สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การพัฒนาชุดทดลองการแบ่งแรงดันสูง

Developments of High Voltage Divider kits

โดย

นาย พรเทพ กิตติรุ่งเรือง
นาย วิษณุ ภูพวก
นาย ศุภฤกษ์ สุรเชษฐ์ชัยพงศ์
นาย สมนึก พัฒนชัย

ปพ.
พ24ลึก
2550

เลขหมู่..............................
เลขทะเบียน 81796
วัน,เดือน,ปี 24 มิ.ย. 2551

.b 11936332
.i..............................

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2550

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปีการศึกษา 2550

การพัฒนาชุดทดลองการแบ่งแรงดันสูง
Developments of High Voltage Divider kits

โดย

นาย พรเทพ กิตติรุ่งเรือง
นาย วิษณุ ภูพวก
นาย ศุภฤกษ์ สุรเชษฐ์ชัยพงศ์
นาย สมนึก พัฒนชัย

อาจารย์ที่ปรึกษา

รศ.ดร.อานันทวัฒน์ คุณากร
อ.นรเศรษฐ พัฒนเดช
อ.พีรวุฒิ ยุทธโกวิท

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2550

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง การพัฒนาชุดทดลองการแบ่งแรงดันสูง

ผู้จัดทำ

1. นาย พรเทพ กิตติรุ่งเรือง
2. นาย วิษณุ ภูพวก
3. นาย ศุภฤกษ์ สุรเชษฐ์ชัยพงศ์
4. นาย สมนึก พัฒนชัย

....อาจารย์ที่ปรึกษา

(รองศาสตราจารย์ ดร. อานันทวัฒน์ คุณากร)

.... อาจารย์ที่ปรึกษา

(อาจารย์ นรเศรษฐ พัฒนเดช)

.... อาจารย์ที่ปรึกษา

(อาจารย์ พีรวุฒิ ยุทธโกวิท)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การพัฒนาชุดทดลองการแบ่งแรงดันสูง

นาย พรเทพ กิตติรุ่งเรือง
นาย วิษณุ ภูพวก
นาย ศุภฤกษ์ สุรเชษฐ์ชัยพงศ์
นาย สมนึก พัฒนชัย
รศ.ดร.อานันทวัฒน์ คุณากร อาจารย์ที่ปรึกษา
อ.นรเศรษฐ พัฒนเดช อาจารย์ที่ปรึกษา
อ.พีรวุฒิ ยุทธโกวิท อาจารย์ที่ปรึกษา
ปีการศึกษา 2550

บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้นำเสนอในหัวข้อการพัฒนาชุดทดลองการแบ่งแรงดันสูง โดยได้ทำการออกแบบและศึกษาเกี่ยวกับคุณลักษณะของชุดทดลองการแบ่งแรงดันสูงด้านต่างๆ ได้แก่ ผลของขนาดตัวต้านทานและขนาดของตัวเก็บประจุต่อผลตอบสนองรูปขั้น รูปแบบการต่อตัวต้านทานหน่วงที่เหมาะสมสำหรับโวลเตจดิไวเดอร์แบบตัวเก็บประจุและลักษณะของผลตอบสนองรูปขั้นเมื่อชุดทดลองการแบ่งแรงดันสูงเกิดความเหนี่ยวนำค่าต่างๆ ทั้งในภาคแรงต่ำและแรงสูง ซึ่งจากผลการทดสอบชุดทดลองการแบ่งแรงดันสูงนี้เหมาะที่จะใช้เพื่อศึกษาคุณลักษณะของอุปกรณ์การแบ่งแรงดันสูงในห้องปฏิบัติการไฟฟ้าแรงสูง ต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Development of High voltage divider kits

Mr. Pornthep Kittirungruang
Mr. Witsanu Poopoug
Mr. Supparerk Surachetchaipong
Mr. Somnuek Puttanachai
Assoc.Prof.Dr.Anantawat Kunakorn Advisor
Lecturer Norasage Pattanadech Advisor
Lecturer Peerawut Yutthakowit Advisor
2007

ABSTRACT

This Thesis presents development of high voltage divider kits which designed and studied about any characteristic of them. First, the effect of values of resistors and capacitors on step response are considered. Second, in case of capacitive voltage divider the effect of varied values of damped resistor are considered. Third, the effect of inductance in HV part and LV part are investigated as well. From the test results, high voltage divider kits are useful for studying characteristic of voltage divider in HV laboratories.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ด้วยความช่วยเหลือจากหลายท่าน โดยเฉพาะอย่างยิ่ง รศ.ดร.อานันทวัฒน์ คุณากร อาจารย์นรเศรษฐ พัฒนเดช และอาจารย์พีรวุฒิ ยุทธโกวิท อาจารย์ที่ปรึกษาปริญญานิพนธ์ ที่ได้กรุณาให้คำแนะนำและข้อคิดเห็นต่างๆที่เป็นประโยชน์ต่อการวิจัยมาด้วยดีโดยตลอด และได้กรุณาตรวจสอบแก้ไขปริญญานิพนธ์จนสำเร็จเรียบร้อยเป็นอย่างดี ขอขอบคุณอาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ทุกท่านที่ได้ประสิทธิประสาทความรู้ให้กับผู้จัดทำ ตลอดจนพี่นุ้ย พี่มอส พี่มด นักศึกษาปริญญาโท สำหรับความช่วยเหลือ คำแนะนำ และข้อคิดเห็นต่างๆที่เป็นประโยชน์ต่อการวิจัยเป็นอย่างมาก

ท้ายนี้ผู้จัดทำขอกราบขอบพระคุณบิดา-มารดา ซึ่งสนับสนุนในด้านการเงิน และให้กำลังใจแก่ผู้จัดทำเสมอมา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	I
ABSTRACT	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญรูป	VI
สารบัญตาราง	XIV
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ชื่อโครงงาน	1
1.2 ความสำคัญของปัญหา	1
1.3 วัตถุประสงค์ของโครงงาน	1
1.4 ขอบเขตและข้อกำหนดในการวิจัย	1
1.5 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงานวิจัย	2
1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
บทที่ 2 หลักการวัดแรงดันอิมพัลส์	4
2.1 ส่วนนำ	4
2.2 รูปคลื่นแรงดันอิมพัลส์	4
2.3 วงจรพื้นฐานวัดแรงดันอิมพัลส์	6
2.4 คุณสมบัติที่ต้องการของระบบวัด	8
2.4.1 ผลตอบสนองรูปขั้น	8
2.4.2 สเกลแฟกเตอร์	13
2.5 โวลเตจดิไวเดอร์แบบต่าง ๆ	16
2.5.1 วงจรสมมูลทั่วไป	17
2.5.2 โวลเตจดิไวเดอร์แบบตวามต้านทาน	18
2.5.3 โวลเตจดิไวเดอร์แบบตัวเก็บประจุ	19
2.6 การต่อแมทชิงภาคแรงต่ำของระบบวัด	22
บทที่ 3 การออกแบบชุดทดลองการแบ่งแรงดันสูง	25
3.1 ชนิดของความต้านทานและคุณสมบัติต่าง ๆ	25
3.1.1 คาร์บอนรีซิสเตอร์(Carbon Resistors)	25

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

หน้า

3.1.2 คาร์บอนฟิล์มรีซิสเตอร์(Carbon Film Resistors)......................26
3.1.3 เม็ททอลฟิล์มรีซิสเตอร์(Metal Film Resistor)..........................26
3.1.4 ไวร์วาวด์รีซิสเตอร์(Wire Wound Resistors)............................27
3.2 ชนิดของตัวเก็บประจุและคุณสมบัติต่างๆ...27
3.2.1 ตัวเก็บประจุชนิดที่มีค่าคงที่ 28
3.2.2 ตัวเก็บประจุชนิดเปลี่ยนค่าได้ 32
3.3 การออกแบบชุดทดลองการแบ่งแรงดันสูง...33
3.3.1 เงื่อนไขในการออกแบบ..... 33
3.3.2 อุปกรณ์อื่นๆ ที่เกี่ยวข้อง.... 43

บทที่ 4 ผลการทดลอง..45
4.1 วงจรการทดลอง..45
4.2 อุปกรณ์การทดลอง..47
4.3 กราฟผลตอบสนองรูปขั้นจากการทดลอง 52
4.3.1 โวลเตจดิไวเดอร์ชนิดความต้านทานล้วน 52
4.3.2 โวลเตจดิไวเดอร์ชนิดตัวเก็บประจุ...66

บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง..108
5.1 สรุปผลการทดลอง..108
5.2 ปัญหาที่พบ...109

เอกสารอ้างอิง........ 110
ประวัติผู้จัดทำ........ 111

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
2.1	วงจรพื้นฐานของเครื่องกำเนิดแรงดันอิมพัลส์	4
2.2	แรงดันอิมพัลส์ที่เป็นฟังก์ชันของเวลา	6
2.3	วงจรพื้นฐานของระบบทดสอบแรงดันทั่วไป	6
2.4	ข่ายวงจร 4 ขั้วที่เขียนแทนระบบวัด	8
2.5	วงจรวัดผลตอบสนองรูปขั้นสำหรับระบบการวัดแรงดัน	10
2.6	นิยามของผลตอบสนอง	12
2.7	ความสัมพันธ์ระหว่าง β กับ T_{α} / T_x	12
2.8	ของความต้านทานของเคเบิลวัดที่มีต่อสเกลแฟกเตอร์	14
2.9	ภาพสเกดของค่าเก็บประจุสมมูลของโวลเตจดิไวเดอร์แบบตัวเก็บประจุ	15
2.10	ภาพสเกดซ์ของท่อทรงกระบอกวางอยู่เหนือพื้นระนาบ	16
2.11	วงจรสมมูลทั่วไปของโวลเตจดิไวเดอร์	17
2.12	วงจรสมมูลของโวลเตจดิไวเดอร์แบบความต้านทาน	18
2.13	วงจรสมมูลของโวลเตจดิไวเดอร์แบบตัวเก็บประจุ	19
2.14	ผลตอบสนองรูปขั้นของโวลเตจดิไวเดอร์แบบตัวเก็บประจุ	20
2.15	ผลตอบสนองรูปขั้นของโวลเตจดิไวเดอร์แบบตัวเก็บประจุ มีความต้านทานหน่วง	21
2.16	วงจรสมมูลสำหรับการต่อแมทชิงสำหรับโวลเตจดิไวเดอร์แบบต่าง ๆ	23
2.17	ภาพสเกดซ์ภาคตัดขวางของการต่อองค์ประกอบภาคแรงต่ำ	24
3.1	คาร์บอนรีซิสเตอร์	25
3.2	คาร์บอนฟิล์มรีซิสเตอร์	26
3.3	เม็ทตอลฟิล์มรีซิสเตอร์	26
3.4	ไวร์วาวด์รีซีสเตอร์	27
3.5	ตัวเก็บประจุแบบกระดาษ	28
3.6	ตัวเก็บประจุแบบไมก้า	28
3.7	ตัวเก็บประจุแบบเซรามิค	29
3.8	ตัวเก็บประจุแบบฟิล์ม	30
3.9	ตัวเก็บประจุแบบอิเล็กโตรไลตริก	31
3.10	ตัวเก็บประจุแบบแทนทาลั่ม	32
3.11	วาริเอเบิ้ล คาปาซิเตอร์	32
3.12	ชุดการทดลองการแบ่งแรงดันสูง	43

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
3.13	ลักษณะรูปร่างสล็อต	44
3.14	การประกอบกันของชุดทดสอบ	44
4.1	วงจรที่ใช้ในการทดลอง	45
4.2	วงจรการทดลอง	45
4.3	ชุดทดลองการแบ่งแรงดันสูง	46
4.4	Unit Step Generator	46
4.5	วงจรและองค์ประกอบของโวลเตจดิไวเดอร์ชนิดความต้านทานล้วน	48
4.6	วงจรและองค์ประกอบของโวลเตจดิไวเดอร์ชนิดความต้านทาน และเกิดค่าความเหนี่ยวนำในระบบ	49
4.7	วงจรและองค์ประกอบของโวลเตจดิไวเดอร์ชนิดตัวเก็บประจุ	50
4.8	วงจรและองค์ประกอบของโวลเตจดิไวเดอร์ชนิดตัวเก็บประจุ และระบบเกิดค่าความเหนี่ยวนำ	51
4.9	*ภาค*แรงสูงความต้านทานขนาด 330 Ω จำนวน 31 ตัว *ภาค*แรงต่ำความต้านทานขนาด 100 Ω จำนวน 10 ตัว ไม่ทำการต่อแมทชิ่ง	52
4.10	*ภาค*แรงสูงความต้านทานขนาด 330 Ω จำนวน 31 ตัว *ภาค*แรงต่ำความต้านทานขนาด 100 Ω จำนวน 10 ตัว ต่อแมทชิ่ง	53
4.11	*ภาค*แรงสูงความต้านทานขนาด 330 Ω จำนวน 31 ตัว *ภาค*แรงต่ำความต้านทานขนาด 100 Ω จำนวน 10 ตัว ต่อแมทชิ่ง ระบบเกิดค่าความเหนี่ยวนำ 1 μH ที่*ภาค*แรงสูง 1 ค่า	54
4.12	*ภาค*แรงสูงความต้านทานขนาด 330 Ω จำนวน 31 ตัว *ภาค*แรงต่ำความต้านทานขนาด 100 Ω จำนวน 10 ตัว ต่อแมทชิ่ง ระบบเกิดค่าความเหนี่ยวนำ 1 μH ที่*ภาค*แรงต่ำ 1 ค่า	55
4.13	*ภาค*แรงสูงความต้านทานขนาด 330 Ω จำนวน 31 ตัว *ภาค*แรงต่ำความต้านทานขนาด 100 Ω จำนวน 10 ตัว ต่อแมทชิ่ง ระบบเกิดค่าความเหนี่ยวนำ 1 μH ที่*ภาค*แรงต่ำ 3 ค่า	56
4.14	*ภาค*แรงสูงความต้านทานขนาด 330 Ω จำนวน 31 ตัว *ภาค*แรงต่ำความต้านทานขนาด 100 Ω จำนวน 10 ตัว ต่อแมทชิ่ง ระบบเกิดค่าความเหนี่ยวนำ1 μH ที่*ภาค*แรงสูง 1 ค่าและ*ภาค*แรงต่ำ 1 ค่า	57

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ หน้า

4.15 ภาคแรงสูงความต้านทานขนาด 30 kΩ จำนวน 31 ตัว
ภาคแรงต่ำความต้านทานขนาด 10 kΩ จำนวน 10 ตัว ต่อแมทชิ่ง 58

4.16 ภาคแรงสูงความต้านทานขนาด 330 Ω จำนวน 8 ตัว
ภาคแรงต่ำความต้านทานขนาด 100 Ω จำนวน 10 ตัว ต่อแมทชิ่ง 59

4.17 ภาคแรงสูงความต้านทานขนาด 330 Ω จำนวน 8 ตัว
ภาคแรงต่ำความต้านทานขนาด 100 Ω จำนวน 10 ตัว ต่อแมทชิ่ง
ระบบเกิดค่าความเหนี่ยวนำ1 μH ที่ภาคแรงสูง 1 ค่า 60

4.18 ภาคแรงสูงความต้านทานขนาด 330 Ω จำนวน 8 ตัว
ภาคแรงต่ำความต้านทานขนาด 100 Ω จำนวน 10 ตัว ต่อแมทชิ่ง
ระบบเกิดค่าความเหนี่ยวนำ1 μH ที่ภาคแรงสูง 3 ค่า 61

4.19 ภาคแรงสูงความต้านทานขนาด 330 Ω จำนวน 8 ตัว
ภาคแรงต่ำความต้านทานขนาด 100 Ω จำนวน 10 ตัว ต่อแมทชิ่ง
ระบบเกิดค่าความเหนี่ยวนำ 1 μH ที่ภาคแรงต่ำ 1 ค่า....................................62

4.20 ภาคแรงสูงความต้านทานขนาด 330 Ω จำนวน 8 ตัว
ภาคแรงต่ำความต้านทานขนาด 100 Ω จำนวน 10 ตัว ต่อแมทชิ่ง
ระบบเกิดค่าความเหนี่ยวนำ 1 μH ที่ภาคแรงต่ำ 3 ค่า....................................63

4.21 ภาคแรงสูงความต้านทานขนาด 330 Ω จำนวน 8 ตัว
ภาคแรงต่ำความต้านทานขนาด 100 Ω จำนวน 10 ตัว ต่อแมทชิ่ง
ระบบเกิดค่าความเหนี่ยวนำ1 μH ที่ภาคแรงสูง 1 ค่าและภาคแรงต่ำ 1 ค่า.....64

4.22 ภาคแรงสูงความต้านทานขนาด 330 Ω จำนวน 31 ตัว
ภาคแรงต่ำความต้านทานขนาด 100 Ω จำนวน 10 ตัว ต่อแมทชิ่ง
ระบบเกิดค่าความเหนี่ยวนำ1 μH ที่ภาคแรงสูง 3 ค่าและภาคแรงต่ำ 3 ค่า.....65

4.23 ภาคแรงสูงตัวเก็บประจุขนาด 1.5 nF 27 ตัว
ภาคแรงต่ำตัวเก็บประจุขนาด 4.7 nF 10 ตัว ต่อแมทชิ่ง................................66

4.24 ภาคแรงสูงตัวเก็บประจุขนาด 1.5 nF 27 ตัว
ภาคแรงต่ำตัวเก็บประจุขนาด 4.7 nF 10 ตัว ต่อแมทชิ่ง
ระบบเกิดค่าความเหนี่ยวนำ1 μH ที่ภาคแรงสูง 1 ค่า 67

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ หน้า

4.25 ภาคแรงสูงตัวเก็บประจุขนาด 1.5 nF 27 ตัว
ภาคแรงต่ำตัวเก็บประจุขนาด 4.7 nF 10 ตัว ต่อแมทชิ่ง
ระบบเกิดค่าความเหนี่ยวนำ1 μH ที่ภาคแรงสูง 3 ค่า....................................68

4.26 ภาคแรงสูงตัวเก็บประจุขนาด 1.5 nF 27 ตัว
ภาคแรงต่ำตัวเก็บประจุขนาด 4.7 nF 10 ตัว ต่อแมทชิ่ง
ระบบเกิดค่าความเหนี่ยวนำ1 μH ที่ภาคแรงต่ำ 1 ค่า....................................69

4.27 ภาคแรงสูงตัวเก็บประจุขนาด 1.5 nF 27 ตัว
ภาคแรงต่ำตัวเก็บประจุขนาด 4.7 nF 10 ตัว ต่อแมทชิ่ง
ระบบเกิดค่าความเหนี่ยวนำ1 μH ที่ภาคแรงต่ำ 3 ค่า....................................70

4.28 ภาคแรงสูงตัวเก็บประจุขนาด 1.5 nF 27 ตัว
ภาคแรงต่ำตัวเก็บประจุขนาด 4.7 nF 10 ตัว ต่อแมทชิ่ง
ระบบเกิดค่าความเหนี่ยวนำ1 μH ที่ภาคแรงสูง 1 ค่าและภาคแรงต่ำ 1 ค่า.....71

4.29 ภาคแรงสูงตัวเก็บประจุขนาด 1.5 nF 27 ตัว
ภาคแรงต่ำตัวเก็บประจุขนาด 4.7 nF 10 ตัว ต่อแมทชิ่ง
ระบบเกิดค่าความเหนี่ยวนำ1 μH ที่ภาคแรงสูง 3 ค่าและภาคแรงต่ำ 3 ค่า.....72

4.30 ภาคแรงสูงตัวเก็บประจุขนาด 1.5 nF 27 ตัว
ภาคแรงต่ำตัวเก็บประจุขนาด 4.7 nF 10 ตัว ต่อแมทชิ่ง
กระจายความต้านทานหน่วงแบบขนานขนาด 150 Ω จำนวน 3 ตัว...............73

4.31 ภาคแรงสูงตัวเก็บประจุขนาด 1.5 nF 27 ตัว
ภาคแรงต่ำตัวเก็บประจุขนาด 4.7 nF 10 ตัว ต่อแมทชิ่ง
กระจายความต้านทานหน่วงแบบขนานขนาด 150 Ω จำนวน 3 ตัว
ระบบเกิดค่าความเหนี่ยวนำ1 μH ที่ภาคแรงสูง 1 ค่า....................................74

4.32 ภาคแรงสูงตัวเก็บประจุขนาด 1.5 nF 27 ตัว
ภาคแรงต่ำตัวเก็บประจุขนาด 4.7 nF 10 ตัว ต่อแมทชิ่ง
กระจายความต้านทานหน่วงแบบขนานขนาด 150 Ω จำนวน 5 ตัว...............75

4.33 ภาคแรงสูงตัวเก็บประจุขนาด 1.5 nF 27 ตัว
ภาคแรงต่ำตัวเก็บประจุขนาด 4.7 nF 10 ตัว ต่อแมทชิ่ง
กระจายความต้านทานหน่วงแบบขนานขนาด 330 Ω จำนวน 3 ตัว...............76

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ หน้า

4.34 ภาคแรงสูงตัวเก็บประจุขนาด 1.5 nF 27 ตัว
ภาคแรงต่ำตัวเก็บประจุขนาด 4.7 nF 10 ตัว ต่อแมทชิ่ง
กระจายความต้านทานหน่วงแบบขนานขนาด 680 Ω จำนวน 3 ตัว...............77

4.35 ภาคแรงสูงตัวเก็บประจุขนาด 1.5 nF 27 ตัว
ภาคแรงต่ำตัวเก็บประจุขนาด 4.7 nF 10 ตัว ต่อแมทชิ่ง
กระจายความต้านทานหน่วงแบบอนุกรมขนาด 150 Ω จำนวน 3 ตัว 78

4.36 ภาคแรงสูงตัวเก็บประจุขนาด 1.5 nF 27 ตัว
ภาคแรงต่ำตัวเก็บประจุขนาด 4.7 nF 10 ตัว ต่อแมทชิ่ง
กระจายความต้านทานหน่วงแบบอนุกรมขนาด 150 Ω จำนวน 5 ตัว 79

4.37 ภาคแรงสูงตัวเก็บประจุขนาด 1.5 nF 27 ตัว
ภาคแรงต่ำตัวเก็บประจุขนาด 4.7 nF 10 ตัว ต่อแมทชิ่ง
กระจายความต้านทานหน่วงแบบอนุกรมขนาด 330 Ω จำนวน 3 ตัว 80

4.38 ภาคแรงสูงตัวเก็บประจุขนาด 1.5 nF 27 ตัว
ภาคแรงต่ำตัวเก็บประจุขนาด 4.7 nF 10 ตัว ต่อแมทชิ่ง
กระจายความต้านทานหน่วงแบบอนุกรมขนาด 680 Ω จำนวน 3 ตัว 81

4.39 ภาคแรงสูงตัวเก็บประจุขนาด 15 nF 27 ตัว
ภาคแรงต่ำตัวเก็บประจุขนาด 47 nF 10 ตัว ต่อแมทชิ่ง.................................82

4.40 ภาคแรงสูงตัวเก็บประจุขนาด 15 nF 27 ตัว
ภาคแรงต่ำตัวเก็บประจุขนาด 47 nF 10 ตัว ต่อแมทชิ่ง
ระบบเกิดค่าความเหนี่ยวนำ1 μH ที่ภาคแรงสูง 1 ค่า....................................83

4.41 ภาคแรงสูงตัวเก็บประจุขนาด 15 nF 27 ตัว
ภาคแรงต่ำตัวเก็บประจุขนาด 47 nF 10 ตัว ต่อแมทชิ่ง
ระบบเกิดค่าความเหนี่ยวนำ1 μH ที่ภาคแรงสูง 3 ค่า....................................84

4.42 ภาคแรงสูงตัวเก็บประจุขนาด 15 nF 27 ตัว
ภาคแรงต่ำตัวเก็บประจุขนาด 47 nF 10 ตัว ต่อแมทชิ่ง
ระบบเกิดค่าความเหนี่ยวนำ1 μH ที่ภาคแรงต่ำ 1 ค่า....................................85

4.43 ภาคแรงสูงตัวเก็บประจุขนาด 15 nF 27 ตัว
ภาคแรงต่ำตัวเก็บประจุขนาด 47 nF 10 ตัว ต่อแมทชิ่ง
ระบบเกิดค่าความเหนี่ยวนำ1 μH ที่ภาคแรงต่ำ 3 ค่า....................................86

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ หน้า

4.44 ภาคแรงสูงตัวเก็บประจุขนาด 15 nF 27 ตัว
ภาคแรงต่ำตัวเก็บประจุขนาด 47 nF 10 ตัว ต่อแมทชิ่ง
ระบบเกิดค่าความเหนี่ยวนำ1 μH ที่ภาคแรงสูง 1 ค่าและภาคแรงต่ำ 1 ค่า..... 87

4.45 ภาคแรงสูงตัวเก็บประจุขนาด 1.5 nF 27 ตัว
ภาคแรงต่ำตัวเก็บประจุขนาด 4.7 nF 10 ตัว ต่อแมทชิ่ง
ระบบเกิดค่าความเหนี่ยวนำ1 μH ที่ภาคแรงสูง 3 ค่าและภาคแรงต่ำ 3 ค่า..... 88

4.46 ภาคแรงสูงตัวเก็บประจุขนาด 1.5 nF 27 ตัว
ภาคแรงต่ำตัวเก็บประจุขนาด 4.7 nF 10 ตัว ต่อแมทชิ่ง
กระจายความต้านทานหน่วงแบบขนานขนาด 150 Ω จำนวน 3 ตัว............... 89

4.47 ภาคแรงสูงตัวเก็บประจุขนาด 1.5 nF 27 ตัว
ภาคแรงต่ำตัวเก็บประจุขนาด 4.7 nF 10 ตัว ต่อแมทชิ่ง
กระจายความต้านทานหน่วงแบบขนานขนาด 150 Ω จำนวน 5 ตัว............... 90

4.48 ภาคแรงสูงตัวเก็บประจุขนาด 15 nF 27 ตัว
ภาคแรงต่ำตัวเก็บประจุขนาด 47 nF 10 ตัว ต่อแมทชิ่ง
กระจายความต้านทานหน่วงแบบขนานขนาด 330 Ω จำนวน 3 ตัว............... 91

4.49 ภาคแรงสูงตัวเก็บประจุขนาด 15 nF 27 ตัว
ภาคแรงต่ำตัวเก็บประจุขนาด 47 nF 10 ตัว ต่อแมทชิ่ง
กระจายความต้านทานหน่วงแบบขนานขนาด 680 Ω จำนวน 3 ตัว............... 92

4.50 ภาคแรงสูงตัวเก็บประจุขนาด 15 nF 27 ตัว
ภาคแรงต่ำตัวเก็บประจุขนาด 47 nF 10 ตัว ต่อแมทชิ่ง
กระจายความต้านทานหน่วงแบบอนุกรมขนาด 150 Ω จำนวน 3 ตัว 93

4.51 ภาคแรงสูงตัวเก็บประจุขนาด 1.5 nF 27 ตัว
ภาคแรงต่ำตัวเก็บประจุขนาด 4.7 nF 10 ตัว ต่อแมทชิ่ง
กระจายความต้านทานหน่วงแบบอนุกรมขนาด 150 Ω จำนวน 5 ตัว 94

4.52 ภาคแรงสูงตัวเก็บประจุขนาด 1.5 nF 27 ตัว
ภาคแรงต่ำตัวเก็บประจุขนาด 4.7 nF 10 ตัว ต่อแมทชิ่ง
กระจายความต้านทานหน่วงแบบอนุกรมขนาด 330 Ω จำนวน 3 ตัว 95

4.53 ภาคแรงสูงตัวเก็บประจุขนาด 1.5 nF 27 ตัว
ภาคแรงต่ำตัวเก็บประจุขนาด 4.7 nF 10 ตัว ต่อแมทชิ่ง
กระจายความต้านทานหน่วงแบบอนุกรมขนาด 680 Ω จำนวน 3 ตัว 96

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ หน้า

4.54 ภาคแรงสูงตัวเก็บประจุขนาด 1.5 nF 27 ตัว
ภาคแรงต่ำตัวเก็บประจุขนาด 4.7 nF 10 ตัว ต่อแมทชิ่ง
กระจายความต้านทานหน่วงแบบอนุกรมขนาด 50 Ω จำนวน 1 ตัว 97

4.55 ภาคแรงสูงตัวเก็บประจุขนาด 1.5 nF 27 ตัว
ภาคแรงต่ำตัวเก็บประจุขนาด 4.7 nF 10 ตัว ต่อแมทชิ่ง
กระจายความต้านทานหน่วงแบบอนุกรมขนาด 100 Ω จำนวน 1 ตัว 98

4.56 ภาคแรงสูงตัวเก็บประจุขนาด 1.5 nF 27 ตัว
ภาคแรงต่ำตัวเก็บประจุขนาด 4.7 nF 10 ตัว ต่อแมทชิ่ง
กระจายความต้านทานหน่วงแบบอนุกรมขนาด 100 Ω จำนวน 1 ตัว
ระบบเกิดค่าความเหนี่ยวนำ1 μH ที่ภาคแรงต่ำ 1 ค่า.................................99

4.57 ภาคแรงสูงตัวเก็บประจุขนาด 1.5 nF 27 ตัว
ภาคแรงต่ำตัวเก็บประจุขนาด 4.7 nF 10 ตัว ต่อแมทชิ่ง
กระจายความต้านทานหน่วงแบบอนุกรมขนาด 100 Ω จำนวน 1 ตัว
ระบบเกิดค่าความเหนี่ยวนำ1 μH ที่ภาคแรงสูง 1 ค่า................................100

4.58 การทดลองแสดงผลตอบสนองรูปขั้นของโวลเตจดิไวเดอร์
ชนิดความต้านทานล้วนที่มีค่าความต้านทานต่างกัน....................................101

4.59 การทดลองแสดงผลตอบสนองรูปขั้นของโวลเตจดิไวเดอร์ชนิดตัวเก็บประจุมี
การหน่วงค่าความต้านทานหน่วงแบบอนุกรมที่ค่าต่างกัน.............................101

4.60 การทดลองแสดงผลตอบสนองรูปขั้นของโวลเตจดิไวเดอร์
ชนิดตัวเก็บประจุ ขนาด 15 nF ที่มีค่าความต้านทานหน่วง
อนุพันธ์ย่อยเท่ากับ 150 Ω กระจายจำนวน 3 ตัว...102

4.61 การทดลองแสดงผลตอบสนองรูปขั้นของโวลเตจดิไวเดอร์
ชนิดตัวเก็บประจุ ขนาด 15 nF ที่มีค่าความต้านทานหน่วง
อนุพันธ์ย่อยเท่ากับ 150 Ω กระจายจำนวน 5 ตัว...102

4.62 การทดลองแสดงผลตอบสนองรูปขั้นของโวลเตจดิไวเดอร์
ชนิดตัวเก็บประจุ ขนาด 15 nF ที่มีค่าความต้านทานหน่วง
อนุพันธ์ย่อยเท่ากับ 330 Ω กระจายจำนวน 3 ตัว...103

4.63 การทดลองแสดงผลตอบสนองรูปขั้นของโวลเตจดิไวเดอร์
ชนิดตัวเก็บประจุ ขนาด 1.5 nF ที่มีค่าความต้านทานหน่วง
อนุพันธ์ย่อยเท่ากับ 150 Ω กระจายจำนวน 3 ตัว...103

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ หน้า

4.64 การทดลองแสดงผลตอบสนองรูปขั้นของโวลเตจดิไวเดอร์ชนิดตัวเก็บประจุ ขนาด 1.5 nF ที่มีค่าความต้านทานหน่วงอนุพันธ์ย่อยเท่ากับ 150 Ω กระจายจำนวน 5 ตัว 104

4.65 การทดลองแสดงผลตอบสนองรูปขั้นของโวลเตจดิไวเดอร์ชนิดตัวเก็บประจุ ขนาด 1.5 nF ที่มีค่าความต้านทานหน่วงอนุพันธ์ย่อยเท่ากับ 330 Ω กระจายจำนวน 3 ตัว 104

4.66 การทดลองแสดงผลตอบสนองรูปขั้นของโวลเตจดิไวเดอร์ชนิดตัวเก็บประจุเพื่อเปรียบเทียบขนาดตัวเก็บประจุ 105

4.67 การทดลองแสดงผลตอบสนองรูปขั้นของโวลเตจดิไวเดอร์ชนิดตัวเก็บประจุขนาด 1.5 nF ในการเปรียบเทียบผลกระทบของขนาดค่าความเหนี่ยวนำ 105

4.68 การทดลองแสดงผลตอบสนองรูปขั้นของโวลเตจดิไวเดอร์ชนิดตัวเก็บประจุขนาด 15 nF ในการเปรียบเทียบผลกระทบของขนาดค่าความเหนี่ยวนำ 106

4.69 การทดลองแสดงผลตอบสนองรูปขั้นของโวลเตจดิไวเดอร์ชนิดตัวเก็บประจุขนาด 1.5 nF เพื่อเปรียบเทียบผลกระทบของบริเวณที่เกิดค่าความเหนี่ยวนำ 106

4.70 การทดลองแสดงผลตอบสนองรูปขั้นของโวลเตจดิไวเดอร์ชนิดตัวเก็บประจุขนาด 15 nF เพื่อเปรียบเทียบผลกระทบของบริเวณที่เกิดค่าความเหนี่ยวนำ 107

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

1.1 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงาน 2
3.1 พิกัดแรงดันสูงสุดของชุดทดลองการแบ่งแรงดันสูงที่ต้องการออกแบบสร้าง.....33

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ชื่อโครงงาน

การพัฒนาชุดทดลองการแบ่งแรงดันสูง

(Developments of High Voltage Divider kits)

1.2 ความสำคัญของปัญหา

ในการศึกษาการออกแบบและสร้างอิมพัลส์โวลเตจดิไวเดอร์ สามารถพัฒนาจากโวลเตจดิไวเดอร์ประเภทตัวเก็บประจุ หรือโวลเตจดิไวเดอร์ประเภทตัวต้านทาน ซึ่งในปัจจุบันนั้นถึงแม้ว่าการออกแบบสร้างอิมพัลส์โวลเตจดิไวเดอร์ได้มีการจัดทำกันอย่างแพร่หลายก็จริง แต่โวลเตจดิไวเดอร์ที่ได้ออกแบบมาส่วนใหญ่มักจะมีอายุการใช้งานที่ค่อนข้างสั้นประมาณ 1-3 ปี และประสิทธิภาพในการใช้งานอยู่ในระดับที่ไม่ค่อยเป็นที่น่าพอใจ เพื่อให้สามารถวิเคราะห์ปัญหาดังกล่าวได้ทางโครงงานจึงได้ออกแบบสร้างอิมพัลส์โวลเตจดิไวเดอร์แบบจำลองขึ้นมาเพื่อศึกษาคุณลักษณะต่าง ๆ ที่ส่งผลต่อการวัดเพื่อใช้เป็นข้อมูลอ้างอิงในการออกแบบพัฒนาปรับปรุงอิมพัลส์โวลเตจดิไวเดอร์ในอนาคต

1.3 วัตถุประสงค์ของโครงงาน

1) เพื่อศึกษาทฤษฎีและวิธีการออกแบบโวลเตจดิไวเดอร์เบื้องต้นโดยใช้ชุดจำลองโวลเตจดิไวเดอร์
2) เพื่อศึกษาแนวทางในการพัฒนาชุดจำลองโวลเตจดิไวเดอร์
3) เพื่อให้ข้อมูลที่ได้จากการศึกษาสามารถนำไปเป็นข้อมูลอ้างอิงสำหรับจัดสร้างโวลเตจดิไวเดอร์ในอนาคตได้

1.4 ขอบเขตและข้อกำหนดในการวิจัย

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อจำลองโครงสร้างและศึกษาผลของ ความต้านทานตัวเก็บประจุและตัวเหนี่ยวนำที่ใช้เป็นองค์ประกอบของอิมพัลส์โวลเตจดิไวเดอร์ โดยทดสอบด้วยสัญญาณรูปขั้นหนึ่งหน่วยที่ระดับแรงดันไม่เกิน 1 kV โดยทำการออกแบบโวลเตจดิไวเดอร์ 2 แบบคือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. โวลเตจดิไวเดอร์ชนิดความต้านทานล้วน
2. โวลเตจดิไวเดอร์ชนิดตัวเก็บประจุที่มีการกระจายตัวต้านทานเข้าไปเพื่อปรับปรุงคุณลักษณะสมบัติในการวัดแรงดันอิมพัลส์
   2.1 ความต้านทานต่อขนานกับตัวเก็บประจุ
   2.2 ความต้านทานต่ออนุกรมกับตัวเก็บประจุ

ซึ่งจะศึกษาว่าโวลเตจดิไวเดอร์แบบใดและลักษณะการจัดวางองค์ประกอบของภาคแรงสูงและภาคแรงต่ำแบบใดที่ทำให้โวลเตจดิไวเดอร์ที่ได้ปรับปรุงแก้ไขแล้วมีผลตอบสนองดีขึ้น หาค่าสเกลแฟคเตอร์โดยใช้วิธีวัดค่าอิมพีแดนซ์ ศึกษาผลของค่าตัวเหนี่ยวนำต่อสัญญาณรูปขั้นที่ได้จากโวลเตจดิไวเดอร์แต่ละชนิด

1.5 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงานวิจัย

ตารางที่ 1.1 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงาน

ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย	พ.ศ.2550				
	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.
1.ศึกษางานวิจัยต่าง ๆที่เกี่ยวข้อง					
2.ศึกษามาตรฐานต่าง ๆที่ใช้ในการทดสอบ					
3.ศึกษาทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง					
4.จัดเตรียมอุปกรณ์ทั้งหมดที่เกี่ยวข้อง					

▪▪▪▪▪ แผนงาน

▬▬▬ ดำเนินการจริง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย	พ.ศ.2550		พ.ศ.2551		
	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.
5.ทำการทดสอบ	■■■ ▬▬▬	■■■ ▬▬▬			
6.แก้ไขและปรับปรุง	■■■ ▬▬▬	■■■ ▬▬▬	■ ▬		
7.สรุปและประเมินผลการทดสอบ		■■■ ▬▬▬	■■■ ▬▬▬	■■■ ▬▬▬	
8.จัดทำปริญญานิพนธ์ฉบับสมบูรณ์		■■■ ▬▬▬	■■■ ▬▬▬	■■■ ▬▬▬	▬▬▬

■■■■■ แผนงาน

▬▬▬▬ ดำเนินการจริง

1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. เข้าใจทฤษฎีและหลักการสร้างอิมพัลส์โวลเตจดิไวเดอร์แบบต่างๆ
2. สามารถใช้งานโวลเตจดิไวเดอร์ได้อย่างเหมาะสม
3. มีความรู้ในการออกแบบและสามารถออกแบบโวลเตจดิไวเดอร์ได้อย่างเหมาะสม
4. ข้อมูลที่ได้จากการศึกษาสามารถนำไปใช้เป็นข้อมูลอ้างอิงสำหรับการออกแบบสร้างโวลเตจดิไวเดอร์ได้ในอนาคต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

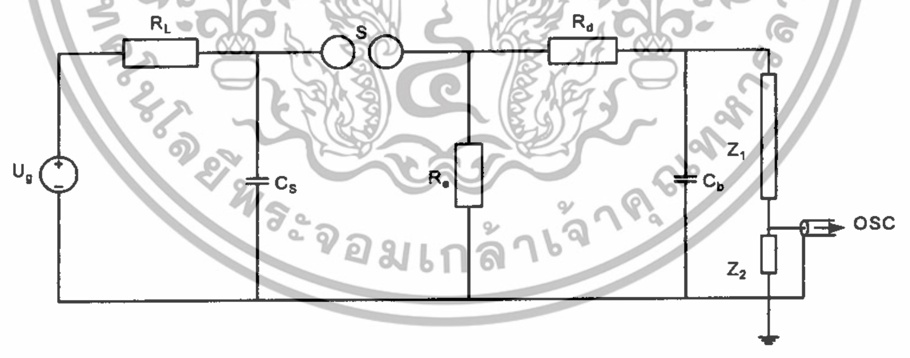
หลักการวัดแรงดันอิมพัลส์

2.1 ส่วนนำ

เนื่องจากแรงดันอิมพัลส์เป็นแรงดันที่ไม่เป็นคาบ เกิดขึ้นและหายไปอย่างรวดเร็ว ฉะนั้นการวัดแรงดันอิมพัลส์จึงต้องใช้ระบบวัดที่มีความไวและคุณลักษณะเฉพาะ การวัดแรงดันอิมพัลส์ที่ใช้ในปัจจุบันอาจวัดได้ด้วยแกปทรงกลมและโวลเตจดิไวเดอร์ แต่การวัดด้วยแกปทรงกลมนั้นมักจะใช้เพียงเพื่อทำการปรับเทียบ (calibration) ระบบวัด ทั้งนี้เพราะว่าการวัดด้วยแกปทรงกลมเป็นการวัดค่ายอดเท่านั้น โดยไม่ทราบลักษณะรูปคลื่นแรงดันที่เปลี่ยนแปลงไปตามเวลา ในทางปฏิบัติจึงนิยมใช้โวลเตจดิไวเดอร์ในการวัด โดยอาศัยหลักการลดทอนแรงดันลงมาให้ต่ำพอด้วยอิมพิแดนซ์ แล้วใช้อุปกรณ์วัดหรือบันทึก เช่น โวลต์มิเตอร์วัดค่ายอดและออสซิลโลสโคปที่ช่วยให้บันทึกรูปคลื่นได้ [1]

2.2 รูปคลื่นแรงดันอิมพัลส์

แรงดันอิมพัลส์ในที่นี้จะหมายถึงแรงดันอิมพัลส์รูปคลื่นฟ้าผ่าที่สร้างจากเครื่องกำเนิดแรงดันอิมพัลส์ [2] ดังวงจรที่แสดงในรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 วงจรพื้นฐานของเครื่องกำเนิดแรงดันอิมพัลส์

