

การออกแบบสร้างเครื่องกำเนิดกระแสอิมพัลส์ ขนาด 75 kA 30 kJ



นายพงศ์พันธุ์ ปริยวงศ์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2544

ISBN 974-03-0686-1

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

26 พ.ย. 2546

I 20388639

DESIGN AND CONSTRUCTION OF A 75-kA, 30-kJ IMPULSE CURRENT GENERATOR

Mr.Pongpan Pariyavong

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements  
for the Degree of Master of Engineering in Electrical Engineering

Department of Electrical Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University


Academic Year 2001

ISBN 974-03-0686-1

หัวข้อวิทยานิพนธ์                      การออกแบบสร้างเครื่องกำเนิดกระแสอิมพัลส์ ขนาด 75 kA 30 kJ  
โดย    นายพงศ์พันธุ์ ปริญญาตรี  
สาขาวิชา                                      วิศวกรรมไฟฟ้า  
อาจารย์ที่ปรึกษา                              รองศาสตราจารย์ ดร.สำรวย สังข์สะอาด  
อาจารย์ที่ปรึกษา (ร่วม)                      อาจารย์ ดร.ชาญณรงค์ บาลมงคล

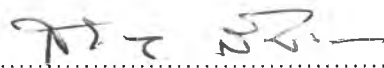
---


คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัย  
เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต


  
..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์  
(ศาสตราจารย์ ดร.สมศักดิ์ ปัญญาแก้ว)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

  
..... ประธานกรรมการ  
(รองศาสตราจารย์ ดร.ณรงค์ อยู่เนอม)

  
..... อาจารย์ที่ปรึกษา  
(รองศาสตราจารย์ ดร.สำรวย สังข์สะอาด)

  
..... อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม  
(อาจารย์ ดร.ชาญณรงค์ บาลมงคล)

  
..... กรรมการ  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ทับทิม อ่างแก้ว)

นายพงศ์พันธุ์ ปรียวงศ์: การออกแบบสร้างเครื่องกำเนิดกระแสอิมพัลส์ ขนาด 75 kA 30 kJ (DESIGN AND CONSTRUCTION OF A 75-kA, 30-kJ IMPULSE CURRENT GENERATOR)

ที่ปรึกษา : รองศาสตราจารย์ ดร.สำราญ สังข์สะอาด ที่ปรึกษาร่วม : อาจารย์ ดร.ชาญณรงค์ บาลมงคล, 124 หน้า ISBN 974-03-0686-1

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นรายงานการศึกษาค้นคว้าวิจัยเกี่ยวกับ การพัฒนาออกแบบสร้างเครื่องกำเนิดกระแสอิมพัลส์ ขนาด 75 kA 30 kJ เพื่อใช้ในการศึกษาวิจัย และการทดสอบกับดักเสิร์จ เครื่องกำเนิดกระแสอิมพัลส์นี้จะใช้สร้างกระแสอิมพัลส์รูปคลื่น 8/20  $\mu$ s และ รูปคลื่น 4/10  $\mu$ s ขนาด 75 kA โดยมีลักษณะสมบัติตามมาตรฐานกำหนดคือ เวลาค้นขึ้น เวลาค้นลง และค่ายอดกระแสชั่วตรงข้าม ค่าที่กำหนดทั้ง 3 ค่านี้จะนำมาใช้ในการคำนวณหาค่าองค์ประกอบของเครื่องกำเนิดกระแสอิมพัลส์ได้แก่ ค่าความต้านทาน และค่าความเหนี่ยวนำ สำหรับการวัดกระแสอิมพัลส์จะวัดด้วยโรกอปสกีคอยล์ชนิด RC integrator ที่ออกแบบสร้างขึ้นซึ่งมีค่าความไม่แน่นอนของการวัดได้ตามที่มาตรฐานกำหนด

