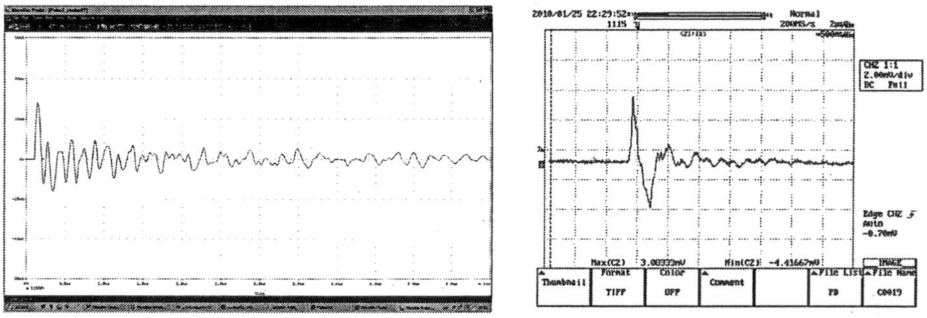
รูปที่ ค.44 เปรียบเทียบผลการจำลอง และผลการทดสอบจุดวัดที่ 5 (ชุดที่ 7)ในหัวข้อที่ 4.3.2



ก. ผลการจำลองด้วย PSpice ข. ผลการทดสอบจริง

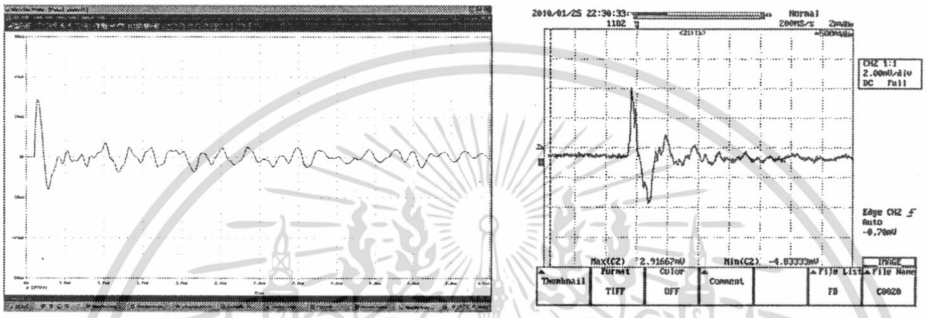
รูปที่ ค.45 เปรียบเทียบผลการจำลอง และผลการทดสอบจุดวัดที่ 5 (ชุดที่ 8)ในหัวข้อที่ 4.3.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



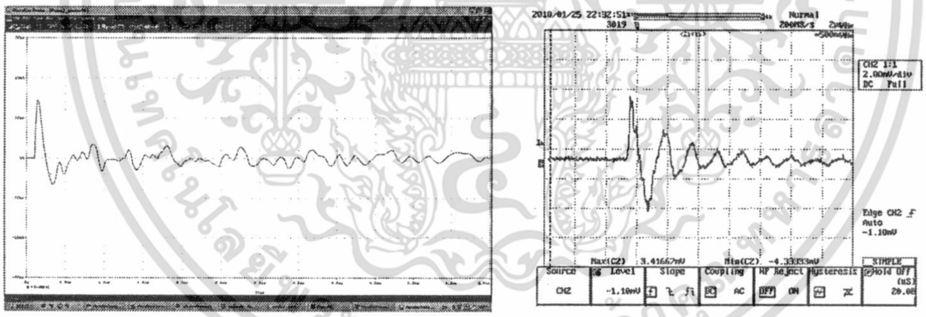
ก. ผลการจำลองด้วย PSpice **ข.** ผลการทดสอบจริง

รูปที่ ค.46 เปรียบเทียบผลการจำลอง และผลการทดสอบจุดวัดที่ 5 (ชุดที่ 9)ในหัวข้อที่ 4.3.2



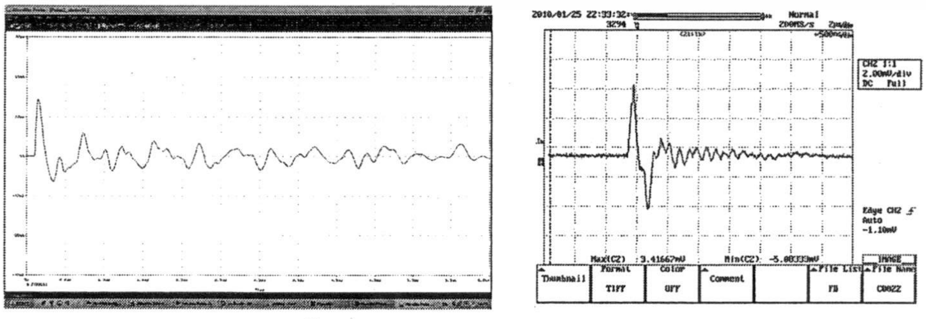
ก. ผลการจำลองด้วย PSpice **ข.** ผลการทดสอบจริง