โดยสัญลักษณ์ต่าง ๆ มีความหมาย ดังนี้

U_g คือ แรงดันกระแสตรงของตัวจ่าย

R_L คือ ความต้านทานจำกัดกระแสอัดประจุ

C_s คือ ตัวเก็บประจุอิมพัลส์

S คือ สปาร์กแกป

R_e คือ ความต้านทานหลังคลื่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

R_d คือ ความต้านทานหน้าคลื่น

C_b คือ ตัวเก็บประจุโหลด

Z_1 คือ อิมพีแดนซ์ภาคแรงสูงของโวลเตจดิไวเดอร์

Z_2 คือ อิมพีแดนซ์ภาคแรงต่ำของโวลเตจดิไวเดอร์

เนื่องจากแรงดันอิมพัลส์เป็นแรงดันที่สร้างจากวงจรทรานเซียนต์ RC และสมการของแรงดันที่ได้จากวงจรสามารถเขียนเป็นฟังก์ชันทางเวลาได้ว่า [2]

$$U(t) = \frac{U_0}{k} \cdot \frac{1}{(\alpha_2 - \alpha_1)} \cdot [e^{-\alpha_1 t} - e^{-\alpha_2 t}] \qquad (2.1)$$

หรือ

$$U(t) = A \cdot [e^{-\alpha_1 t} - e^{-\alpha_2 t}] \qquad (2.2)$$

โดยที่ α_1, α_2 คือรากของสมการ $s^2 + B_1 s + B_0 = 0$

$$\alpha_1, \alpha_2 = \frac{B_1}{2} \mp \sqrt{\left[\frac{B_1}{2}\right]^2 - B_0} \qquad (2.3)$$

เมื่อ

$$B_0 = \frac{1}{R_d R_e C_b C_s} \qquad (2.4)$$

$$B_1 = \frac{R_d C_s + R_e C_s + R_e C_b}{R_d R_e C_b C_s}$$

และ A คือค่าคงที่ มีค่าเท่ากับ $\frac{U_0}{k} \cdot \frac{1}{(\alpha_2 - \alpha_1)}$

จึงเห็นได้ว่า สมการของแรงดันอิมพัลส์จะแปรตามเวลาและมีค่าคงตัวเวลาอยู่ที่ 2 ค่า คือ $\frac{1}{\alpha_1}$ และ $\frac{1}{\alpha_2}$ โดยค่าเวลาคงตัว $\frac{1}{\alpha_2}$ จะมีผลต่อช่วงหน้าคลื่น(T_1)และค่าคงตัวเวลา $\frac{1}{\alpha_1}$ จะมีผลต่อช่วงหางคลื่น(T_2)ตามสมการ (2.5)

$$T_1 = \frac{k_2}{\alpha_2} \qquad (2.5)$$

$$T_2 = \frac{k_1}{\alpha_1}$$

เมื่อค่าคงที่ $k_1, k_2, \alpha_1, \alpha_2$ ขึ้นอยู่กับรูปคลื่นแรงดันอิมพัลส์ ในกรณีของรูปคลื่นฟ้าผ่า 1.2/50 μs จะมีค่าคงที่ดังกล่าวเป็น [2]

$k_1 = 0.73$

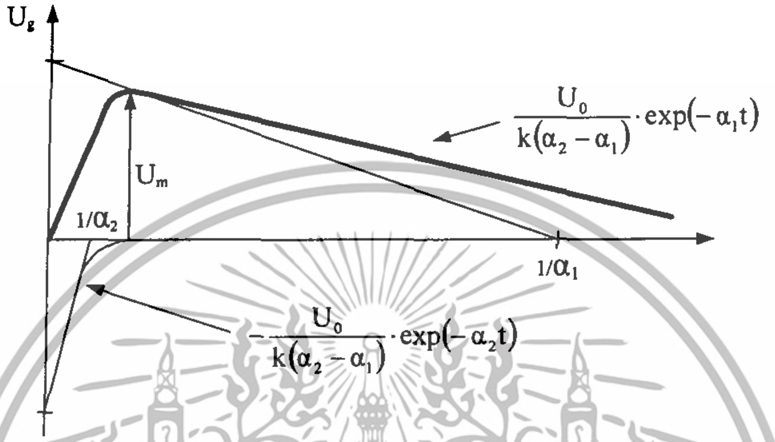
$k_2 = 2.96$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$1/\alpha_1 = 68.2\ \mu s$

$1/\alpha_2 = 0.405\ \mu s$

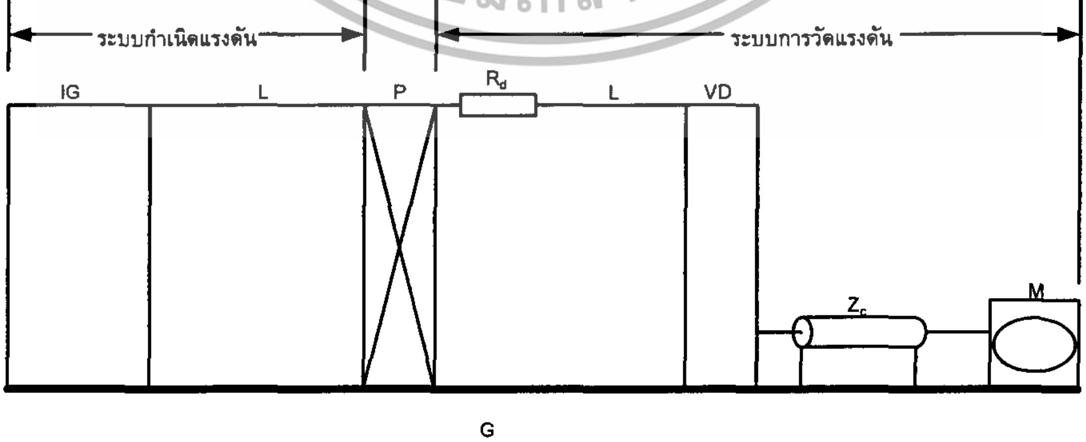
จะเห็นได้ว่าค่าคงตัวเวลา $\frac{1}{\alpha_1}$ และ $\frac{1}{\alpha_2}$ นั้นมีค่าแตกต่างกันประมาณ 168 เท่าทำให้ค่าคงตัวเวลาช่วงหน้าคลื่นไม่มีผลกระทบต่อค่าแรงดันในช่วงหางคลื่นที่ค่าเวลามาก ๆ ดังแสดงในรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 แรงดันอิมพัลส์ที่เป็นฟังก์ชันของเวลา

2.3 วงจรพื้นฐานวัดแรงดันอิมพัลส์

วงจรพื้นฐานการวัดแรงดันอิมพัลส์จะประกอบด้วยสายนำ(L)ต่อจากจุดที่ต้องการวัดแรงสูง เช่นวัตถุทดสอบ P ซึ่งอาจมีความต้านทานหน่วง R_d อยู่ที่ต้นสายตัวนำหรือที่อิเล็กโทรดแรงสูงของโวลเตจดิไวเดอร์ VD เคเบิลวัด Z_C อุปกรณ์วัดและบันทึกรูปคลื่น M และระบบวัดจะต้องมีระบบสายดิน G ที่ดีดังในรูปที่ 2.3



รูปที่2.3 วงจรพื้นฐานของระบบทดสอบแรงดันทั่วไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากวงจรในรูปที่ 2.3 องค์ประกอบในระบบวัดแรงดันจะมีหน้าที่ต่างๆดังนี้

1) ความต้านทานหน่วง R_d ทำหน้าที่หน่วงการแกว่งในภาวะทรานเซียนต์ที่เกิดจากค่าความเหนี่ยวนำของสายนำกับค่าเก็บประจุของโวลเตจดิไวเดอร์ ความต้านทานหน่วงที่ใช้เป็นแบบไร้ความเหนี่ยวนำซึ่งอาจต่อไว้ที่ต้นสายนำหรือที่อิเล็กโทรดแรงสูงของโวลเตจดิไวเดอร์ ในกรณีที่สายนำมีความยาวมาก การต่อความต้านทานหน่วงที่ต้นสายนำ โดยให้มีค่าประมาณเท่ากับค่าเสิร์จอิมพีแดนซ์ของสายนำ จะหน่วงการแกว่งที่เกิดจากค่าอิมพิแดนซ์ที่ไม่เท่ากันของสายนำกับวงจรกำเนิดแรงดันและโวลเตจดิไวเดอร์ [1]

2) สายนำระหว่างวัสดุทดสอบกับโวลเตจดิไวเดอร์ โดยทั่วไปโวลเตจดิไวเดอร์จะต้องอยู่ห่างจากอุปกรณ์ทดสอบโดยความยาวของสายนำจะต้องมีความยาวอย่างน้อยเท่ากับความสูงของโวลเตจดิไวเดอร์เพื่อลดผลกระทบเนื่องจากสนามไฟฟ้าที่มีต่อโวลเตจดิไวเดอร์ลง ขนาดของสายนำควรจะต้องมีขนาดโตพอที่จะไม่ทำให้เกิดโคโรนา ซึ่งจะเป็นคลื่นรบกวนต่อระบบวัดแรงดันได้ในวงจรทดสอบทั่วไป สายนำมักอยู่ในแนวระดับ ซึ่งเวลาคลื่นเดินทาง τ_L จะมีค่าขึ้นอยู่กับความเร็วแสง c เนื่องจาก $Z_L = \sqrt{\frac{L_L}{C_L}}$ และ $\tau_L = \sqrt{L_L C_L} = \frac{\ell}{c}$ โดย L_L คือค่าความเหนี่ยวนำ C_L คือค่าเก็บประจุและ ℓ คือความยาวสายตัวนำ ตามลำดับ ดังนั้น จะได้ว่า $Z_L = (\frac{\ell}{c})\ C_L$ ค่าเก็บประจุของสายนำสามารถคำนวณได้ โดยสมมติว่าสายนำเป็นทรงกระบอกมีเส้นผ่าศูนย์กลาง d วางอยู่สูง H เหนือระนาบดิน สมการหาค่าเก็บประจุของสายนำคือ [1]

$$C_L = \frac{2\pi\varepsilon_0\ell}{A} \qquad (2.6)$$

โดยที่ $$A = \ln\left(\frac{4H}{d}\right) - \ln\frac{1}{2}\left(1+\sqrt{1+2(\frac{H}{\ell})^2}\right)$$

เนื่องจาก $c = 1/\sqrt{\mu_0\varepsilon_0}$ โดยที่ μ_0 และ ε_0 คือค่าเพอร์มีบิลิตีและค่าเพอร์มิตติวิตีของอวกาศตามลำดับ ดังนั้น จะได้ค่าเสิร์จอิมพีแดนซ์ของสายนำเป็น

$$Z_L = \frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{\mu_0}{\varepsilon_0}}\ A \approx 60A \qquad (2.7)$$

3) โวลเตจดิไวเดอร์ ทำหน้าที่ลดทอนแรงดันสูงลงมาให้มีขนาดอยู่ในย่านที่อุปกรณ์วัดในภาคแรงต่ำสามารถวัดได้

4) เคเบิลวัดทำหน้าที่ส่งสัญญาณจากภาคแรงต่ำของโวลเตจดิไวเดอร์มายังอุปกรณ์วัดเพื่อให้เกิดความปลอดภัยต่อผู้ปฏิบัติงานและลดการรบกวนจากสนามแม่เหล็กไฟฟ้า โดยทั่วไปเป็นแบบแกนร่วม(coaxial cable)ที่มีการลดทอนของสัญญาณต่ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5) อุปกรณ์วัดและบันทึกรูปคลื่น เป็นออสซิลโลสโคป อุปกรณ์เหล่านี้จะอยู่ในห้องที่มีชีลด์เพื่อลดสัญญาณรบกวนจากภายนอก

6) ระบบสายดิน ทำหน้าที่เชื่อมจุดต่อลงดินของอุปกรณ์ต่าง ๆในระบบทดสอบให้มีศักย์ไฟฟ้าเท่ากัน ปกติสายดินจะเป็นชนิดที่มีค่าความเหนี่ยวนำต่ำเพื่อให้แรงดันตกในสายดินมีค่าน้อยที่สุด โดยทั่วไปจะใช้แถบโลหะบาง เช่น ทองแดงแผ่นบาง

2.4 คุณสมบัติที่ต้องการของระบบวัด

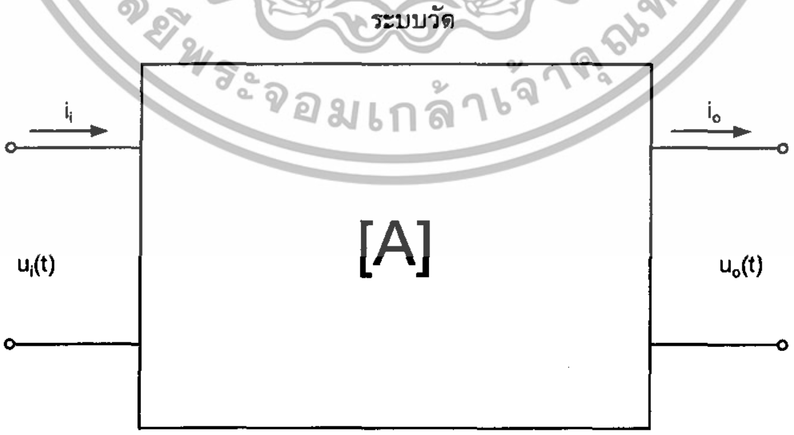
เพื่อให้ผลการวัดขนาดและลักษณะรูปคลื่นของแรงดันมีความถูกต้องจึงจำเป็นต้องมีระบบวัดที่ดี ซึ่งคุณสมบัติของระบบวัดแรงดันทั่วไปจะพิจารณาจากองค์ประกอบที่สำคัญ 2 ประการ คือ

1) ผลตอบสนองรูปขั้น
2) สเกลแฟกเตอร์

2.4.1 ผลตอบสนองรูปขั้น

เพื่อให้เข้าใจลักษณะสมบัติการถ่ายโอน (transfer characteristic) ของโวลเตจดิไวเดอร์ซึ่งขึ้นอยู่กับความถี่ได้ดีขึ้น จึงควรที่จะได้ทราบถึงคำจำกัดความหรือความหมายที่เกี่ยวข้องบางประการเสียก่อน

โวลเตจดิไวเดอร์ถือเป็นองค์ประกอบเชิงเส้นแบบเฉื่อยงาน(Passive component) ซึ่งสามารถเขียนแทนได้ด้วยข่ายวงจร 4 ขั้ว ดังแสดงในรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 ข่ายวงจร 4 ขั้วที่เขียนแทนระบบวัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความสัมพันธ์ระหว่างพารามิเตอร์ขาเข้าและขาออกในเชิงความถี่ สามารถเขียนแทนได้ด้วยสมการ

$$\begin{bmatrix} U_i(s) \\ I_i(s) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A_{11}(s) & A_{12}(s) \\ A_{21}(s) & A_{22}(s) \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} U_o(s) \\ I_o(s) \end{bmatrix} \qquad (2.8)$$

เมื่อ s คือตัวแปลงลาปลาซ

ในกรณีที่ $I_o \approx 0$ จะสามาระเขียนฟังก์ชั่นถ่ายโอน(transfer function)ได้เป็น

$$H(s) = \frac{Uo(s)}{Ui(s)} = \frac{1}{A_{11}(s)} \qquad (2.9)$$

ค่า H(s) จะแทนผลตอบสนองในเชิงความถี่ของระบบวัด ที่ความถี่ต่ำๆ ค่ายอดจะมีค่าคงที่ เมื่อความถี่มีค่าเพิ่มขึ้นค่ายอดจะเริ่มมีการเปลี่ยนแปลง ความถี่ที่ค่ายอดมีค่าเปลี่ยนแปลงไป± 3dB เรียกว่าความถี่จำกัด (limit frequency) [3] ดังนั้น ฟังก์ชั่นถ่ายโอนหนึ่งหน่วย(normalized transfer function) จะสามาระเขียนแทนได้ด้วย

$$h(s) = \frac{A_{11}(0)}{A_{11}(s)} \qquad (2.10)$$

เนื่องจากโวลเตจดิไวเดอร์มักจะมีสเกลแฟกเตอร์ที่ค่อนข้างสูง ดังนั้น การหาผลตอบสนองแอมพลิจูด/ความถี่(amplitude/frequency response)จึงทำได้ค่อนข้างยาก วิธีที่นิยมในทางปฏิบัติคือการหาผลตอบสนองรูปขั้น (step response) G(t) ซึ่งมีความสัมพันธ์กับฟังก์ชั่นถ่ายโอนเป็น

$$G(t) = L^{-1}\left[\frac{1}{s}H(s)\right] \qquad (2.11)$$

จาผลตอบสนองรูปขั้นที่ได้จะสามารถคำนวณหาค่าแรงดันขาออก เมื่อทราบแรงดันขาเข้า $V_i(t)$ ใดๆ ได้จาก

$$V_0(t) = \int_0^t Vi(t-\tau).G(\tau).d\tau \qquad (2.12)$$

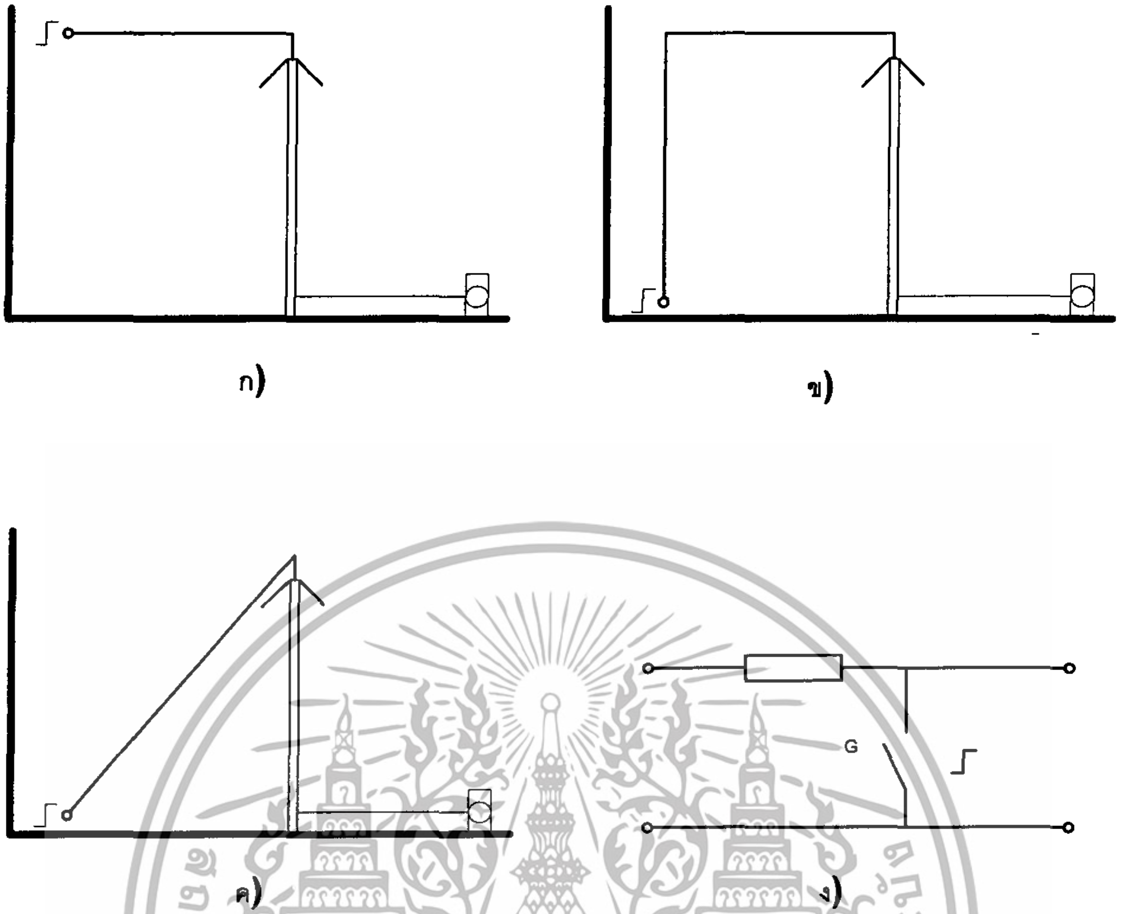
เมื่อ $V'i(t-\tau)$ คืออนุพันธ์ของ $Vi(t-\tau)$ เมื่อเทียบกับ τ

เวลาตอบสนองของระบบวัดสามารถคำนวณได้จากฟังก์ชันถ่ายโอนนอร์มัลไลซ์ ดังแสดงในสมการ(2.13)

$$T_N = \lim_{s \to 0}\left[\frac{1-h(s)}{s}\right] \qquad (2.13)$$

โดยวงจรที่ใช้ในการวัดผลตอบสนองรูปขั้นตามข้อกำหนดของมาตรฐาน IEC 60-2(1994) [3] แสดงไว้ในรูปที่ 2.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.5 วงจรวัดผลตอบสนองรูปขั้นสำหรับระบบการวัดแรงดัน โดยที่ G คือแกปสร้างแรงดันรูปขั้น

วงจรที่มาตรฐานแนะนำไว้คือ วงจรในรูปที่ 2.5 ก) และพารามิเตอร์ผลตอบสนองที่ได้จากการวัดผลตอบสนองรูปขั้น มาตรฐานได้กำหนดนิยามไว้ดังนี้

1) พารามิเตอร์ผลตอบสนอง (response parameters) หมายถึง พารามิเตอร์ซึ่งได้จากการวัดผลตอบสนองรูปขั้นโดยวิธีที่กำหนด

2) จุดเริ่มต้นเสมือนของผลตอบสนองรูปขั้น (virtual origrin of a step response, O_1) หมายถึง จุดตัดบนแกนเวลาของเส้นตรงที่ลากทาบกับส่วนที่ชันที่สุดของหน้าคลื่นของผลตอบสนองรูปขั้น ในกรณีที่มีการแกว่งบนหน้าคลื่น จะใช้เส้นเฉลี่ยลากผ่านส่วนที่เกิดการแกว่งและใช้เส้นนี้ในการหาเส้นตรงข้างต้น

3) ผลตอบสนองรูปขั้นนอร์มัลไลซ์ (normalized step response, g(t)) หมายถึง ผลตอบสนองรูปขั้นที่นอร์มัลไลซ์ให้ระดับอ้างอิงมีค่าเป็นหนึ่งหน่วย (ดูรูปที่ 2.6 ก)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4) อินทีกรัลผลตอบสนองรูปขั้น (step response intrigral) หมายถึง อินทรีกรัล จาก O_1 ถึง t ของ 1 ลบด้วยผลตอบสนองรูปขั้น g(t) (ดูรูปที่ 2.6ข)

$$T(t) = \int_{O_1}^{\tau} (1 - g(\tau))d\tau$$

5) เวลาตอบสนองจากการทดลอง (experimental response time,T_N) หมายถึง ค่าของอินทิกรัลผลตอบสนองรูปขั้นที่ t_{max}

$$T_N = T(t_{max})$$

6) เวลาตอบสนองบางส่วน (partial response time, T_α) หมายถึง ค่าสูงสุดของอินทีกรัลผลตอบสนองรูปขั้น

7) เวลาตอบสนองเศษเหลือ (residual response time, $T_R(t_i)$) หมายถึง เวลาตอบสนองลบด้วยค่าของอินทีกรัลผลตอบสนองรูปขั้นที่เวลาที่กำหนด t_i โดย $t_i < t_{max}$

$$T_R(t_i) = T_N - T(t_i)$$

8) ส่วนพุ่งเกิน (overshoot,β)หมายถึง ค่าสูงสุดของผลตอบสนองรูปขั้นหนึ่งหน่วย g(t) ที่เกินหนึ่งหน่วย

9) เวลาผิดเพี้ยนเริ่มต้น (initial distortion time,T_O) หมายถึงพื้นที่ที่ซึ่งถูกล้อมรอบด้วยเส้นศูนย์,ผลตอบสนองรูปขั้นหนึ่งหน่วย g(t) เส้นตรงที่ใช้หา O_1

10) เวลาเข้าสู่ภาวะคงตัว (settling time, t_s) หมยถึง เวลาที่สั้นที่สุดที่เวลาตอบสนองเศษเหลือ $T_R(t_i)$ มีค่าน้อยกว่า 2% ของ t

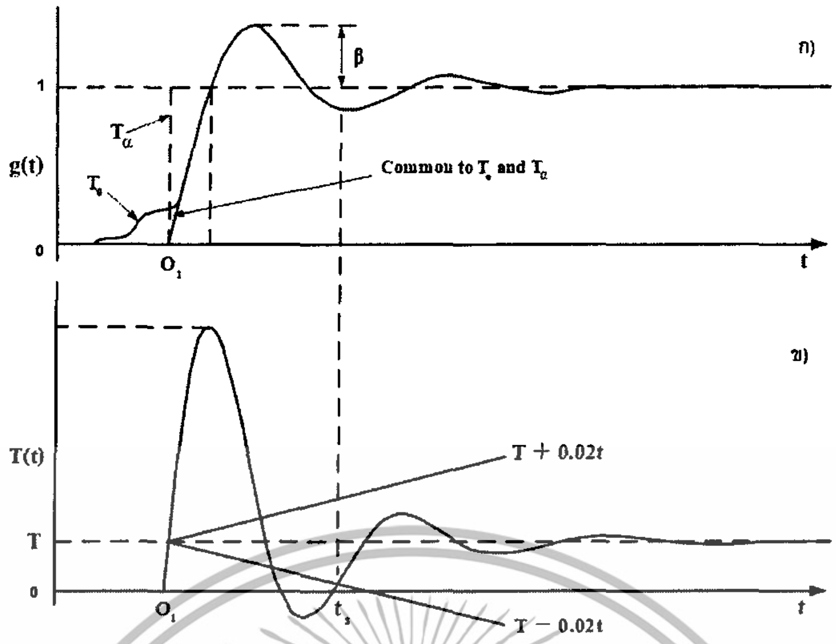
$$|T_N - T_{(t)}| < 0.02t_s$$

สำหรับทุก ๆค่าของ t ในช่วง

เนื่องจากในมาตรฐานไม่ได้ระบุค่าที่ได้ระบุค่าที่แน่นอนของพารามิเตอร์ผลตอบสนองของระบบวัดแรงดันอิมพัลส์รูปคลื่นฟ้าผ่า แต่ได้ให้ข้อแนะนำเกี่ยวกับพารามิเตอร์เหล่านี้ไว้ [3] ดังนี้

ในกรณีที่วัดแรงดันอิมพัลส์รูปคลื่นเต็มและรูปคลื่น ที่ค่าเวลาหน้าคลื่น T_1ส่วนพุ่งเกิน β และเวลาตอบสนองบางส่วน T_α ควรอยู่ในเงื่อนไขที่ว่า βและ T_α / T_1 จะต้องอยู่ในบริเวณส่วนที่แรเงาของรูปที่2.7

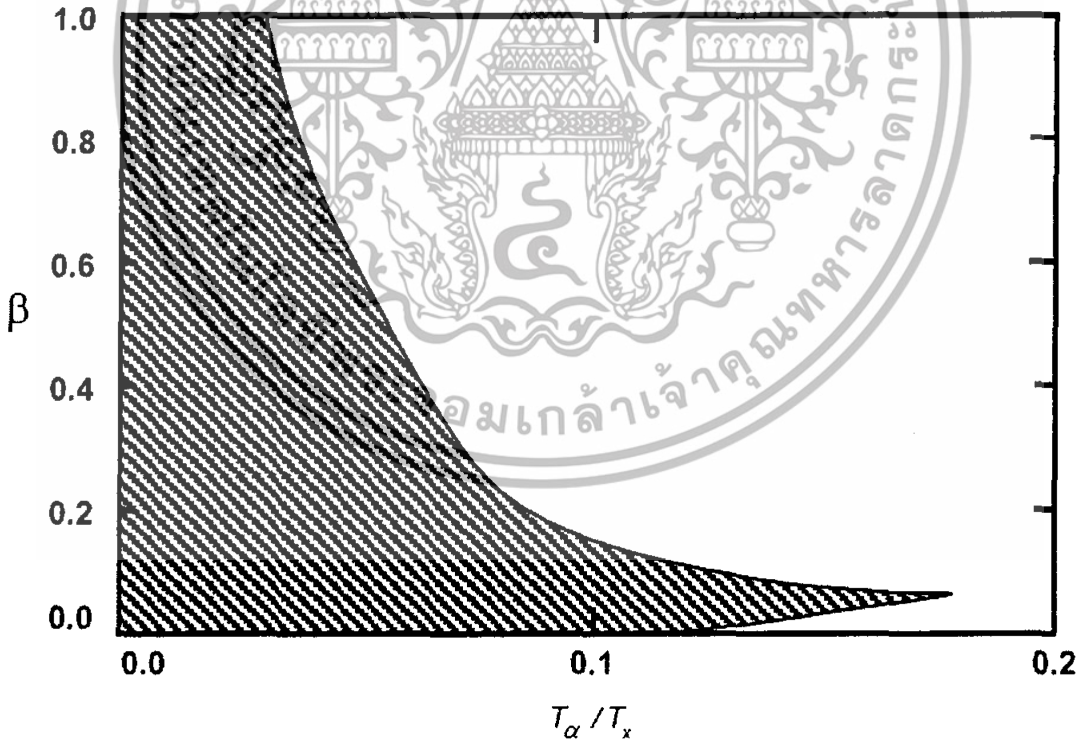
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.6 นิยามของผลตอบสนอง [3]

ก) เมื่อเทียบกับ g(t)

ข) เมื่อเทียบกับ T(t)



รูปที่ 2.7 ความสัมพันธ์ระหว่าง β กับ T_α / T_x [3]

โดยที่ T_x คือเวลาหน้าคลื่นของแรงดันอิมพัลส์ที่ต้องการวัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในกรณีที่การวัดแรงดันอิมพัลส์รูปคลื่นตัดที่หน้าคลื่นในช่วงเวลาคลื่นตัดT_C พารามิเตอร์ผลตอบสนองควรอยู่ในเงื่อนควรอยู่ในเงื่อนไขต่อไปนี้

-เวลาตอบสนองและเวลาตอบสนองบางส่วนควรมีค่า

$$T_\alpha - 0.03T_C \leq T_N \leq 0.03T_C$$

-เวลาเข้าสู่ภาวะคงตัวควรมีค่า

$$t_S \leq T_C$$

-เวลาผิดเพี้ยนเริ่มต้นควรมีค่า

$$T_0 \leq 0.005T_C$$

2.4.2 สเกลแฟกเตอร์

2.4.2.1 ความหมายของสเกลแฟกเตอร์

ความหมายของสเกลแฟกเตอร์ของระบบวัดมาตรฐาน IEC 60-2 (1994) [4] ได้นิยามไว้ ดังนี้

"สเกลแฟกเตอร์ หมายถึง ตัวประกอบที่นำไปคูณกับค่าแรงดันที่อ่านได้จากอุปกรณ์วัดเพื่อหาค่าแรงดันป้อนเข้า"

มาตรฐานได้กำหนดคุณสมบัติของสเกลแฟกเตอร์ที่สำคัญ2 ประการ คือ

1) ความไม่แน่นอน(uncertainty)

ในกรณีวัดค่ายอดของแรงดันอิมพัลส์รูปคลื่นเต็มและรูปคลื่นตัดที่หางคลื่น จะต้องมีความไม่แน่นอนในการวัดค่ายอดไม่เกิน ± 3%

ในกรณีวัดค่ายอดของแรงดันอิมพัลส์รูปคลื่นตัดที่หน้าคลื่น จะต้องมีความไม่แน่นอนในการวัดค่ายอดไม่เกิน ± 5%

2) ความมีเสถียรภาพ(stability)

ในกรณีวัดค่ายอดของแรงดันอิมพัลส์รูปคลื่นเต็มและรูปคลื่นตัดที่หางคลื่น ค่าสเกลแฟกเตอร์จะต้องเปลี่ยนแปลงไม่เกิน ± 1% ตลอดช่วงแรงดันใช้งาน

ในกรณีวัดค่ายอดของแรงดันอิมพัลส์รูปคลื่นตัดที่หน้าคลื่น ค่าสเกลแฟกเตอร์จะต้องเปลี่ยนแปลงไม่เกิน ± 3% ตลอดช่วงแรงดันใช้งาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.2.2 การหาสเกลแฟกเตอร์

การหาสเกลแฟกเตอร์ของโวลเตจดิไวเดอร์ สามารถหาได้จากวิธีใดวิธีหนึ่งต่อไปนี้

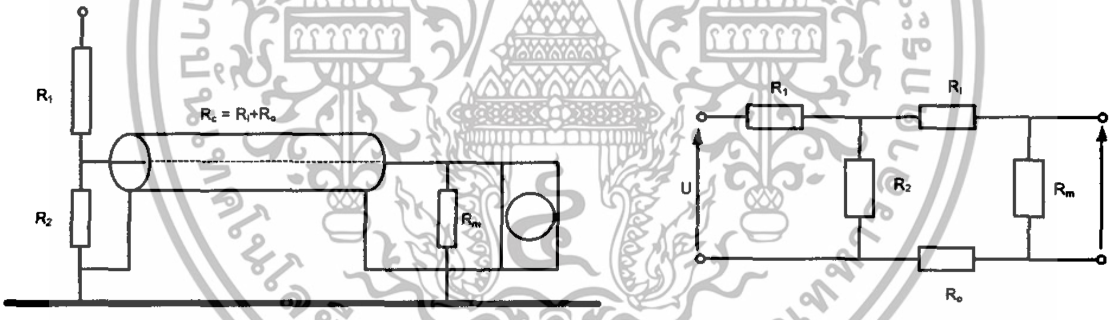
1) การวัดค่าแรงดันขาเข้าและขาออกพร้อมกัน

2) ใช้วงจรบริดจ์

3) คำนวณจากค่าอิมพีแดนซ์ที่วัดได้

การหาสเกลแฟกเตอร์ของโวลเตจดิไวเดอร์โดยการใช้วิธีคำนวณจากค่าอิมพิแดนซ์ที่วัดได้ มาตรฐาน IEC 60-2 (1994) ได้ให้ข้อแนะนำไว้ ดังนี้

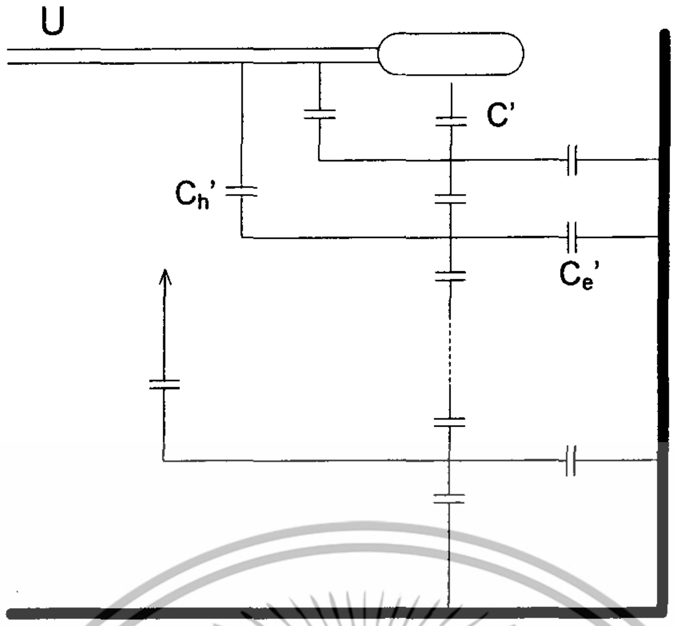
กรณีของโวลเตจดิไวเดอร์แบบความต้านทาน ค่าความต้านทานของภาคแรงสูงและภาคแรงต่ำสามารถวัดได้โดยใช้แรงดันต่ำกระแสตรง ซึ่งอาจเป็น Wheatstone bridge หรือโอห์มมิเตอร์ที่มีค่าความแม่นยำสูง สำหรับเคเบิลวัดที่มีความยาวค่อนข้างมาก ค่าความต้านทานกระแสตรงของตัวนำ (ตัวนำในชีลด์) จะทำให้เกิดการแบ่งแรงดันระหว่าง R_2 และ R_M ซึ่งอาจจะทำให้แรงดันที่ตกคร่อม R_M ลดลง ดังแสดงในรูปที่ 2.8 ดังนั้น ค่าความต้านทานของเคเบิลวัดควรนำมาพิจารณาด้วย [2]



รูปที่ 2.8 ผลของความต้านทานของเคเบิลวัดที่มีต่อสเกลแฟกเตอร์ของโวลเตจดิไวเดอร์แบบความต้านทาน

ในกรณีของโวลเตจดิไวเดอร์แบบตัวเก็บประจุ ค่าประจุสเตรย์จะมีผลต่อสเกลแฟกเตอร์ของโวลเตจดิไวเดอร์ ซึ่งตัวที่กำหนดสเกลแฟกเตอร์ของโวลเตจดิไวเดอร์คือกระแสที่ไหลไปยังภาคแรงต่ำ รูป 2.9 แสดงภาพสเกตซ์ของตัวเก็บประจุภาคแรงสูง ซึ่งประกอบไปด้วยค่าเก็บประจุย่อย C' ต่ออนุกรมกันและมีค่าเก็บประจุสเตรย์ C_h ' และ C_e ' ต่ออยู่ในจำนวนที่เท่ากัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.9 ภาพสเกตของค่าเก็บประจุสมมูล C_{eq} ของโวลเตจดิไวเดอร์แบบตัวเก็บประจุ

ในภาวะคงตัว สามารถหาค่าเก็บประจุสมมูล (equivalent capacitance) C_{eq} ของตัวเก็บประจุภาคแรงสูงได้จากสมการ 2.15

$$C_{eq} = \frac{I}{\omega U} \tag{2.14}$$

$$C_{eq} = C\frac{1+\frac{C_h}{4C}}{1+\frac{C_e}{6C}+\frac{C_h}{12C}} \tag{2.15}$$

โดยที่ $C = C'/n$; $C_e = nC_e'$; $C_h = nC_h'$; $n >> 1$

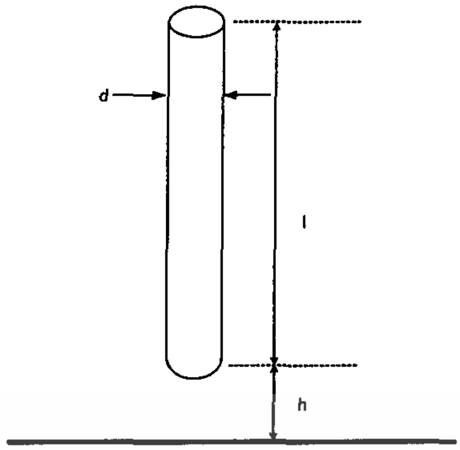
เนื่องจาก C_h มีค่าน้อยกว่า C_e มาก ดังนั้น C_{eq} จึงมค่าน้อยกว่า C เสมอ และถ้าให้ $C_h = 0$ จะสามารถประมาณ C_{eq} ได้เป็น

$$C_{eq} = C\frac{1}{1+\frac{C_e}{6C}}$$

$$C_{eq} = C\left(1-\frac{C_e}{6C}\right) \tag{2.16}$$

โดย C_e สามารถหาได้จากการคำนวน [2] โดยสมมติให้ตัวเก็บประจุภาคแรงสูงเป็นท่อโลหะทรงกระบอกวางอยู่เหนือพื้นระนาบดังภาพสเกตในรูปที่ 2.10 ซึ่งสมการที่ใช้หาค่าเก็บประจุคือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.10 ภาพสเกตของท่อทรงกระบอกวางอยู่เหนือพื้นระนาบ

$$C_e = \frac{2\pi\pi\varepsilon}{\ln\left(\frac{2l}{d}\sqrt{\frac{4h+l}{4h+3l}}\right)} \qquad (2.17)$$

เนื่องจากไม่สามารถวัดค่า C_h และ C_e ได้โดยตรงดังนั้น การวัดค่าเก็บประจุภาคแรงสูงควรจะวัดในตำแหน่งที่โวลเตจดิไวเดอร์ใช้งานจริง สำหับโวลเตจดิไวเดอร์แบบตัวเก็บประจุหรือแบบตัวเก็บประจุมีความต้านทานหน่วง ค่าเก็บประจุภาคแรงสูงอาจวัดได้โดยใช้ Schering bridge หรือ transformer ratio-arm bridge โดยไม่แนะนำให้ใช้ RLC bridge แรงต่ำ เพราะสายวัดและค่าเก็บประจุสเตรย์จะถูกรวมเข้าในการวัด ซึ่งทำให้ค่าสเกลแฟกเตอร์ที่ได้ผิดพลาด นอกจากนี้ ค่าเก็บประจุของเคเบิลวัดยังมีผลต่อสเกลแฟกเตอร์ของโวลเตจดิไวเดอร์ซึ่งต้องนำมาคิดด้วย

2.5 โวลเตจดิไวเดอร์แบบต่าง ๆ

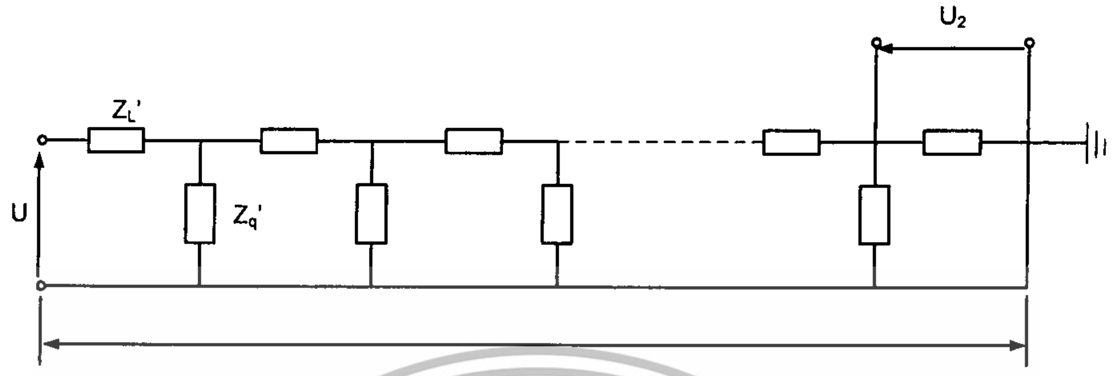
โวลเตจดิไวเดอร์เป็นส่วนประกอบที่สำคัญมากส่วนหนึ่งของระบบวัด การออกแบบโวลเตจดิไวเดอร์จะต้องคำนึงถึงระดับแรงดันใช้งาน ชนิดของแรงดัน และค่าอิมพิแดนซ์ขาเข้าโวลเตจดิไวเดอร์ทั่วไปจะประกอบสร้างจากความต้านทานหรือตัวเก็บประจุหรือแบบผสม องค์ประกอบเหล่านี้จะติดตั้งอยู่ในกระบอกฉนวน ซึ่งความสูงจะขึ้นอยู่กับค่าแรงดันวาบไฟตามผิวของแรงดันที่ใช้งาน ในกรณีของแรงดันอิมพัลส์รูปคลื่นฟ้าผ่าจะใช้ระยะวาบไฟตามผิวหรือระยะฉนวน โดยเลือกใช้ระยะอาร์กตามผิวฉนวนเฉพาะ 2 ถึง 2.5 m/MV [1]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