จากการทดสอบสร้างกระแสอิมพัลส์ขนาด 75 kA และการทดสอบกับดักเสิร์จด้วยเครื่องกำเนิดกระแสอิมพัลส์ พบว่าเครื่องกำเนิดกระแสอิมพัลส์สามารถสร้างกระแสอิมพัลส์รูปคลื่น 8/20  $\mu$ s และ รูปคลื่น 4/10  $\mu$ s ได้ถึงขนาด 75 kA โดยมีลักษณะสมบัติอยู่ในช่วงตามมาตรฐานกำหนดไว้คือ รูปคลื่น 7.95/21  $\mu$ s และ รูปคลื่น 4.14/10.87  $\mu$ s สำหรับการทดสอบกับดักเสิร์จขนาด 5 kV 10 kA พบว่าเครื่องกำเนิดกระแสอิมพัลส์สามารถใช้ทดสอบกับดักเสิร์จได้ตามต้องการ ทั้งการทดสอบหาค่าแรงดันค้างเหลือ โดยใช้กระแสอิมพัลส์รูปคลื่น 8/20  $\mu$ s และการทดสอบความคงทนต่อกระแสอิมพัลส์ของกับดักเสิร์จ โดยใช้กระแสอิมพัลส์รูปคลื่น 4/10  $\mu$ s

ภาควิชา วิศวกรรมไฟฟ้า ลายมือชื่อนิสิต พงศ์พันธุ์ ปรียวงศ์  
 สาขาวิชา วิศวกรรมไฟฟ้ากำลัง ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา ดร. สำราญ  
 ปีการศึกษา 2544 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ชาญณรงค์ บาลมงคล

4270435121 : MAJOR ELECTRICAL ENGINEERING

KEY WORD : IMPULSE CURRENT , IMPULSE CURRENT GENERATOR

PONGPAN PARIYAVONG : DESIGN AND CONSTRUCTION OF A 75-kA, 30-kJ  
IMPULSE CURRENT GENERATOR. THESIS ADVISOR : SAMRUAY  
SANGKASAAD, Dr. Sc. Techn. THESIS CO-ADVISER : CHARNNARONG  
BANMONGKOL, Dr., 124 pp. ISBN 974-03-0686-1

This thesis presents the design and construction of an impulse current generator rated 75 kA 30 kJ for research and high voltage surge arrester test. The impulse current generator was designed to generate impulse current waveforms i.e. 8/20  $\mu$ s and 4/10  $\mu$ s with amplitude up to 75 kA. The impulse current waveforms have characteristics in accordance with standard specifications including front time, tail time and peak value of opposite polarity. These three above specifications will be used as criteria to determine the resistance and inductance components of the constructed impulse current generator. The generated impulse currents have been measured by RC integrator Rogowski coil which was also designed and constructed in this project. The RC integrator Rogowski coil has an uncertainty according to relevant standard.

The impulse current generator was tested to generate standard impulse current up to 75 kA and was used to perform the test on surge arrester. The test results show that the impulse current generator could generate both impulse current waveforms of 8/20  $\mu$ s and 4/10  $\mu$ s up to 75 kA. The generated impulse currents have the characteristics conform to the standard which are 7.95/21  $\mu$ s and 4.14/10.87  $\mu$ s. The constructed impulse current generator was applied to perform the test on lightning arrester rated 5 kV 10 kA for carrying out residual voltage test by 8/20  $\mu$ s impulse current waveform and high current impulse withstand test by 4/10  $\mu$ s impulse current waveform.

Department.....	Electrical Engineering.....	Student's signature.....	<i>Pongpan Pariyavong</i>
Field of study.....	Electrical Engineering.....	Advisor's signature.....	<i>S. Sangkasaad</i>
Academic year.....	2001.....	Co-advisor's signature.....	<i>Charnray Banmongkol</i>

## กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดีด้วยความช่วยเหลือ และคำชี้แนะจากอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ รองศาสตราจารย์ ดร. สัมพรย สังกัษะอาด และ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม อาจารย์ ดร.ชาญณรงค์ บาลมงคล ที่ได้กรุณาตรวจสอบแก้ไขวิทยานิพนธ์ให้เป็นที่เรียบร้อย จึงขอขอบพระคุณท่านทั้งสองไว้ ณ โอกาสนี้ และขอขอบคุณ เจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการไฟฟ้าแรงสูง ทุกๆท่านโดยเฉพาะคุณ วิทวัส งามประดิษฐ์ ที่ให้ความช่วยเหลือในด้านคำแนะนำ เทคนิคการทดสอบ อุปกรณ์และเอกสารการทดสอบ ตลอดจนความช่วยเหลือเมื่อผู้วิจัยประสบกับปัญหาเฉพาะหน้า ขอขอบคุณบริษัท PRECISE ELECTRIC MFG.CO., LTD ที่ให้ความอนุเคราะห์กับดักเสิร์จเพื่อใช้ทดสอบ และขอบคุณศูนย์เชี่ยวชาญพิเศษเฉพาะด้านเทคโนโลยีไฟฟ้ากำลัง ที่ให้การสนับสนุนเงินทุนการศึกษาแก่ผู้วิจัย