รูปที่ ค.47 เปรียบเทียบผลการจำลอง และผลการทดสอบจุดวัดที่ 5 (ชุดที่ 14)ในหัวข้อที่ 4.3.2



ก. ผลการจำลองด้วย PSpice **ข.** ผลการทดสอบจริง

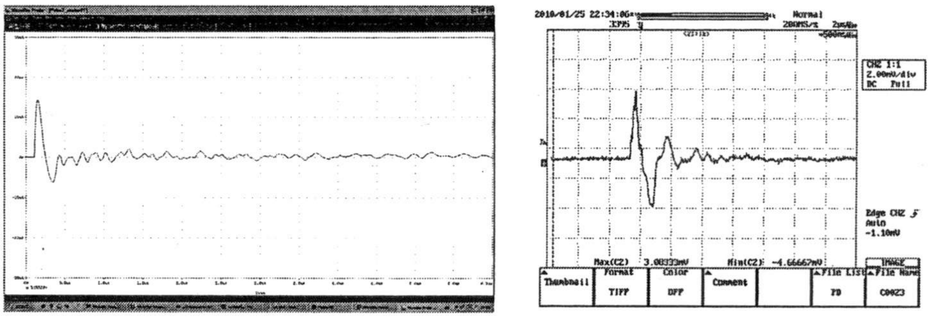
รูปที่ ค.48 เปรียบเทียบผลการจำลอง และผลการทดสอบจุดวัดที่ 5 (ชุดที่ 24)ในหัวข้อที่ 4.3.2



ก. ผลการจำลองด้วย PSpice **ข.** ผลการทดสอบจริง

รูปที่ ค.49 เปรียบเทียบผลการจำลอง และผลการทดสอบจุดวัดที่ 5 (ชุดที่ 28)ในหัวข้อที่ 4.3.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ก. ผลการจำลองด้วย PSpice **ข.** ผลการทดสอบจริง

รูปที่ ค.50 เปรียบเทียบผลการจำลอง และผลการทดสอบจุดวัดที่ 5 (ชุดที่ 29)ในหัวข้อที่ 4.3.2

ค2 สรุปผลการจำลอง

จากการทดสอบจำลองผลของค่าความเหนี่ยวนำในสายเชื่อมอุปกรณ์เปรียบเทียบกับผลการทดสอบในหัวข้อที่ 4.3.2 ทำให้สังเกตได้ว่ารูปสัญญาณที่ได้จากการจำลองด้วยโปรแกรม PSpice จะมีลักษณะรูปร่างของพัลส์สัญญาณใกล้เคียงกัน โดยรูปสัญญาณที่ได้จากการจำลองที่วิเคราะห์ถึงผลของค่าความเหนี่ยวนำของสายเชื่อมอุปกรณ์จะเกิดการออสซิลเลตของพัลส์ตามหลังรูปสัญญาณจำลองเช่นเดียวกับการทดสอบจ่ายสัญญาณเข้าแบบจำลองวงจรสมมูลหม้อแปลงความถี่สูง ดังนั้นจึงสามารถวิเคราะห์ได้ว่าการเกิดออสซิลเลตของรูปสัญญาณที่ทดสอบนั้นเกิดขึ้นเนื่องจากผลของค่าความเหนี่ยวนำของสายเชื่อมอุปกรณ์ในชุดแบบจำลองวงจรสมมูลหม้อแปลงซึ่งทำให้รูปสัญญาณที่ได้จากการจำลองผลตอบสนองด้วยโปรแกรม PSpice และรูปสัญญาณจากการทดสอบมีรูปร่างต่างกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ง.