2.5.1 วงจรสมมูลทั่วไป

วงจรสมูลทั่วไปของโวลเดจดิไวเดอร์จะประกอบด้วยองค์ประกอบย่อยต่อกันในลักษณะเป็นลูกโซ่ ดังแสดงในรูปที่ 2.11 [4]



รูปที่ 2.11 วงจรสมมูลทั่วไปของโวลเดจดิไวเดอร์

โดยองค์ประกอบย่อย Z_L' จะแทนองค์ประกอบที่ต้องการสร้าง ซึ่งอาเป็นค่าความต้านทาน R' หรือค่าเก็บประจุ C' หรือทั้งสองอย่าง ส่วนองค์ประกอบย่อย Z_q' จะแทนค่าเก็บประจุสเตรย์ลงดิน C_e' ซึ่งเกิดจากสนามไฟฟ้าของโวลเดจดิไวเดอร์ ซึ่งค่าอิมพอแดนซ์รวมทั้งหมดสามารถหาได้จาก

$$Z_L = \sum Z_L' = nZ_L'$$
$$Z_q = \sum\left(\frac{1}{Z_q'}\right)^{-1} = \frac{Z_q'}{n} \qquad (2.18)$$

โดยฟังก์ชันถ่ายโอนหนึ่งหน่วยสามารถเขียนได้เป็น

$$h(s) = \frac{n \cdot U_2}{U} = n\frac{\sinh\frac{1}{n}\sqrt{Z_l(s)/\ Z_q(s)}}{\sinh\sqrt{Z_l(s)/\ Z_q(s)}} \qquad (2.19)$$

และผลตอบสนองรูปขั้นหนึ่งหน่วยหาได้จาก

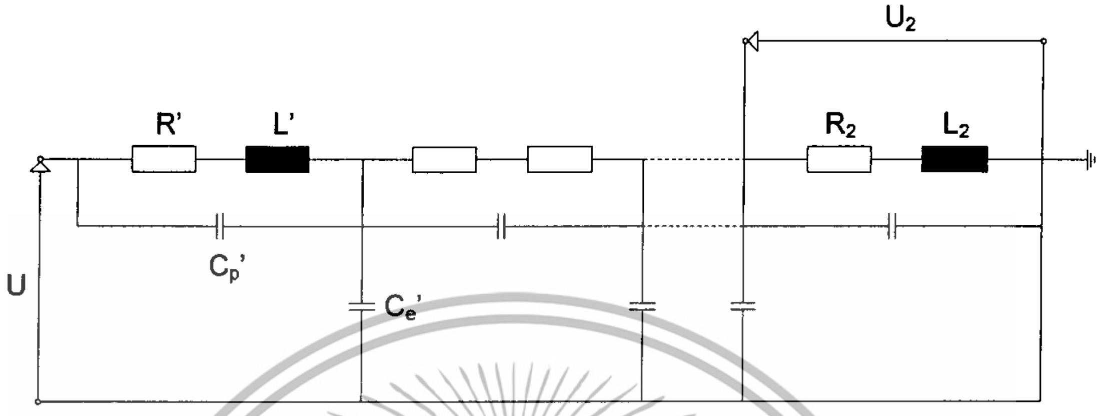
$$g(t) = L^{-1}\left[\frac{1}{s}h(s)\right] \qquad (2.20)$$

81796

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.2 โวลเตจดิไวเดอร์แบบความต้านทาน

รูปที่ 2.12 แสดงวงจรสมมูลของโวลเตจดิไวเดอร์แบบความต้านทาน โดยประกอบด้วยค่าความเหนี่ยวนำ L' ของค่าความต้านทาน R' ต่อขนานกับค่าเก็บประจุ C_p'



รูปที่ 2.12 วงจรสมมูลของโวลเตจดิไวเดอร์แบบความต้านทาน

จากวงจรสมมูล สามารถหาฟังก์ชันถ่ายโอนนอร์มัลไลซ์ได้เป็น [4]

$$h(s) = n\frac{\sinh\frac{1}{n}\sqrt{\frac{(R+sL)\cdot sC_e}{1+(R+sL)\cdot sC_p}}}{\sinh\sqrt{\frac{(R+sL)\cdot sC_e}{1+(R+sL)\cdot sC_p}}} \quad (2.21)$$

และจากสมการ 2.20 จะสามารถหาผลตอบสนองรูปขั้นนอร์มัลไลซ์ได้เป็น [4]

$$g(t) = 1 + 2e^{-at}\sum_{k=1}^{\alpha}(-1)^k \frac{\cosh(b_k t) + \frac{a}{b_k}\sinh(b_k t)}{1 + \frac{C_p}{C_e}k^2\pi^2} \quad (2.22)$$

โดยที่ a = R / 2L

$$b_k = \sqrt{a^2 - \frac{k^2\pi^2}{LC_e[1+(\frac{C_p}{C_e})k^2\pi^2]}}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในกรณีที่ค่าความต้านทานมีค่าสูงพอที่จะทำให้ค่า L/R มีค่าน้อยมาก ๆและ $C_p << C_e$ ซึ่งสามารถที่จะละผลของ L และ C_p ได้ดังนั้น จึงสามารถเขียนสมการของฟังก์ชันถ่ายโอนหนึ่งหน่วยได้เป็น [4]

$$h(s) = n\frac{\sinh\frac{1}{n}\sqrt{sRC_e}}{\sinh\sqrt{sRC_e}} \qquad (2.23)$$

และจากสมการ (2.20) จะสามารถหาผลตอบสนองรูปขั้นหนึ่งหน่วยได้เป็น

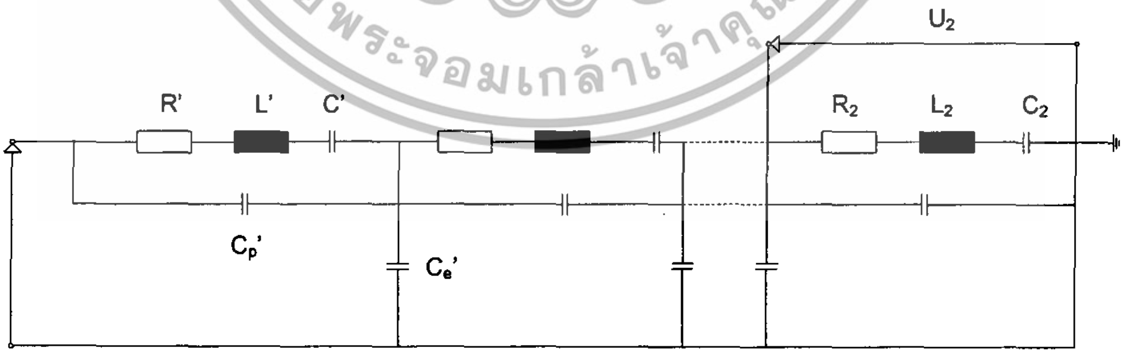
$$g(t) = 1 + 2\sum_{k=1}^{\alpha}(-1)^k \exp\left(-\frac{k^2\pi^2}{RC_e}t\right) \qquad (2.24)$$

เวลาตอบสนองสามารถคำนวณได้โดยแทนค่า h(s) ลงในสมการ (2.13) ซึ่งจะได้ผลเป็น

$$T_N = \frac{RC_e}{6} \qquad (2.25)$$

2.5.3 โวลเตจดิไวเดอร์แบบตัวเก็บประจุ

การวิเคราะห์หาผลตอบสนองของโวลเตจดิไวเดอร์แบบตัวเก็บประจุสามารถหาได้ในทำนองเดียวกับโวลเตจดิไวเดอร์แบบความต้านทาน โดยใช้วงจรสมมูลในรูปที่ 2.13 ซึ่งตัวเก็บประจุถูกแทนด้วยค่าเก็บประจุ C' และค่าความเหนี่ยวนำ L' ส่วนค่าความต้านทาน R' ที่ต่ออนุกรมอยู่เป็นการแทนตัวประกอบความสูญเสียในตัวเก็บประจุหรืออาจเป็นความต้านทานที่ต่ออนุกรมเข้าไปจริง



รูปที่ 2.13 วงจรสมมูลของโวลเตจดิไวเดอร์แบบตัวเก็บประจุ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

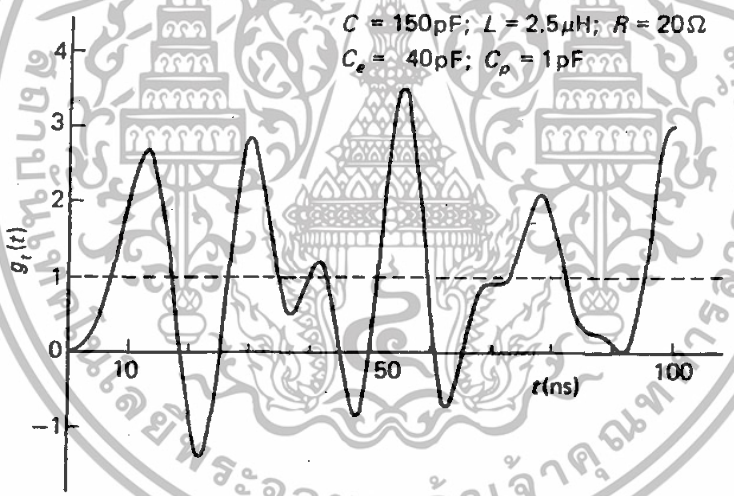
ดังนั้น ผลตอบสนองรูปขั้นหนึ่งหน่วยสามารถเขียนได้เป็น

$$g(t) = 1 - \frac{Ce}{6(C + Cp)} + 2e^{-at} \sum_{k=1}^{\infty} (-1)^{k} \frac{\cosh(b_k t) + \frac{a}{b_k}\sinh(b_k t)}{AB} \qquad (2.26)$$

โดยที่ $A = \left(1 + \frac{Cp}{C} + \frac{Ce}{Ck^2\pi^2}\right)$, $a = R / 2L$

$B = \left(1 + \frac{C_p k^2\pi^2}{C_2}\right)$, $b_k = \sqrt{a^2 - \frac{k^2\pi^2}{LC_e\left[1 + (C_p/C_e)k^2\pi^2\right]}}$

ตัวประกอบความสูญเสีย $\tan\delta = \omega R'C' = \omega RC$ สามารถหาได้จากการวัด ซึ่งเมื่อแทนลงไปในสมการ (2.26) จะได้ผลตอบสนองรูปขั้นดังแสดงในรูปที่ 2.14 [4]



รูปที่ 2.14 ผลตอบสนองรูปขั้นของโวลเตจดิไวเดอร์แบบตัวเก็บประจุที่ได้จากการคำนวณ

การแกว่งที่เกิดขึ้นในผลตอบสนองรูปขั้นมีความสัมพันธ์โดยตรงกับเวลาคลื่นเดินทาง $\tau = \sqrt{LC_e}$ ในตัวโวลเตจดิไวเดอร์ ซึ่งสามารถคำนวณได้จากความเร็วแสง โดยความถี่ของการแกว่งสามารถหาได้จาก [1]

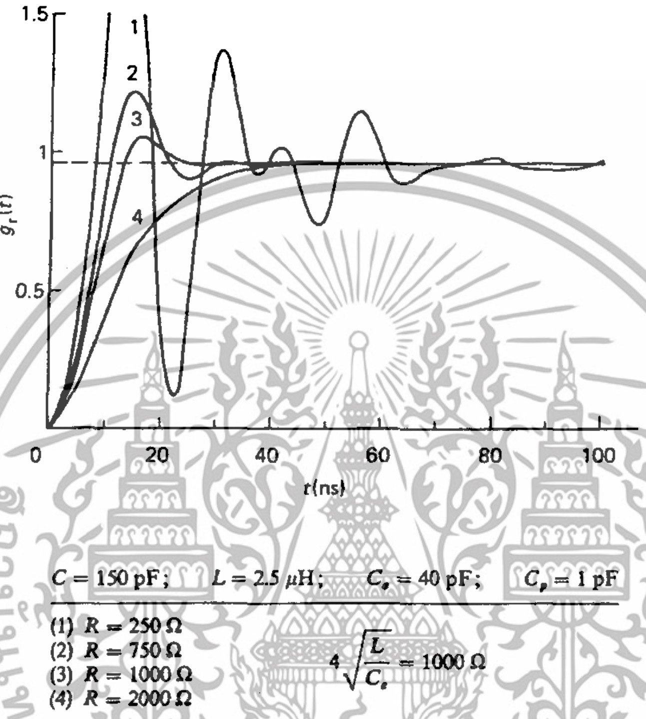
$$f = \frac{1}{2\tau} = \frac{1}{2\sqrt{LC_e}} \qquad (2.27)$$

จากรูปที่ 2.14 จะเห็นได้ว่าโวลเตจดิไวเดอร์แบบตัวเก็บประจุมีความไวต่อแรงดันขาเข้าที่มีเวลาขึ้นเร็วๆ และแรงดันขาออกจะเกิดแกว่งอย่างมาก ซึ่งเมื่อต่อเข้าระบบวัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะเกิดการเรโซแนนซ์กับสายนำ ทำให้ระบบวัดเกิดการแกว่ง ดังนั้น โวลเตจดิไวเดอร์แบบตัวเก็บประจุจึงไม่สามารถที่จะวัดแรงดันอิมพัลส์รูปคลื่นตัด แต่ยังคงวัดค่ายอดแรงดันอิมพัลส์รูปคลื่นเต็มได้

การปรับปรุงผลตอบสนองรูปขั้นของโวลเตจดิไวเดอร์แบบตัวเก็บประจุสามารถทำได้โดยการต่อความต้านทานจริงอนุกรมกับตัวเก็บประจุ ถ้าความต้านทานมีค่าไม่สูงจนเกินไปแต่เพียงพอที่จะหน่วงการแกว่ง จะได้ผลตอบสนองรูปขั้นที่ดี ดังแสดงในรูปที่ 2.15 [4]



รูปที่ 2.15 ผลตอบสนองรูปขั้นของโวลเตจดิไวเดอร์แบบตัวเก็บประจุมีความต้านทานหน่วงที่ได้จากการคำนวณ [4]

จากรูปจะได้ความต้านทานหน่วงที่เหมาะสมมีค่าเป็น

$$R \approx 4\sqrt{\frac{L}{C_e}} \tag{2.28}$$

และเวลาตอบสนองของโวลเตจดิไวเดอร์สามารถคำนวณได้เป็น

$$T_N = \frac{RC_e}{6} \tag{2.29}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากสมการ (2.29) จะเห็นได้ว่าเวลาตอบสนองของโวลเตจดิไวเดอร์แบบนี้จะเร็วมาก เนื่องจากความต้านทานหน่วงที่มีค่าต่ำ นอกจากนี้ ความต้านทานหน่วงก็จะไม่โหลดมาก เนื่องจากกระแสที่ไหลผ่านโวลเตจดิไวเดอร์เกิดจากแรงดันทรานเซียนต์ขาเข้าเท่านั้น

ในกรณีที่ต้องการวัดเพียงค่ายอดของแรงดันอิมพัลส์รูปคลื่นเต็ม สามารถปรับปรุงผลตอบสนองของโวลเตจดิไวเดอร์ได้โดยการใส่ความต้านทานหน่วงภายนอก ซึ่งค่าเวลาตอบสนองของโวลเตจดิไวเดอร์จะขึ้นกับค่าคงตัวเวลา R_dC โดยที่ C คือค่าเก็บประจุภาคแรงสูงของโวลเตจดิไวเดอร์ ซึ่งค่าคงตัวเวลานี้ไม่ควรมีค่าเกิน 150 ns [1]

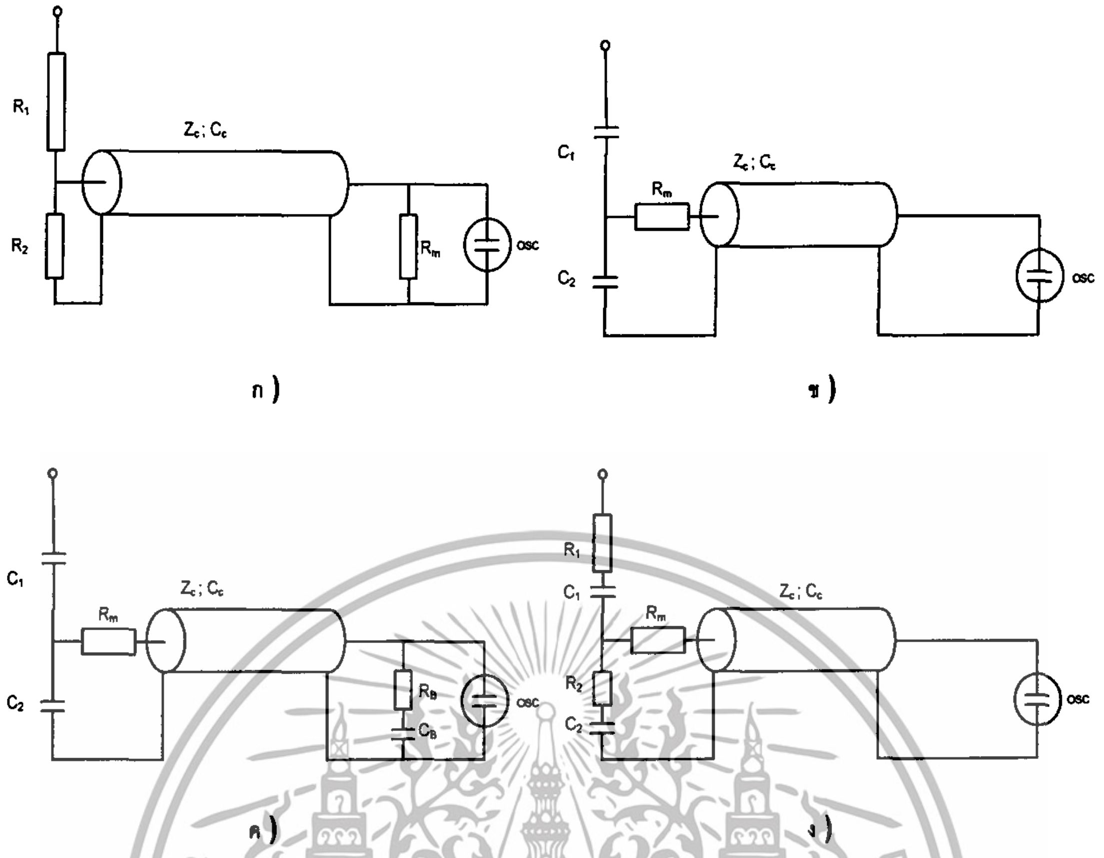
2.6 การต่อแมทชิงภาคแรงต่ำของระบบวัด

ในการวัดแรงดันทรานเซียนต์ที่ส่งผ่านจากโวลเตจดิไวเดอร์ไปยังเครื่องมือวัดภาคแรงต่ำของโวลเตจดิไวเดอร์อาจทำให้เกิดการผิดเพี้ยนของรูปคลื่นแรงดันได้ ในที่นี้ จะพิจารณาการต่อแมทชิงอิมพีแดนซ์เพื่อส่งผ่านแรงดันอิมพัลส์จากโวลเตจดิไวเดอร์ไปยังเครื่องมือวัด

โดยที่เคเบิลวัดจะพิจารณาเป็นสายส่งแบบไม่มีพลังงานสูญเสีย ดังนั้น ค่าเสิร์จอิมพีแดนซ์ $Z_C = \sqrt{L_C / C_C}$ จึงไม่ขึ้นอยู่กับความถี่และเวลาคลื่นเดินทาง $\tau_C = \sqrt{L_C / C_C}$ มีค่าที่แน่นอนสำหรับโวลเตจดิไวเดอร์แบบความต้านทาน การต่อแมทชิงสามารถทำได้ง่ายๆ โดยการต่อความต้านทาน $R_m = Z_c$ ที่ปลายทางของเคเบิลวัด ซึ่งทำให้สัมประสิทธิ์การสะท้อนมีค่าเป็นศูนย์ แรงดันที่ตกคร่อม R_2 และส่งผ่านเคเบิลวัดจะไม่เกิดการผิดเพี้ยนเนื่องจากอิมพีแดนซ์ขาเข้าของเคเบิลวัดคือ $R_m = Z_c$ ค่าความต้านทานนี้จะต่อเข้ากับ R_2 ดังนั้น จึงต้องพิจารณาเป็นส่วนหนึ่งของภาคแรงต่ำของโวลเตจดิไวเดอร์

ในกรณีโวลเตจดิไวเดอร์แบบตัวเก็บประจุ เคเบิลวัดไม่สามารถที่จะต่อแมทชิงที่ปลายทางได้ เนื่องจากความต้านทานที่มีค่าต่ำเมื่อต่อขนานเข้ากับ C_2 จะไปโหลดภาคแรงต่ำของโวลเตจดิไวเดอร์และแรงดันขาออกจะมีขนาดลดลงตามเวลา เพื่อหลีกเลี่ยงการแกว่งของคลื่นเดินทาง เคเบิลวัดจึงควรต่อแมทชิงที่ต้นทาง แรงดันที่ตกคร่อม C_2 จะแบ่งครึ่งโดย $R_m = Z_c$ ที่ต้นทางของเคเบิลวัด เมื่อแรงดันที่แบ่งครึ่งนี้เดินทางไปถึงปลายเคเบิลวัด ซึ่งมีลักษณะเป็นวงจรเปิดจะทำให้เกิดคลื่นสะท้อนกลับเท่าตัว ดังนั้น แรงดันที่ปรากฏที่เครื่องมือวัดจะมีค่าเท่ากับแรงดันที่ตกคร่อม C_2 เมื่อคลื่นสะท้อนกลับมาถึงต้นทางที่มี $R_m = Z_c$ ต่ออนุกรมอยู่และ C_2 เสมือนกับลัดวงจร จึงไม่ทำให้เกิดคลื่นสะท้อนกลับอีก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.16 วงจรสมมูลสำหรับการต่อแมทชิงสำหรับโวลเตจดิไวเดอร์แบบต่าง ๆ
ก) แบบความต้านทาน
ข) แบบตัวเก็บประจุ แมทชิงธรรมดา
ค) แบบตัวเก็บประจุ แมทชิงชดเชย
ง) แบบตัวเก็บประจุมีความต้านทานหน่วง แมทชิงธรรมดา

ในทางปฏิบัติ C_2 มีค่าที่แน่นอนและจะคายประจุในภาวะทรานเซียนต์ จากการคำนวณพบว่า ช่วงเวลาการคายประจุมีค่าประมาณ 2 เท่าของเวลาคลื่นเดินทาง หลังจากช่วงเวลานี้ ค่าเก็บประจุของเคเบิลวัดจะอัดประจุจนเต็ม จึงทำให้โวลเตจดิไวเดอร์มีค่าสเกลแฟกเตอร์ 2 ค่าคือ

$$n_o = \frac{C_1 + C_2}{C1} \qquad \text{ที่ } t = 0$$

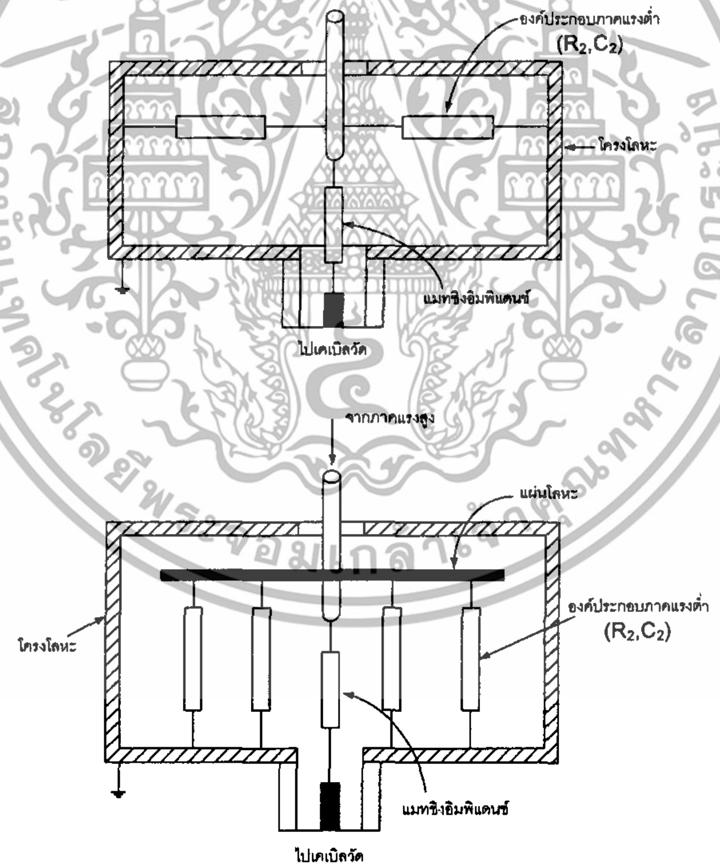
$$n_e = \frac{C_1 + C_2 + C_C}{C_1} \qquad \text{ที่ } t \geq 2\tau_C$$

ดังนั้น เคเบิลจึงทำให้เกิดส่วนพุ่งเกิน $\Delta V = (n_e / n_o) - 1 = C_C / (C_1 + C_2)$ ซึ่งอาจละทิ้งผลกระทบส่วนนี้ได้ในกรณีที่เคเบิลวัดมีขนาดสั้นหรือ C_2 มีค่าสูงมากๆ อย่างไรก็ตาม การปรับปรุงผลตอบสนองสามารถทำได้โดยการถ่ายโอนตัวเก็บประจุภาคแรงต่ำ C_2 บางส่วนไปยัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปลายทางของเคเบิลวัดและต่อตัวเก็บประจุนี้อนุกรมกับความต้านทาน ดังรูปที่ 2.16 ค) เทคนิคนี้นำเสนอขึ้นครั้งแรกโดย Burch ดังนั้น ดังผลสรุปใน [1] โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อลดผลกระทบจากส่วนพุ่งเกินนี้ Burch เสนอให้ใช้ความต้านทานแมทชิงทั้ง 2 ตัวมีค่าเท่ากันและเท่ากับเสิร์จอิมพีแดนซ์ นั่นคือ $R_m = R_B = Z_C$ ซึ่งจะทำให้แรงดันที่เวลาเริ่มต้นและที่เวลาอนันต์มีค่าเดียวกันและส่วนพุ่งเกินลดลงเหลือประมาณ 1/6 ในกรณีที่ เงื่อนไขจะเปลี่ยนไปเป็น สำหรับโวลเตจดิไวเดอร์แบบตัวเก็บประจุมีความต้านทานหน่วง ดังแสดงในรูปที่ 2.16 ง) เนื่องจาก R_2 มีค่าน้อยมากเมื่อเทียบกับ R_1 ค่าความต้านทานแมทชิงจึงมีค่าลดลงเล็กน้อย นั่นคือ และวิธีการต่อแมทชิงดังแสดงในรูปที่ 2.16 ค) สามารถนำมาใช้ในกรณีนี้ได้ด้วย

เนื่องจากความต้านทานที่ต่ออนุกรมกับเคเบิลวัดเป็นส่วนหนึ่งของภาคแรงต่ำของโวลเตจดิไวเดอร์แบบตัวเก็บประจุ ดังนั้น จึงควรระวังไม่ให้ทางลงสู่ดินของคลื่นสะท้อนมีค่าความเหนี่ยวนำสูงเกินไป ซึ่งเป็นเงื่อนไขที่จำเป็นสำหรับภาคแรงต่ำของโวลเตจดิไวเดอร์แบบตัวเก็บประจุ การต่อองค์ประกอบภาคแรงต่ำในลักษณะแกนร่วมเป็นวิธีที่ดีในการประกอบสร้าง รูปที่ 2.17 แสดงภาพสเกตแสดงภาพตัดขวางของการต่อองค์ประกอบภาคแรงต่ำ



รูปที่ 2.17 ภาพสเกตช์ภาคตัดขวางของการต่อองค์ประกอบภาคแรงต่ำ [4]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

การออกแบบชุดทดลองการแบ่งแรงดันสูง

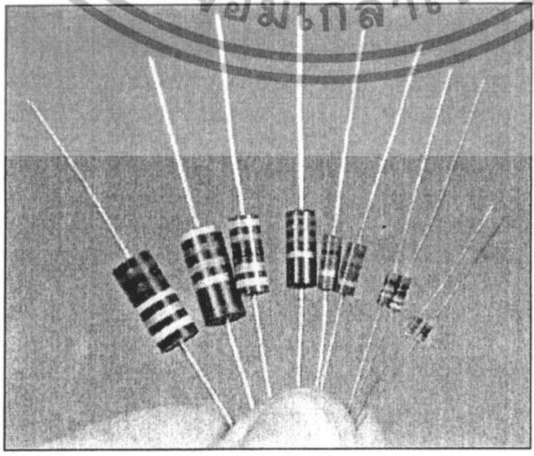
บทนี้จะกล่าวถึงการออกแบบชุดทดลองการแบ่งแรงดันสูงโดยใช้ทฤษฎีของบทที่ 2 ซึ่งออกแบบให้ชุดทดลองการแบ่งแรงดันสูงสามารถทนแรงดันได้ 1 kV โดยให้แรงดันทางด้านเอาท์พุดของชุดทดลองการแบ่งแรงดันสูงออก 1 V

3.1 ชนิดของความต้านทานและคุณสมบัติต่าง ๆ

ความต้านทานเป็นอุปกรณ์พื้นฐานที่จำเป็นสำหรับวงจรอิเล็กทรอนิคส์มีรูปร่างแตกต่างกันตามลักษณะการใช้งาน และความต้านทานแบ่งออกได้เป็น 2 แบบใหญ่ๆคือ 1) ความต้านทานแบบดั้งเดิม 2) ความต้านทานแบบฟิล์มทั้งหนาและบาง ความต้านทานแบบดั้งเดิมโดยทั่วไปสามารถแบ่งออกเป็น 4 แบบใหญ่ๆด้วยกัน โดยที่แต่ละชนิดมีคุณสมบัติต่าง ๆ ไม่เหมือนกัน[5]

3.1.1 คาร์บอนรีซิสเตอร์(Carbon Resistors)

เป็นความต้านทานที่มีความน่าเชื่อถือสูง มีราคาต่ำและถูกใช้งานกันอย่างกว้างขวางในวงจรอิเล็กทรอนิคส์ ซึ่งโดยทั่งไปในย่านการใช้งานอยู่ในช่วงที่อุณหภูมิ 0 ถึง 60° C ระดับของการเกิดสัญญาณรบกวนมีค่าสูงมากที่สุด จึงไม่เหมาะที่จะใช้กับวงจรที่มีความถี่สูง

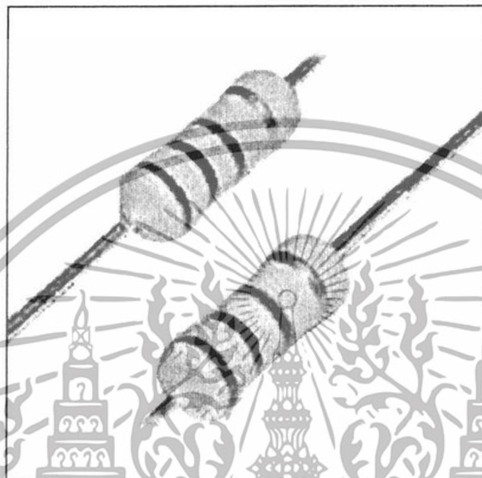


รูปที่ 3.1 คาร์บอนรีซิสเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.2 คาร์บอนฟิล์มรีซิสเตอร์(Carbon Film Resistors)

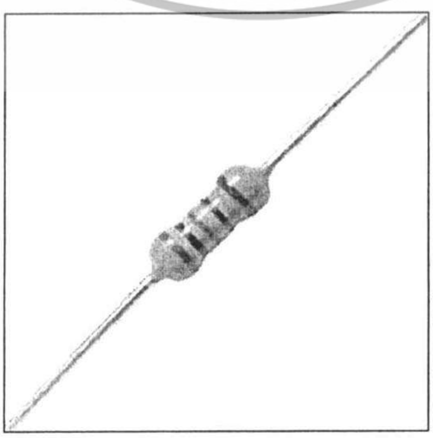
มีย่านการใช้งานที่ 10 Ω ถึง 100 MΩ มีค่าสัมประสิทธิ์การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิเป็นลบ มีความเที่ยงตรงความถูกต้อง 0.5% หรือมากกว่าเป็นประเภทที่มีการรบกวนของสัญญาณต่ำมีราคาถูก ความต้านทานชนิดนี้ใช้ในงานที่ต้องการความถูกต้องสูงบางครั้งจะต้องมีการคิดผลการชดเชยอุณหภูมิด้วย ไม่สามารถทนต่อแรงดันกระชากในช่วงสั้นๆละมีอัตราทนกำลังไฟฟ้าตั้งแต่ 0.1 ถึง 10 W



รูปที่ 3.2 คาร์บอนฟิล์มรีซิสเตอร์

3.1.3 เม็ทตอลฟิล์มรีซิสเตอร์(Metal Film Resistor)

เป็นความต้านทานที่เหมาะกับงานทั่ว ๆ ไปซึ่งอยู่ในย่านการทำงานที่ 0.1–1.5 MΩ อัตราการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิต่ำ ให้เสถียรภาพสูงมีการรบกวนของสัญญาณต่ำมาก ความต้านทานชนิดนี้เหมาะกับใช้ในวงจรที่มีการรบกวนของสัญญาณต่ำมาก อัตราทนกำลังไฟฟ้าถึง 10 W ค่าความคลาดเคลื่อน 0.1 – 2 % แต่มีราคาแพงมาก



รูปที่ 3.3 เม็ทตอลฟิล์มรีซิสเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

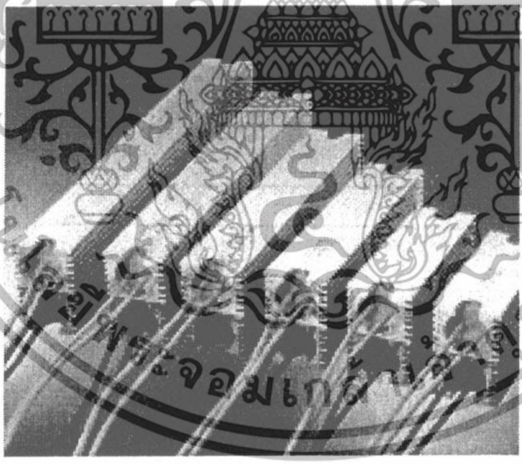
3.1.4 ไวร์วาวด์รีซิสเตอร์(Wire Wound Resistors)

ความต้านทานแบบไวร์วาวด์ สามารถแบ่งออกเป็น 3 แบบใหญ่ๆคือ 1)แบบมีกำลังสูง(High-Power Wire Wound Resistors) 2)แบบมีความถูกต้องสูง(High-Accuracy Wire Wound Resistor) 3)แบบทั่วๆไป(General-purpose Wound Resistors) แต่ก็มีความต้านทานแบบไวร์วาวด์อีกชนิดหนึ่งที่มีค่าความเหนี่ยวนำต่ำ คือไบพิวร่าไวร์วาวด์(Bifilar Wire Wound Resistors) ซึ่งเป็นความต้านทานที่มีราคาแพงไม่นิยมมาใช้ในวงจรทั่วไป

1) แบบมีกำลังสูง(High-Power Wire Wound Resistors)มีย่านการใช้งาน 1Ω-100kΩ อยู่ในย่าน 5-20Wมีค่าผิดพลาด 5-10% ความต้านทานประเภทนี้ถูกนำไปใช้งานประเภทเครื่องเสียง ต่อร่วมกับทรานซิสเตอร์

2) แบบมีความถูกต้องสูง(High-Accuracy Wire Wound Resistors)มีคุณสมบัติคือสัมประสิทธิ์การเปลี่ยนแปลงตามอุณหภูมิมีค่าต่ำ มีความเสถียรภาพสูงมากๆโดยทั่วไป อยู่ในช่วงย่านความถูกต้อง 1% การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิต่ำมาก ความต้านทานอยู่ในช่วง 1Ω-100kΩ ความต้านทานชนิดนี้ต้องใช้งานประเภทที่มีความเที่ยงตรงสูง

3)แบบทั่วๆไป(General-purpose Wire Wound Resistors)ช่วงการทำงานอยู่ในช่วง 1/4 Ω ถึง 10 kΩ และกินกำลังไฟฟ้า เป็นค่าความต้านทานแบบเดียวกับ ความต้านทานแบบคาร์บอน ใช้ในงานที่มีค่าเปลี่ยนแปลงสัมประสิทธิ์ทางอุณหภูมิต่ำ



รูปที่ 3.4 ไวร์วาวด์รีซีสเตอร์

3.2 ชนิดของตัวเก็บประจุและคุณสมบัติต่าง ๆ

ตัวเก็บประจุ เป็นอุปกรณ์ที่มีใช้กันอย่างแพร่หลายในวงจรอิเลคทรอนิคส์ ทำหน้าที่เก็บสะสมพลังงานในไฟฟ้า ในวงจรกำลังมักจะใช้ตัวเก็บประจุต่อเข้าไปในวงจรเพื่อแก้เพาเวอร์แฟคเตอร์[5]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.1ตัวเก็บประจุชนิดที่มีค่าคงที่

จะเป็นตัวเก็บประจุที่มีค่าคงที่ไม่สามารถเปลี่ยนค่าคงที่ได้ โดยมากจะเรียกชื่อตามชนิดของไดอิเล็กตริกที่ใช้เป็นตัวคั่นระหว่างแผ่นตัวนำทั้งสอง

3.2.1.1ตัวเก็บประจุแบบกระดาษ

เป็นตัวเก็บประจุที่ใช้กระดาษชุบขี้ผึ้งเป็นตัวไดอิเล็กตริกคั่นระหว่างแผ่นตัวนำที่ยาวมากเพื่อให้เกิดความจุตามต้องการแล้วทำการม้วนให้เป็นทรงกระบอก ตัวเก็บประจุแบบกระดาษจะมีค่าความจุตั้งแต่ 0.001 ไมโครฟารัด ถึง 1 ไมโครฟารัด อัตราทนไฟสูงประมาณ 200-1600 โวลต์

รูปที่ 3.5 ตัวเก็บประจุแบบกระดาษ

3.2.1.2ตัวเก็บประจุแบบไมก้า

ตัวเก็บประจุชนิดนี้จะใช้ไมก้าเป็นไดอิเล็กตริก ซึ่งจะเป็นฉนวนที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ และถือเป็นไดอิเล็กตริกที่ดีที่สุดค่าความจุของคาปาซิเตอร์ชนิดนี้มีค่าประมาณ 1 พิโคฟารัด – 0.1 ไมโครฟารัด อัตราทนกำลังไฟประมาณ 100 – 2500 V.DC

รูปที่ 3.6 ตัวเก็บประจุแบบไมก้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวเก็บประจุแบบไมก้ายังแบ่งออกตามชนิดของแผ่นตัวนำที่นำมาใช้มีอยู่ 2 ชนิด คือ

1. แบบโลหะฟอยล์ จะใช้ฟิล์มของโลหะบางๆทำเป็นไดอิเล็กตริกของคาปาซิเตอร์ซึ่งจะเป็นแบบที่เรียกว่าไมก้าก้อน

2. แบบซิลเวอร์ไมก้า ประกอบด้วยแผ่นได้อิเล็กตริกซึ่งทำมาจากโลหะเงินบริสุทธิ์ฉาบลงบนแผ่นไมก้า เพื่อจะทำให้คุณสมบัติของตัวเก็บประจุแบบนี้ดีขึ้น

3.2.1.3 ตัวเก็บประจุแบบเซรามิค

ตัวเก็บประจุชนิดนี้จะใช้ไดอิเล็กตริกที่ทำมาจากกระเบื้องเผา หรือที่เรียกว่าเซรามิค แล้วเคลือบผิวเซรามิคด้วยเงินเพื่อใช้แทนเป็นแผ่นตัวนำทำให้มีความจุสูงขึ้น ซึ่งจะมีค่าความจุระหว่าง 1 พิโคฟารัด – 2.2 ไมโครฟารัด มีอัตราทนไฟตั้งแต่ 3.3 – 600 V.DC

รูปที่ 3.7 ตัวเก็บประจุแบบเซรามิค

ตัวเก็บประจุแบบเซรามิค ยังสามารถแบ่งออกเป็น 3 แบบ คือ

1. Low Dielectric จะใช้เซรามิคพวกTITANIUM OXIDE ที่มีค่าไดอิเล็กตริกประมาณ 4 ~ 200 ค่าความจุไม่ค่อยสูงนัก
2. High Dielectric จะใช้เซรามิคพวกTITANIUM ACID BARIUM ค่าไดอิเล็กตริกประมาณ 1000 ไปจนถึง 20000 ใช้ทำตัวคาปาซิเตอร์มีค่าสูงและขนาดเล็ก
3. Semi Conductor Ceramic Capacitor ใช้สารไม่บริสุทธิ์เติมลงไปในTITANIUM ACID BARIUM กลายเป็นสารกึ่งตัวนำชนิดหนึ่งแล้วนำมาทำเป็นฐานรองไดอิเล็กตริกสามารถทำให้มีความจุมากและมีขนาดเล็ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.1.4 ตัวเก็บประจุแบบฟิล์ม