สุดท้ายนี้ทางผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ บิดามารดา ที่คอยสนับสนุน และส่งเสริมในการเรียนต่อระดับปริญญาโทมาโดยตลอด ทั้งทางด้านการเงินและกำลังใจเสมอมา

พงศ์พันธุ์ ปริญญา

4 ธันวาคม 2544

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย .....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ .....	จ
กิตติกรรมประกาศ .....	ฉ
สารบัญ .....	ช
สารบัญตาราง .....	ญ
สารบัญภาพ .....	ฎ
บทที่ 1 บทนำ .....	1
1.1 บทนำทั่วไป .....	1
1.2 ที่มาของปัญหา .....	2
1.3 ผลงานที่เกี่ยวข้อง .....	2
1.4 วัตถุประสงค์ .....	2
1.5 ขอบข่ายของงานวิจัย .....	3
1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ .....	3
บทที่ 2 หลักการสร้างกระแสมัลติ .....	4
2.1 รูปคลื่นกระแสมัลติมาตรฐาน .....	4
2.2 การสร้างกระแสมัลติ .....	5
2.3 การคำนวณองค์ประกอบวงจรกำเนิดกระแสมัลติด้วยวิธีนอมัลไลซ์ .....	7
2.3.1 วิธีการนอมัลไลซ์ .....	7
2.3.2 ความสัมพันธ์ระหว่างลักษณะสมบัติเชิงเทคนิคกับลักษณะสมบัติเชิง วิเคราะห์ .....	10
2.3.3 การคำนวณองค์ประกอบวงจรกำเนิดกระแสมัลติ .....	11
บทที่ 3 การออกแบบและประกอบสร้าง .....	13
3.1 เงื่อนไขการออกแบบสร้างและค่าที่กำหนด .....	13
3.2 การออกแบบโครงสร้าง .....	14
3.3 การออกแบบการจนวน .....	14
3.4 การคำนวณหาค่าองค์ประกอบวงจร .....	15
3.4.1 การเลือกจุดเหมาะสม .....	16
3.4.2 การคำนวณหาค่าองค์ประกอบ .....	16

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.5 ตัวนำบาร์ทองแดงต่อวงจร .....	18
3.5.1 แรงทางกล .....	18
3.5.2 การระบายความร้อน .....	19
3.5.3 ค่าความเหนียวนำของบาร์ทองแดง .....	20
3.6 องค์ประกอบความต้านทาน .....	20
3.6.1 ความต้านทานที่มีความเหนียวนำสำหรับรูปคลื่น 8/20 $\mu$ s .....	21
3.6.2 ความต้านทานไร้ความเหนียวนำสำหรับรูปคลื่น 4/10 $\mu$ s .....	23
3.7 ความต้านทานจำกัดกระแสอัดประจุ .....	24
3.8 สปราร์กแกปและไกสวิตช์ .....	25
3.9 อิมพัลส์โวลเตจดีไวเดอร์ .....	25
3.10 การประกอบสร้างเครื่องกำเนิดกระแสอิมพัลส์ .....	30
บทที่ 4 การวัดกระแสอิมพัลส์ .....	32
4.1 มาตรฐานการวัดกระแสอิมพัลส์ .....	33
4.2 หลักการทำงานของโรกอปสกีคอยล์ .....	33
4.3 การออกแบบสร้างคอยล์ .....	37
4.3.1 แกนขดลวด .....	37
4.3.2 ขดลวด .....	37
4.3.3 การซีลด์ .....	38
4.4 โรกอปสกีคอยล์ชนิด self integrator .....	39
4.4.1 หลักการโรกอปสกีคอยล์ชนิด self integrator .....	39
4.4.2 การออกแบบสร้างโรกอปสกีคอยล์ชนิด self integrator .....	41
4.5 โรกอปสกีคอยล์ชนิด RC integrator .....	44
4.5.1 หลักการโรกอปสกีคอยล์ชนิด RC integrator .....	44
4.5.2 การออกแบบสร้างโรกอปสกีคอยล์ชนิด RC integrator .....	45
4.6 การทดสอบและประเมินผลโรกอปสกีคอยล์ .....	49
4.6.1 การทดสอบและประเมินผลโรกอปสกีคอยล์ชนิด self integrator .....	49
4.6.2 การทดสอบและประเมินผลโรกอปสกีคอยล์ชนิด RC integrator .....	51
บทที่ 5 การทดสอบเครื่องกำเนิดกระแสอิมพัลส์ .....	55



สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
5.1 การทดสอบสร้างกระแสอิมพัลส์รูปคลื่นมาตรฐาน 8/20 $\mu$ s .....	55
5.2 การทดสอบสร้างกระแสอิมพัลส์รูปคลื่นมาตรฐาน 4/10 $\mu$ s .....	57
5.3 การทดลองใช้งานจริง .....	58
บทที่ 6 ผลการทดสอบเครื่องกำเนิดกระแสอิมพัลส์ .....	64
6.1 ผลการทดสอบสร้างกระแสอิมพัลส์รูปคลื่นมาตรฐาน 8/20 $\mu$ s .....	64
6.2 ผลการทดสอบสร้างกระแสอิมพัลส์รูปคลื่นมาตรฐาน 4/10 $\mu$ s .....	69
6.3 ผลการทดลองใช้งานจริง .....	74
6.3.1 ผลการทดสอบแรงดันค้างเหลือของกับดักเสิร์จ .....	74
6.3.2 ผลการทดสอบความคงทนต่อกระแสอิมพัลส์ของกับดักเสิร์จ .....	78
บทที่ 7 วิเคราะห์ผลการทดสอบ และสรุปผล .....	81
7.1 วิเคราะห์ผลการทดสอบ .....	81
7.2 สรุปผล .....	82
7.3 ข้อเสนอแนะ .....	83
รายการอ้างอิง .....	84
ภาคผนวก .....	85
ภาคผนวก ก ผลของการเปลี่ยนค่าองค์ประกอบวงจร .....	86
ภาคผนวก ข การคำนวณมิติของโรกอปสกีคอยล์ .....	87
ภาคผนวก ค อุปกรณ์วัดที่ใช้ในการทดสอบ .....	90
ภาคผนวก ง ผลการปรับเทียบโวลเตจดีไวเดอร์ .....	91
ภาคผนวก จ ผลการปรับเทียบโรกอปสกีคอยล์ชนิด self integrator .....	94
ภาคผนวก ฉ ผลการปรับเทียบโรกอปสกีคอยล์ชนิด RC integrator .....	98
ภาคผนวก ช ผลการทดสอบสร้างกระแสอิมพัลส์รูปคลื่นมาตรฐาน 8/20 $\mu$ s .....	106
ภาคผนวก ซ ผลการทดสอบสร้างกระแสอิมพัลส์รูปคลื่นมาตรฐาน 4/10 $\mu$ s .....	115
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์ .....	124

## สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1.1 การทดสอบความคงทนต่อกระแสอิมพัลส์ในสภาวะใช้งานด้วยรูปคลื่น 4/10 $\mu$ s .....	1
2.1 ค่าความคลาดเคลื่อนของรูปคลื่นกระแสอิมพัลส์ที่ยอมรับได้ .....	5
2.2 ค่านอมัลไลซ์ของสมการกระแสอิมพัลส์ .....	8
2.3 สมการนอมัลไลซ์ .....	9
2.4 สมการนอมัลไลซ์จากการวิเคราะห์ .....	9
3.1 ค่าทางเวลาของรูปคลื่นกระแสอิมพัลส์ที่เลือก .....	16
3.2 ผลทดสอบปรับเทียบโวลเตจดีไวเดอร์ที่สร้างขึ้นกับโวลเตจดีไวเดอร์มาตรฐาน .....	30
4.1 ผลการวัดปรับเทียบโรกอปสกีคอยล์ชนิด self integrator ด้วยรูปคลื่น 8/20 $\mu$ s .....	50
4.2 ผลการวัดปรับเทียบโรกอปสกีคอยล์ชนิด RC integrator ด้วยรูปคลื่น 8/20 $\mu$ s .....	51
4.3 ผลการวัดปรับเทียบโรกอปสกีคอยล์ชนิด RC integrator ด้วยรูปคลื่น 4/10 $\mu$ s .....	53
6.1 ผลการทดสอบสร้างกระแสอิมพัลส์ 8/20 $\mu$ s .....	64
6.2 ผลการทดสอบสร้างกระแสอิมพัลส์ 4/10 $\mu$ s .....	69
6.3 ผลการทดสอบหาค่าแรงดันค้างเหลือของกับดักเสิร์จชนิดมีแกป .....	77
6.4 ผลการทดสอบหาค่าแรงดันค้างเหลือของกับดักเสิร์จชนิดไม่มีแกป .....	77
6.5 ผลการทดสอบความคงทนต่อกระแสอิมพัลส์ของกับดักเสิร์จชนิดไม่มีแกป .....	80
7.1 ลักษณะสมบัติของรูปคลื่นกระแสอิมพัลส์ที่สร้างได้ .....	81
ง.1 ผลการปรับเทียบโวลเตจดีไวเดอร์ .....	91