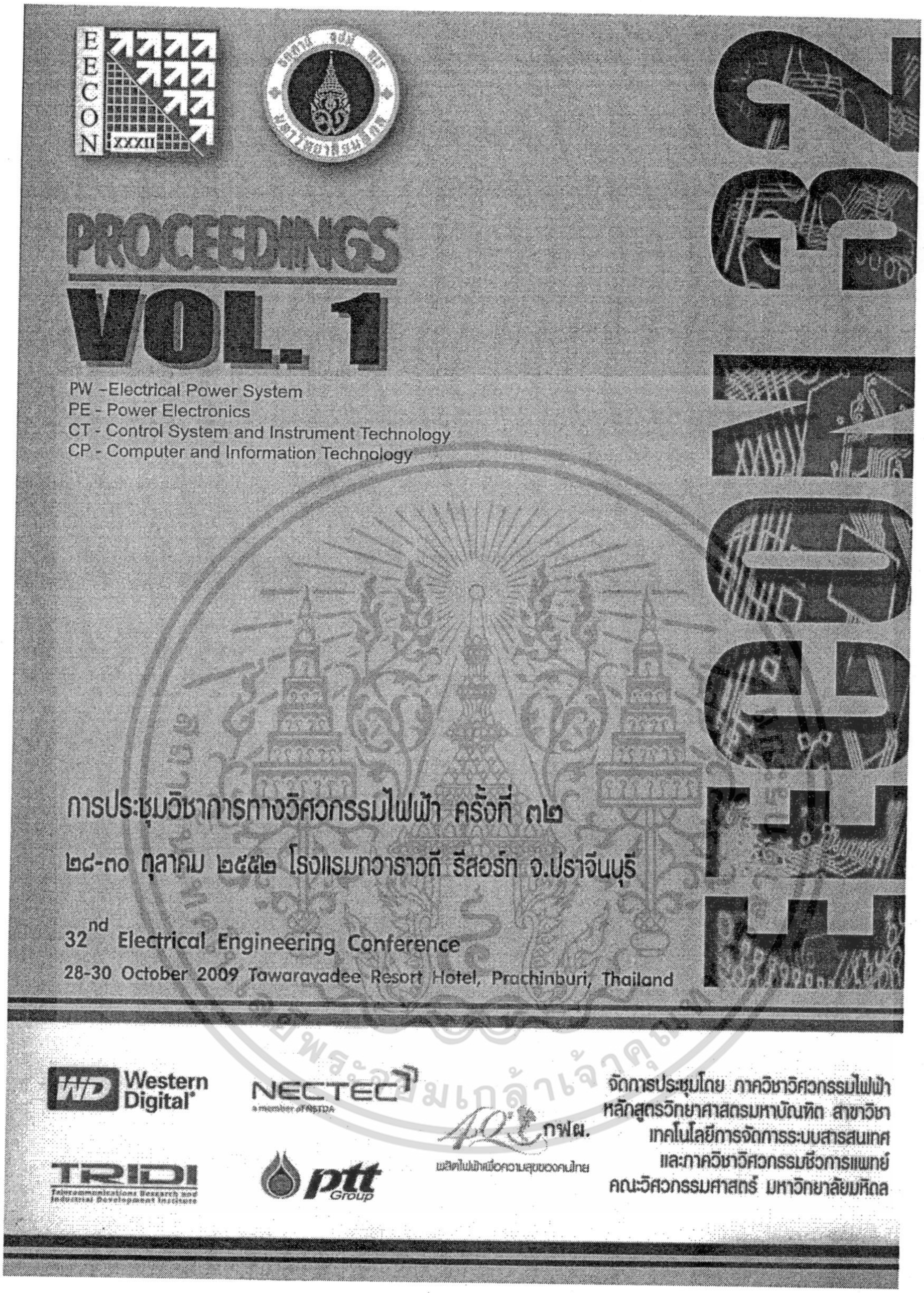
ผลงานวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ง1 รายชื่อบทความที่ได้รับการตีพิมพ์

1. **ภูธวัช วิริยะกิติกุล**, อานันทวัฒน์ คุณากร และ นรเศรษฐ์ พัฒนเดช, **"เครื่องจำลองรูปคลื่นการเกิดดิสชาร์จบางส่วนในหม้อแปลงไฟฟ้ากำลัง,"** การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 32 (EECON-32), 28-30 ตุลาคม 2552, ปราจีนบุรี, ประเทศไทย, หน้า.143-146.
2. **Putawat Wiriyakitikun** and Anantawat Kunakorn, **"A pulse generator to simulate multiple partial discharges in power transformers,"** 16th International Conference on Electrical Engineering, July 11-14, 2010 Busan Korea. (Accepted)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครื่องจำลองรูปคลื่นการเกิดดิสชาร์จบางส่วนในหม้อแปลงไฟฟ้ากำลัง

A Simulator for Partial Discharge Pulses in Power Transformer

ภูธวัช วิริยะกิติกุล อานันทวัฒน์ คุณากร และ นรเศรษฐ พัฒนเดช
ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง กรุงเทพฯ 10520 E-mail: Bank284Justice@hotmail.com