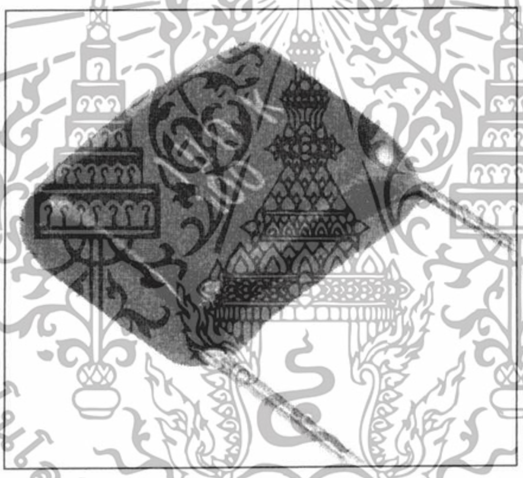
ตัวเก็บประจุชนิดนี้จะมีลักษณะโครงสร้างเหมือนกับตัวเก็บประจุแบบกระดาษ มากแต่จะใช้ไดอิเล็กตริกที่เป็นแผ่นฟิล์มซึ่งทำมาจากสารหรือวัสดุอื่น โดยจะเรียกชื่อต่างกันตาม ชนิดของสารไดอิเล็กตริกได้แก่

-ชนิดโพลิเอสเตอร์คาปาซิเตอร์ ทางการค้าเรียก MKT มีค่าความจุ 0.001-100 ไมโครฟารัด อัตราทนแรงดันถึง 1500 V.DC

-ชนิดโฟลีโพไพลีนคาปาซิเตอร์ ทางการค้าเรียกว่า MKP ,ค่าความจุ 10 ไมโครฟารัด อัตราทนแรงดันถึง 400 V.DC และ 270 V.AC

-ชนิดโพลีสไตรีนคาปาซิเตอร์ ทางการค้าเรียก MKS มีค่าความจุ 10 ไมโครฟารัด อัตราทนแรงดัน 1000 V.DC

-ชนิดโพลีคาร์มอเนตคาปาซิเตอร์ ทางการเรียกว่า MKC มีค่าควมจุ 50 ไมโครฟารัด อัตราทนแรงดัน 1000 V.DC



รูปที่ 3.8 ตัวเก็บประจุแบบฟิล์ม

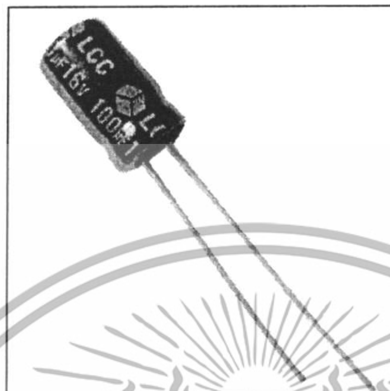
ตัวเก็บประจุแบบฟิล์มนี้ไม่มีขั้วในการใช้งาน และความต้านทานของฉนวนมีค่าสูง จึงมีการเปลี่ยนแปลงของค่าความจุเนื่องมาจากอุณหภูมิน้อยที่สุด ใช้กับวงจรความถี่สูงได้ดี วงจรตั้งเวลา วงจรอินทริเกรท แต่ตัวเก็บประจุชนิดนี้จะมีราคาแพง

3.2.1.5 ตัวเก็บประจุแบบอิเล็กโตรไลตริก

ตัวเก็บประจุแบบอิเล็กโตรไลตริก หรือหรือบางที่เรียกอลูมิเนียมอิเล็กโตรไลตริกคาปาซิเตอร์ ตัวเก็บประจุชนิดนี้ประกอบด้วยแผ่นอลูมิเนียมที่เป็นแผ่นโลหะทำเป็นขั้วบวก จุ่มอยู่ตรงกลางของน้ำยาเคมี หรือสารละลายอิเล็กโตรไลตริกที่ใช้สารละลายพวก Ethylene,Glycol ,Glycerine ,Boric Acid Liquid Ammonia และอื่นๆที่อยู่ในสภาพของเหลวข้น ที่บรรจุอยู่ในกระบอกโลหะ เมื่อป้อนแรงเคลื่อนไฟฟ้าให้แก่ตัวเก็บประจุโดยป้อนไฟบวกเข้าที่แผ่นอลูมิเนียม

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่เป็นขั้วบวกและไฟลบเข้าที่ขั้วลบของสารละลายอิเล็กโตรไลตริก จะปรากฏผลว่ามีการแยกตัวทางไฟฟ้าเกิดขึ้นทำให้ขั้วบวกเกิดอลูมิเนียมอ็อกไซด์ ซึ่งจะเป็นสารไดอิเล็กตริก เกิดขึ้นรอบ ๆ แผ่นบวกนี้ โดยมันจะเป็นไดอิเล็กตริกที่บางที่สุดที่กั้นระหว่าง แผ่นตัวนำบวกและลบสามารถทำให้ตัวเก็บประจุสะสมประจุได้



รูปที่ 3.9 ตัวเก็บประจุแบบอิเล็กโตรไลตริก

นอกจากสารละลายอิเล็กโตรไลตริคที่เป็นของเหลวข้นที่นำมาทำตัวคาปาซิเตอร์แบบนี้หรือที่เรียกว่า ชนิดอิเล็กโตรไลท์เปียก เรายังสามารถใช้สารอิเล็กโตรไลท์ที่มีความเข้มข้นมากคล้ายแป้งเปียกมาทำตัวเก็บประจุชนิดอิเล็กโตรไลท์แบบแห้งได้

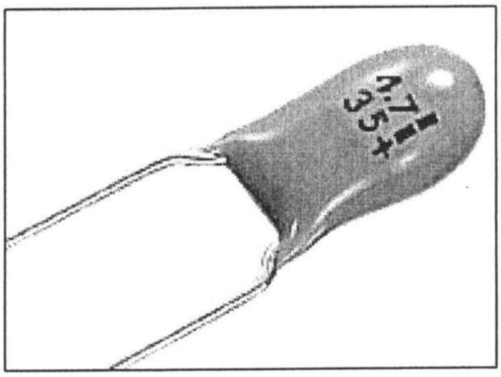
ตัวเก็บประจุแบบอิเล็กโตรไลท์จะมีค่าความจุตั้งแต่ 1 ไมโครฟารัดขึ้นไปจนถึงหลาย ๆพันไมโครฟารัดมักนิยมใช้กับงานที่ความถี่ต่ำ เช่น วงจรจ่ายกำลังไฟฟ้า

3.2.1.6 ตัวเก็บประจุแบบแทนทาลั่ม

เป็นตัวเก็บประจุที่ใช้สารแทนทาลั่มทำเป็นขั้วบวกแทนอลูมิเนียม ส่วนสารอิเล็กโตรไลท์ที่ใช้ทำเป็นไดอิเล็กตริกนั้นจะมีอยู่ 2 แบบ คือ แบบโซลิดอิเล็กโตรไลท์ ซึ่งใช้MnO_2 และแบบซัลฟูริดแอสิด เมื่อนำไปเปรียบเทียบกับตัวเก็บประจุแบบอลูมิเนียมอิเล็กโตรไลตริคแล้วปรากฏว่ามีคุณสมบัติการรั่วของกระแสและคุณสมบัติทางความถี่ คุณสมบัติทางอุณหภูมิดีกว่า จึงนิยมใช้กับวงจรกำจัดสัญญาณรบกวน วงจรฟิลเตอร์

ตัวเก็บประจุชนิดนี้มีค่าความจุตั้งแต่ 0.001 ไมโครฟารัด ถึง 1000 ไมโครฟารัด มีอัตราทนแรงดัน 6- 120 V.DC แต่ค่าความจุที่มีขายตามท้องตลาดจะมีค่า 0.1 ไมโครฟารัด ถึง 100 ไมโครฟารัด

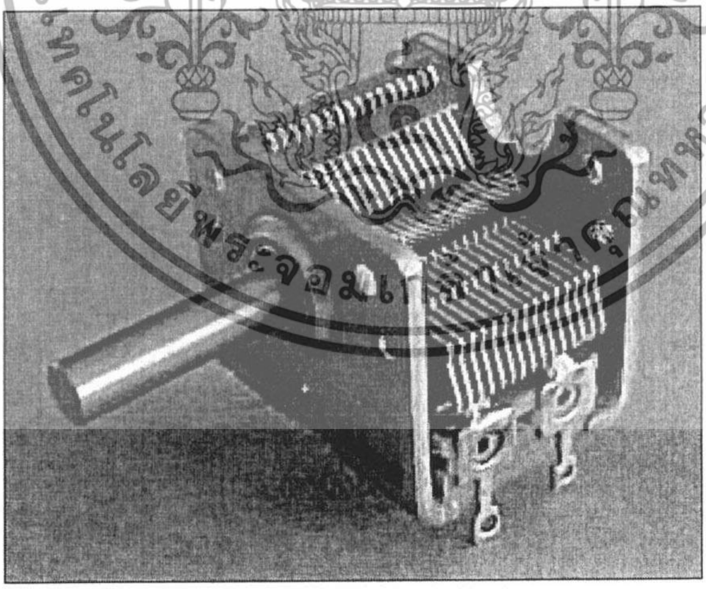
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.10 ตัวเก็บประจุแบบแทนทาลั่ม

3.2.2 ตัวเก็บประจุชนิดเปลี่ยนค่าได้

ตัวเก็บประจุชนิดนี้จะประกอบด้วยแผ่นโลหะ 2 ชุด หรือที่เรียกว่าแก๊งค์ คือชุดแผ่นโลหะที่สามารถเคลื่อนที่ได้เรียกว่าโรเตอร์ และแผ่นโลหะที่ยึดติดอยู่กับที่เรีนกว่าสเตเตอร์ โดยทั่วไปแล้วสเตเตอร์จะมีจำนวนแผ่นมากกว่าโรเตอร์อยู่ 1 แผ่น ฉนวนที่ใช้กั้นระหว่างแผ่นตัวนำทั้งสองจะใช้อากาศเป็นอิเล็กตริค ค่าความจุของตัวเก็บประจุชนิดนี้จะเปลี่ยนไปเมื่อเราหมุนแกนโรเตอร์ โดยถ้าหมุนให้แผ่นโลหะทั้งสองแผ่นวางซ้อนกันน้อยที่สุดค่าความจุของตัวเก็บประจุก็จะน้อยตามไปด้วย ตัวเก็บประจุชนิดนี้จะมีค่าความจุประมาณ 10-400 พิโครฟารัด



รูปที่ 3.11 วาริเอเบิ้ล คาปาซิเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การตรวจวัดตัวเก็บประจุ

การวัดตัวเก็บประจุโดใช้มัลติมิเตอร์โดยจะต้องตั้งให้มิเตอร์อยู่ในย่านการวัดของโอห์มมิเตอร์ แล้วเลือกใช้สเกลตามค่าความจุของตัวเก็บประจุดังต่อไปนี้

-ค่าความจุตั้งแต่ 100 ไมโครฟารัด ขึ้นไป ตั้งที่สเกล R x 1

-ค่าความจุตั้งแต่ 20 ไมโครฟารัด ถึง 100 ไมโครฟารัด ตั้งที่สเกล R x 10

-ค่าความจุตั้งแต่ 1 ไมโครฟารัด ถึง 10 ไมโครฟารัด ตั้งที่สเกล R x 1K

-ค่าความจุต่ำกว่า 1 ไมโครฟารัด ลงมา ตั้งที่สเกล R x 10K

3.3 การออกแบบชุดทดลองการแบ่งแรงดันสูง

ชุดทดลองการแบ่งแรงดันสูงที่เราออกแบบ มีพิกัดแรงดันดังตารางและกำหนดอัตราส่วนแรงดันเบื้องต้นเพื่อใช้ในการออกแบบดังตารางต่อไปนี้

ตารางที่ 3.1 พิกัดแรงดันสูงสุดของชุดทดลองการแบ่งแรงดันสูงที่ต้องการออกแบบสร้าง

พิกัดแรงดันสูงสุดที่ออกแบบสร้าง	อัตราส่วนแรงดัน(Ratio)
700 V	1001:1

ในการออกแบบเราออกแบบเผื่อไว้ให้สามารถรับแรงดันในการทดสอบ Withstand ซึ่งจะทดสอบที่110%เพราะฉะนั้นเราจึงออกแบบเผื่อ ชุดทดลองการแบ่งแรงดันประกอบด้วย ภาคแรงสูง และภาคแรงต่ำ ซึ่งภาคแรงสูงจะเป็นตัวรับแรงดันไฟฟ้าเกือบทั้งหมด ส่วนภาคแรงต่ำจะมีการลดระดับแรงดันที่ส่งผ่านมาจากภาคแรงสูง ให้มีขนาดพิกัดแรงดันที่ใช้กับเครื่องมือวัดแรงดันไฟฟ้าที่จะต่อเพื่อวัดค่าแรงดันด้านออกของชุดทดลองการแบ่งแรงดัน เช่น ออสซิลโลสโคป หรือ โวลท์มิเตอร์ เป็นต้น

3.3.1 เงื่อนไขในการออกแบบ

ชุดทดลองการแบ่งแรงดันที่สร้างขึ้นใช้กับแรงดันอิมพัลส์ 700 V ซึ่งออกแบบเผื่อ 150 % คือที่พิกัดแรงดัน 1kV ซึ่งในการออกแบบชุดทดลองการแบ่งแรงดันสูงนี้จะแบ่งเป็น 2 แบบคือ

1. การออกแบบชุดการทดลองการแบ่งแรงดันสูงชนิดความต้านทานล้วน

2. การออกแบบชุดการทดลองการแบ่งแรงดันสูงชนิดตัวเก็บประจุที่มีการกระจายความต้านทานเข้าไปเพื่อปรับปรุงคุณลักษณะสมบัติในการวัดแรงดันอิมพัลส์ โดยแบ่งย่อยอีกเป็น 2 แบบคือ

- ความต้านทานต่อขนานกับตัวเก็บประจุ
- ความต้านทานต่ออนุกรมกับตัวเก็บประจุ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.1.1 *การออกแบบชุดการทดลองการแบ่งแรงดันสูงชนิดความต้านทานล้วน*

การออกแบบความต้านทานภาคแรงสูงนั้น สิ่งที่ต้องคำนึงถึงในการออกแบบคือการระบายความร้อนของตัวต้านทาน ในกรณีที่เป็นการระบายความร้อนในอากาศปกติ กระแสที่สามารถไหลผ่านความต้านทานได้ จะอยู่ที่ระดับประมาณ 1-2 mA และกระแสรั่วตามผิวตัวต้านทานซึ่งเกิดจากการที่ความต้านทานรับแรงดันสูงโดยปกติกระแสที่ไหลผ่านความต้านทานไม่ควรน้อยกว่า 0.1 mA ดังนั้นค่าที่เหมาะสมของความต้านทานภาคแรงสูง จะอยู่ในช่วง 0.5-10 MΩ/kV [4] ซึ่งการออกแบบนี้เราเลือกค่าความต้านทานภาคแรงสูง 1 MΩ/kV และเนื่องจากในการออกแบบใช้พิกัดแรงดัน 700 V โดยออกแบบเผื่อที่ 1 kV จะได้ว่า

$$R_1 = \frac{1\text{M}\Omega}{1\text{kV}} \text{ x } 1\text{kV} = 1 \text{ M}\Omega$$

ส่วนการออกแบบภาคแรงต่ำองค์ประกอบพื้นฐานที่ต้องคำนึงถึงมีดังต่อไปนี้

- แรงดันขาออกต้องไม่ต่ำเกินไปเพื่อหลีกเลี่ยงการรบกวนจากภายนอก
- การจัดวางองค์ประกอบความต้านทานภาคแรงต่ำต้องพิจารณาเป็นพิเศษไม่ให้เกิดการเหนี่ยวนำจากสนามแม่เหล็กบนสายนำออกจากชุดทดลองการแบ่งแรงดันสูง

เนื่องจากอัตราส่วนแรงดัน 1001 : 1 สามารถหาความต้านทานภาคแรงต่ำได้

$$R_2 = \frac{1\text{M}\Omega}{1001-1} = 1 \text{ k}\Omega$$

เนื่องจากชุดทดลองการแบ่งแรงดันสูงมีจำนวนช่องสำหรับใส่สล๊อตด้านแรงสูงได้สูงสุดเท่ากับ 31 ช่องและใส่สล๊อตด้านแรงต่ำได้สูงสุดเท่ากับ 10 ช่อง จะได้

$$R'_1 = \frac{1\text{M}\Omega}{31} \approx 30 \text{ k}\Omega$$

$$R'_2 = 1\text{k}\Omega \text{ x } 10 \approx 10 \text{ k}\Omega$$

โดย R'_1 คือความต้านทานองค์ประกอบย่อยในภาคแรงสูง

R'_2 คือความต้านทานองค์ประกอบย่อยในภาคแรงต่ำ

ซึ่งในการออกแบบจะเลือกใช้ความต้านทานองค์ประกอบย่อยทั้งภาคแรงสูงและภาคแรงต่ำเป็นความต้านทาน ชนิดคาร์บอนฟิล์มขนาด 2 วัตต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในทำนองเดียวกัน เพื่อศึกษาผลของขนาดความต้านทานที่แตกต่างกัน จากช่วงค่าของความต้านทานภาคแรงสูงที่เหมาะสม 0.5- 10 MΩ/kV จึงเลือกค่าความต้านทานภาคแรงสูง 0.01 MΩ/kV และเนื่องจากในการออกแบบใช้พิกัดแรงดันสูงสุด 700 V โดยออกแบบเผื่อที่ 1 kV จะได้ว่า

$$R_1 = \frac{0.01M\Omega}{1kV} \times 1kV = 10k\Omega$$

และจากอัตราส่วนแรงดัน 1001 : 1 จึงสามารถหาความต้านทานภาคแรงต่ำได้

$$R_2 = \frac{0.01M\Omega}{1001-1} = 10\,\Omega$$

เนื่องจากชุดทดลองการแบ่งแรงดันสูงมีจำนวนช่องสำหรับใส่สล๊อตด้านแรงสูงได้สูงสุดเท่ากับ 31 ช่องและใส่สล๊อตด้านแรงต่ำได้สูงสุดเท่ากับ 10 ช่อง จะได้

$$R'_1 = \frac{0.01M\Omega}{31} \approx 330\,\Omega$$

$$R'_2 = 10\Omega \times 10 \approx 100\,\Omega$$

โดย R'_1 คือความต้านทานองค์ประกอบย่อยในภาคแรงสูง

R'_2 คือความต้านทานองค์ประกอบย่อยในภาคแรงต่ำ

ซึ่งเลือกใช้ความต้านทานองค์ประกอบย่อยทั้งภาคแรงสูงและภาคแรงต่ำเป็นความต้านทานชนิดคาร์บอนฟิล์มขนาด 2 วัตต์เช่นกัน โดยจะนำค่าต่างๆที่ได้จากการออกแบบมาทำการทดสอบตามกรณีต่างๆ ต่อไปนี้

1.ภาคแรงสูง ความต้านทานชนิดคาร์บอนฟิล์มรีซิสเตอร์ขนาด 330 Ω จำนวน 31 ตัว
ภาคแรงต่ำ ความต้านทานชนิดคาร์บอนฟิล์มรีซิสเตอร์ขนาด 100 Ω จำนวน 10 ตัว
ไม่ทำการต่อแมทชิ่งที่ภาคแรงต่ำของระบบวัด

2.ภาคแรงสูง ความต้านทานชนิดคาร์บอนฟิล์มรีซิสเตอร์ขนาด 330 Ω จำนวน 31 ตัว
ภาคแรงต่ำ ความต้านทานชนิดคาร์บอนฟิล์มรีซิสเตอร์ขนาด 100 Ω จำนวน 10 ตัว
ทำการต่อแมทชิ่งที่ภาคแรงต่ำของระบบวัด

3.ภาคแรงสูง ความต้านทานชนิดคาร์บอนฟิล์มรีซิสเตอร์ขนาด 330 Ω จำนวน 31 ตัว
ภาคแรงต่ำ ความต้านทานชนิดคาร์บอนฟิล์มรีซิสเตอร์ขนาด 100 Ω จำนวน 10 ตัว
ทำการต่อแมทชิ่งที่ภาคแรงต่ำของระบบวัด
และ ระบบเกิดค่าความเหนี่ยวนำ 1 μH ที่ภาคแรงสูง 1 ค่า

4.ภาคแรงสูง ความต้านทานชนิดคาร์บอนฟิล์มรีซิสเตอร์ขนาด 330 Ω จำนวน 31 ตัว
ภาคแรงต่ำ ความต้านทานชนิดคาร์บอนฟิล์มรีซิสเตอร์ขนาด 100 Ω จำนวน 10 ตัว
ทำการต่อแมทชิ่งที่ภาคแรงต่ำของระบบวัด
และ ระบบเกิดค่าความเหนี่ยวนำ1 μH ที่ภาคแรงต่ำ 1 ค่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.ภาคแรงสูง ความต้านทานชนิดคาร์บอนฟิล์มรีซิสเตอร์ขนาด 330 Ω จำนวน 31 ตัว
ภาคแรงต่ำ ความต้านทานชนิดคาร์บอนฟิล์มรีซิสเตอร์ขนาด 100 Ω จำนวน 10 ตัว
ทำการต่อแมทชิ่งที่ภาคแรงต่ำของระบบวัด
และ ระบบเกิดค่าความเหนี่ยวนำ1 μH ที่ภาคแรงต่ำ 3 ค่า

6. ภาคแรงสูง ความต้านทานชนิดคาร์บอนฟิล์มรีซิสเตอร์ขนาด 330 Ω จำนวน 31 ตัว
ภาคแรงต่ำ ความต้านทานชนิดคาร์บอนฟิล์มรีซิสเตอร์ขนาด 100 Ω จำนวน 10 ตัว
ทำการต่อแมทชิ่งที่ภาคแรงต่ำของระบบวัด
และ ระบบเกิดค่าความเหนี่ยวนำ1 μH ที่ภาคแรงสูง 1 ค่าและภาคแรงต่ำ 1 ค่า

7.ภาคแรงสูง ความต้านทานชนิดคาร์บอนฟิล์มรีซิสเตอร์ขนาด 30 kΩ จำนวน 31 ตัว
ภาคแรงต่ำ ความต้านทานชนิดคาร์บอนฟิล์มรีซิสเตอร์ขนาด 10 kΩ จำนวน 10 ตัว
ทำการต่อแมทชิ่งที่ภาคแรงต่ำของระบบวัด

8.ภาคแรงสูง ความต้านทานชนิดคาร์บอนฟิล์มรีซิสเตอร์ขนาด 330 Ω จำนวน 8 ตัว
ภาคแรงต่ำ ความต้านทานชนิดคาร์บอนฟิล์มรีซิสเตอร์ขนาด 100 Ω จำนวน 10 ตัว
ทำการต่อแมทชิ่งที่ภาคแรงต่ำของระบบวัด

9. ภาคแรงสูง ความต้านทานชนิดคาร์บอนฟิล์มรีซิสเตอร์ขนาด 330 Ω จำนวน 8 ตัว
ภาคแรงต่ำ ความต้านทานชนิดคาร์บอนฟิล์มรีซิสเตอร์ขนาด 100 Ω จำนวน 10 ตัว
ทำการต่อแมทชิ่งที่ภาคแรงต่ำของระบบวัด
และ ระบบเกิดค่าความเหนี่ยวนำ 1 μH ที่ภาคแรงสูง 1 ค่า

10.ภาคแรงสูง ความต้านทานชนิดคาร์บอนฟิล์มรีซิสเตอร์ขนาด 330 Ω จำนวน 8 ตัว
ภาคแรงต่ำ ความต้านทานชนิดคาร์บอนฟิล์มรีซิสเตอร์ขนาด 100 Ω จำนวน 10 ตัว
ทำการต่อแมทชิ่งที่ภาคแรงต่ำของระบบวัด
และ ระบบเกิดค่าความเหนี่ยวนำ1 μH ที่ภาคแรงสูง 3 ค่า

11.ภาคแรงสูง ความต้านทานชนิดคาร์บอนฟิล์มรีซิสเตอร์ขนาด 330 Ω จำนวน 8 ตัว
ภาคแรงต่ำ ความต้านทานชนิดคาร์บอนฟิล์มรีซิสเตอร์ขนาด 100 Ω จำนวน 10 ตัว
ทำการต่อแมทชิ่งที่ภาคแรงต่ำของระบบวัด
และ ระบบเกิดค่าความเหนี่ยวนำ1 μH ที่ภาคแรงต่ำ 1 ค่า

12.ภาคแรงสูง ความต้านทานชนิดคาร์บอนฟิล์มรีซิสเตอร์ขนาด 330 Ω จำนวน 8 ตัว
ภาคแรงต่ำ ความต้านทานชนิดคาร์บอนฟิล์มรีซิสเตอร์ขนาด 100 Ω จำนวน 10 ตัว
ทำการต่อแมทชิ่งที่ภาคแรงต่ำของระบบวัด
และ ระบบเกิดค่าความเหนี่ยวนำ1 μH ที่ภาคแรงต่ำ 3 ค่า

13.ภาคแรงสูง ความต้านทานชนิดคาร์บอนฟิล์มรีซิสเตอร์ขนาด 330 Ω จำนวน 8 ตัว
ภาคแรงต่ำ ความต้านทานชนิดคาร์บอนฟิล์มรีซิสเตอร์ขนาด 100 Ω จำนวน 10 ตัว
ทำการต่อแมทชิ่งที่ภาคแรงต่ำของระบบวัด
และ ระบบเกิดค่าความเหนี่ยวนำ1 μH ที่ภาคแรงสูง 1 ค่าและภาคแรงต่ำ 1 ค่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

14.ภาคแรงสูง ความต้านทานชนิดคาร์บอนฟิล์มรีซิสเตอร์ขนาด 330 Ω จำนวน 8 ตัว
ภาคแรงต่ำ ความต้านทานชนิดคาร์บอนฟิล์มรีซิสเตอร์ขนาด 100 Ω จำนวน 10 ตัว
ทำการต่อแมทชิ่งที่ภาคแรงต่ำของระบบวัด
และ ระบบเกิดค่าความเหนี่ยวนำ1 μH ที่ภาคแรงสูง 3 ค่าและภาคแรงต่ำ 3 ค่า

3.3.1.2 การออกแบบชุดการทดลองการแบ่งแรงดันสูงชนิดตัวเก็บประจุที่มีการกระจายความต้านทานเข้าไปเพื่อปรับปรุงคุณลักษณะสมบัติในการวัดแรงดันอิมพัลส์

เนื่องจากในการออกแบบโวลเตจดิไวเดอร์แบบตัวเก็บประจุเพื่อให้สามารถใช้งานได้อยู่ในระดับที่น่าพอใจนั้น จะนิยมออกแบบให้ มีความคลาดเคลื่อนเนื่องจากตัวเก็บประจุสเตรย์ หรือ $C_e/6C_1$ มีค่าน้อยกว่า 5% ซึ่งโดยปกติค่า c_e จะมีค่าประมาณ 10 ถึง 15 pF ต่อเมตร ดังนั้นค่า ตัวเก็บประจุภาคแรงสูง c_1 จึงควรมีค่าประมาณ 30-50 pF ต่อเมตร[4] ซึ่งการออกแบบนี้เราเลือกค่าตัวเก็บประจุภาคแรงสูง 50 pF ต่อเมตร และเนื่องจากชุดการทดลองการแบ่งแรงดันสูงมีความสูงประมาณ 1 เมตร จะได้ว่า

$$C_1 = \frac{50_{pF}}{1_m} \times 1m = 50 \text{ pF}$$

เนื่องจากอัตราส่วนแรงดัน 1001 : 1 สามารถหาตัวเก็บประจุภาคแรงต่ำได้

$$C_2 = (1001-1) \times 50 \text{ pF} = 50 \text{ nF}$$

เนื่องจากชุดทดลองการแบ่งแรงดันสูงมีจำนวนช่องสำหรับใส่สล๊อตด้านแรงสูงได้สูงสุดเท่ากับ 31 ช่องและใส่สล๊อตด้านแรงต่ำได้สูงสุดเท่ากับ 10 ช่อง จะได้ว่า

$$C'_1 = 50 \text{ pF} \times 31 \approx 1.5 \text{ nF}$$

$$C'_2 = 50 \text{ nF} / 10 \approx 4.7 \text{ nF}$$

โดย C'_1 คือตัวเก็บประจุองค์ประกอบย่อยในภาคแรงสูง
C'_2 คือตัวเก็บประจุองค์ประกอบย่อยในภาคแรงต่ำ

ในทำนองเดียวกัน เพื่อศึกษาผลของขนาดตัวเก็บประจุที่แตกต่างกัน จากการที่ตัวเก็บประจุภาคแรงสูง c_1 ควรมีค่าประมาณ 30-50 pF ต่อเมตร[4] จึงทำการออกแบบโดยเลือกค่าตัวเก็บประจุภาคแรงสูง 500 pF ต่อเมตร และเนื่องจากชุดการทดลองการแบ่งแรงดันสูงมีความสูงประมาณ 1 เมตร จะได้ว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$C_1 = \frac{500pF}{1m} \times 1m = 500pF$$

เนื่องจากอัตราส่วนแรงดัน 1001 : 1 สามารถหาตัวเก็บประจุภาคแรงต่ำได้

$$C'_2 = \frac{500nF}{10} \approx 47\ nF$$

เนื่องจากชุดทดลองการแบ่งแรงดันสูงมีจำนวนช่องสำหรับใส่สล๊อตด้านแรงสูงได้สูงสุดเท่ากับ 31 ช่องและใส่สล๊อตด้านแรงต่ำได้สูงสุดเท่ากับ 10 ช่อง จะได้ว่า

$$C'_1 = 500pF \times 31 = 15nF$$

$$C'_2 = \frac{500nF}{10} \approx 47\ nF$$

โดย C'_1 คือตัวเก็บประจุองค์ประกอบย่อยในภาคแรงสูง

C'_2 คือตัวเก็บประจุองค์ประกอบย่อยในภาคแรงต่ำ

ในการออกแบบจะเลือกใช้ตัวเก็บประจุองค์ประกอบย่อยทั้งภาคแรงสูงและภาคแรงต่ำเป็นตัวเก็บประจุชนิดโพลีเอสเตอร์คาปาซิเตอร์ฟิล์ม ซึ่งในการกระจายความต้านทานหน่วงเข้าไปเพื่อปรับปรุงคุณลักษณะสมบัติการวัดแรงดันอิมพัลส์นั้น ค่าความต้านทานหน่วงที่เหมาะสมจะมีค่าอยู่ในช่วง 500 ถึง 1000 Ω ดังนั้นเพื่อการศึกษาผลของค่าความต้านทานหน่วงต่างๆ การออกแบบจึงเลือกใช้ค่าความต้านทานหน่วง R_d เพื่อศึกษาลักษณะสมบัติการวัดแรงดันอิมพัลส์ มีค่าเท่ากับ 50Ω ,100Ω ,450Ω ,750Ω ,990Ω และ 2040Ω แล้วทำการกระจายเป็นค่าความต้านทานหน่วงองค์ประกอบย่อย R'_d เข้าไป ทั้งในแบบต่อขนานและการต่อแบบอนุกรม โดยค่าต่างๆที่ได้จากการออกแบบจะนำมาทำการทดสอบ ตามกรณีต่างดังต่อไปนี้

1.ภาคแรงสูง ตัวเก็บประจุแบบฟิล์มชนิดโพลิเอสเตอร์คาปาซิเตอร์ขนาด 1.5 nF 27 ตัว
ภาคแรงต่ำ ตัวเก็บประจุแบบฟิล์มชนิดโพลิเอสเตอร์คาปาซิเตอร์ขนาด 4.7 nF 10 ตัว
ทำการต่อแมทชิ่งที่ภาคแรงต่ำของระบบวัด

2.ภาคแรงสูง ตัวเก็บประจุแบบฟิล์มชนิดโพลิเอสเตอร์คาปาซิเตอร์ขนาด 1.5 nF 27 ตัว
ภาคแรงต่ำ ตัวเก็บประจุแบบฟิล์มชนิดโพลิเอสเตอร์คาปาซิเตอร์ขนาด 4.7 nF 10 ตัว
ทำการต่อแมทชิ่งที่ภาคแรงต่ำของระบบวัด
และ ระบบเกิดค่าความเหนี่ยวนำ1 μH ที่ภาคแรงสูง 1 ค่า

3.ภาคแรงสูง ตัวเก็บประจุแบบฟิล์มชนิดโพลิเอสเตอร์คาปาซิเตอร์ขนาด 1.5 nF 27 ตัว
ภาคแรงต่ำ ตัวเก็บประจุแบบฟิล์มชนิดโพลิเอสเตอร์คาปาซิเตอร์ขนาด 4.7 nF 10 ตัว
ทำการต่อแมทชิ่งที่ภาคแรงต่ำของระบบวัด
และ ระบบเกิดค่าความเหนี่ยวนำ1 μH ที่ภาคแรงสูง 3 ค่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.ภาคแรงสูง ตัวเก็บประจุแบบฟิล์มชนิดโพลิเอสเตอร์คาปาซิเตอร์ขนาด 1.5 nF 27 ตัว
ภาคแรงต่ำ ตัวเก็บประจุแบบฟิล์มชนิดโพลิเอสเตอร์คาปาซิเตอร์ขนาด 4.7 nF 10 ตัว
ทำการต่อแมทชิ่งที่ภาคแรงต่ำของระบบวัด
และ ระบบเกิดค่าความเหนี่ยวนำ1 μH ที่ภาคแรงต่ำ 1 ค่า

5.ภาคแรงสูง ตัวเก็บประจุแบบฟิล์มชนิดโพลิเอสเตอร์คาปาซิเตอร์ขนาด 1.5 nF 27 ตัว
ภาคแรงต่ำ ตัวเก็บประจุแบบฟิล์มชนิดโพลิเอสเตอร์คาปาซิเตอร์ขนาด 4.7 nF 10 ตัว
ทำการต่อแมทชิ่งที่ภาคแรงต่ำของระบบวัด
และ ระบบเกิดค่าความเหนี่ยวนำ1 μH ที่ภาคแรงต่ำ 3 ค่า

6.ภาคแรงสูง ตัวเก็บประจุแบบฟิล์มชนิดโพลิเอสเตอร์คาปาซิเตอร์ขนาด 1.5 nF 27 ตัว
ภาคแรงต่ำ ตัวเก็บประจุแบบฟิล์มชนิดโพลิเอสเตอร์คาปาซิเตอร์ขนาด 4.7 nF 10 ตัว
ทำการต่อแมทชิ่งที่ภาคแรงต่ำของระบบวัด
และ ระบบเกิดค่าความเหนี่ยวนำ1 μH ที่ภาคแรงสูง 1 ค่าและภาคแรงต่ำ 1 ค่า

7.ภาคแรงสูง ตัวเก็บประจุแบบฟิล์มชนิดโพลิเอสเตอร์คาปาซิเตอร์ขนาด 1.5 nF 27 ตัว
ภาคแรงต่ำ ตัวเก็บประจุแบบฟิล์มชนิดโพลิเอสเตอร์คาปาซิเตอร์ขนาด 4.7 nF 10 ตัว
ทำการต่อแมทชิ่งที่ภาคแรงต่ำของระบบวัด
และ ระบบเกิดค่าความเหนี่ยวนำ1 μH ที่ภาคแรงสูง 3 ค่าและภาคแรงต่ำ 3 ค่า

8.ภาคแรงสูง ตัวเก็บประจุแบบฟิล์มชนิดโพลิเอสเตอร์คาปาซิเตอร์ขนาด 1.5 nF 27 ตัว
ภาคแรงต่ำ ตัวเก็บประจุแบบฟิล์มชนิดโพลิเอสเตอร์คาปาซิเตอร์ขนาด 4.7 nF 10 ตัว
ทำการต่อแมทชิ่งที่ภาคแรงต่ำของระบบวัด
แล้วกระจายความต้านทานหน่วงแบบขนานขนาด 150 Ω จำนวน 3 ตัว

9.ภาคแรงสูง ตัวเก็บประจุแบบฟิล์มชนิดโพลิเอสเตอร์คาปาซิเตอร์ขนาด 1.5 nF 27 ตัว
ภาคแรงต่ำ ตัวเก็บประจุแบบฟิล์มชนิดโพลิเอสเตอร์คาปาซิเตอร์ขนาด 4.7 nF 10 ตัว
ทำการต่อแมทชิ่งที่ภาคแรงต่ำของระบบวัด
แล้วกระจายความต้านทานหน่วงแบบขนานขนาด 150 Ω จำนวน 3 ตัว
และ ระบบเกิดค่าความเหนี่ยวนำ1 μH ที่ภาคแรงสูง 1 ค่า

10.ภาคแรงสูง ตัวเก็บประจุแบบฟิล์มชนิดโพลิเอสเตอร์คาปาซิเตอร์ขนาด 1.5 nF 27 ตัว
ภาคแรงต่ำ ตัวเก็บประจุแบบฟิล์มชนิดโพลิเอสเตอร์คาปาซิเตอร์ขนาด 4.7 nF 10 ตัว
ทำการต่อแมทชิ่งที่ภาคแรงต่ำของระบบวัด
แล้วกระจายความต้านทานหน่วงแบบขนานขนาด 150 Ω จำนวน 5 ตัว

11.ภาคแรงสูง ตัวเก็บประจุแบบฟิล์มชนิดโพลิเอสเตอร์คาปาซิเตอร์ขนาด 1.5 nF 27 ตัว
ภาคแรงต่ำ ตัวเก็บประจุแบบฟิล์มชนิดโพลิเอสเตอร์คาปาซิเตอร์ขนาด 4.7 nF 10 ตัว
ทำการต่อแมทชิ่งที่ภาคแรงต่ำของระบบวัด
แล้วกระจายความต้านทานหน่วงแบบขนานขนาด 330 Ω จำนวน 3 ตัว

12.ภาคแรงสูง ตัวเก็บประจุแบบฟิล์มชนิดโพลิเอสเตอร์คาปาซิเตอร์ขนาด 1.5 nF 27 ตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคแรงต่ำ ตัวเก็บประจุแบบฟิล์มชนิดโพลิเอสเตอร์คาปาซิเตอร์ขนาด 4.7 nF 10 ตัว
ทำการต่อแมทชิ่งที่ภาคแรงต่ำของระบบวัด
แล้วกระจายความต้านทานหน่วงแบบขนานขนาด 680 Ω จำนวน 3 ตัว

13.ภาคแรงสูง ตัวเก็บประจุแบบฟิล์มชนิดโพลิเอสเตอร์คาปาซิเตอร์ขนาด 1.5 nF 27 ตัว
ภาคแรงต่ำ ตัวเก็บประจุแบบฟิล์มชนิดโพลิเอสเตอร์คาปาซิเตอร์ขนาด 4.7 nF 10 ตัว
ทำการต่อแมทชิ่งที่ภาคแรงต่ำของระบบวัด
แล้วกระจายความต้านทานหน่วงแบบอนุกรมขนาด 150 Ω จำนวน 3 ตัว

14.ภาคแรงสูง ตัวเก็บประจุแบบฟิล์มชนิดโพลิเอสเตอร์คาปาซิเตอร์ขนาด 1.5 nF 27 ตัว
ภาคแรงต่ำ ตัวเก็บประจุแบบฟิล์มชนิดโพลิเอสเตอร์คาปาซิเตอร์ขนาด 4.7 nF 10 ตัว
ทำการต่อแมทชิ่งที่ภาคแรงต่ำของระบบวัด
แล้วกระจายความต้านทานหน่วงแบบอนุกรมขนาด 150 Ω จำนวน 5 ตัว

15.ภาคแรงสูง ตัวเก็บประจุแบบฟิล์มชนิดโพลิเอสเตอร์คาปาซิเตอร์ขนาด 1.5 nF 27 ตัว
ภาคแรงต่ำ ตัวเก็บประจุแบบฟิล์มชนิดโพลิเอสเตอร์คาปาซิเตอร์ขนาด 4.7 nF 10 ตัว
ทำการต่อแมทชิ่งที่ภาคแรงต่ำของระบบวัด
แล้วกระจายความต้านทานหน่วงแบบอนุกรมขนาด 330 Ω จำนวน 3 ตัว

16.ภาคแรงสูง ตัวเก็บประจุแบบฟิล์มชนิดโพลิเอสเตอร์คาปาซิเตอร์ขนาด 1.5 nF 27 ตัว
ภาคแรงต่ำ ตัวเก็บประจุแบบฟิล์มชนิดโพลิเอสเตอร์คาปาซิเตอร์ขนาด 4.7 nF 10 ตัว
ทำการต่อแมทชิ่งที่ภาคแรงต่ำของระบบวัด
แล้วกระจายความต้านทานหน่วงแบบอนุกรมขนาด 680 Ω จำนวน 3 ตัว

17.ภาคแรงสูง ตัวเก็บประจุแบบฟิล์มชนิดโพลิเอสเตอร์คาปาซิเตอร์ขนาด 15 nF 27 ตัว
ภาคแรงต่ำ ตัวเก็บประจุแบบฟิล์มชนิดโพลิเอสเตอร์คาปาซิเตอร์ขนาด 47 nF 10 ตัว
ทำการต่อแมทชิ่งที่ภาคแรงต่ำของระบบวัด

18.ภาคแรงสูง ตัวเก็บประจุแบบฟิล์มชนิดโพลิเอสเตอร์คาปาซิเตอร์ขนาด 15 nF 27 ตัว
ภาคแรงต่ำ ตัวเก็บประจุแบบฟิล์มชนิดโพลิเอสเตอร์คาปาซิเตอร์ขนาด 47 nF 10 ตัว
ทำการต่อแมทชิ่งที่ภาคแรงต่ำของระบบวัด
และ ระบบเกิดค่าความเหนี่ยวนำ1 μH ที่ภาคแรงสูง 1 ค่า

19.ภาคแรงสูง ตัวเก็บประจุแบบฟิล์มชนิดโพลิเอสเตอร์คาปาซิเตอร์ขนาด 15 nF 27 ตัว
ภาคแรงต่ำ ตัวเก็บประจุแบบฟิล์มชนิดโพลิเอสเตอร์คาปาซิเตอร์ขนาด 47 nF 10 ตัว
ทำการต่อแมทชิ่งที่ภาคแรงต่ำของระบบวัด
และ ระบบเกิดค่าความเหนี่ยวนำ1 μH ที่ภาคแรงสูง 3 ค่า