## สารบัญญภาพ

รูปที่	หน้า
2.1 ลักษณะรูปคลื่นกระแสฟ้าผ่าตามมาตรฐาน IEC .....	4
2.2 วงจรพื้นฐานเครื่องกำเนิดกระแสอิมพัลส์ .....	5
2.3 วงจรเครื่องกำเนิดกระแสอิมพัลส์พร้อมอุปกรณ์วัด .....	6
2.4 รูปแบบของรูปคลื่นกระแสอิมพัลส์ .....	7
2.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพ ( $\eta$ ), กำลังงาน ( $P_n$ ), แรงแดันคร่อมตัว ต้านทาน ( $V_{RM}$ ) และค่ากระแสชั่วตัวตรงข้าม ( $i_r$ ) กับนอมัลไลซ์ความหน่วง ( $R_f$ ) .....	10
2.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพ ( $\eta$ ), นอมัลไลซ์ความหน่วง ( $R_f$ ), นอมัลไลซ์เวลาหน้าคลื่น ( $T_n$ ) กับอัตราส่วนเวลา ( $T_r / T_f$ ) .....	11
3.1 การติดตั้งตัวเก็บประจุอิมพัลส์ .....	14
3.2 ผลการจำลองวงจรสร้างกระแสอิมพัลส์รูปคลื่น 8/20 $\mu$ s .....	17
3.3 ผลการจำลองวงจรสร้างกระแสอิมพัลส์รูปคลื่น 4/10 $\mu$ s .....	18
3.4 แรงทางกลจากกระแสฟ้าผ่า .....	19
3.5 รูปคลื่นกระแสอิมพัลส์ที่สภาวะไม่ได้ต่อองค์ประกอบความต้านทาน .....	20
3.6 องค์ประกอบความต้านทาน 8/20 $\mu$ s ที่สร้างขึ้น .....	22
3.7 การพันลวดความต้านทานแบบไร้ความเหนี่ยวนำ .....	23
3.8 องค์ประกอบความต้านทาน 4/10 $\mu$ s ที่สร้างขึ้น .....	24
3.9 (a) สปาร์กแกป (b) ไกสวิตช์ .....	25
3.10 (a) ตัวเก็บประจุภาคแรงสูง $C_1$ (b) ตัวเก็บประจุภาคแรงต่ำ $C_2$ .....	26
3.11 วงจรทดสอบเปรียบเทียบโวลเตจดีไวเดอร์ .....	28
3.12 รูปคลื่นแรงดันอิมพัลส์เปรียบเทียบ .....	29
3.13 เครื่องกำเนิดกระแสอิมพัลส์ที่สร้างขึ้น .....	31
4.1 (a) การวัดกระแสด้วยโรกอปสก็คอยล์ (b) หลักการวัดกระแสของโรกอปสก็คอยล์ .....	33
4.2 วงจรสมมูลของโรกอปสก็คอยล์ .....	34
4.3 วงจรสมมูลเมื่อต่ออิมพีแดนซ์ขาออก .....	35
4.4 ผลตอบเชิงความถี่ของกระแสอิมพัลส์ (a) รูปคลื่น 8/20 $\mu$ s และ (b) รูปคลื่น 4/10 $\mu$ s ...	36
4.5 แกนขดลวด .....	37
4.6 การพันขดลวด .....	38
4.7 กล่องซีลด์สนามไฟฟ้า .....	38