บทคัดย่อ

บทความนี้ นำเสนอรายละเอียดและวิธีการสร้างสัญญาณจำลองรูปพัลส์ที่เกิดจากการดิสชาร์จบางส่วน โดยจุดประสงค์หลักในการจำลอง คือ เพื่อสร้างรูปคลื่นพัลส์ที่มีลักษณะเหมือนการเกิดดิสชาร์จบางส่วนในหม้อแปลงไฟฟ้ากำลังที่เกิดขึ้น อันเนื่องมาจากการเสื่อมสภาพของฉนวนในหม้อแปลงไฟฟ้า ในงานวิจัยนี้ได้นำไมโครคอนโทรเลอร์มาประยุกต์ใช้งาน เนื่องจากสามารถสร้างรูปพัลส์จำลองจากการเกิดดิสชาร์จบางส่วนในหม้อแปลงไฟฟ้ากำลังได้หลายรูปแบบ อาทิเช่น การสร้างสัญญาณการดิสชาร์จในฟองอากาศหรือการดิสชาร์จในน้ำมัน ยิ่งไปกว่านั้นยังสามารถสร้างพัลส์ได้พร้อมๆ กันหลายสัญญาณในช่วงเวลาเดียวกัน เพื่อที่จะจำลองเหตุการณ์ที่เกิดดิสชาร์ดบางส่วนพร้อมกันหลายจุดในเวลาเดียวกัน แต่ตำแหน่งแตกต่างกัน เครื่องจำลองที่นำเสนอนี้ถือว่ามีประโยชน์มาก ในการศึกษาสภาพความเป็นฉนวนที่บกพร่องภายในหม้อแปลงไฟฟ้ากำลัง

คำสำคัญ: ดิสชาร์จบางส่วน, หม้อแปลงไฟฟ้า, ไมโครคอนโทรลเลอร์, ดิสชาร์จในฟองก๊าซ, ดิสชาร์จในน้ำมัน

Abstract

This paper presents details and the construction of a partial discharge pulse simulator. The main purpose of the simulator is to generate short pulses which are similar to the partial discharge pulses in a power transformer due to the insulation deterioration. Using a microcontroller, the simulator has an advantage that various types of partial discharge pulses in the transformer such as the discharge in a gas bubble or the discharge in the oil, can be generated. In addition, the simulator is able to produce simultaneous pulses in order to simulate multiple partial discharges which can occur in the same time but in different locations along the transformer winding insulation. The simulator is a useful tool in studying insulation defects of power transformer windings.

Keyword: Partial discharge, power transformer, microcontroller, discharge in a gas bubble, discharge in the oil

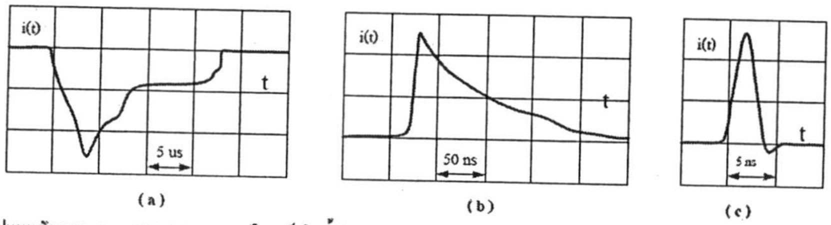
1. บทนำ

Partial discharges (PD) คือการที่มีการถ่ายเทประจุในฉนวน ซึ่งกั้นอยู่ระหว่างตัวนำ ที่มีระดับแรงดันไฟฟ้าต่างกัน [1] การเกิด PD นั้นมีหลายรูปแบบ อาทิเช่น การดิสชาร์จภายใน ,การดิสชาร์จตามผิว ,โคโรน่าดิสชาร์จ และการเกิด Treeing ในเนื้อฉนวน [2] แล้วการเกิด PD นี้เป็นสัญญาณอันตรายที่บอกถึงความผิดปกติของระบบฉนวน อันจะนำไปสู่การเกิดการพังทลายของระบบฉนวน หรือการเบรกดาวน์ได้ ในหม้อแปลงไฟฟ้ามีการเกิด PD ขึ้นได้ง่าย และบ่อยมาก อันเนื่องมาจากจุดต่อที่มีมากมาย อีกทั้งยังมีฉนวน และอุปกรณ์อื่นๆ อีกหลายชนิด จึงทำให้เกิด PD ขึ้นได้หลายจุด แล้วยังหลายรูปแบบ เช่น การดิสชาร์จในน้ำมันหม้อแปลง การดิสชาร์จในโพรงฉนวนที่เป็นจำพวก cellulosic (พวกวัสดุที่ทำจากเนื้อไม้จำพวก กระดาษฉนวน หรือ พวกเพรสบอร์ด) การดิสชาร์จในฟองก๊าซที่เกิดจากการทำปฏิกิริยาเคมีของฉนวนที่เสื่อมสภาพแล้ว[3] รวมถึงการที่มีสิ่งเจือปน หรือ ความชื้นสะสมเกิดขึ้นในเนื้อฉนวน เป็นปริมาณมากจนกระทั่งหมดสภาพความเป็นฉนวนไป