20.ภาคแรงสูง ตัวเก็บประจุแบบฟิล์มชนิดโพลิเอสเตอร์คาปาซิเตอร์ขนาด 15 nF 27 ตัว
ภาคแรงต่ำ ตัวเก็บประจุแบบฟิล์มชนิดโพลิเอสเตอร์คาปาซิเตอร์ขนาด 47 nF 10 ตัว
ทำการต่อแมทชิ่งที่ภาคแรงต่ำของระบบวัด
และ ระบบเกิดค่าความเหนี่ยวนำ1 μH ที่ภาคแรงต่ำ 1 ค่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

21.ภาคแรงสูง ตัวเก็บประจุแบบฟิล์มชนิดโพลิเอสเตอร์คาปาซิเตอร์ขนาด 15 nF 27 ตัว
ภาคแรงต่ำ ตัวเก็บประจุแบบฟิล์มชนิดโพลิเอสเตอร์คาปาซิเตอร์ขนาด 47 nF 10 ตัว
ทำการต่อแมทชิ่งที่ภาคแรงต่ำของระบบวัด
และ ระบบเกิดค่าความเหนี่ยวนำ1 μH ที่ภาคแรงต่ำ 3 ค่า

22.ภาคแรงสูง ตัวเก็บประจุแบบฟิล์มชนิดโพลิเอสเตอร์คาปาซิเตอร์ขนาด 15 nF 27 ตัว
ภาคแรงต่ำ ตัวเก็บประจุแบบฟิล์มชนิดโพลิเอสเตอร์คาปาซิเตอร์ขนาด 47 nF 10 ตัว
ทำการต่อแมทชิ่งที่ภาคแรงต่ำของระบบวัด
และ ระบบเกิดค่าความเหนี่ยวนำ1 μH ที่ภาคแรงสูง 1 ค่าและภาคแรงต่ำ 1 ค่า

23.ภาคแรงสูง ตัวเก็บประจุแบบฟิล์มชนิดโพลิเอสเตอร์คาปาซิเตอร์ขนาด 15 nF 27 ตัว
ภาคแรงต่ำ ตัวเก็บประจุแบบฟิล์มชนิดโพลิเอสเตอร์คาปาซิเตอร์ขนาด 47 nF 10 ตัว
ทำการต่อแมทชิ่งที่ภาคแรงต่ำของระบบวัด
และ ระบบเกิดค่าความเหนี่ยวนำ1 μH ที่ภาคแรงสูง 3 ค่าและภาคแรงต่ำ 3 ค่า

24.ภาคแรงสูง ตัวเก็บประจุแบบฟิล์มชนิดโพลิเอสเตอร์คาปาซิเตอร์ขนาด 15 nF 27 ตัว
ภาคแรงต่ำ ตัวเก็บประจุแบบฟิล์มชนิดโพลิเอสเตอร์คาปาซิเตอร์ขนาด 47 nF 10 ตัว
ทำการต่อแมทชิ่งที่ภาคแรงต่ำของระบบวัด
แล้วกระจายความต้านทานหน่วงแบบขนานขนาด 150 Ω จำนวน 3 ตัว

25.ภาคแรงสูง ตัวเก็บประจุแบบฟิล์มชนิดโพลิเอสเตอร์คาปาซิเตอร์ขนาด 15 nF 27 ตัว
ภาคแรงต่ำ ตัวเก็บประจุแบบฟิล์มชนิดโพลิเอสเตอร์คาปาซิเตอร์ขนาด 47 nF 10 ตัว
ทำการต่อแมทชิ่งที่ภาคแรงต่ำของระบบวัด
แล้วกระจายความต้านทานหน่วงแบบขนานขนาด 150 Ω จำนวน 5 ตัว

26.ภาคแรงสูง ตัวเก็บประจุแบบฟิล์มชนิดโพลิเอสเตอร์คาปาซิเตอร์ขนาด 15 nF 27 ตัว
ภาคแรงต่ำ ตัวเก็บประจุแบบฟิล์มชนิดโพลิเอสเตอร์คาปาซิเตอร์ขนาด 47 nF 10 ตัว
ทำการต่อแมทชิ่งที่ภาคแรงต่ำของระบบวัด
แล้วกระจายความต้านทานหน่วงแบบขนานขนาด 330 Ω จำนวน 3 ตัว

27.ภาคแรงสูง ตัวเก็บประจุแบบฟิล์มชนิดโพลิเอสเตอร์คาปาซิเตอร์ขนาด 15 nF 27 ตัว
ภาคแรงต่ำ ตัวเก็บประจุแบบฟิล์มชนิดโพลิเอสเตอร์คาปาซิเตอร์ขนาด 47 nF 10 ตัว
ทำการต่อแมทชิ่งที่ภาคแรงต่ำของระบบวัด
แล้วกระจายความต้านทานหน่วงแบบขนานขนาด 680 Ω จำนวน 3 ตัว

28.ภาคแรงสูง ตัวเก็บประจุแบบฟิล์มชนิดโพลิเอสเตอร์คาปาซิเตอร์ขนาด 15 nF 27 ตัว
ภาคแรงต่ำ ตัวเก็บประจุแบบฟิล์มชนิดโพลิเอสเตอร์คาปาซิเตอร์ขนาด 47 nF 10 ตัว
ทำการต่อแมทชิ่งที่ภาคแรงต่ำของระบบวัด
แล้วกระจายความต้านทานหน่วงแบบอนุกรมขนาด 150 Ω จำนวน 3 ตัว

29.ภาคแรงสูง ตัวเก็บประจุแบบฟิล์มชนิดโพลิเอสเตอร์คาปาซิเตอร์ขนาด 15 nF 27 ตัว
ภาคแรงต่ำ ตัวเก็บประจุแบบฟิล์มชนิดโพลิเอสเตอร์คาปาซิเตอร์ขนาด 47 nF 10 ตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทำการต่อแมทชิ่งที่ภาคแรงต่ำของระบบวัด
แล้วกระจายความต้านทานหน่วงแบบอนุกรมขนาด 150 Ω จำนวน 5 ตัว

30.ภาคแรงสูง ตัวเก็บประจุแบบฟิล์มชนิดโพลิเอสเตอร์คาปาซิเตอร์ขนาด 15 nF 27 ตัว
ภาคแรงต่ำ ตัวเก็บประจุแบบฟิล์มชนิดโพลิเอสเตอร์คาปาซิเตอร์ขนาด 47 nF 10 ตัว
ทำการต่อแมทชิ่งที่ภาคแรงต่ำของระบบวัด
แล้วกระจายความต้านทานหน่วงแบบอนุกรมขนาด 330 Ω จำนวน 3 ตัว

31.ภาคแรงสูง ตัวเก็บประจุแบบฟิล์มชนิดโพลิเอสเตอร์คาปาซิเตอร์ขนาด 15 nF 27 ตัว
ภาคแรงต่ำ ตัวเก็บประจุแบบฟิล์มชนิดโพลิเอสเตอร์คาปาซิเตอร์ขนาด 47 nF 10 ตัว
ทำการต่อแมทชิ่งที่ภาคแรงต่ำของระบบวัด
แล้วกระจายความต้านทานหน่วงแบบอนุกรมขนาด 680 Ω จำนวน 3 ตัว

32.ภาคแรงสูง ตัวเก็บประจุแบบฟิล์มชนิดโพลิเอสเตอร์คาปาซิเตอร์ขนาด 15 nF 27 ตัว
ภาคแรงต่ำ ตัวเก็บประจุแบบฟิล์มชนิดโพลิเอสเตอร์คาปาซิเตอร์ขนาด 47 nF 10 ตัว
ทำการต่อแมทชิ่งที่ภาคแรงต่ำของระบบวัด
แล้วกระจายความต้านทานหน่วงแบบอนุกรมขนาด 50 Ω

33.ภาคแรงสูง ตัวเก็บประจุแบบฟิล์มชนิดโพลิเอสเตอร์คาปาซิเตอร์ขนาด 15 nF 27 ตัว
ภาคแรงต่ำ ตัวเก็บประจุแบบฟิล์มชนิดโพลิเอสเตอร์คาปาซิเตอร์ขนาด 47 nF 10 ตัว
ทำการต่อแมทชิ่งที่ภาคแรงต่ำของระบบวัด
แล้วกระจายความต้านทานหน่วงแบบอนุกรมขนาด 100 Ω

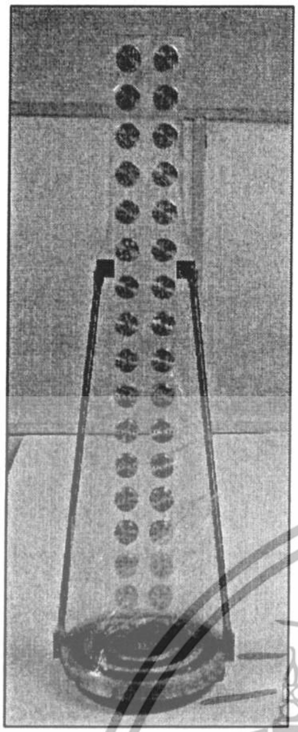
34.ภาคแรงสูง ตัวเก็บประจุแบบฟิล์มชนิดโพลิเอสเตอร์คาปาซิเตอร์ขนาด 15 nF 27 ตัว
ภาคแรงต่ำ ตัวเก็บประจุแบบฟิล์มชนิดโพลิเอสเตอร์คาปาซิเตอร์ขนาด 47 nF 10 ตัว
ทำการต่อแมทชิ่งที่ภาคแรงต่ำของระบบวัด
แล้วกระจายความต้านทานหน่วงแบบอนุกรมขนาด 100 Ω
และ ระบบเกิดค่าความเหนี่ยวนำ1 μH ที่ภาคแรงต่ำ 1 ค่า

35.ภาคแรงสูง ตัวเก็บประจุแบบฟิล์มชนิดโพลิเอสเตอร์คาปาซิเตอร์ขนาด 15 nF 27 ตัว
ภาคแรงต่ำ ตัวเก็บประจุแบบฟิล์มชนิดโพลิเอสเตอร์คาปาซิเตอร์ขนาด 47 nF 10 ตัว
ทำการต่อแมทชิ่งที่ภาคแรงต่ำของระบบวัด
แล้วกระจายความต้านทานหน่วงแบบอนุกรมขนาด 100 Ω
และ ระบบเกิดค่าความเหนี่ยวนำ1 μH ที่ภาคแรงสูง 1 ค่า

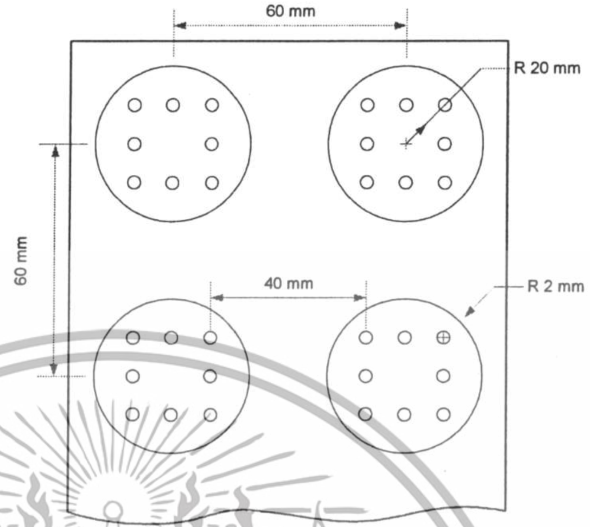
หมายเหตุ : ระบบเกิดค่าความเหนี่ยวนำ 1 μH ที่ภาคแรงสูง 3 ค่า หมายถึงต่อค่าความเหนี่ยวนำ เข้าไปที่ภาคแรงสูง 3 ตัว แต่ละตัวมีค่า 1 μH

กระจายความต้านทานหน่วงแบบอนุกรมขนาด 150 Ω จำนวน 3 ตัว หมายถึงต่อความต้านทานหน่วงเพิ่มเข้าไป 3 ตัว แต่ละตัวมีค่า 150 Ω โดยต่อแบบอนุกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ก)



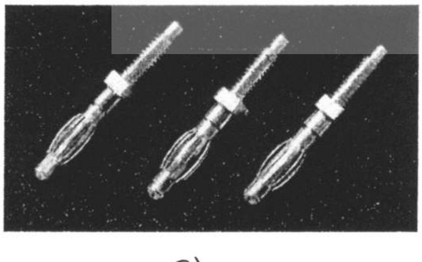
ข)

รูปที่ 3.12 ชุดการทดลองการแบ่งแรงดันสูง

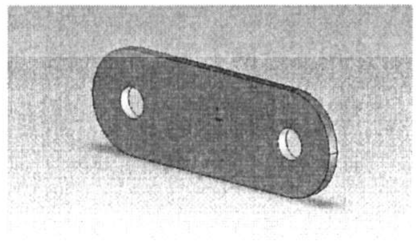
ก) ภาพถ่ายชุดการทดลอง ข) ภาพสเกตช์

3.3.2 อุปกรณ์อื่นๆ ที่เกี่ยวข้อง

นอกเหนือจากอุปกรณ์ในข้างต้นแล้ว ยังมีสล๊อตที่เป็นอุปกรณ์ที่มีไว้เพื่อทำให้ตัวต้านทานและตัวเก็บประจุยึดติดกับตัวชุดการทดลองการแบ่งแรงดัน ซึ่งสล๊อตนี้ประกอบขึ้นจาก แผ่นพีซีบีที่ตัดให้ได้ขนาดดังรูปที่ 3.13 ค) และมีตัวยึดที่ทำให้สล๊อตติดกับตัวชุดการทดลองการแบ่งแรงดันสูง ซึ่งมีลักษณะดังรูปที่ 3.13 ก)

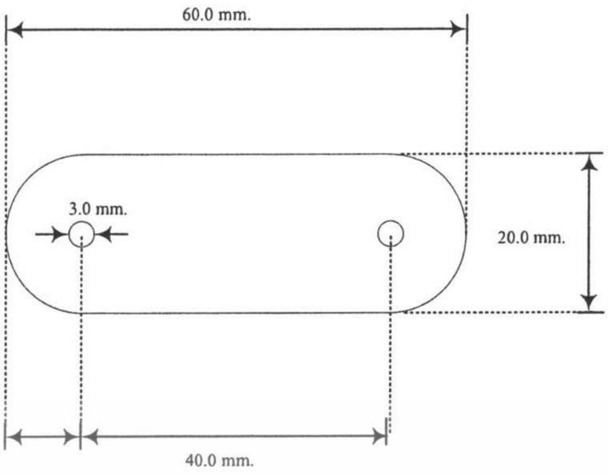


ก)



ข)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

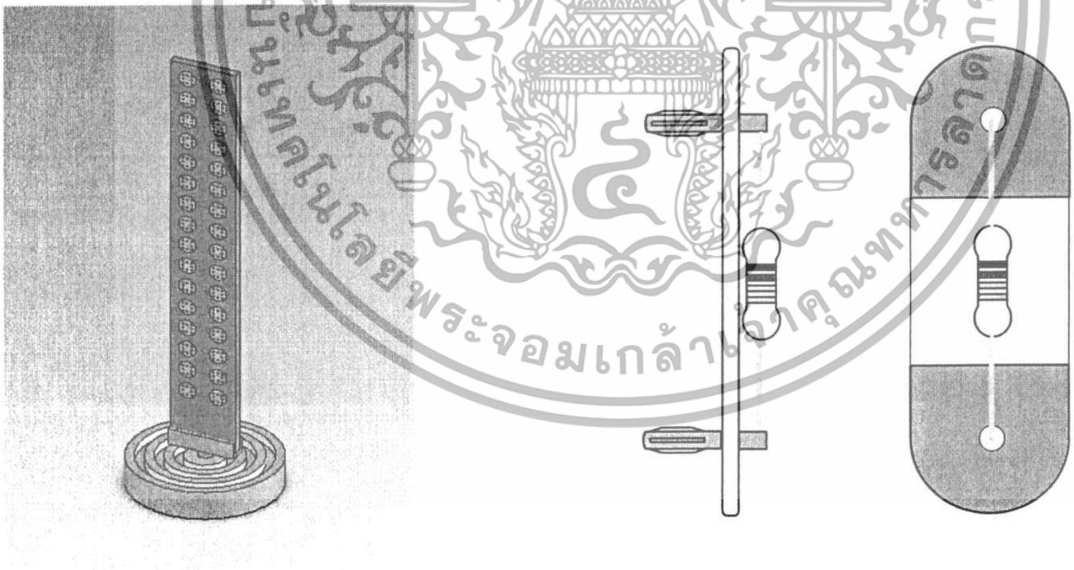


ค)

รูปที่ 3.13 ลักษณะรูปร่างสล๊อตซึ่งประกอบด้วย

ก) ตัวยึด ข) แผ่นพีซีบีตัด ค) ตัวยึดแสดงขนาดแผ่นพีซีบีตัด

เมื่อได้อุปกรณ์ทุกอย่าง และคำนวณค่าทั้งตัวเก็บประจุ ตัวต้านทานแล้วก็นำมาประกอบกันเข้าไปตามที่เราต้องการที่จะทดสอบ ต่อไป



ก) ข)

รูปที่ 3.14 การประกอบกันของชุดทดสอบ

ก) ชุดทดลองการแบ่งแรงดัน ข) การประกอบกันของอุปกรณ์

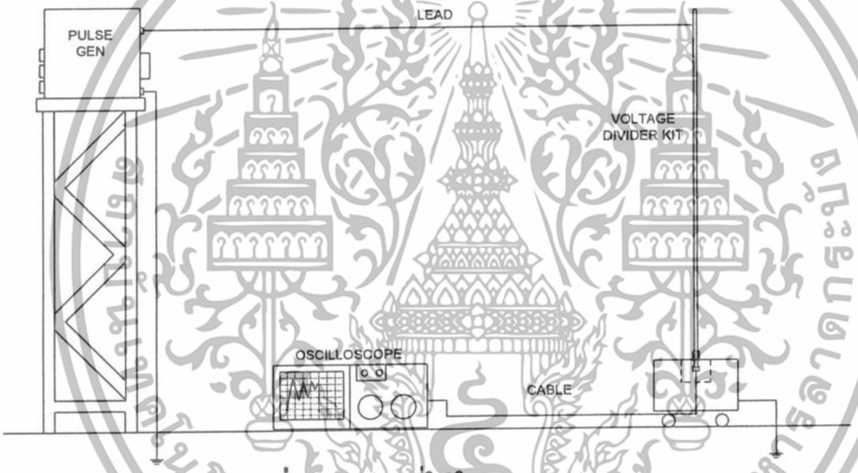
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

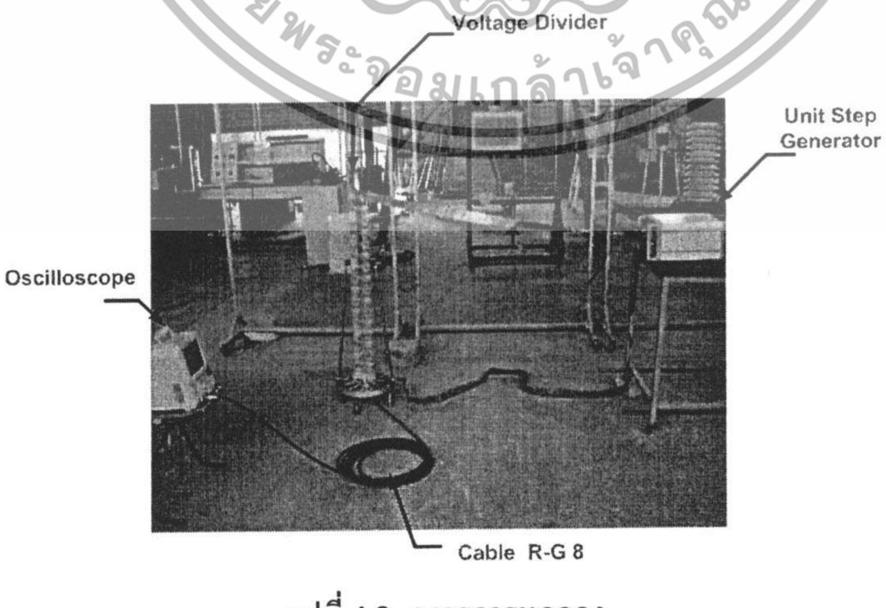
ผลการทดลอง

การศึกษาคุณสมบัติของชุดทดลองการแบ่งแรงดันสูง เริ่มต้นจากการต่อวงจรทดลองดังรูป 4.1-4.2 โดยจะทำการประกอบชุดทดลองการแบ่งแรงดันสูง ที่ประกอบด้วยองค์ประกอบต่างๆ ที่แตกต่างกัน 49 กรณีศึกษา ดังรายละเอียดในหัวข้อ 3.3 หลังจากจัดวงจรทดลองแล้วทำการป้อนแรงดันจากชุดกำเนิดแรงดันหนึ่งหน่วย ที่ระดับแรงดัน 200 โวลต์

4.1 วงจรการทดลอง

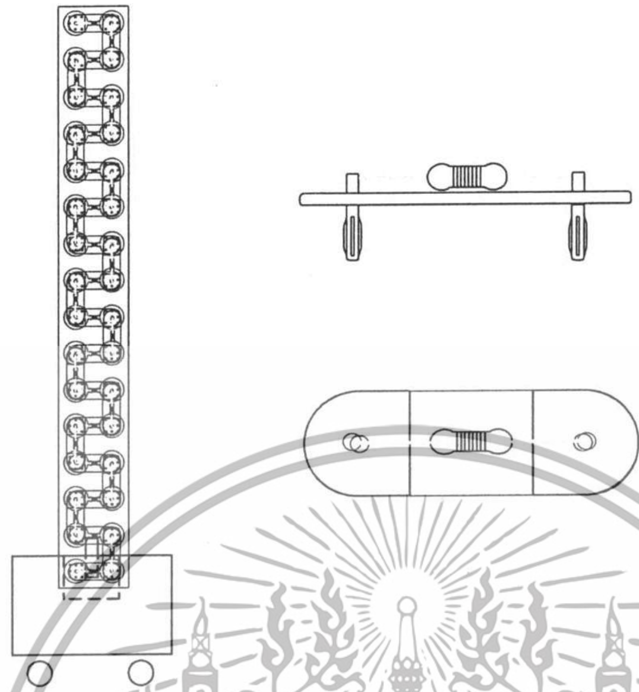


รูปที่ 4.1 วงจรที่ใช้ในการทดลอง

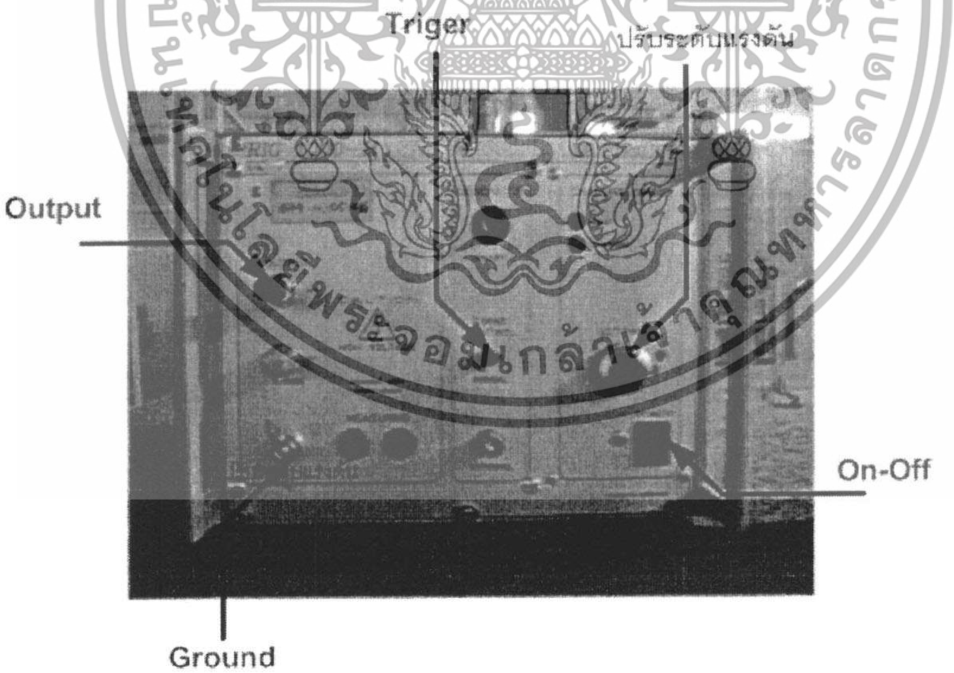


รูปที่ 4.2 วงจรการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.3 ชุดทดลองการแบ่งแรงดันสูง



รูปที่ 4.4 Unit Step Generator

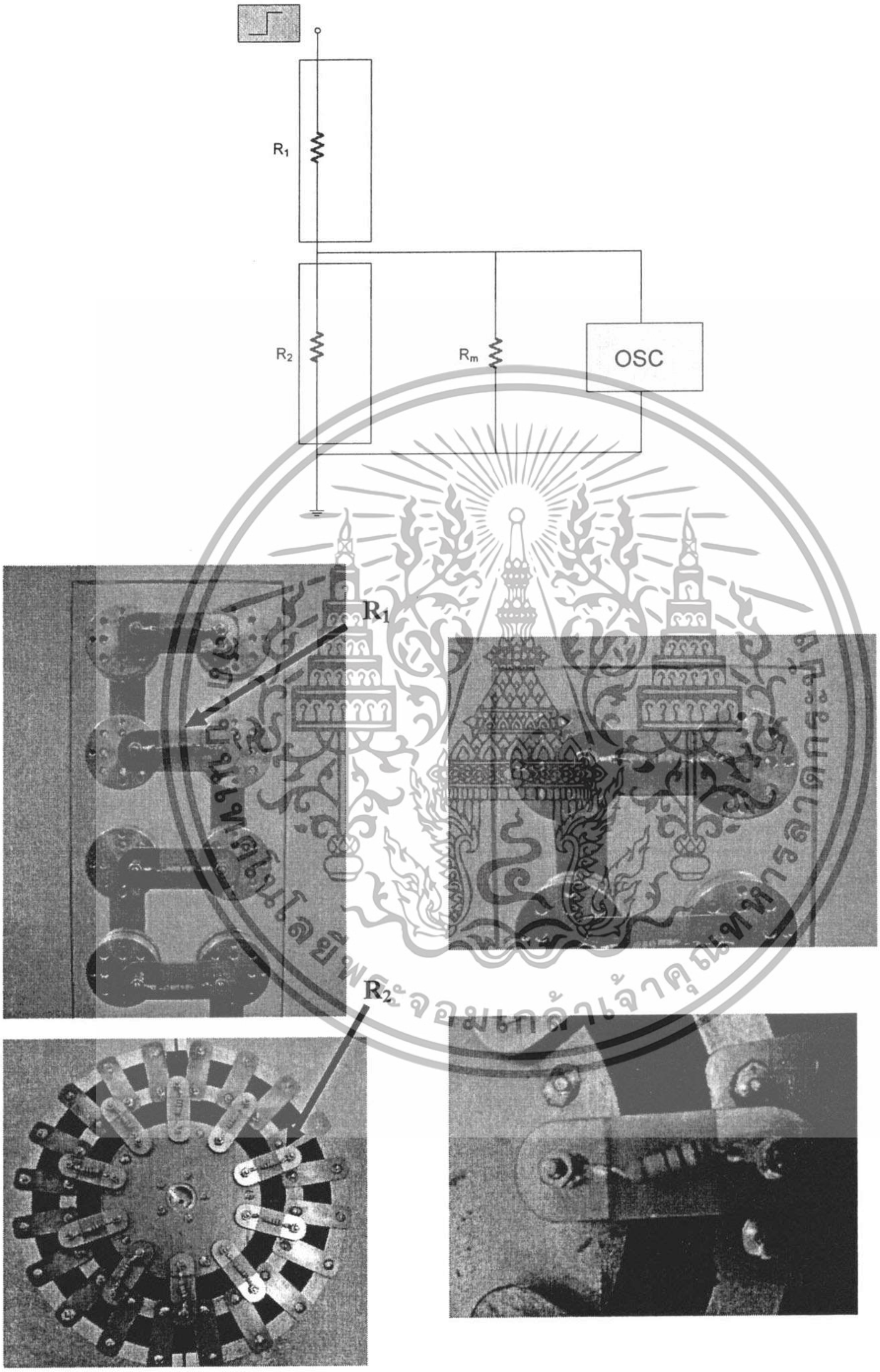
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 อุปกรณ์การทดลอง

1.Unit Step Generator	1	เครื่อง
2.Oscilloscope	1	เครื่อง
3.ชุดทดลองการแบ่งแรงดันสูง	1	ชุด
4.สายเคเบิลวัด	1	เส้น
5.สายตัวนำแบบแถบทองแดง	1	เส้น
6.แผ่นดิสก์(3.5”)	1	แผ่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

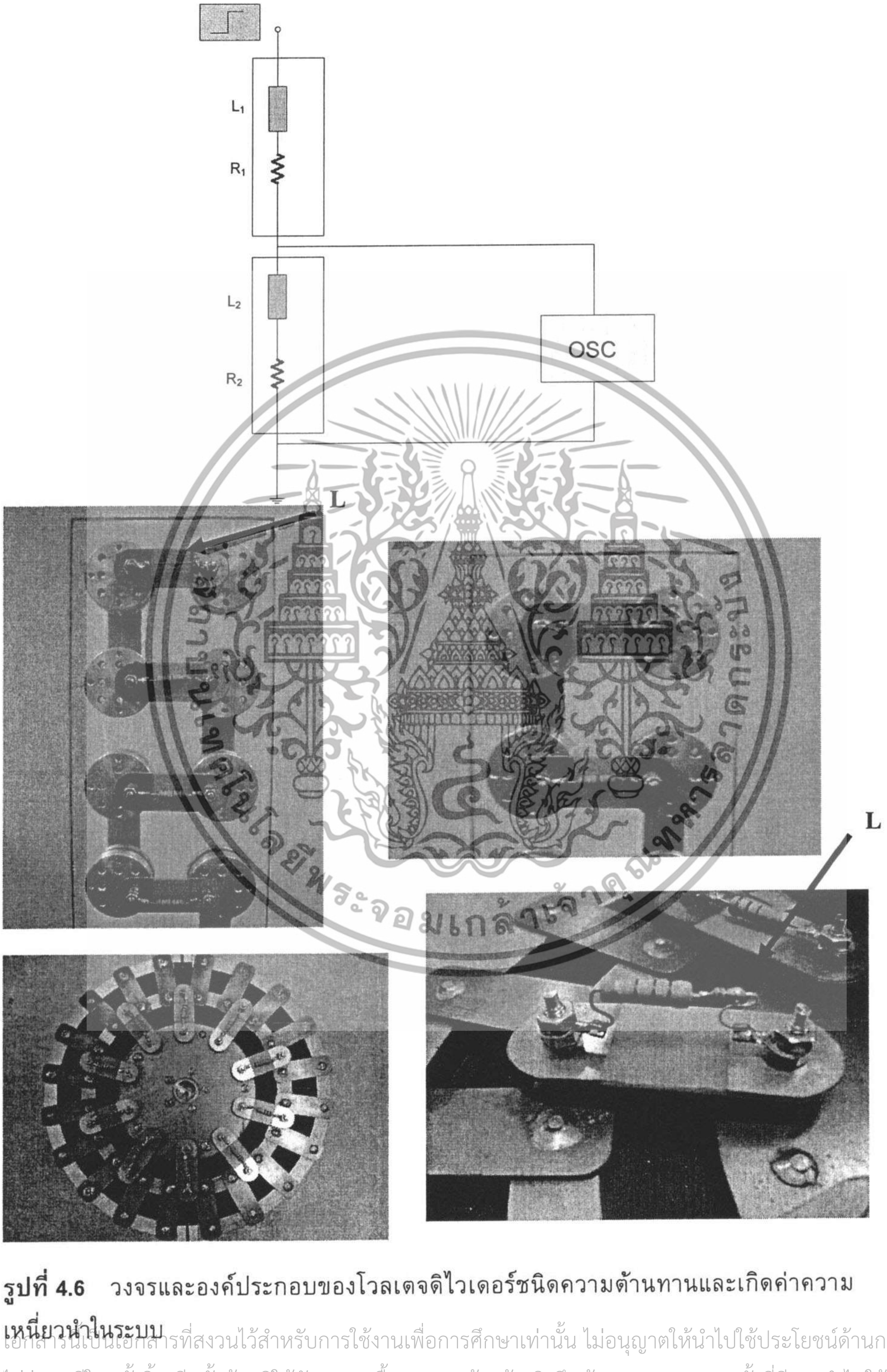
โวลเตจดิไวเดอร์ชนิดความต้านทานล้วน



รูปที่ 4.5 วงจรและองค์ประกอบของโวลเตจดิไวเดอร์ชนิดความต้านทานล้วน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

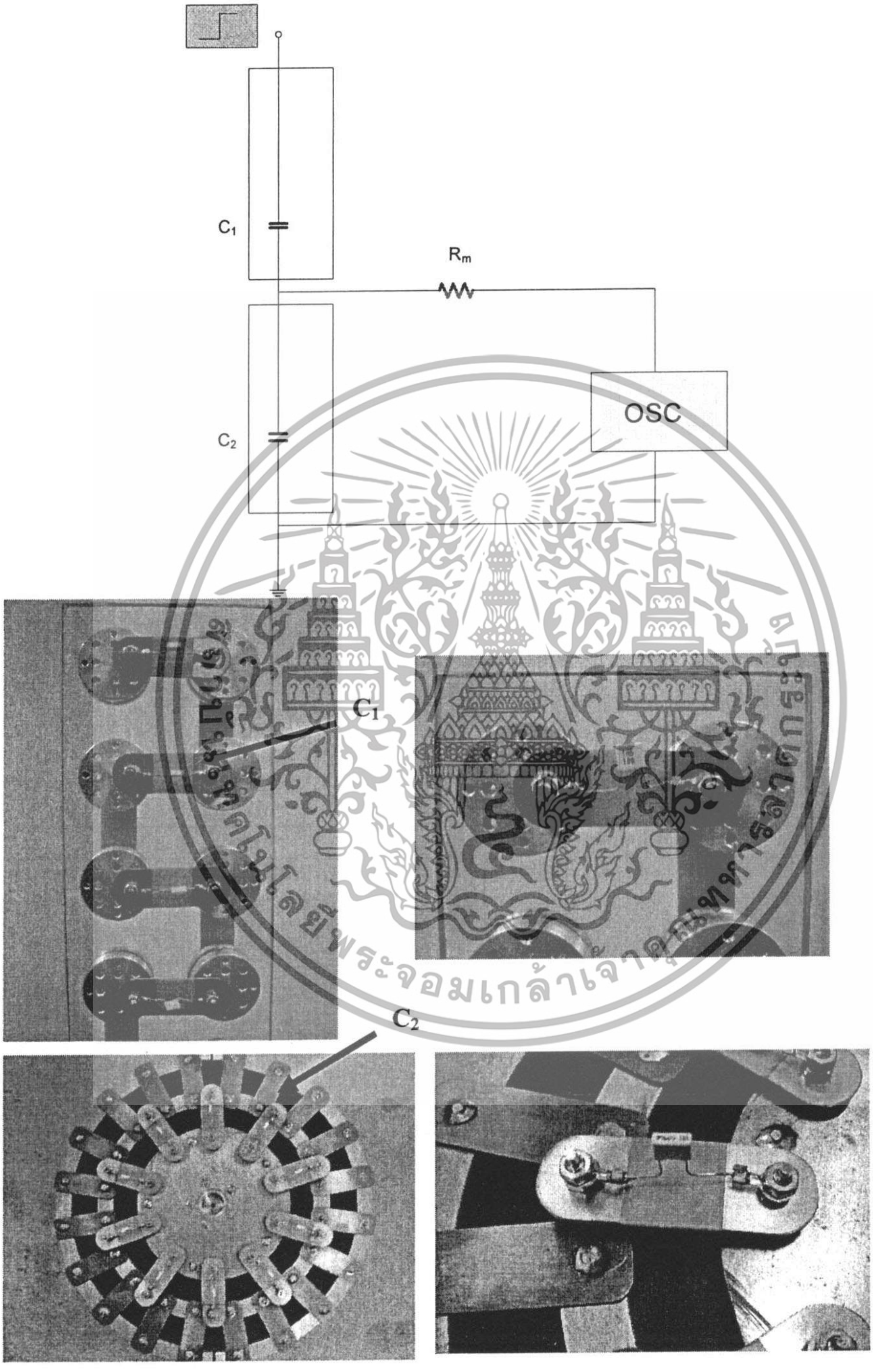
โวลเตจดิไวเดอร์ชนิดความต้านทานและเกิดค่าความเหนี่ยวนำในระบบ



รูปที่ 4.6 วงจรและองค์ประกอบของโวลเตจดิไวเดอร์ชนิดความต้านทานและเกิดค่าความเหนี่ยวนำในระบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

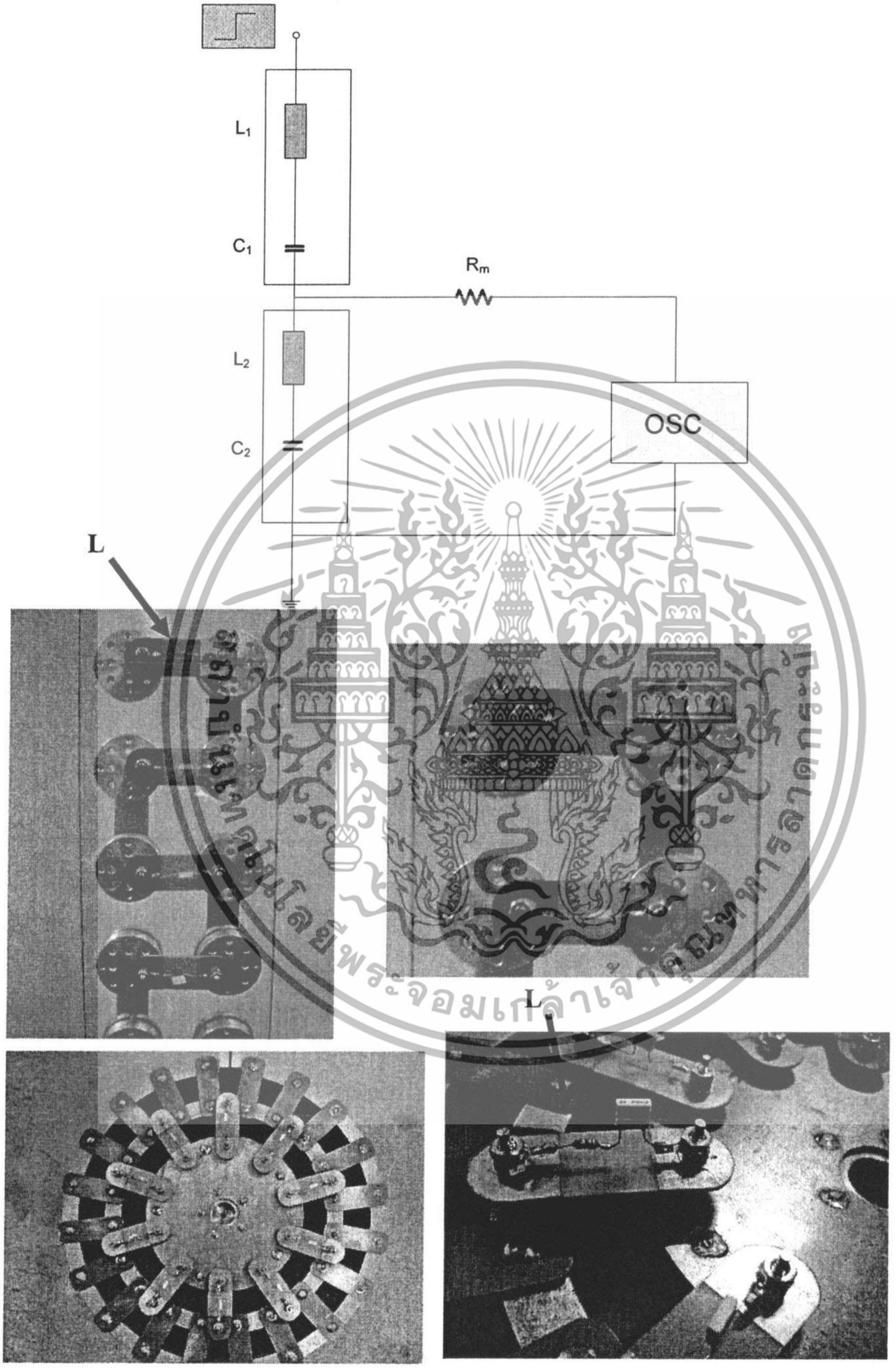
โวลเตจดิไวเดอร์ชนิดตัวเก็บประจุ



รูปที่ 4.7 วงจรและองค์ประกอบของโวลเตจดิไวเดอร์ชนิดตัวเก็บประจุ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โวลเตจดิไวเดอร์ชนิดตัวเก็บประจุและระบบเกิดค่าความเหนี่ยวนำ



รูปที่ 4.8 วงจรและองค์ประกอบของโวลเตจดิไวเดอร์ชนิดตัวเก็บประจุและระบบเกิดค่าความเหนี่ยวนำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