## สารบัญญภาพ (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.8 วงจรสมมูลโรกอปสกีคอยล์ชนิด self integrator .....	39
4.9 ผลตอบสนองของควมถี่ของโรกอปสกีคอยล์ชนิด self integrator .....	40
4.10 โรกอปสกีคอยล์ชนิด self integrator .....	41
4.11 ผลตอบสนองของควมถี่ของโรกอปสกีคอยล์ชนิด self integrator .....	42
4.12 การจำลองรูปคลื่นที่ได้จากโรกอปสกีคอยล์ชนิด self integrator .....	43
4.13 วงจรสมมูลโรกอปสกีคอยล์ชนิด RC integrator .....	44
4.14 ผลตอบสนองของควมถี่ของโรกอปสกีคอยล์ชนิด RC integrator .....	45
4.15 (a) RC integrator (b) โรกอปสกีคอยล์ชนิด RC integrator .....	46
4.16 ผลตอบสนองของควมถี่ของโรกอปสกีคอยล์ชนิด RC integrator .....	47
4.17 การจำลองรูปคลื่นที่ได้จากโรกอปสกีคอยล์ชนิด RC integrator .....	48
4.18 ตัวอย่างรูปคลื่นปรับเทียบของโรกอปสกีคอยล์ชนิด self integrator รูปคลื่น 8/20 $\mu$ s ..	50
4.19 ตัวอย่างรูปคลื่นปรับเทียบของโรกอปสกีคอยล์ชนิด RC integrator รูปคลื่น 8/20 $\mu$ s ..	52
4.20 ตัวอย่างรูปคลื่นปรับเทียบของโรกอปสกีคอยล์ชนิด RC integrator รูปคลื่น 4/10 $\mu$ s ...	53
5.1 (a) การติดตั้งองค์ประกอบความต้านทานรูปคลื่น 8/20 $\mu$ s (b) การวัดกระแสอิมพัลส์ (c) วงจรเครื่องกำเนิดกระแสอิมพัลส์ .....	57
5.2 การติดตั้งองค์ประกอบความต้านทานรูปคลื่น 4/10 $\mu$ s .....	58
5.3 (a) กับดักเสิร์จชนิดมีแกป และ (b) กับดักเสิร์จชนิดไม่มีแกป .....	60
5.4 (a) วงจรทดสอบหาแรงดันสปาร์กผ่านของกับดักเสิร์จชนิดมีแกป (b) วงจรทดสอบหา แรงดันค้างเหลือของกับดักเสิร์จชนิดไม่มีแกป .....	61
5.5 วงจรทดสอบหาแรงดันค้างเหลือของกับดักเสิร์จ .....	62
5.6 วงจรทดสอบความคงทนต่อกระแสอิมพัลส์ของกับดักเสิร์จ .....	63
6.1 รูปคลื่นกระแสอิมพัลส์ 8/20 $\mu$ s ชั่วบวก .....	65
6.2 รูปคลื่นกระแสอิมพัลส์ 8/20 $\mu$ s ชั่วลบ .....	66
6.3 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างขนาดกระแสอิมพัลส์รูปคลื่น 8/20 $\mu$ s กับแรงดันอัดประจุ ....	68
6.4 รูปคลื่นกระแสอิมพัลส์ 4/10 $\mu$ s ชั่วบวก .....	70
6.5 รูปคลื่นกระแสอิมพัลส์ 4/10 $\mu$ s ชั่วลบ .....	71
6.6 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างขนาดกระแสอิมพัลส์รูปคลื่น 4/10 $\mu$ s กับแรงดันอัดประจุ ....	73
6.7 รูปคลื่นแรงดันสปาร์กผ่าน .....	74

## สารบัญญภาพ (ต่อ)

รูปที่	หน้า
6.8 ผลการทดสอบกับดักเสิร์จชนิดมีแกป .....	75
6.9 ผลการทดสอบกับดักเสิร์จชนิดไม่มีแกป .....	76
6.10 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันค้ำเหลือ กับกระแสอิมพัลส์ของกับดักเสิร์จ .....	78
6.11 ผลการทดสอบความคงทนต่อกระแสอิมพัลส์ของกับดักเสิร์จ .....	79
6.12 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันตกคร่อม กับกระแสอิมพัลส์ของกับดักเสิร์จ .....	80
ก.1 (a) กราฟแสดงผลของการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบของวงจรมีต่อขนาดกระแส	
(b) กราฟแสดงผลของการเปลี่ยนแปลงความต้านทานที่มีต่อคาบเวลา	
(c) กราฟแสดงผลของการเปลี่ยนแปลงความเหนี่ยวนำที่มีต่อคาบ	
(d) กราฟแสดงผลของการเปลี่ยนแปลงค่าความจุที่มีต่อคาบเวลา .....	86
ข.1 มิติของคอยล์ .....	87
ง.1 รูปคลื่นเปรียบเทียบโวลเตจดีไวเดอร์ขั้วลบ .....	92
ง.2 รูปคลื่นเปรียบเทียบโวลเตจดีไวเดอร์ขั้วบวก .....	93