ในการตรวจจับหาการเกิดสัญญาณ PD ในหม้อแปลงไฟฟ้านับว่าเป็นเรื่องสำคัญ ที่จะช่วยลดโอกาสที่จะเกิดการเบรกดาวน์ ของหม้อแปลงไฟฟ้าได้ ดังนั้นจึงมีบทความวิจัยจำนวนมาก ที่ออกมานำเสนอถึงวิธีการ ตรวจหาจุดที่เกิด PD ในหม้อแปลงไฟฟ้าด้วยวิธีต่างๆ[4-6] แล้วหนึ่งในวิธีที่เป็นที่นิยม คือการตรวจจับสัญญาณกระแส PD ที่จุดเทอร์มินอลของหม้อแปลงไฟฟ้า[4,5] โดยวิธีนี้จะเป็นการดูผลตอบสนองของวงจรสมมูลของหม้อแปลง ต่อรูปสัญญาณกระแส PD ซึ่งมีระดับความถี่สูง (ซึ่งในบางกรณีอยู่ในระดับ ns [4]) ซึ่งการตรวจจับที่จุดเทอร์มินอลของหม้อแปลง สามารถพบรูปสัญญาณกระแสที่ เดินทางผ่านขดลวดหม้อแปลง แล้วถูกลดทอนระดับแอมพลิจูดลงก็ได้[5] ดังนั้นจึงได้มีการวิจัยตรวจจับสัญญาณกระแส PD ด้วยการจ่ายสัญญาณ PD จำลองที่สร้างเลียนแบบ การเกิดดิสชาร์จบางส่วนในหม้อแปลงไฟฟ้า เข้าที่จุดต่างๆของขดลวดหม้อแปลง(โดยปกติแล้วจะเป็นส่วนต้น กลางจุดต่อแท็ป และท้ายขดลวด) แล้วดูผลตอบสนองรูปพัลส์แล้วเก็บผลเพื่อวิเคราะห์รูปแบบสัญญาณ ที่ได้จากการจ่ายสัญญาณจำลองตามจุดต่างๆ เพื่อเก็บเป็นฐานข้อมูลในการตรวจสอบหม้อแปลงลูกอื่นๆ ต่อไป [4-6]

ในบทความนี้ ได้นำเสนอการสร้างเครื่องกำเนิดสัญญาณ PD จำลอง เพื่อใช้สำหรับการวิจัยการหาจุดที่เกิด PD ด้วยการตรวจวัดสัญญาณกระแส ที่จุดเทอร์มินอลของหม้อแปลงไฟฟ้า โดยใช้อุปกรณ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 1 รูปแบบสัญญาณกระแส PD (a). จากการดิสชาร์จในน้ำมัน (b). Trichel pulse หรือ Corona discharge (c). จากการดิสชาร์จในฟองอากาศ [4]

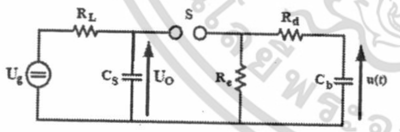
ไอซี ไมโครคอนโทรลเลอร์ และมัลติเพล็กเซอร์ ซึ่งโดยทั่วไปจะใช้อุปกรณ์พวกรีเลย์ ในบทความนี้มีความต้องการที่จะสร้าง ตัวกำเนิดสัญญาณที่สามารถจ่ายสัญญาณ PD ในรูปแบบต่างๆ ได้พร้อมกันมากกว่า 1 จุดขึ้นไป เพื่อใช้สำหรับการทดสอบจำลองการเกิดจุดที่มีความผิดปกติของระบบฉนวนหม้อแปลงมากกว่า 1 จุดในช่วงเวลาเดียวกัน