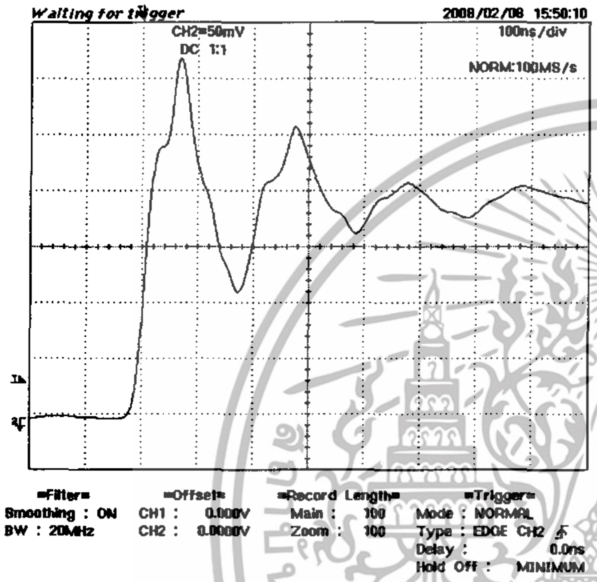
4.3 กราฟผลตอบสนองรูปขั้นจากการทดลอง

4.3.1.โวลเตจดิไวเดอร์ชนิดความต้านทานล้วน

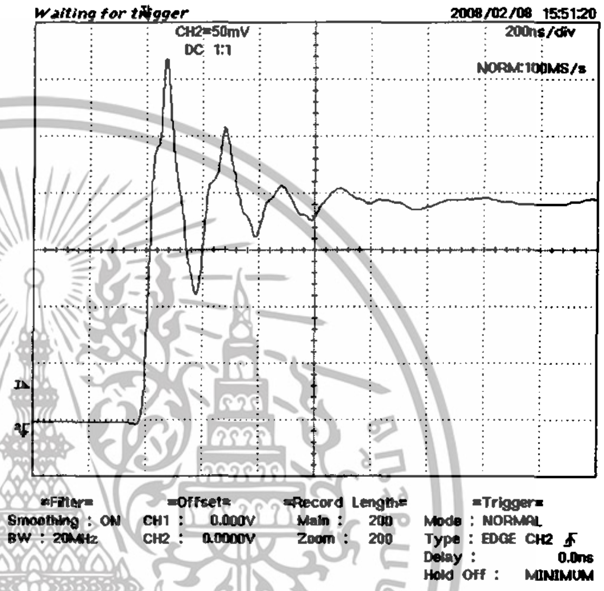
รูปที่ 4.9

ภาคแรงสูง ความต้านทานชนิดคาร์บอนฟิล์มรีซิสเตอร์ขนาด 330 Ω จำนวน 31 ตัว

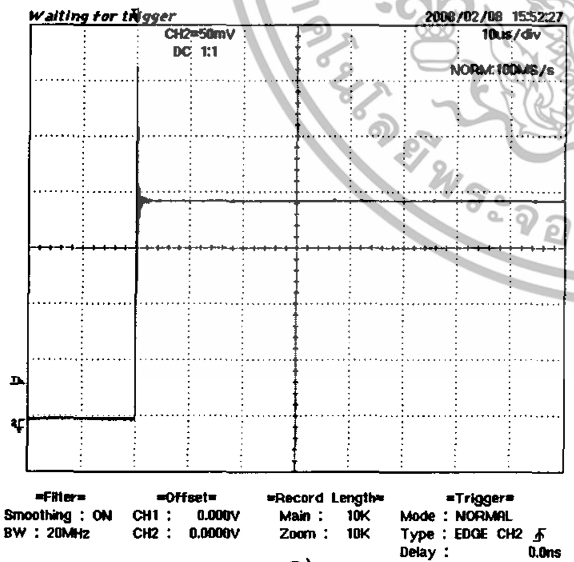
ภาคแรงต่ำ ความต้านทานชนิดคาร์บอนฟิล์มรีซิสเตอร์ขนาด 100 Ω จำนวน 10 ตัว
ไม่ทำการต่อแมทชิ่งที่ภาคแรงต่ำของระบบวัด



ก)



ข)



ค)

รูปคลื่นสัญญาณที่วัดได้จากออสซิลโลสโคป

ก) ปรับค่า time / div 100 ns / div

ข) ปรับค่า time / div 200 ns / div

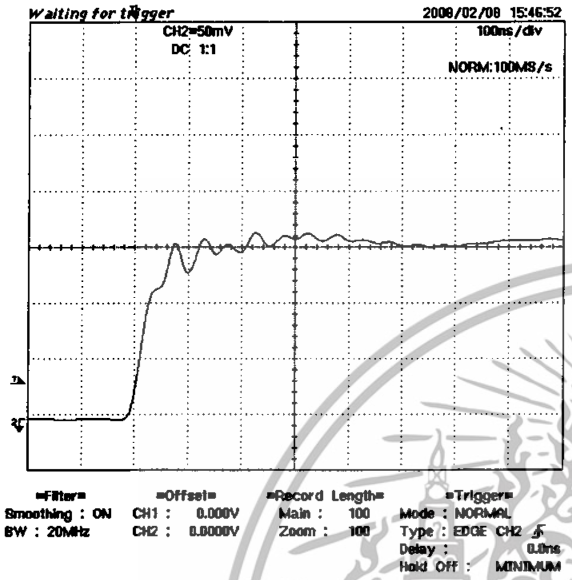
ค) ปรับค่า time / div 10 μs / div

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

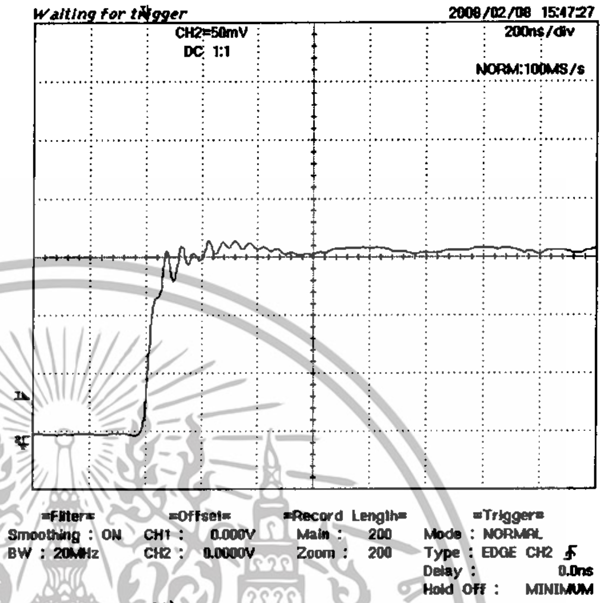
รูปที่ 4.10

ภาคแรงสูง ความต้านทานชนิดคาร์บอนฟิล์มรีซิสเตอร์ขนาด 330 Ω จำนวน 31 ตัว

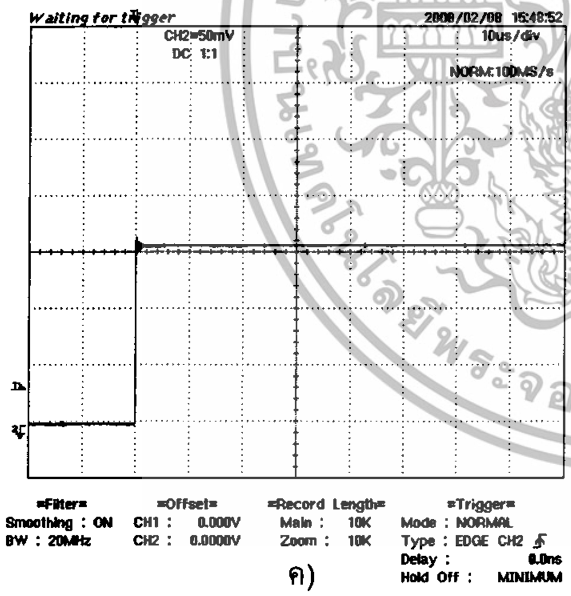
ภาคแรงต่ำ ความต้านทานชนิดคาร์บอนฟิล์มรีซิสเตอร์ขนาด 100 Ω จำนวน 10 ตัว ทำการต่อแมทชิ่งที่ภาคแรงต่ำของระบบวัด



ก)



ข)



ค)

รูปคลื่นสัญญาณที่วัดได้จากออสซิลโลสโคป

ก) ปรับค่า time / div 100 ns / div

ข) ปรับค่า time / div 200 ns / div

ค) ปรับค่า time / div 10 μs / div

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

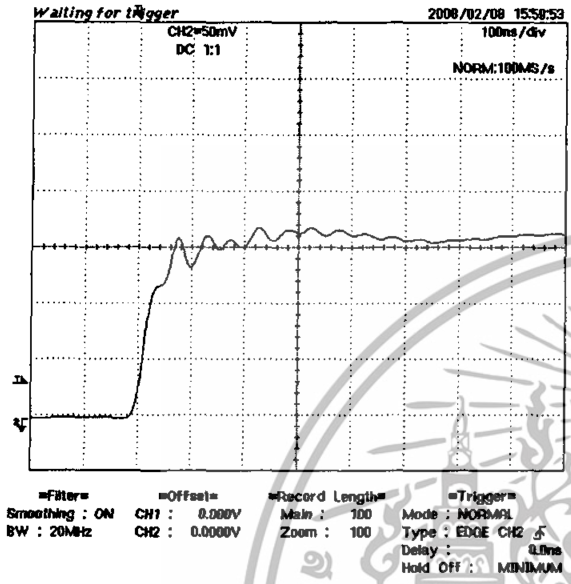
รูปที่ 4.11

ภาคแรงสูง ความต้านทานชนิดคาร์บอนฟิล์มรีซิสเตอร์ขนาด 330 Ω จำนวน 31 ตัว

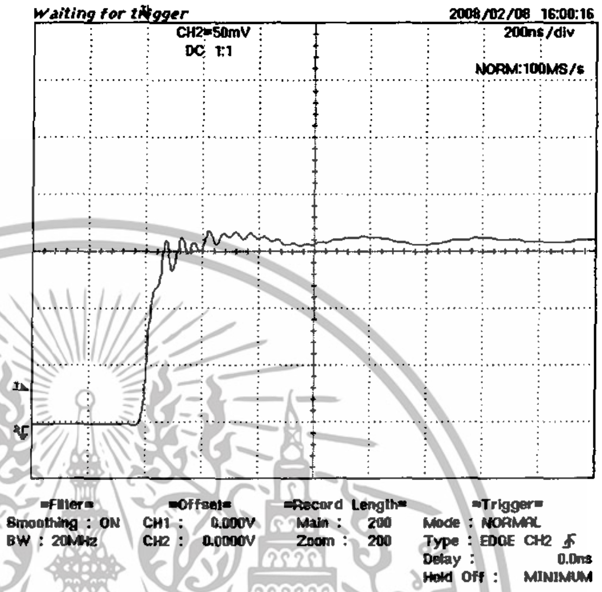
ภาคแรงต่ำ ความต้านทานชนิดคาร์บอนฟิล์มรีซิสเตอร์ขนาด 100 Ω จำนวน 10 ตัว

ทำการต่อแมทชิ่งที่ภาคแรงต่ำของระบบวัด

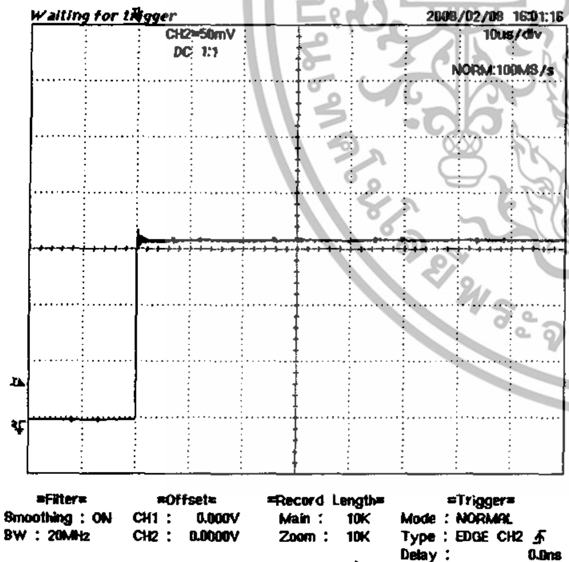
และ ระบบเกิดค่าความเหนี่ยวนำ 1 μH ที่ภาคแรงสูง 1 ค่า



ก)



ข)



ค)

รูปคลื่นสัญญาณที่วัดได้จากออสซิลโลสโคป

ก) ปรับค่า time / div 100 ns / div

ข) ปรับค่า time / div 200 ns / div

ค) ปรับค่า time / div 10 μs / div

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

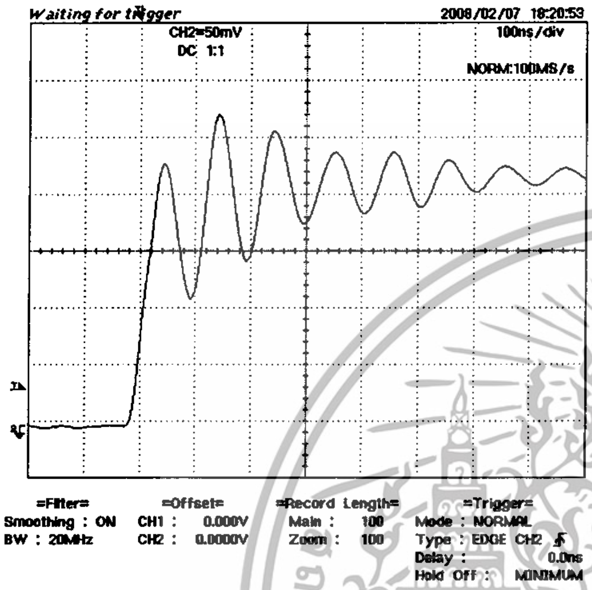
รูปที่ 4.12

ภาคแรงสูง ความต้านทานชนิดคาร์บอนฟิล์มรีซิสเตอร์ขนาด 330 Ω จำนวน 31 ตัว

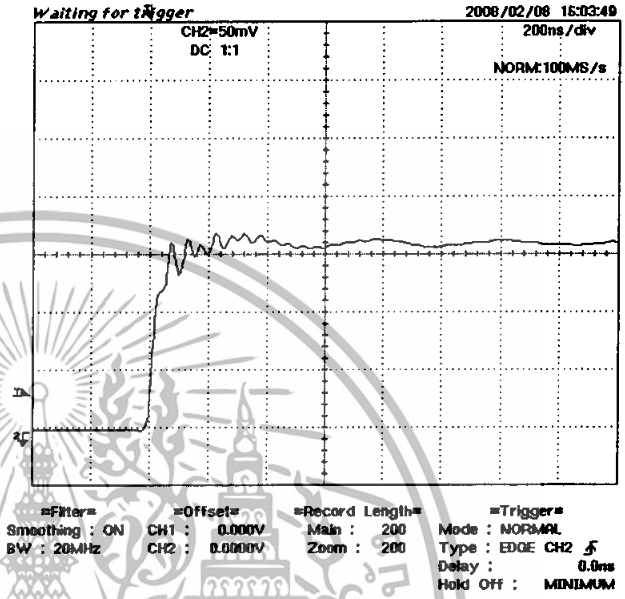
ภาคแรงต่ำ ความต้านทานชนิดคาร์บอนฟิล์มรีซิสเตอร์ขนาด 100 Ω จำนวน 10 ตัว

ทำการต่อแมทชิ่งที่ภาคแรงต่ำของระบบวัด

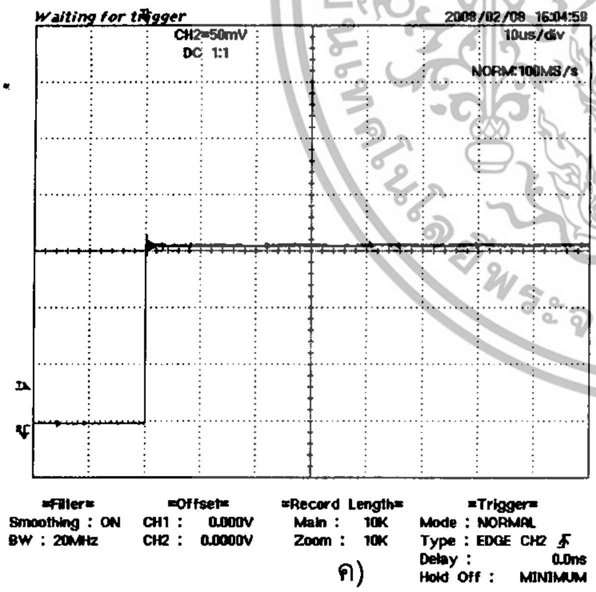
และ ระบบเกิดค่าความเหนี่ยวนำ1 μH ที่ภาคแรงต่ำ 1 ค่า



ก)



ข)



ค)

รูปคลื่นสัญญาณที่วัดได้จากออสซิลโลสโคป

ก) ปรับค่า time / div 100 ns / div

ข) ปรับค่า time / div 200 ns / div

ค) ปรับค่า time / div 10 μs / div

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

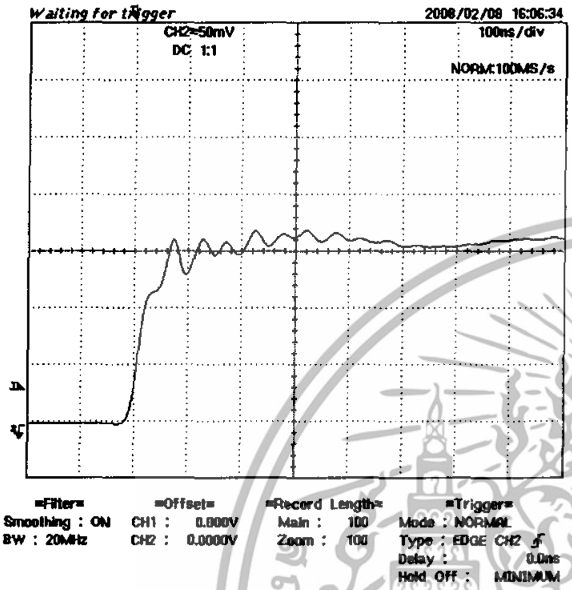
รูปที่ 4.13

ภาคแรงสูง ความต้านทานชนิดคาร์บอนฟิล์มรีซิสเตอร์ขนาด 330 Ω จำนวน 31 ตัว

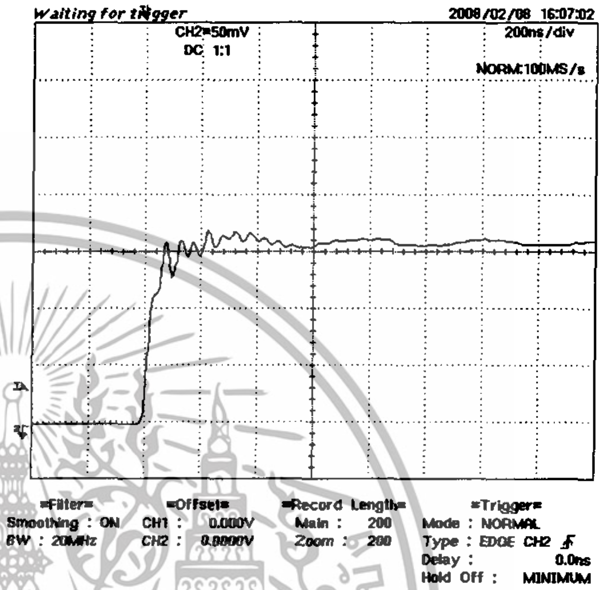
ภาคแรงต่ำ ความต้านทานชนิดคาร์บอนฟิล์มรีซิสเตอร์ขนาด 100 Ω จำนวน 10 ตัว

ทำการต่อแมทชิ่งที่ภาคแรงต่ำของระบบวัด

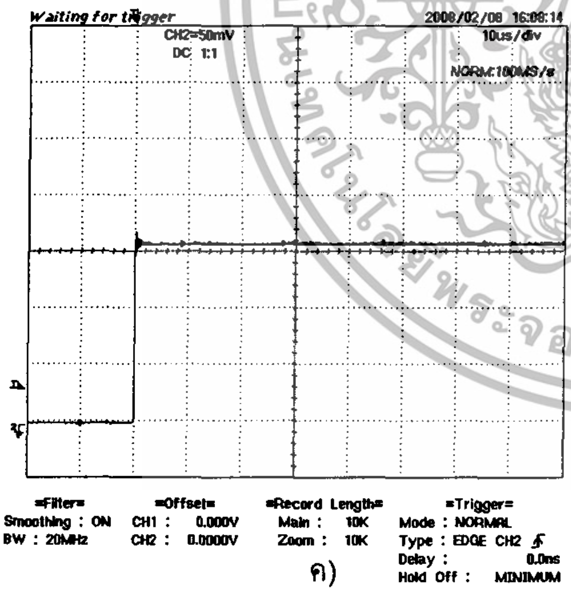
และ ระบบเกิดค่าความเหนี่ยวนำ1 μH ที่ภาคแรงต่ำ 3 ค่า



ก)



ข)



ค)

รูปคลื่นสัญญาณที่วัดได้จากออสซิลโลสโคป

ก) ปรับค่า time / div 100 ns / div

ข) ปรับค่า time / div 200 ns / div

ค) ปรับค่า time / div 10 μs / div

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

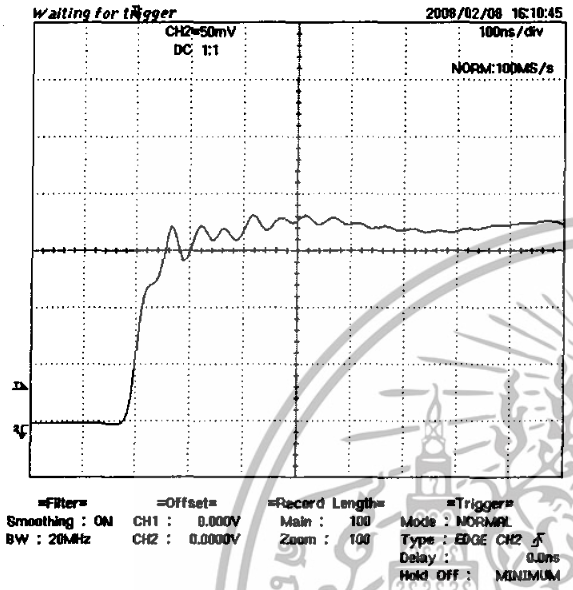
รูปที่ 4.14

ภาคแรงสูง ความต้านทานชนิดคาร์บอนฟิล์มรีซิสเตอร์ขนาด 330 Ω จำนวน 31 ตัว

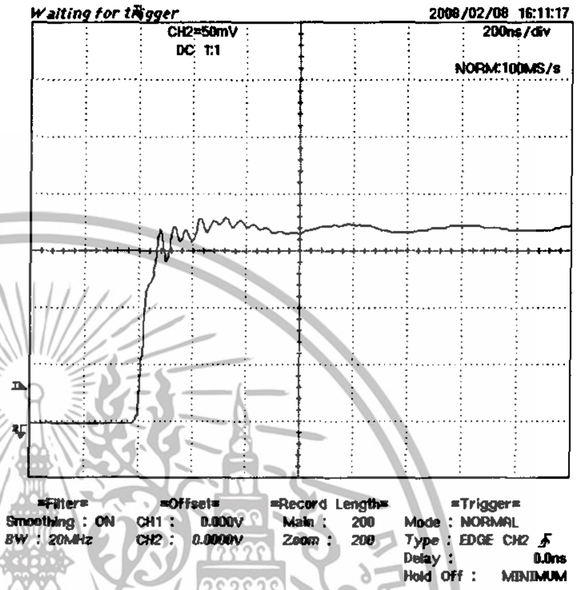
ภาคแรงต่ำ ความต้านทานชนิดคาร์บอนฟิล์มรีซิสเตอร์ขนาด 100 Ω จำนวน 10 ตัว

ทำการต่อแมทชิ่งที่ภาคแรงต่ำของระบบวัด

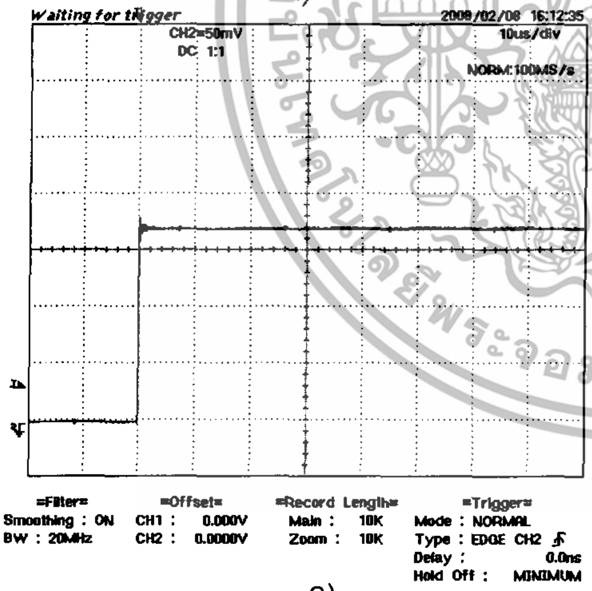
และ ระบบเกิดค่าความเหนี่ยวนำ1 μH ที่ภาคแรงสูง 1 ค่าและภาคแรงต่ำ 1 ค่า



ก)



ข)



ค)

รูปคลื่นสัญญาณที่วัดได้จากออสซิลโลสโคป

ก) ปรับค่า time / div 100 ns / div

ข) ปรับค่า time / div 200 ns / div

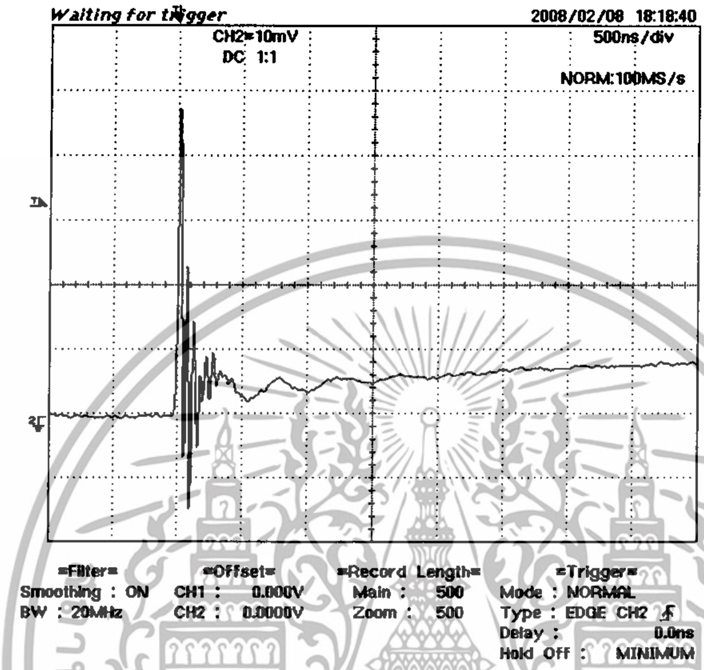
ค) ปรับค่า time / div 10 μs / div

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.15

ภาคแรงสูง ความต้านทานชนิดคาร์บอนฟิล์มรีซิสเตอร์ขนาด 30 kΩ จำนวน 31 ตัว

ภาคแรงต่ำ ความต้านทานชนิดคาร์บอนฟิล์มรีซิสเตอร์ขนาด 10 kΩ จำนวน 10 ตัว ทำการต่อแมทชิ่งที่ภาคแรงต่ำของระบบวัด



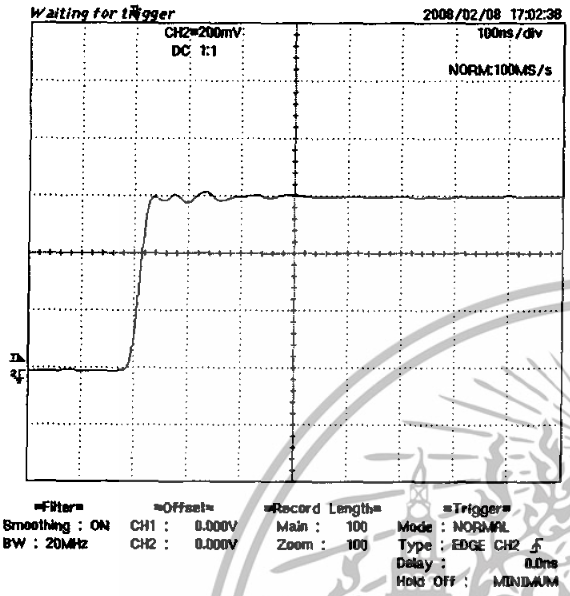
รูปคลื่นสัญญาณที่วัดได้จากออสซิลโลสโคป ปรับค่า time / div 500 ns / div

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

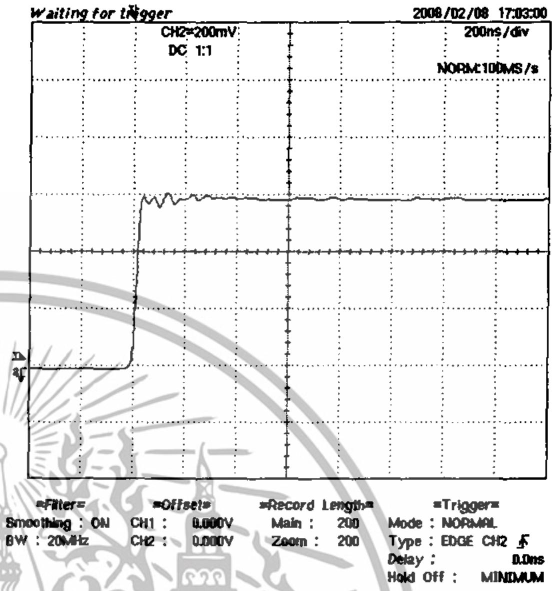
รูปที่ 4.16

ภาคแรงสูง ความต้านทานชนิดคาร์บอนฟิล์มรีซิสเตอร์ขนาด 330 Ω จำนวน 8 ตัว

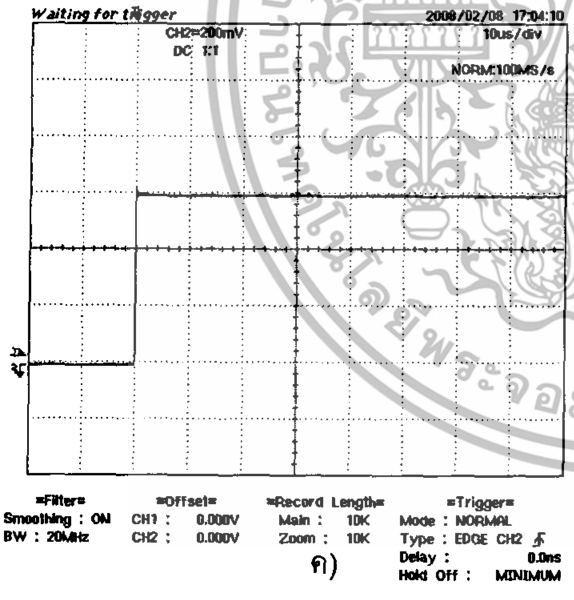
ภาคแรงต่ำ ความต้านทานชนิดคาร์บอนฟิล์มรีซิสเตอร์ขนาด 100 Ω จำนวน 10 ตัว ทำการต่อแมทชิ่งที่ภาคแรงต่ำของระบบวัด



ก)



ข)



ค)

รูปคลื่นสัญญาณที่วัดได้จากออสซิลโลสโคป

ก) ปรับค่า time / div 100 ns / div

ข) ปรับค่า time / div 200 ns / div

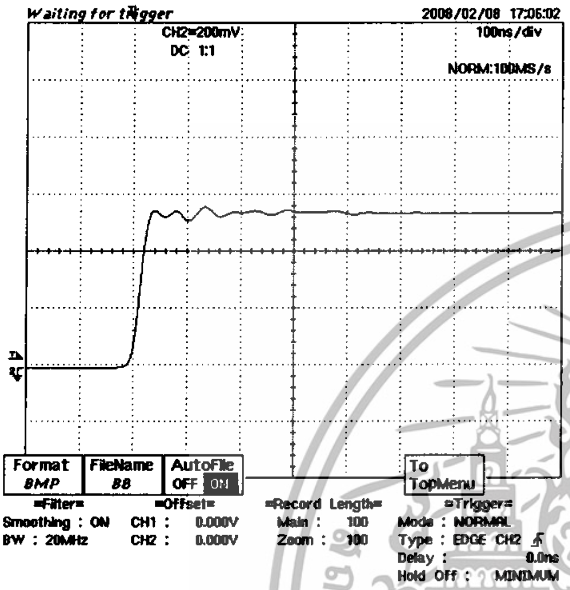
ค) ปรับค่า time / div 10 μs / div

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

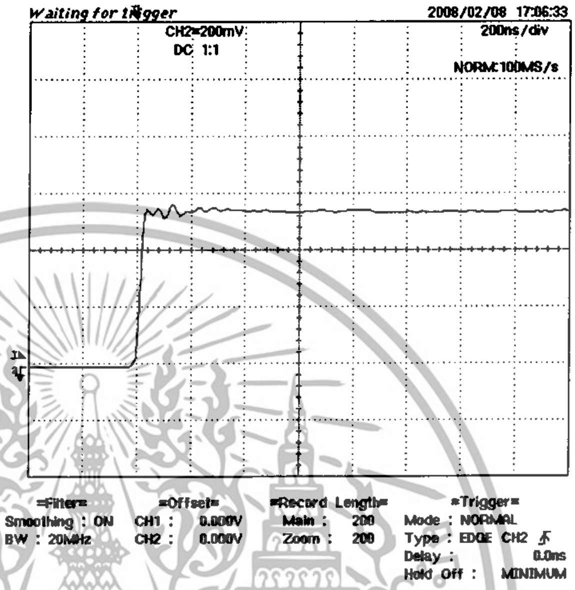
รูปที่ 4.17

ภาคแรงสูง ความต้านทานชนิดคาร์บอนฟิล์มรีซิสเตอร์ขนาด 330 Ω จำนวน 8 ตัว

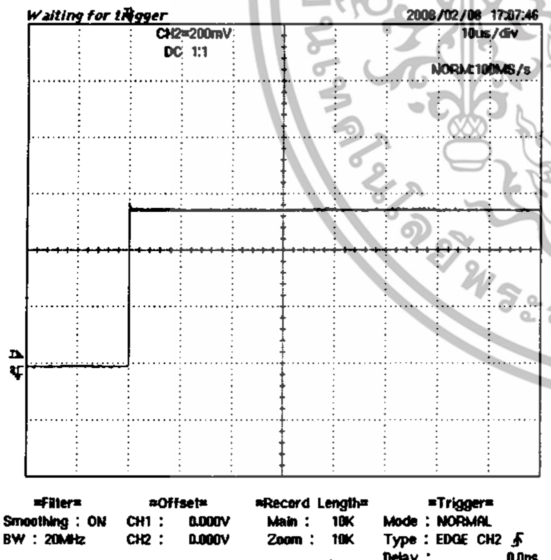
ภาคแรงต่ำ ความต้านทานชนิดคาร์บอนฟิล์มรีซิสเตอร์ขนาด 100 Ω จำนวน 10 ตัว
ทำการต่อแมทชิ่งที่ภาคแรงต่ำของระบบวัด
และ ระบบเกิดค่าความเหนี่ยวนำ 1 μH ที่ภาคแรงสูง 1 ค่า



ก)



ข)



ค)

รูปคลื่นสัญญาณที่วัดได้จากออสซิลโลสโคป

ก) ปรับค่า time / div 100 ns / div

ข) ปรับค่า time / div 200 ns / div

ค) ปรับค่า time / div 10 μs / div

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

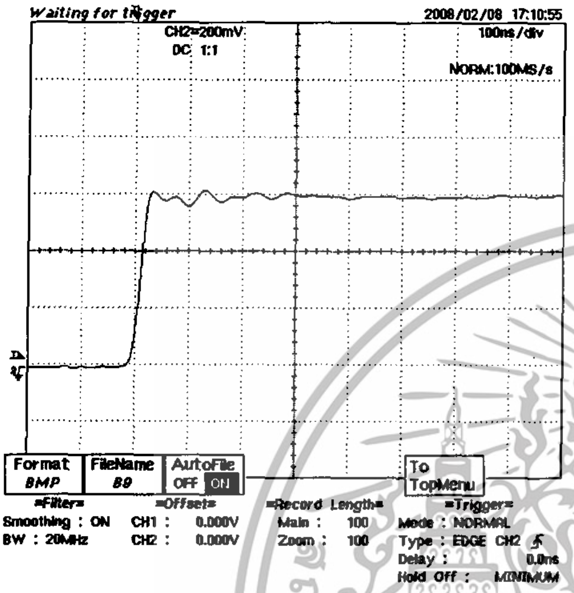
รูปที่ 4.18

ภาคแรงสูง ความต้านทานชนิดคาร์บอนฟิล์มรีซิสเตอร์ขนาด 330 Ω จำนวน 8 ตัว

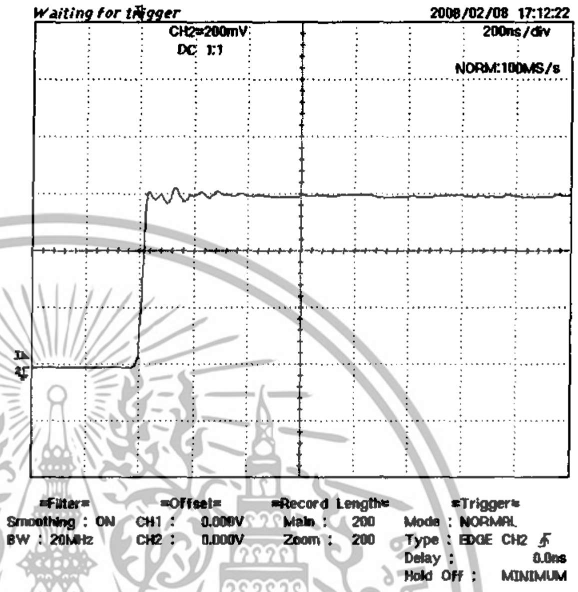
ภาคแรงต่ำ ความต้านทานชนิดคาร์บอนฟิล์มรีซิสเตอร์ขนาด 100 Ω จำนวน 10 ตัว

ทำการต่อแมทชิ่งที่ภาคแรงต่ำของระบบวัด

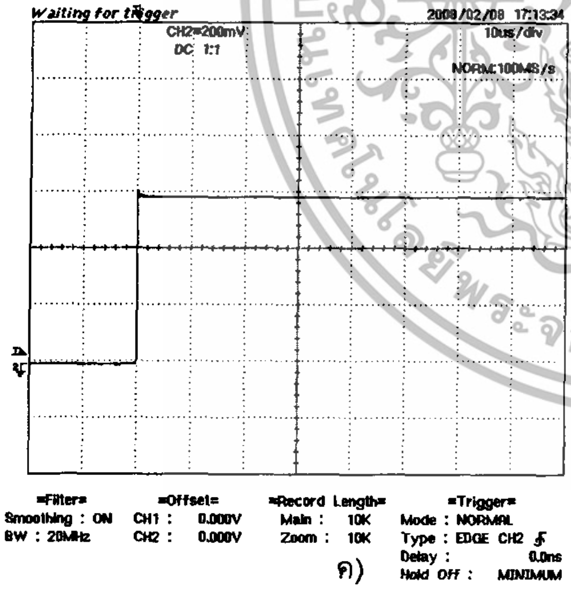
และ ระบบเกิดค่าความเหนี่ยวนำ1 μH ที่ภาคแรงสูง 3 ค่า



ก)



ข)



ค)

รูปคลื่นสัญญาณที่วัดได้จากออสซิลโลสโคป

ก) ปรับค่า time / div 100 ns / div

ข) ปรับค่า time / div 200 ns / div

ค) ปรับค่า time / div 10 μs / div

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

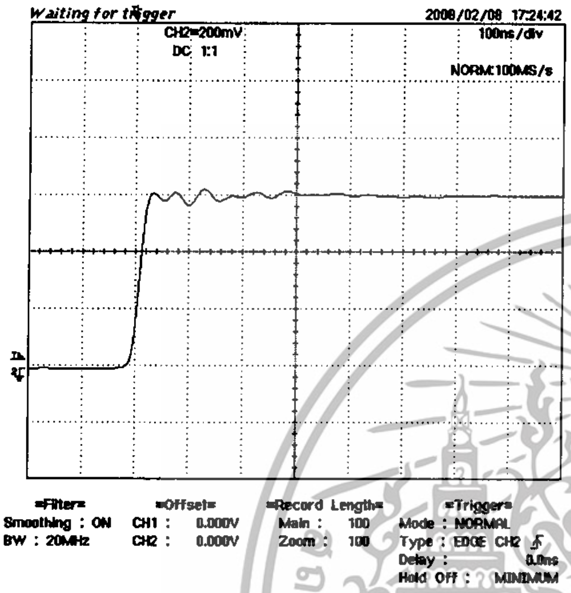
รูปที่ 4.19

ภาคแรงสูง ความต้านทานชนิดคาร์บอนฟิล์มรีซิสเตอร์ขนาด 330 Ω จำนวน 8 ตัว

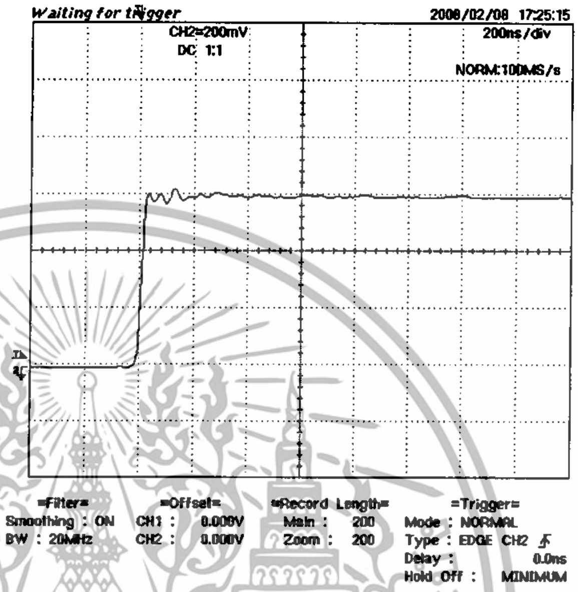
ภาคแรงต่ำ ความต้านทานชนิดคาร์บอนฟิล์มรีซิสเตอร์ขนาด 100 Ω จำนวน 10 ตัว

ทำการต่อแมทชิ่งที่ภาคแรงต่ำของระบบวัด

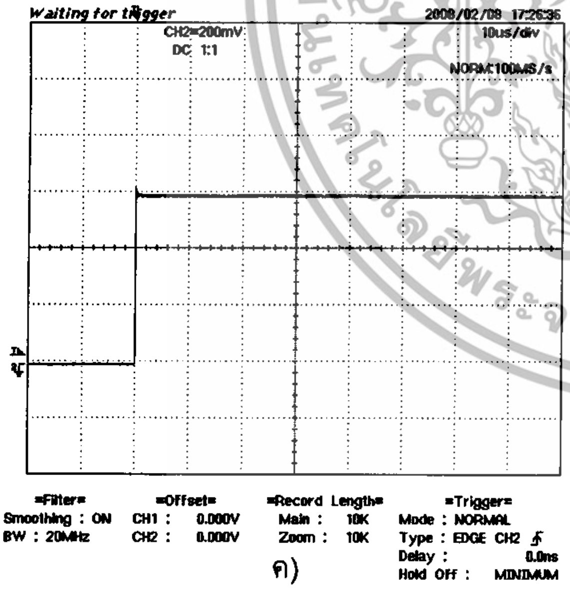
และ ระบบเกิดค่าความเหนี่ยวนำ1 μH ที่ภาคแรงต่ำ 1 ค่า



ก)



ข)



ค)

รูปคลื่นสัญญาณที่วัดได้จากออสซิลโลสโคป

ก) ปรับค่า time / div 100 ns / div

ข) ปรับค่า time / div 200 ns / div

ค) ปรับค่า time / div 10 μs / div

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

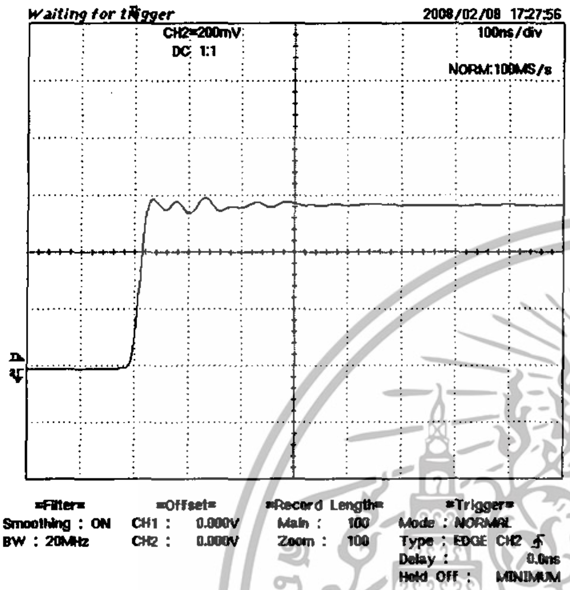
รูปที่ 4.20

ภาคแรงสูง ความต้านทานชนิดคาร์บอนฟิล์มรีซิสเตอร์ขนาด 330 Ω จำนวน 8 ตัว

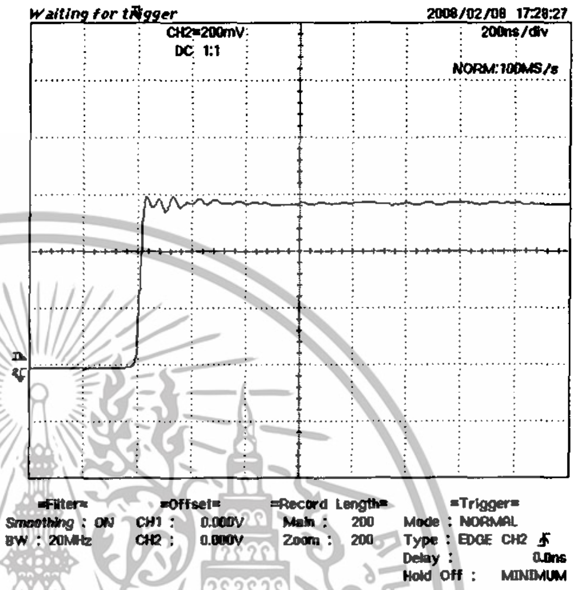
ภาคแรงต่ำ ความต้านทานชนิดคาร์บอนฟิล์มรีซิสเตอร์ขนาด 100 Ω จำนวน 10 ตัว

ทำการต่อแมทชิ่งที่ภาคแรงต่ำของระบบวัด

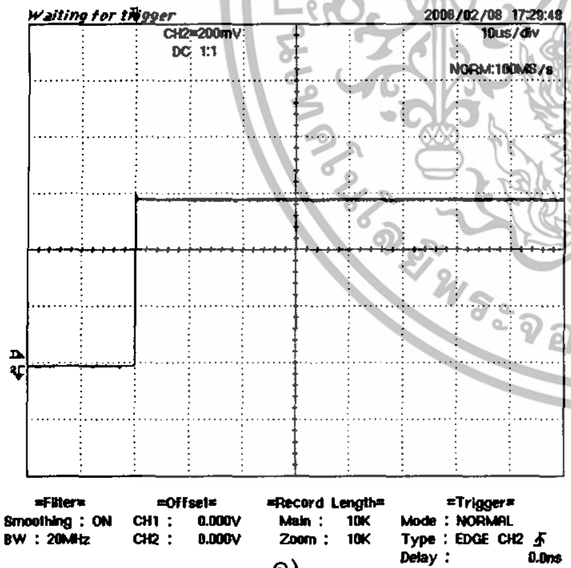
และ ระบบเกิดค่าความเหนี่ยวนำ1 μH ที่ภาคแรงต่ำ 3 ค่า



ก)



ข)



ค)

รูปคลื่นสัญญาณที่วัดได้จากออสซิลโลสโคป

ก) ปรับค่า time / div 100 ns / div

ข) ปรับค่า time / div 200 ns / div

ค) ปรับค่า time / div 10 μs / div

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

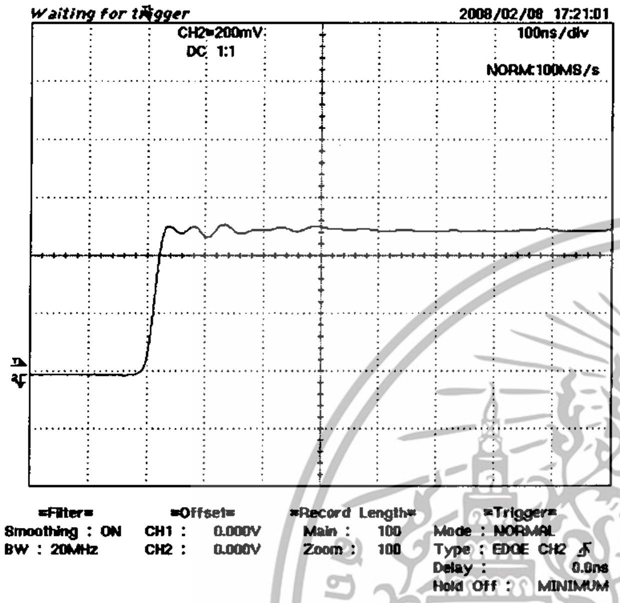
รูปที่ 4.21

ภาคแรงสูง ความต้านทานชนิดคาร์บอนฟิล์มรีซิสเตอร์ขนาด 330 Ω จำนวน 8 ตัว

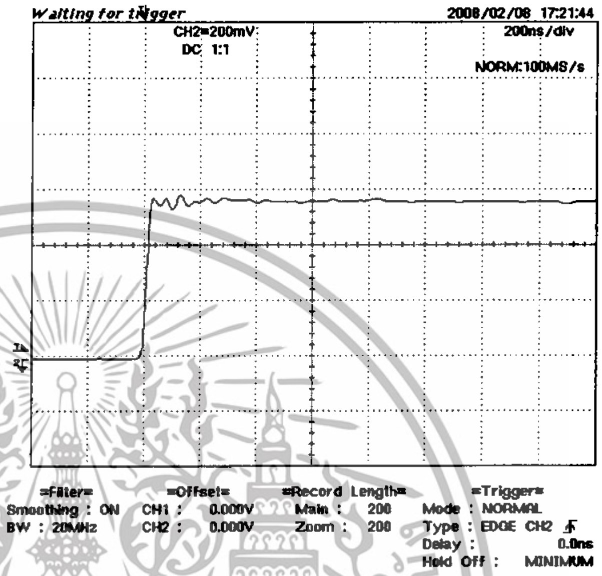
ภาคแรงต่ำ ความต้านทานชนิดคาร์บอนฟิล์มรีซิสเตอร์ขนาด 100 Ω จำนวน 10 ตัว

ทำการต่อแมทชิ่งที่ภาคแรงต่ำของระบบวัด

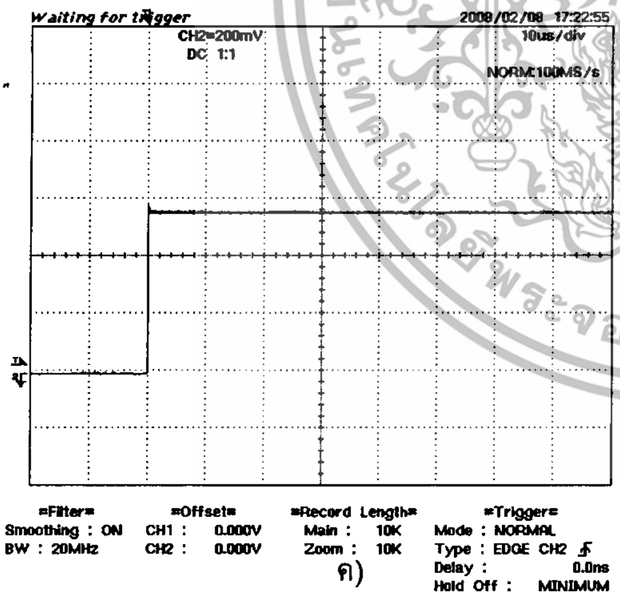
และ ระบบเกิดค่าความเหนี่ยวนำ1 μH ที่ภาคแรงสูง 1 ค่าและภาคแรงต่ำ 1 ค่า



ก)



ข)



ค)

รูปคลื่นสัญญาณที่วัดได้จากออสซิลโลสโคป

ก) ปรับค่า time / div 100 ns / div

ข) ปรับค่า time / div 200 ns / div

ค) ปรับค่า time / div 10 μs / div

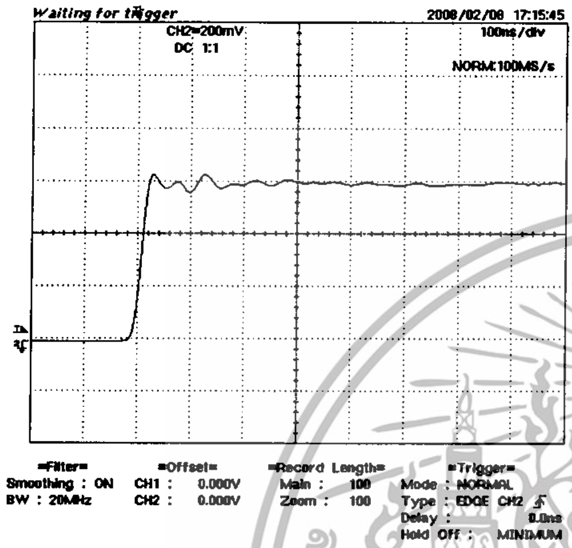
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.22

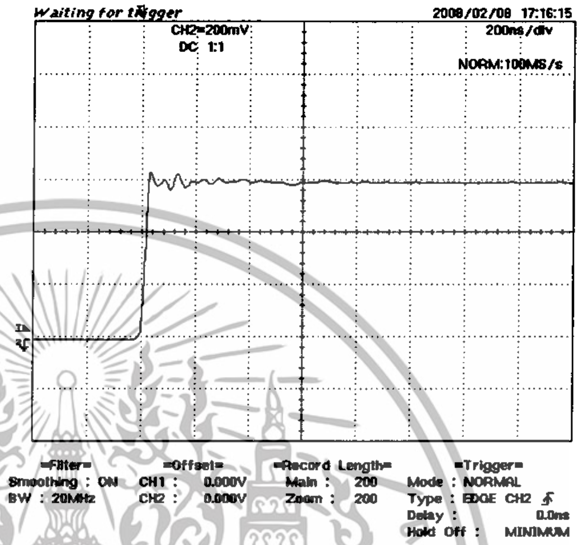
ภาคแรงสูง ความต้านทานชนิดคาร์บอนฟิล์มรีซิสเตอร์ขนาด 330 Ω จำนวน 8 ตัว

ภาคแรงต่ำ ความต้านทานชนิดคาร์บอนฟิล์มรีซิสเตอร์ขนาด 100 Ω จำนวน 10 ตัว ทำการต่อแมทชิ่งที่ภาคแรงต่ำของระบบวัด

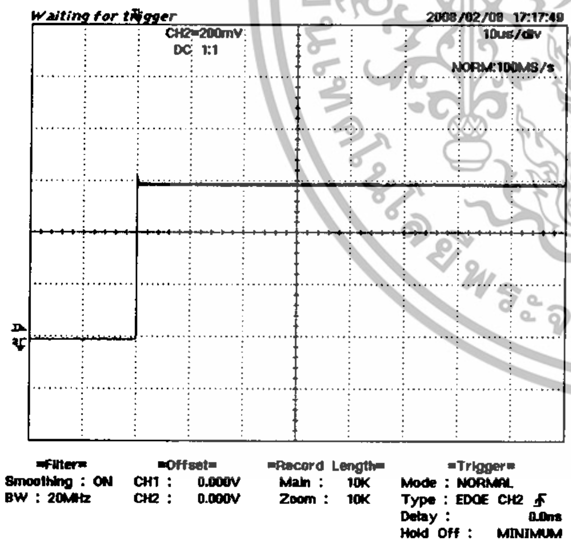
และ ระบบเกิดค่าความเหนี่ยวนำ1 μH ที่ภาคแรงสูง 3 ค่าและภาคแรงต่ำ 3 ค่า



ก)



ข)



ค)

รูปคลื่นสัญญาณที่วัดได้จากออสซิลโลสโคป

ก) ปรับค่า time / div 100 ns / div

ข) ปรับค่า time / div 200 ns / div

ค) ปรับค่า time / div 10 μs / div

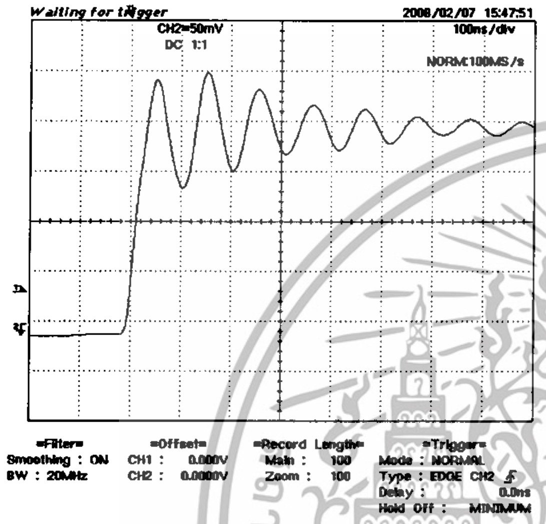
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.2 โวลเตจดิไวเดอร์ชนิดตัวเก็บประจุ

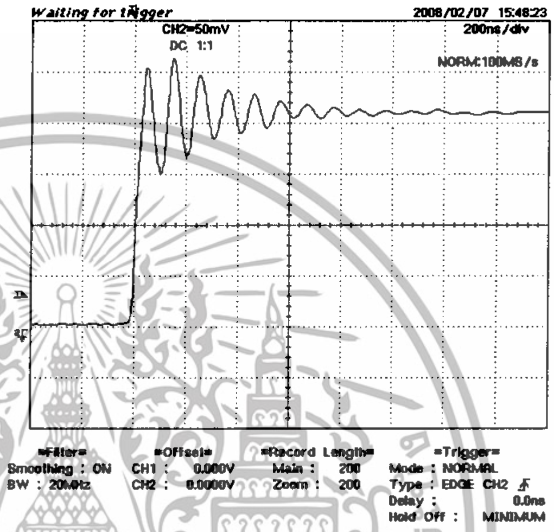
รูปที่ 4.23

ภาคแรงสูง ตัวเก็บประจุแบบฟิล์มชนิดโพลิเอสเตอร์คาปาซิเตอร์ขนาด 1.5 nF 27 ตัว

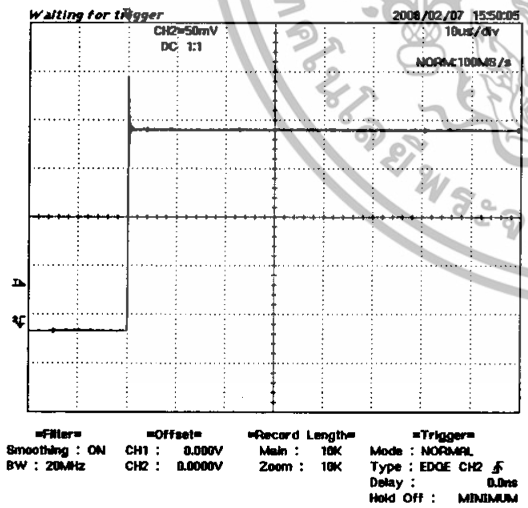
ภาคแรงต่ำ ตัวเก็บประจุแบบฟิล์มชนิดโพลิเอสเตอร์คาปาซิเตอร์ขนาด 4.7 nF 10 ตัว ทำการต่อแมทชิ่งที่ภาคแรงต่ำของระบบวัด



ก)



ข)



ค)

รูปคลื่นสัญญาณที่วัดได้จากออสซิลโลสโคป

ก) ปรับค่า time / div 100 ns / div

ข) ปรับค่า time / div 200 ns / div

ค) ปรับค่า time / div 10 μs / div

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

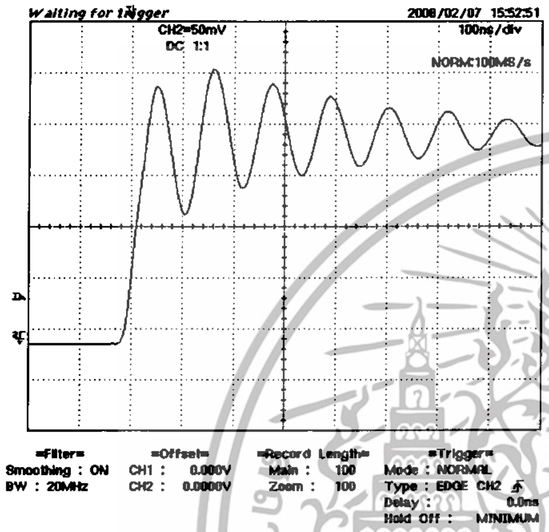
รูปที่ 4.24

ภาคแรงสูง ตัวเก็บประจุแบบฟิล์มชนิดโพลิเอสเตอร์คาปาซิเตอร์ขนาด 1.5 nF 27 ตัว

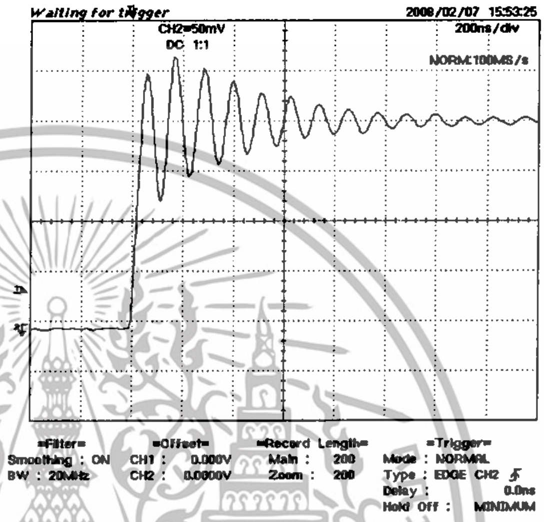
ภาคแรงต่ำ ตัวเก็บประจุแบบฟิล์มชนิดโพลิเอสเตอร์คาปาซิเตอร์ขนาด 4.7 nF 10 ตัว

ทำการต่อแมทชิ่งที่ภาคแรงต่ำของระบบวัด

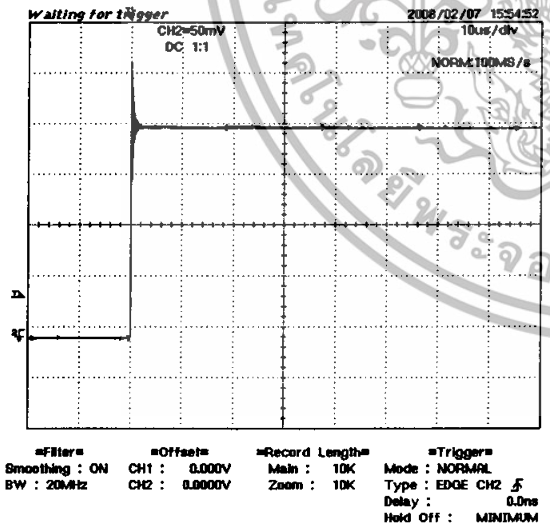
และ ระบบเกิดค่าความเหนี่ยวนำ1 μH ที่ภาคแรงสูง 1 ค่า



ก)



ข)



ค)

รูปคลื่นสัญญาณที่วัดได้จากออสซิลโลสโคป

ก) ปรับค่า time / div 100 ns / div

ข) ปรับค่า time / div 200 ns / div

ค) ปรับค่า time / div 10 μs / div

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

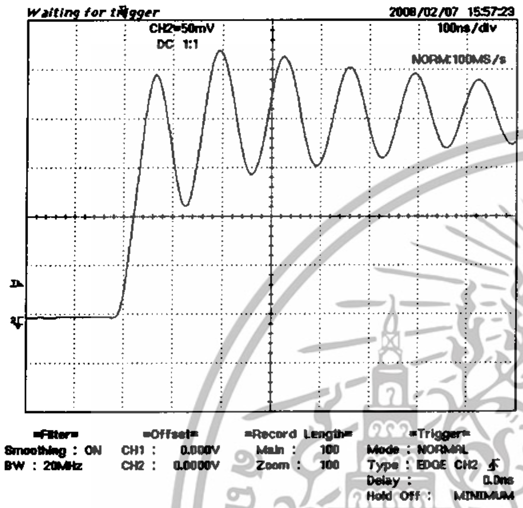
รูปที่ 4.25

ภาคแรงสูง ตัวเก็บประจุแบบฟิล์มชนิดโพลิเอสเตอร์คาปาซิเตอร์ขนาด 1.5 nF 27 ตัว

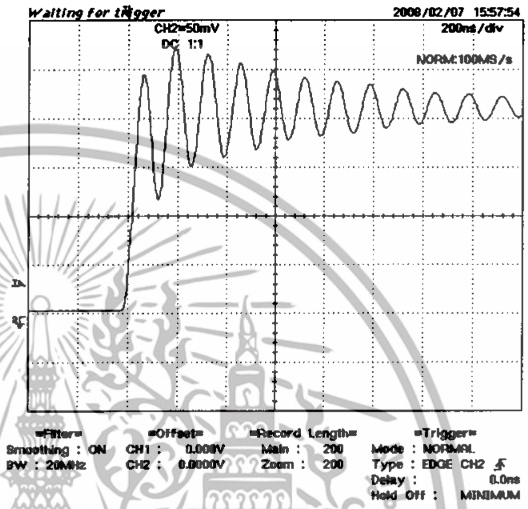
ภาคแรงต่ำ ตัวเก็บประจุแบบฟิล์มชนิดโพลิเอสเตอร์คาปาซิเตอร์ขนาด 4.7 nF 10 ตัว

ทำการต่อแมทชิ่งที่ภาคแรงต่ำของระบบวัด

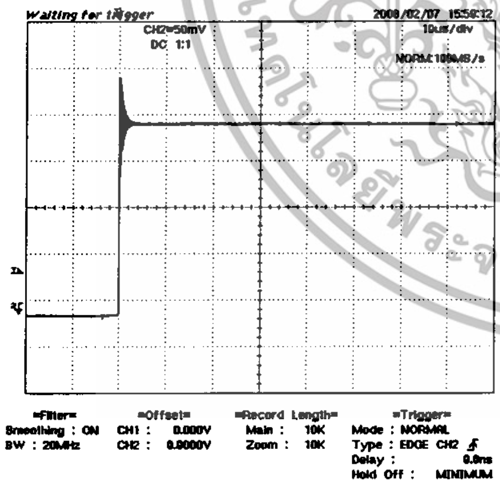
และ ระบบเกิดค่าความเหนี่ยวนำ1 μH ที่ภาคแรงสูง 3 ค่า



ก)



ข)



ค)

รูปคลื่นสัญญาณที่วัดได้จากออสซิลโลสโคป

ก) ปรับค่า time / div 100 ns / div

ข) ปรับค่า time / div 200 ns / div

ค) ปรับค่า time / div 10 μs / div

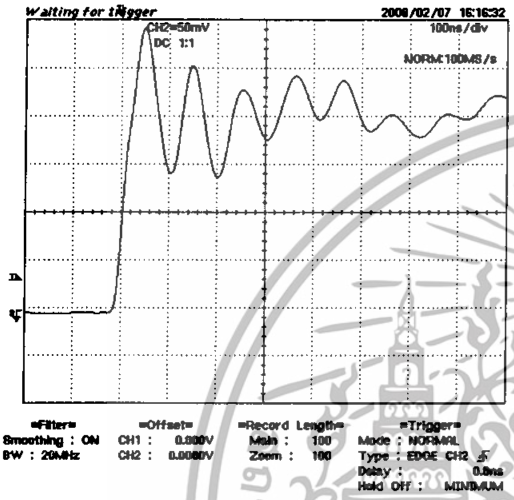
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.26

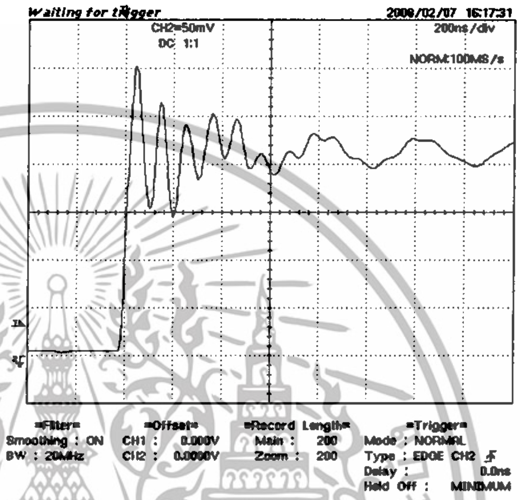
ภาคแรงสูง ตัวเก็บประจุแบบฟิล์มชนิดโพลิเอสเตอร์คาปาซิเดอร์ขนาด 1.5 nF 27 ตัว

ภาคแรงต่ำ ตัวเก็บประจุแบบฟิล์มชนิดโพลิเอสเตอร์คาปาซิเดอร์ขนาด 4.7 nF 10 ตัว ทำการต่อแมทชิ่งที่ภาคแรงต่ำของระบบวัด

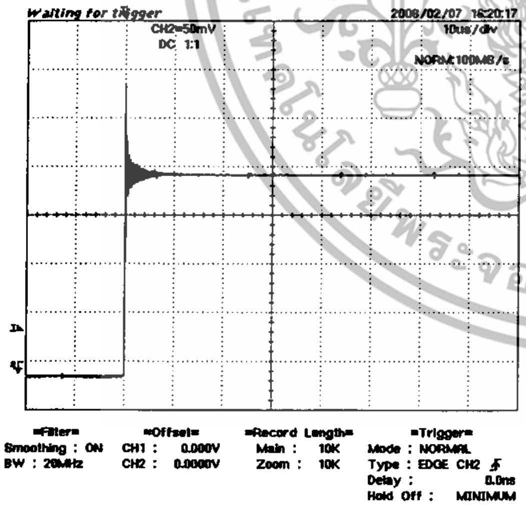
และ ระบบเกิดค่าความเหนี่ยวนำ1 μH ที่ภาคแรงต่ำ 1 ค่า



ก)



ข)



ค)

รูปคลื่นสัญญาณที่วัดได้จากออสซิลโลสโคป

ก) ปรับค่า time / div 100 ns / div

ข) ปรับค่า time / div 200 ns / div

ค) ปรับค่า time / div 10 μs / div

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

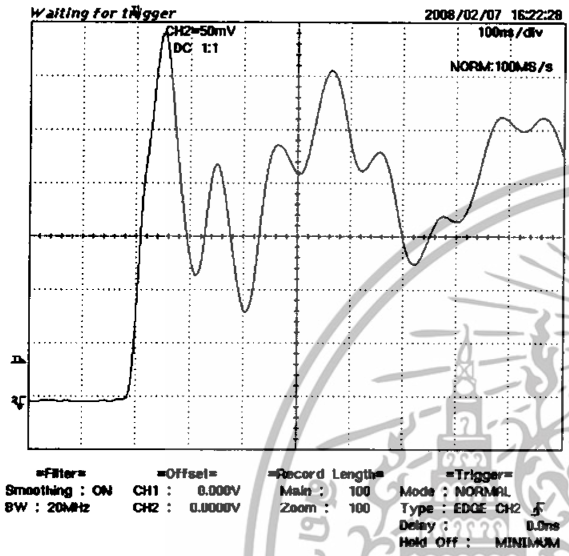
รูปที่ 4.27

ภาคแรงสูง ตัวเก็บประจุแบบฟิล์มชนิดโพลิเอสเตอร์คาปาซิเตอร์ขนาด 1.5 nF 27 ตัว

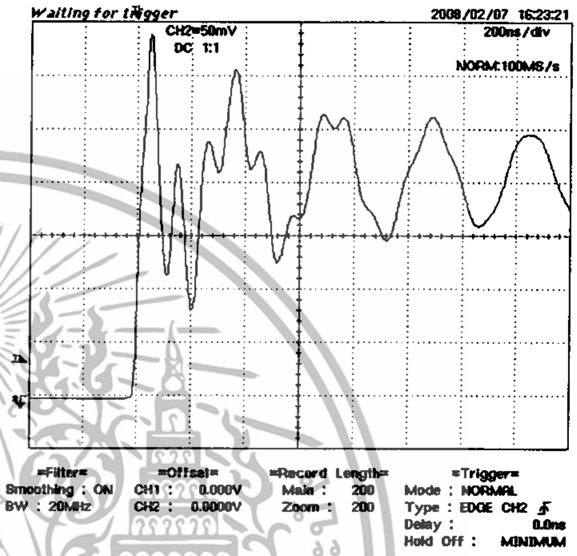
ภาคแรงต่ำ ตัวเก็บประจุแบบฟิล์มชนิดโพลิเอสเตอร์คาปาซิเตอร์ขนาด 4.7 nF 10 ตัว

ทำการต่อแมทชิ่งที่ภาคแรงต่ำของระบบวัด

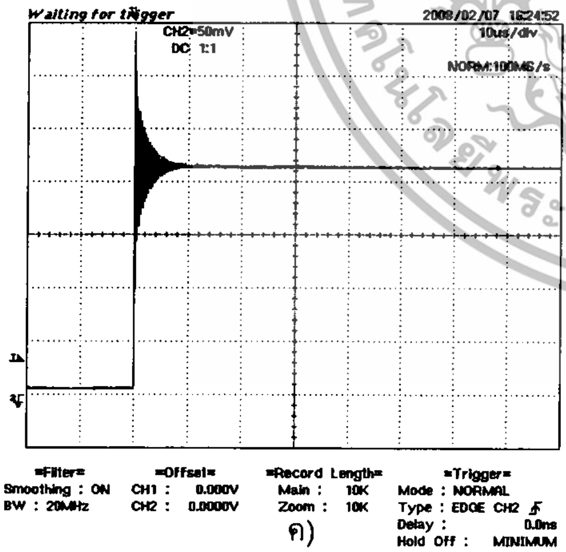
และ ระบบเกิดค่าความเหนี่ยวนำ1 μH ที่ภาคแรงต่ำ 3 ค่า



ก)



ข)



ค)

รูปคลื่นสัญญาณที่วัดได้จากออสซิลโลสโคป

ก) ปรับค่า time / div 100 ns / div

ข) ปรับค่า time / div 200 ns / div

ค) ปรับค่า time / div 10 μs / div

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

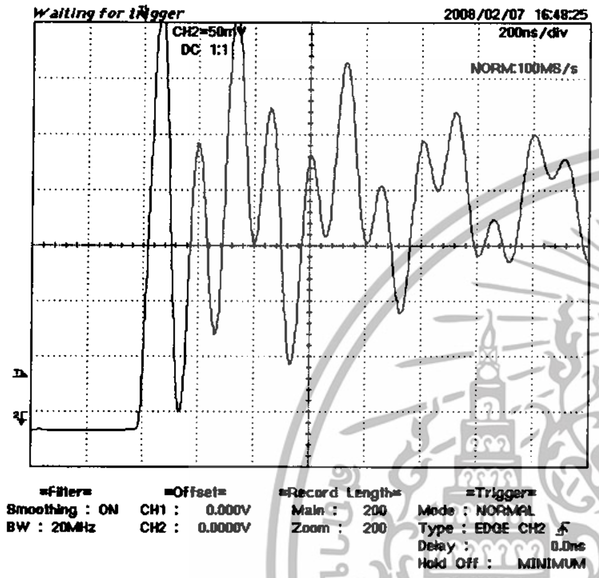
รูปที่ 4.28

ภาคแรงสูง ตัวเก็บประจุแบบฟิล์มชนิดโพลิเอสเตอร์คาปาซิเตอร์ขนาด 1.5 nF 27 ตัว

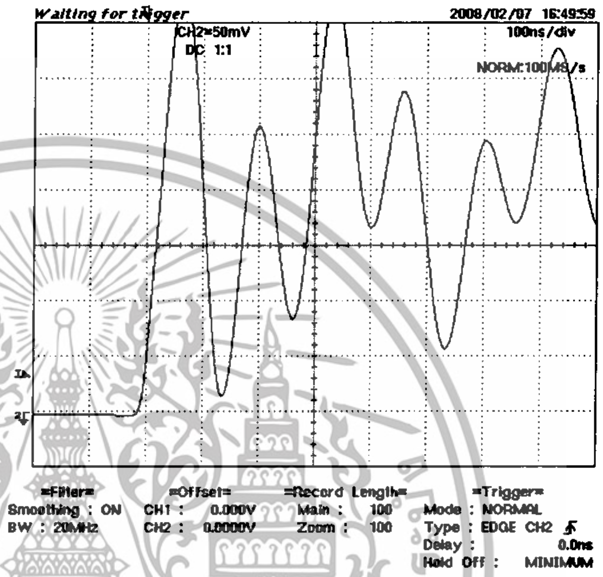
ภาคแรงต่ำ ตัวเก็บประจุแบบฟิล์มชนิดโพลิเอสเตอร์คาปาซิเตอร์ขนาด 4.7 nF 10 ตัว

ทำการต่อแมทชิ่งที่ภาคแรงต่ำของระบบวัด

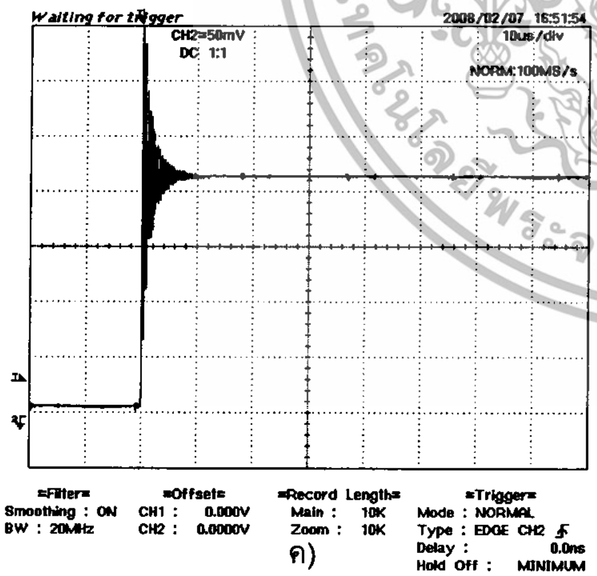
และ ระบบเกิดค่าความเหนี่ยวนำ1 μH ที่ภาคแรงสูง 1 ค่าและภาคแรงต่ำ 1 ค่า



ก)



ข)



ค)

รูปคลื่นสัญญาณที่วัดได้จากออสซิลโลสโคป

ก) ปรับค่า time / div 100 ns / div

ข) ปรับค่า time / div 200 ns / div

ค) ปรับค่า time / div 10 μs / div

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

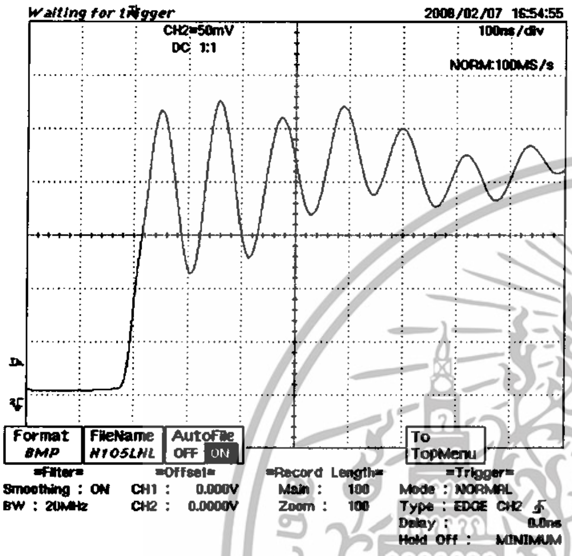
รูปที่ 4.29

ภาคแรงสูง ตัวเก็บประจุแบบฟิล์มชนิดโพลิเอสเตอร์คาปาซิเตอร์ขนาด 1.5 nF 27 ตัว

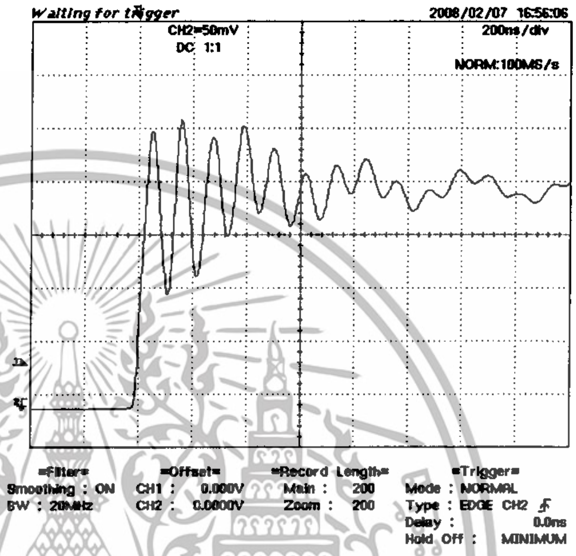
ภาคแรงต่ำ ตัวเก็บประจุแบบฟิล์มชนิดโพลิเอสเตอร์คาปาซิเตอร์ขนาด 4.7 nF 10 ตัว

ทำการต่อแมทชิ่งที่ภาคแรงต่ำของระบบวัด

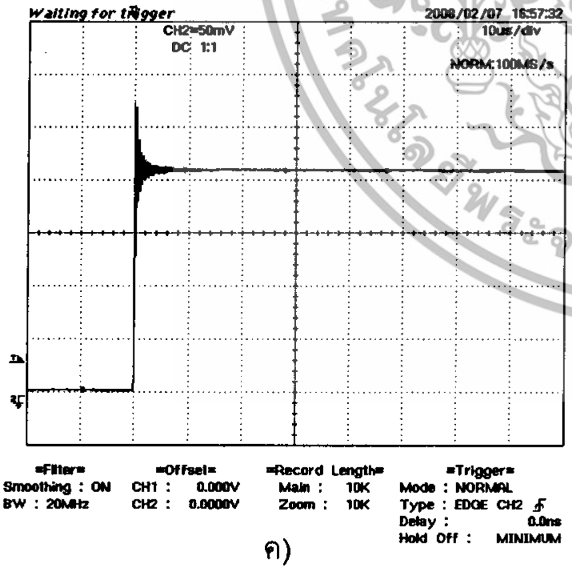
และ ระบบเกิดค่าความเหนี่ยวนำ1 μH ที่ภาคแรงสูง 3 ค่าและภาคแรงต่ำ 3 ค่า



ก)



ข)



ค)

รูปคลื่นสัญญาณที่วัดได้จากออสซิลโลสโคป

ก) ปรับค่า time / div 100 ns / div

ข) ปรับค่า time / div 200 ns / div

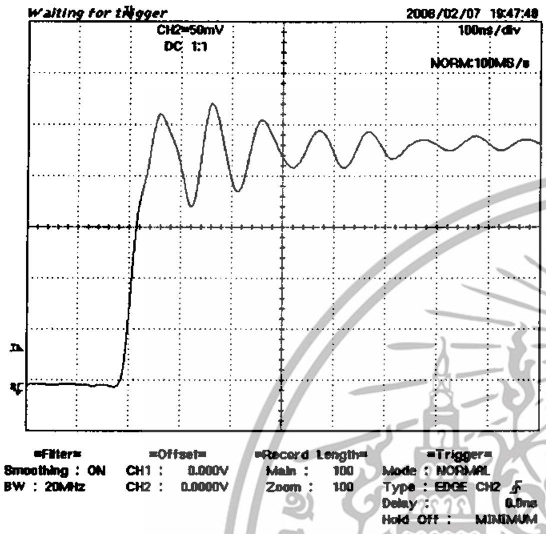
ค) ปรับค่า time / div 10 μs / div

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

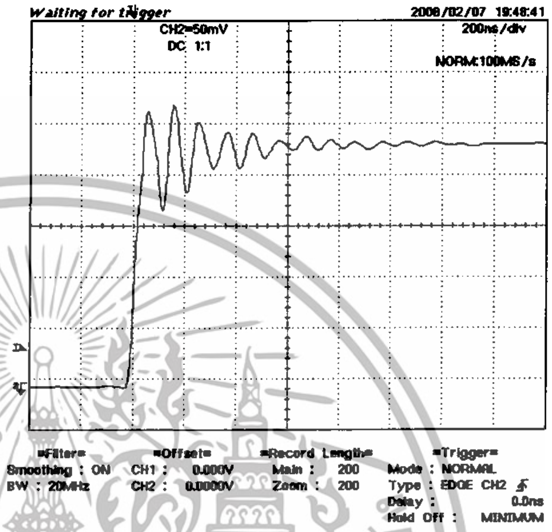
รูปที่ 4.30

ภาคแรงสูง ตัวเก็บประจุแบบฟิล์มชนิดโพลิเอสเตอร์คาปาซิเตอร์ขนาด 1.5 nF 27 ตัว

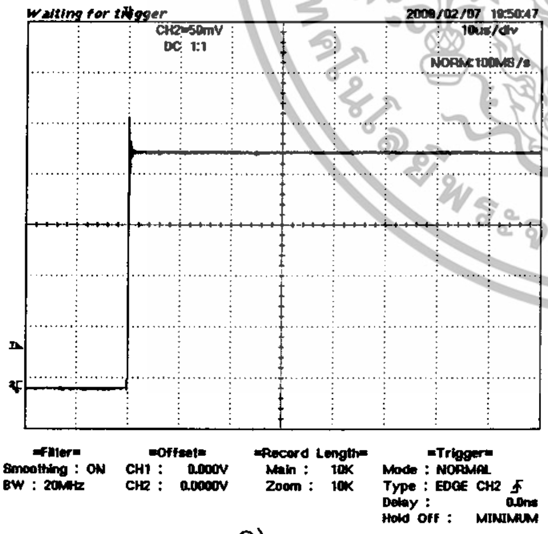
ภาคแรงต่ำ ตัวเก็บประจุแบบฟิล์มชนิดโพลิเอสเตอร์คาปาซิเตอร์ขนาด 4.7 nF 10 ตัว
ทำการต่อแมทชิ่งที่ภาคแรงต่ำของระบบวัด
แล้วกระจายความต้านทานหน่วงแบบขนานขนาด 150 Ω จำนวน 3 ตัว