2.วงจรกำเนิดสัญญาณ PD จำลอง

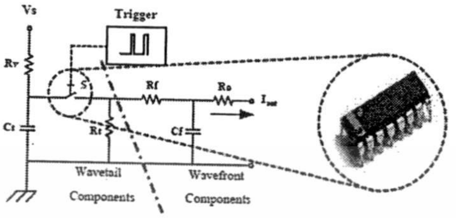
รูปร่างลักษณะของรูปสัญญาณ PD ที่เกิดขึ้นในหม้อแปลงไฟฟ้ากำลัง จะเป็นอย่างไรนั้นขึ้นอยู่กับ ลักษณะชนิดฉนวนที่อยู่ภายในหม้อแปลง (เช่น น้ำมันหม้อแปลง ,กระดาษฉนวน ,ฟองอากาศหรือก๊าซ) โดยลักษณะที่เกิดขึ้นได้บ่อย ในรูปแบบต่างๆ ถูกแสดงไว้ดังรูปที่ 1 [4] จุดมุ่งหมายของบทความวิจัยนี้ คือการสร้างอุปกรณ์ที่สามารถ ให้กำเนิดรูปสัญญาณพัลส์ ที่มีลักษณะใกล้เคียงกับในรูปที่ 1 โดยในรูปจะเห็นได้ว่าสัญญาณแต่ละแบบ มีลักษณะเป็นอิมพัลส์ ดังนั้นจึงสามารถสร้างสัญญาณได้ โดยใช้วงจรกำเนิดแรงดันอิมพัลส์ดังรูปที่ 2 ซึ่งในส่วนของสปาร์กแก็ป ในบทความทั่วไปจะใช้อุปกรณ์จำพวกรีเลย์ความเร็วสูง (Reed Relay) มาใช้ในการดิสชาร์จประจุ แต่ในบทความวิจัยนี้จะใช้ตัว Multiplexer IC แทนที่ตัวสปาร์กแก็ป (รูปที่ 3) โดยจะใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์เป็นตัวควบคุม การทำงานของตัว Multiplexer อีกที โดยค่าเวลาหน้าคลื่น (t_f) และหลังคลื่น (t_t) สามารถคำนวน และสร้างได้จากตัวต้านทาน และตัวเก็บประจุ ดังสมการที่ (1) และ (2) [5]

$$t_f = \frac{3C_t C_f R_f}{(C_t + C_f)} \quad (1)$$

$$t_t = 0.69 C_t R_t \quad (2)$$

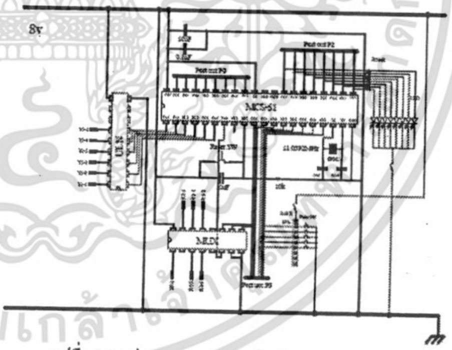


รูปที่ 2 วงจรกำเนิดสัญญาณพัลส์



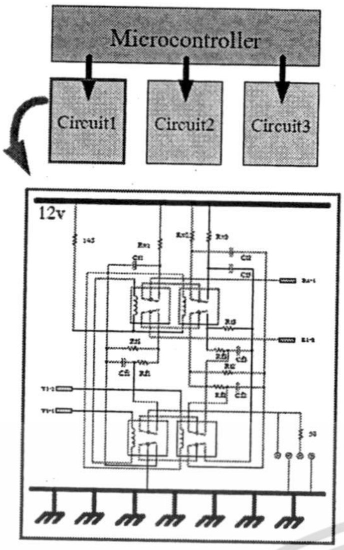
รูปที่ 3 วงจรสร้างสัญญาณ PD (ด้วย Multiplexer ICs)

จุดประสงค์ในการนำ Multiplexer IC มาใช้แทนสปาร์กแก็ปนั้น เนื่องจากตัวอุปกรณ์ดังกล่าวมีความสามารถทำงานด้วยความเร็วสูงมากในช่วงระดับ ns โดยควบคุมการทำงานด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ รูปแบบการควบคุมจะใช้ลอจิกในการสั่งงาน ซึ่งสามารถควบคุมการทำงานได้ง่าย ด้วยคำสั่งเพียงสองถึงสามคำสั่งต่อการสับสวิตซ์หนึ่งครั้งเท่านั้น ยิ่งไปกว่านั้นด้วยการทำงานร่วมกันระหว่างไมโครคอนโทรลเลอร์ และมัลติเพล็กเซอร์ ทำให้สามารถสร้างอุปกรณ์ให้กำเนิดรูปพัลส์สัญญาณออกมาได้หลายรูปสัญญาณ ในช่วงเวลาเดียวกัน เพราะมัลติเพล็กเซอร์หนึ่งตัวสามารถควบคุมการทำงานของสวิตซ์ภายในตัวมันเองได้พร้อมกันทีละหลายๆ ตัว (ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับลักษณะของมัลติเพล็กเซอร์ที่ใช้ และการออกแบบวงจรใช้งาน) โดยมีวงจรตัวอย่างดังรูปที่ 4 และ 5 ส่วนรูปที่ 6 แสดงแผนผังการทำงาน

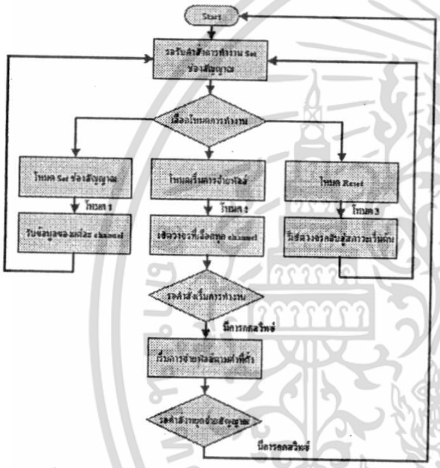


รูปที่ 4 วงจรส่วนควบคุมการกำเนิดสัญญาณ PD จำลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



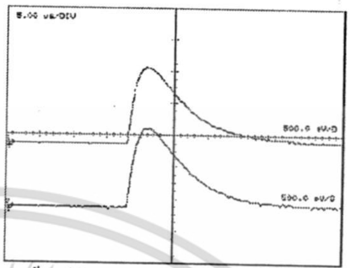
รูปที่ 5 วงจรส่วนกำเนิดสัญญาณ PD จำลองทั้ง 3 channel



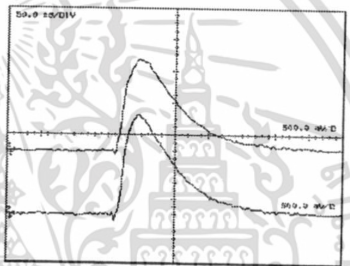
รูปที่ 6 แผนผังการทำงานของวงจร และ MCS-51 program

3. ผลการทดลอง

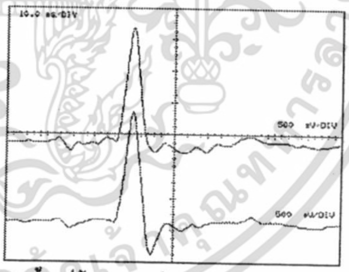
การทำงานของ วงจรที่ใช้สร้างพัลส์จำลอง จะมีการตั้งค่าการทำงานให้แก่ไมโครคอนโทรลเลอร์ก่อน ตั้งค่าจำนวนช่องสัญญาณที่ใช้ และรูปแบบสัญญาณที่จะให้สร้างในแต่ละช่อง โดยรูปแบบสัญญาณที่จะสร้างขึ้นมาในบทความวิจัยนี้ จะสร้างออกมาได้ 3 รูปแบบสัญญาณ โดยเลียนแบบรูปสัญญาณ PD ที่เกิดขึ้นบ่อยในหม้อแปลงไฟฟ้า ซึ่งจะมีรูปแบบการเกิด PD ในกระดาษฉนวน($3/7.5\mu s$) การเกิด PD ในน้ำมันหม้อแปลง($37.5/75ns$) การเกิด PD ในฟองก๊าซ ($3.75/5ns$) รูปสัญญาณ PD จำลองที่สร้างออกมา จะมีค่าช่วงเวลาและรูปร่างสัญญาณ ที่ถูกกำหนดมาจากตัวอุปกรณ์ ที่ใส่เข้าไปในวงจร โดยรูปที่ 7 ,8 และ 9 จะเป็นรูปตัวอย่างสัญญาณ PD จำลองที่สร้างเลียนแบบสัญญาณในรูปที่ 1 โดยแต่ละรูปจะสร้างสัญญาณออกมาครั้งละสองช่อง สัญญาณพร้อมกัน ซึ่งเป็นการจำลองการเกิด PD ลักษณะเดียวกันแต่เกิดขึ้นที่ต่างตำแหน่งของขดลวดในหม้อแปลงไฟฟ้า โดยเกิดที่เวลาเดียวกัน



รูปที่ 7 การสร้างรูปสัญญาณ PD จำลอง $3/7.5\mu s$ ของ 2 channel ในเวลาเดียวกัน



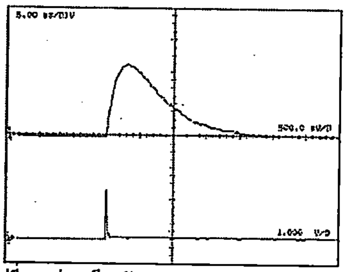
รูปที่ 8 การสร้างรูปสัญญาณ PD จำลอง $37.5/75ns$ ของ 2 channel ในเวลาเดียวกัน



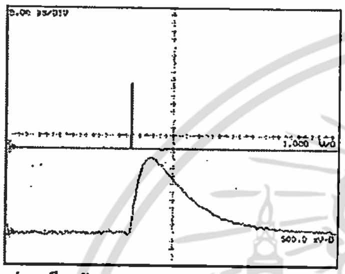
รูปที่ 9 การสร้างรูปสัญญาณ PD จำลอง $3.75/5ns$ ของ 2 channel ในเวลาเดียวกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

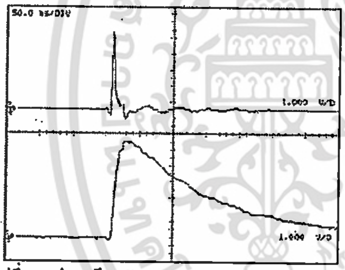
ในลำดับต่อมา จะเป็นการทดสอบสร้างสัญญาณ PD ที่แตกต่างกัน ในช่วงเวลาเดียวกันออกมา โดยแสดงไว้ดังรูปที่ 10 ,11 และ 12 ซึ่งเป็นการจำลองการเกิด PD ลักษณะต่างกัน และเกิดขึ้นที่ต่างตำแหน่งของขดลวดในหม้อแปลงไฟฟ้าโดยเกิดขึ้นที่เวลาเดียวกัน



รูปที่ 10 รูปการเทียบสัญญาณ PD จำลอง $3/7.5\,\mu s$ และ $37.5/75\,ns$ ที่เกิดขึ้นที่เวลาเดียวกัน



รูปที่ 11 รูปการเทียบสัญญาณ PD จำลอง $3.75/5\,ns$ และ $3/7.5\,\mu s$ ที่เกิดขึ้นที่เวลาเดียวกัน



รูปที่ 12 รูปการเทียบสัญญาณPD จำลอง $3.75/5\,ns$ และ $37.5/75\,ns$ ที่เกิดขึ้นที่เวลาเดียวกัน

4. สรุปผล

ในบทความนี้ นำเสนอการสร้างสัญญาณพัลส์เลียนแบบสัญญาณกระแสดิสชาร์จบางส่วนที่เกิดขึ้นในหม้อแปลงไฟฟ้า โดยในการสร้างได้ใช้วงจรกำเนิดแรงดันอิมพัลส์ แล้วแทนที่สปาร์กแก็ปด้วยตัว Multiplexer ที่ควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ สัญญาณที่ถูกสร้างออกมาได้จำลองสถานการณ์การเกิดดิสชาร์จบางส่วน จากความผิดปกติของระบบฉนวน เช่น การดิสชาร์จในน้ำมัน การดิสชาร์จในฟองก๊าซ และการดิสชาร์จในกระดาษฉนวน สำหรับงานวิจัยในอนาคตสามารถนำเครื่องสร้างสัญญาณ PD จำลองนี้ ไปใช้ในการจ่ายทดสอบในหม้อแปลงไฟฟ้า เพื่อดูผลตอบสนองที่จุดเทอร์มินอล แล้วมาวิเคราะห์หาจุดที่ PD เกิดขึ้นได้ ซึ่งอุปกรณ์วิจัยนี้ มีประโยชน์มากสำหรับการทดสอบเพื่อจำลองสถานการณ์การเกิด PD มากกว่า 1 จุดในช่วงเวลาเดียวกัน

เอกสารอ้างอิง

[1] IEC Standard 60270 'Partial Discharge Measurements', 3rd edition, 2000 International Electrotechnical Commission (IEC), Geneva, Switzerland

[2] E. Kuffel, W.S. Zaengl and J. Kuffel 'High Voltage Engineering Fundamentals', 2nd edition, 2000, Newnes

[3] Univ-Prof. Dr.-Ing. Dieter Konig, Prof. Dr.-Ing. Y. Narayana Rao "Partial Discharges in Electrical Power Apparatus" 1993, vde-verlag, gmbh. pp 195 – 210.

[4] J. Fuhr, M.Haessig, P.Boss, D. Tschudi and R.A.King 'Detection and Location of Internal Defects in the Insulation of Power Transformer', IEEE Transactions on Electrical Insulation, Vol.28, No.6, pp 1057-1067, December 1993

[5] Z.D. Wang, P.A. Crossley and K.J. Cornick 'Partial Discharge Location in Power Transformer Using the Spectra of the Terminal Current Signals' High Voltage Engineering Symposium, London, UK, August 1999

[6] A.Mazhab Jafari, A. Akbari, H.R. Mirzaei, M.Kharezi and M.Allahbakhshi 'Investigating Practical Experiments of Partial Discharge Localization in Transformers using Winding Modeling' IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation, Vol.15, No.4, pp 1174-1182, August 2008

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน

นายภูธวัช วิริยะกิติกุล เกิดเมื่อวันที่ 12 ตุลาคม พ.ศ. 2527 ที่จังหวัดสุราษฎร์ธานี สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า จากภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร ในปีการศึกษา 2549 และเข้าศึกษาต่อในระดับปริญญาโท หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ในปีการศึกษา 2551 โดยมีความสนใจงานวิจัยในด้าน การเกิดดิสชาร์จบางส่วนในหม้อแปลงไฟฟ้า และการเสื่อมสภาพของฉนวนต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้