ก)



ข)



ค)

รูปคลื่นสัญญาณที่วัดได้จากออสซิลโลสโคป
ก) ปรับค่า time / div 100 ns / div
ข) ปรับค่า time / div 200 ns / div
ค) ปรับค่า time / div 10 μs / div

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.31

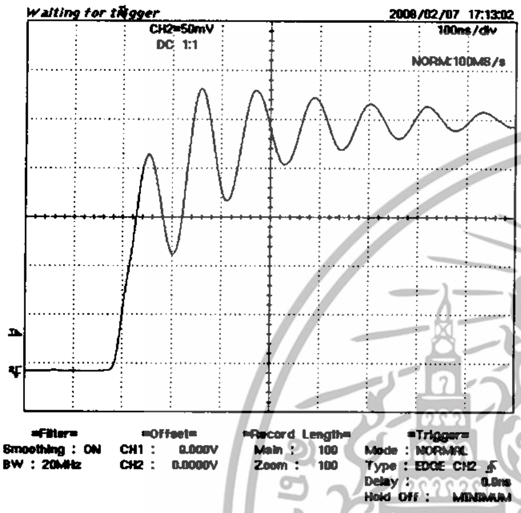
ภาคแรงสูง ตัวเก็บประจุแบบฟิล์มชนิดโพลิเอสเตอร์คาปาซิเตอร์ขนาด 1.5 nF 27 ตัว

ภาคแรงต่ำ ตัวเก็บประจุแบบฟิล์มชนิดโพลิเอสเตอร์คาปาซิเตอร์ขนาด 4.7 nF 10 ตัว

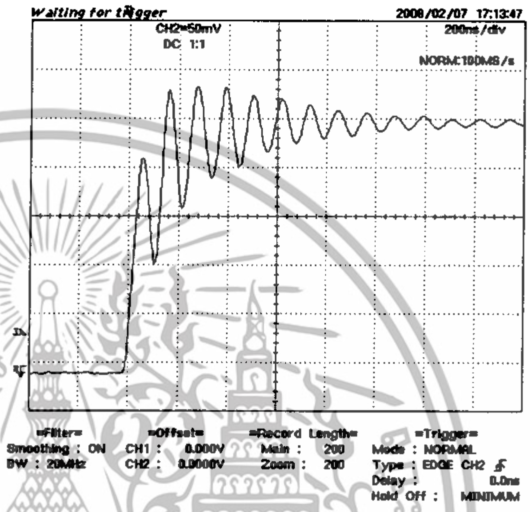
ทำการต่อแมทชิ่งที่ภาคแรงต่ำของระบบวัด

แล้วกระจายความต้านทานหน่วงแบบขนานขนาด 150 Ω จำนวน 3 ตัว

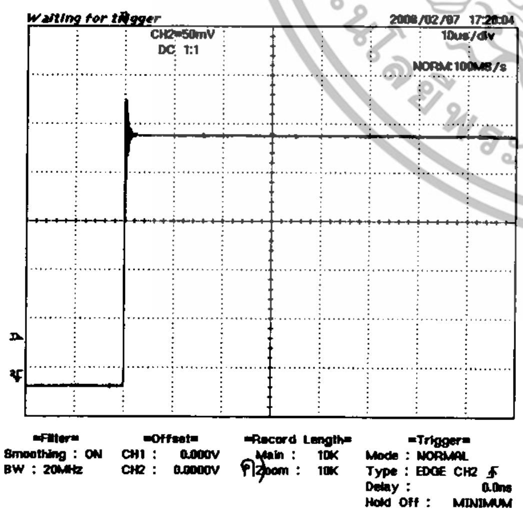
และ ระบบเกิดค่าความเหนี่ยวนำ1 μH ที่ภาคแรงสูง 1 ค่า



ก)



ข)



ค)

รูปคลื่นสัญญาณที่วัดได้จากออสซิลโลสโคป

ก) ปรับค่า time / div 100 ns / div

ข) ปรับค่า time / div 200 ns / div

ค) ปรับค่า time / div 10 μs / div

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

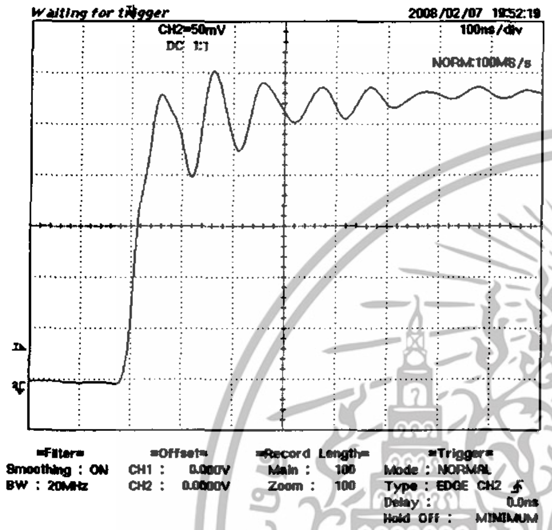
รูปที่ 4.32

ภาคแรงสูง ตัวเก็บประจุแบบฟิล์มชนิดโพลิเอสเตอร์คาปาซิเตอร์ขนาด 1.5 nF 27 ตัว

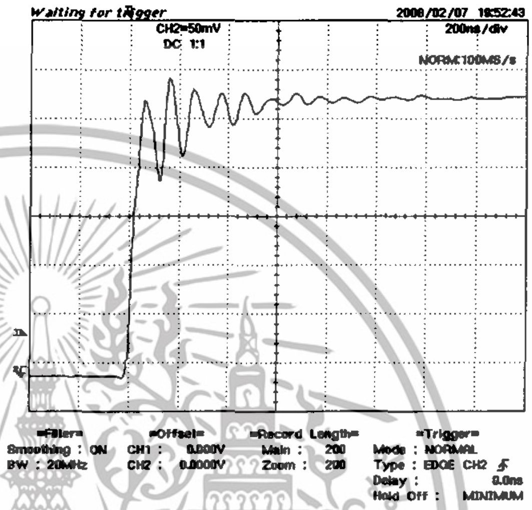
ภาคแรงต่ำ ตัวเก็บประจุแบบฟิล์มชนิดโพลิเอสเตอร์คาปาซิเตอร์ขนาด 4.7 nF 10 ตัว

ทำการต่อแมทชิ่งที่ภาคแรงต่ำของระบบวัด

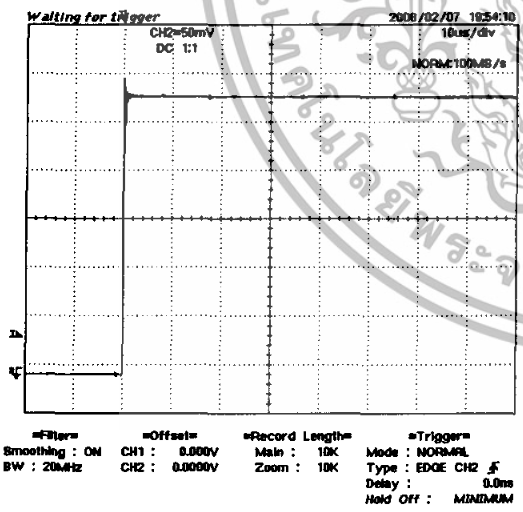
แล้วกระจายความต้านทานหน่วงแบบขนานขนาด 150 Ω จำนวน 5 ตัว



ก)



ข)



ค)

รูปคลื่นสัญญาณที่วัดได้จากออสซิลโลสโคป

ก) ปรับค่า time / div 100 ns / div

ข) ปรับค่า time / div 200 ns / div

ค) ปรับค่า time / div 10 μs / div

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

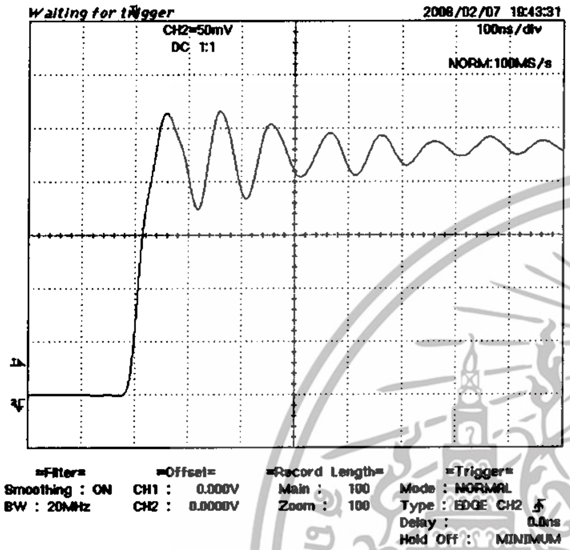
รูปที่ 4.33

ภาคแรงสูง ตัวเก็บประจุแบบฟิล์มชนิดโพลิเอสเตอร์คาปาซิเดอร์ขนาด 1.5 nF 27 ตัว

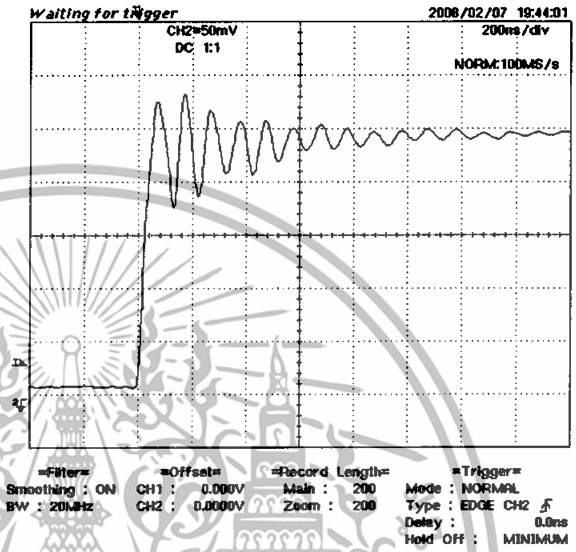
ภาคแรงต่ำ ตัวเก็บประจุแบบฟิล์มชนิดโพลิเอสเตอร์คาปาซิเดอร์ขนาด 4.7 nF 10 ตัว

ทำการต่อแมทชิ่งที่ภาคแรงต่ำของระบบวัด

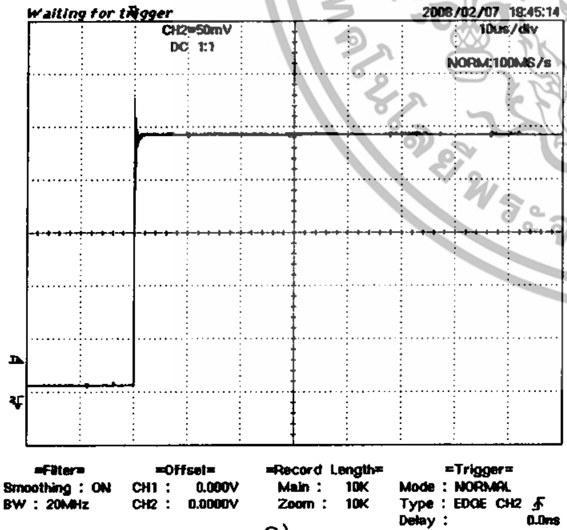
แล้วกระจายความต้านทานหน่วงแบบขนานขนาด 330 Ω จำนวน 3 ตัว



ก)



ข)



ค)

รูปคลื่นสัญญาณที่วัดได้จากออสซิลโลสโคป

ก) ปรับค่า time / div 100 ns / div

ข) ปรับค่า time / div 200 ns / div

ค) ปรับค่า time / div 10 μs / div

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

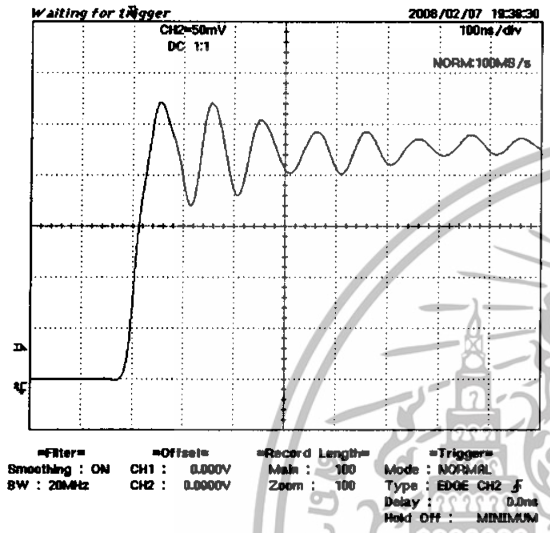
รูปที่ 4.34

ภาคแรงสูง ตัวเก็บประจุแบบฟิล์มชนิดโพลิเอสเตอร์คาปาซิเตอร์ขนาด 1.5 nF 27 ตัว

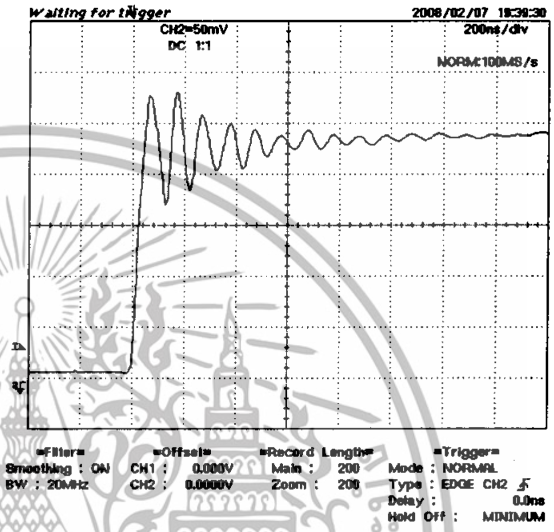
ภาคแรงต่ำ ตัวเก็บประจุแบบฟิล์มชนิดโพลิเอสเตอร์คาปาซิเตอร์ขนาด 4.7 nF 10 ตัว

ทำการต่อแมทชิ่งที่ภาคแรงต่ำของระบบวัด

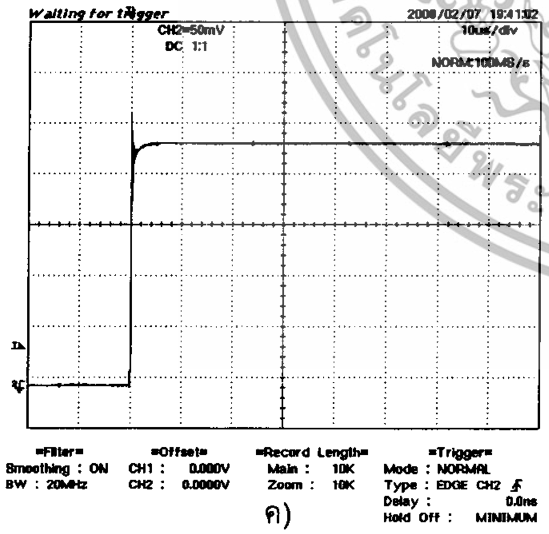
แล้วกระจายความต้านทานหน่วงแบบขนานขนาด 680 Ω จำนวน 3 ตัว



ก)



ข)



ค)

รูปคลื่นสัญญาณที่วัดได้จากออสซิลโลสโคป

ก) ปรับค่า time / div 100 ns / div

ข) ปรับค่า time / div 200 ns / div

ค) ปรับค่า time / div 10 μs / div

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

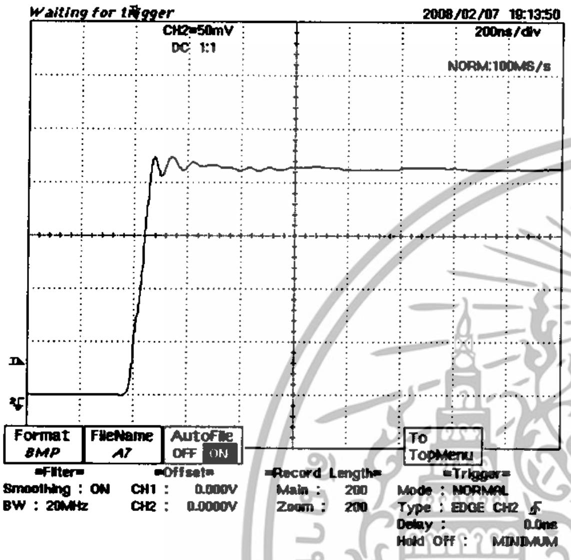
รูปที่ 4.35

ภาคแรงสูง ตัวเก็บประจุแบบฟิล์มชนิดโพลิเอสเตอร์คาปาซิเตอร์ขนาด 1.5 nF 27 ตัว

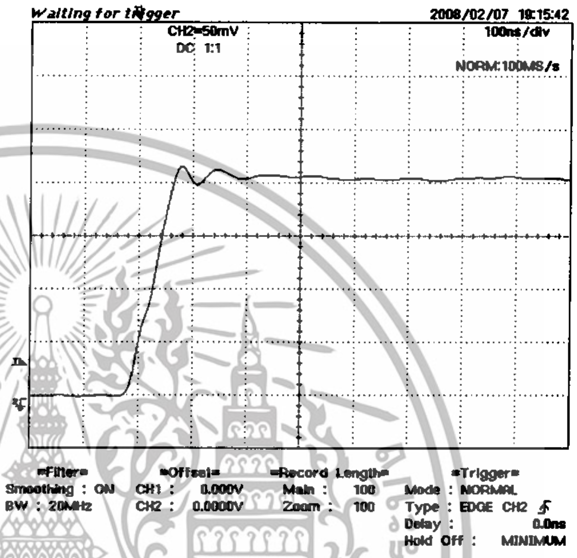
ภาคแรงต่ำ ตัวเก็บประจุแบบฟิล์มชนิดโพลิเอสเตอร์คาปาซิเตอร์ขนาด 4.7 nF 10 ตัว

ทำการต่อแมทชิ่งที่ภาคแรงต่ำของระบบวัด

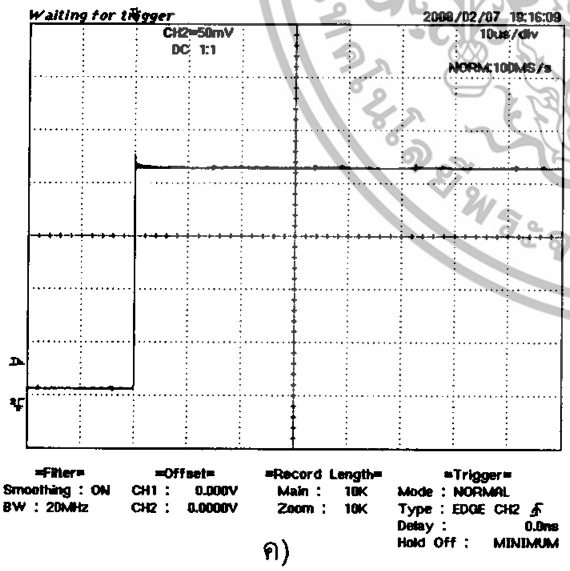
แล้วกระจายความต้านทานหน่วงแบบอนุกรมขนาด 150 Ω จำนวน 3 ตัว



ก)



ข)



ค)

รูปคลื่นสัญญาณที่วัดได้จากออสซิลโลสโคป

ก) ปรับค่า time / div 100 ns / div

ข) ปรับค่า time / div 200 ns / div

ค) ปรับค่า time / div 10 μs / div

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

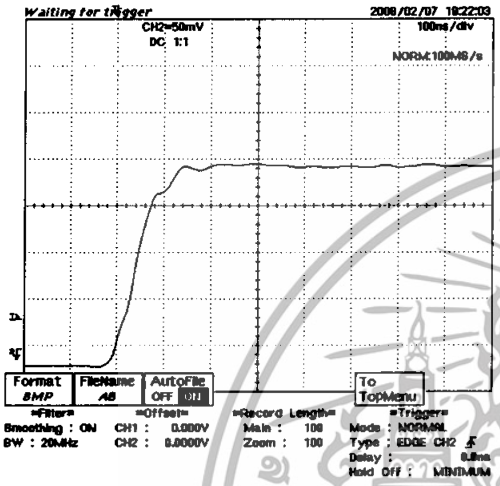
รูปที่ 4.36

ภาคแรงสูง ตัวเก็บประจุแบบฟิล์มชนิดโพลิเอสเตอร์คาปาซิเตอร์ขนาด 1.5 nF 27 ตัว

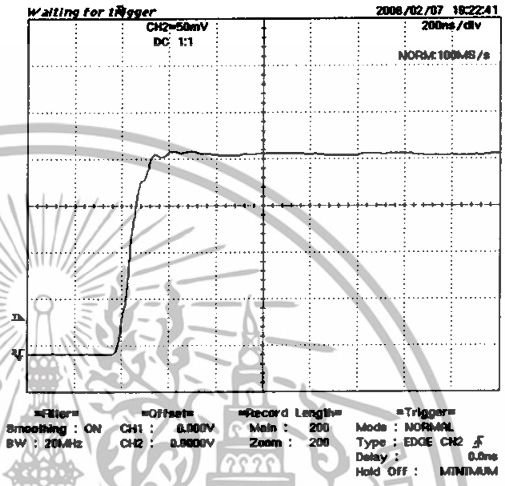
ภาคแรงต่ำ ตัวเก็บประจุแบบฟิล์มชนิดโพลิเอสเตอร์คาปาซิเตอร์ขนาด 4.7 nF 10 ตัว

ทำการต่อแมทชิ่งที่ภาคแรงต่ำของระบบวัด

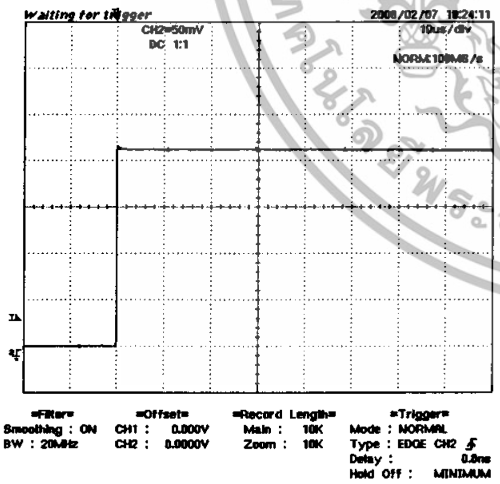
แล้วกระจายความต้านทานหน่วงแบบอนุกรมขนาด 150 Ω จำนวน 5 ตัว



ก)



ข)



ค)

รูปคลื่นสัญญาณที่วัดได้จากออสซิลโลสโคป

ก) ปรับค่า time / div 100 ns / div

ข) ปรับค่า time / div 200 ns / div

ค) ปรับค่า time / div 10 μs / div

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

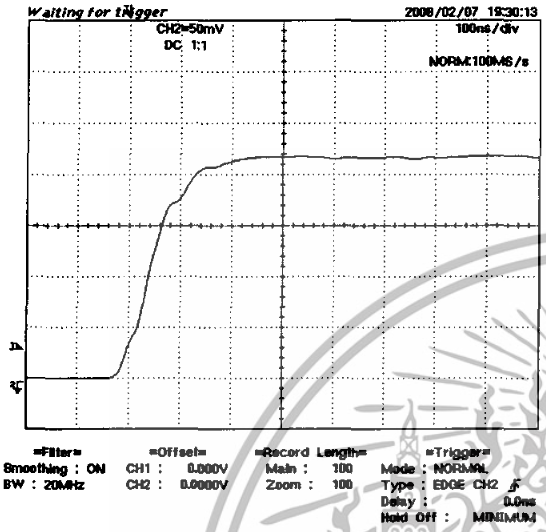
รูปที่ 4.37

ภาคแรงสูง ตัวเก็บประจุแบบฟิล์มชนิดโพลิเอสเตอร์คาปาซิเตอร์ขนาด 1.5 nF 27 ตัว

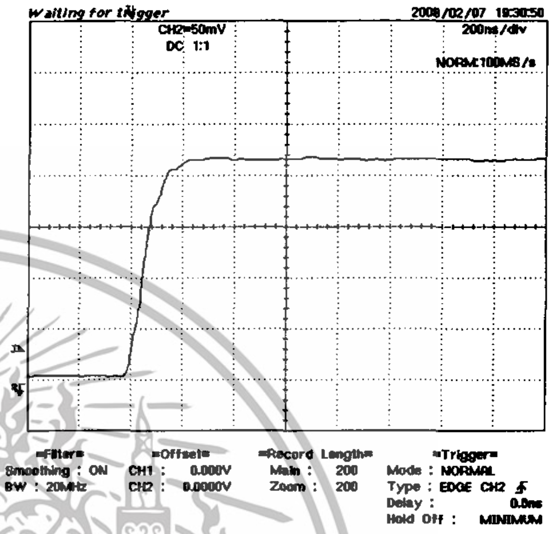
ภาคแรงต่ำ ตัวเก็บประจุแบบฟิล์มชนิดโพลิเอสเตอร์คาปาซิเตอร์ขนาด 4.7 nF 10 ตัว

ทำการต่อแมทชิ่งที่ภาคแรงต่ำของระบบวัด

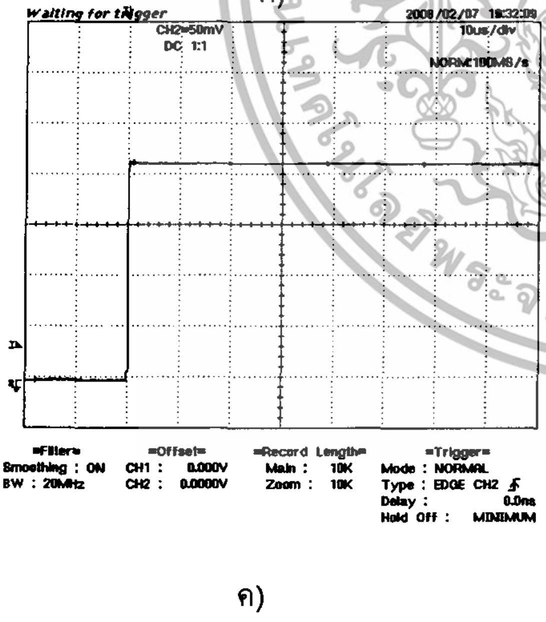
แล้วกระจายความต้านทานหน่วงแบบอนุกรมขนาด 330 Ω จำนวน 3 ตัว



ก)



ข)



ค)

รูปคลื่นสัญญาณที่วัดได้จากออสซิลโลสโคป

ก) ปรับค่า time / div 100 ns / div

ข) ปรับค่า time / div 200 ns / div

ค) ปรับค่า time / div 10 μs / div

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

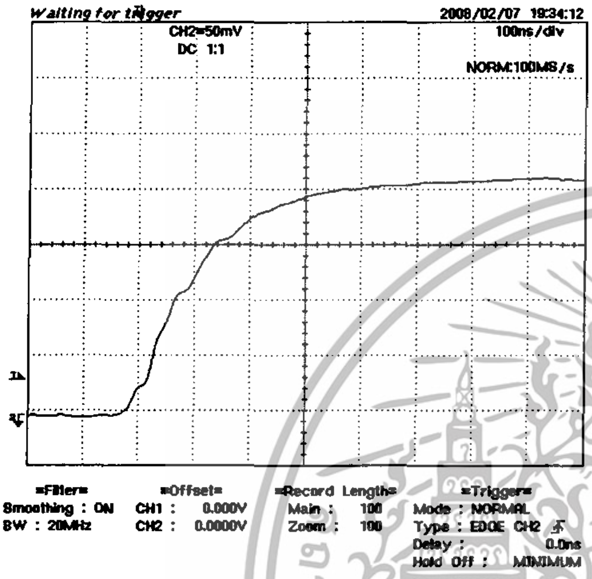
รูปที่ 4.38

ภาคแรงสูง ตัวเก็บประจุแบบฟิล์มชนิดโพลิเอสเตอร์คาปาซิเตอร์ขนาด 1.5 nF 27 ตัว

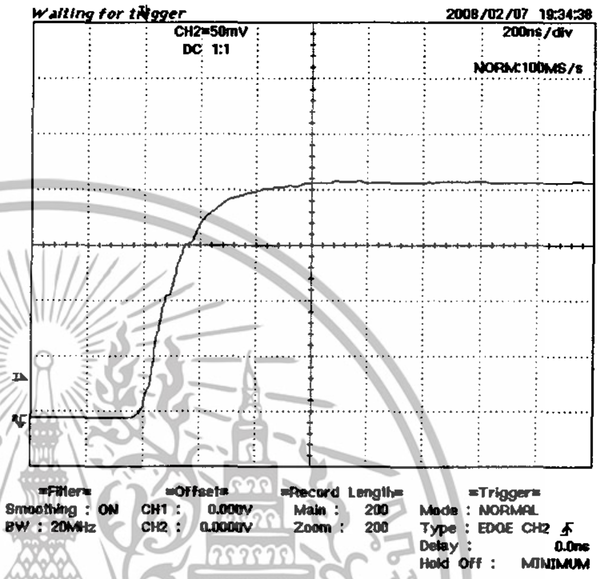
ภาคแรงต่ำ ตัวเก็บประจุแบบฟิล์มชนิดโพลิเอสเตอร์คาปาซิเตอร์ขนาด 4.7 nF 10 ตัว

ทำการต่อแมทชิ่งที่ภาคแรงต่ำของระบบวัด

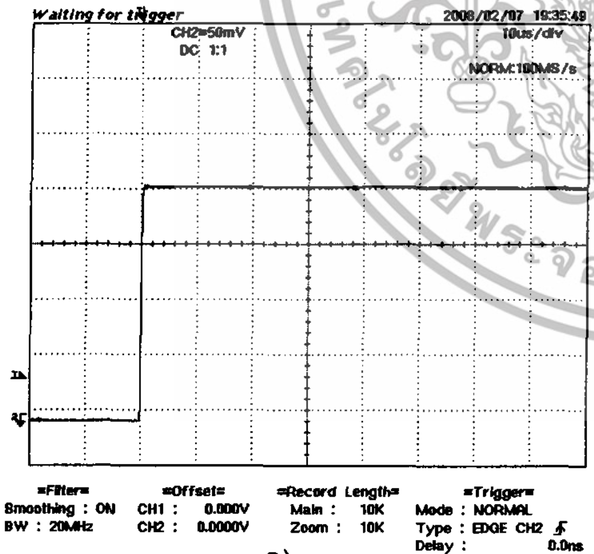
แล้วกระจายความต้านทานหน่วงแบบอนุกรมขนาด 680 Ω จำนวน 3 ตัว



ก)



ข)



ค)

รูปคลื่นสัญญาณที่วัดได้จากออสซิลโลสโคป

ก) ปรับค่า time / div 100 ns / div

ข) ปรับค่า time / div 200 ns / div

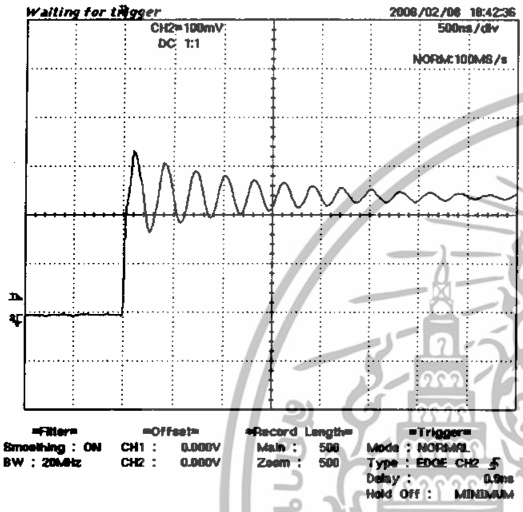
ค) ปรับค่า time / div 10 μs / div

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

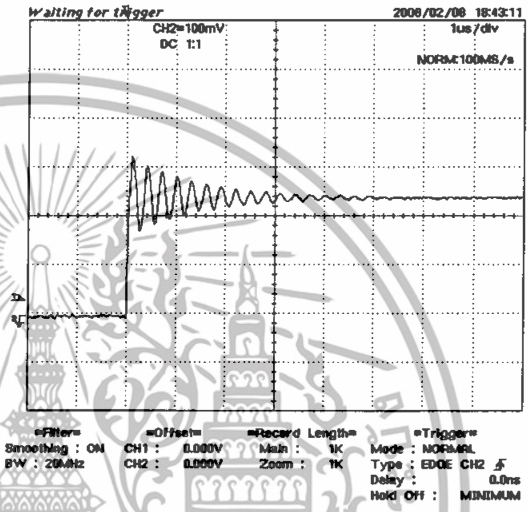
รูปที่ 4.39

ภาคแรงสูง ตัวเก็บประจุแบบฟิล์มชนิดโพลิเอสเตอร์คาปาซิเตอร์ขนาด 15 nF 27 ตัว

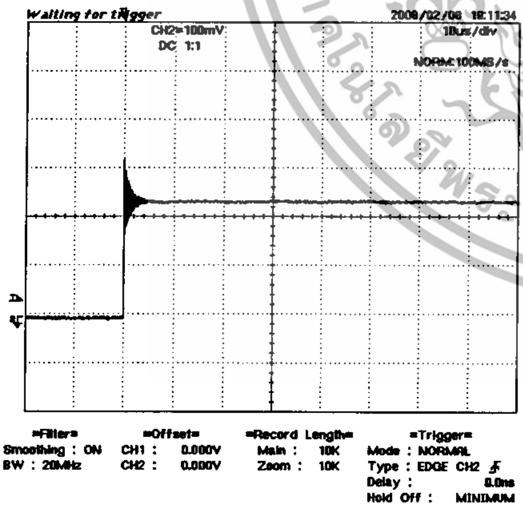
ภาคแรงต่ำ ตัวเก็บประจุแบบฟิล์มชนิดโพลิเอสเตอร์คาปาซิเตอร์ขนาด 47 nF 10 ตัว
ทำการต่อแมทชิ่งที่ภาคแรงต่ำของระบบวัด



ก)



ข)



ค)

รูปคลื่นสัญญาณที่วัดได้จากออสซิลโลสโคป

ก) ปรับค่า time / div 500 ns / div

ข) ปรับค่า time / div 1 μs / div

ค) ปรับค่า time / div 10 μs / div

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

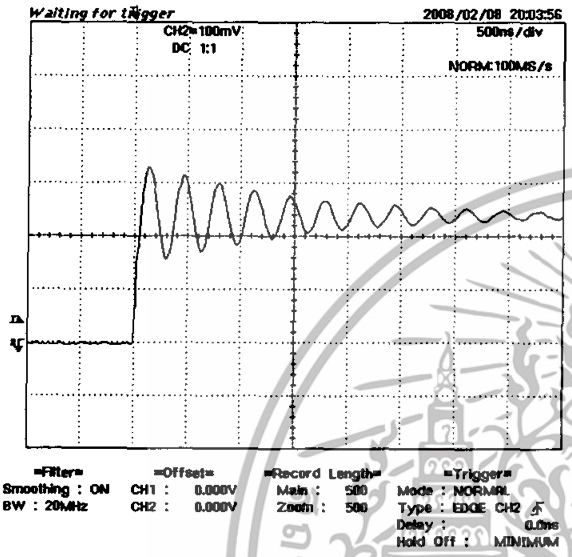
รูปที่ 4.40

ภาคแรงสูง ตัวเก็บประจุแบบฟิล์มชนิดโพลิเอสเตอร์คาปาซิเตอร์ขนาด 15 nF 27 ตัว

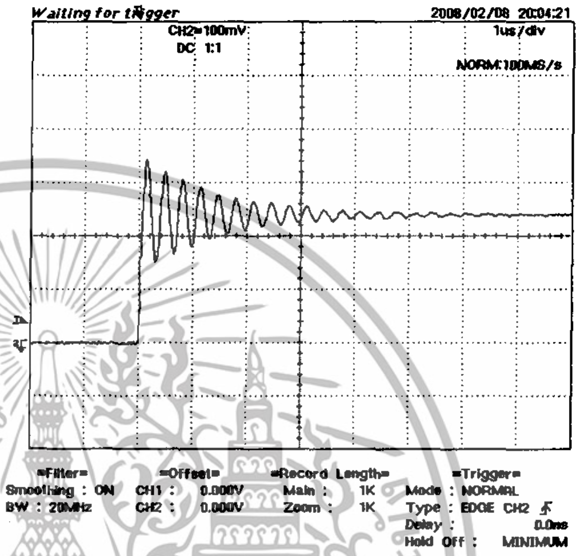
ภาคแรงต่ำ ตัวเก็บประจุแบบฟิล์มชนิดโพลิเอสเตอร์คาปาซิเตอร์ขนาด 47 nF 10 ตัว

ทำการต่อแมทชิ่งที่ภาคแรงต่ำของระบบวัด

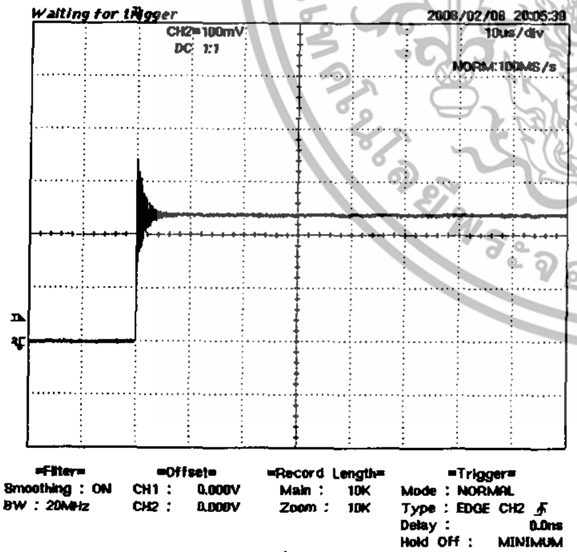
และ ระบบเกิดค่าความเหนี่ยวนำ1 μH ที่ภาคแรงสูง 1 ค่า



ก)



ข)



ค)

รูปคลื่นสัญญาณที่วัดได้จากออสซิลโลสโคป

ก) ปรับค่า time / div 500 ns / div

ข) ปรับค่า time / div 1 μs / div

ค) ปรับค่า time / div 10 μs / div

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

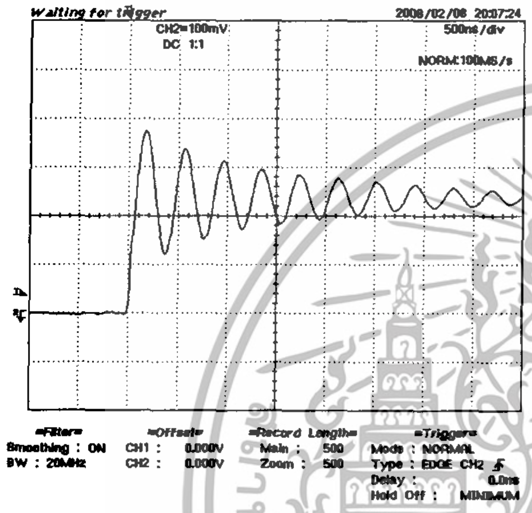
รูปที่ 4.41

ภาคแรงสูง ตัวเก็บประจุแบบฟิล์มชนิดโพลิเอสเตอร์คาปาซิเตอร์ขนาด 15 nF 27 ตัว

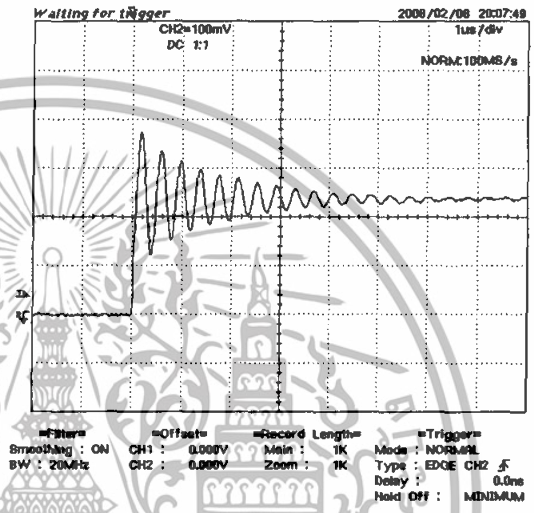
ภาคแรงต่ำ ตัวเก็บประจุแบบฟิล์มชนิดโพลิเอสเตอร์คาปาซิเตอร์ขนาด 47 nF 10 ตัว

ทำการต่อแมทชิ่งที่ภาคแรงต่ำของระบบวัด

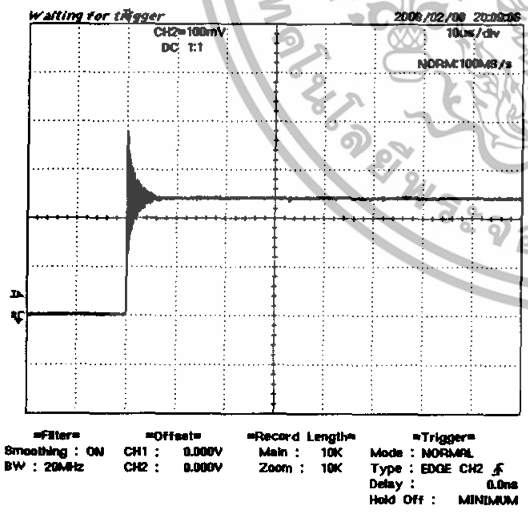
และ ระบบเกิดค่าความเหนี่ยวนำ1 μH ที่ภาคแรงสูง 3 ค่า



ก)



ข)



ค)

รูปคลื่นสัญญาณที่วัดได้จากออสซิลโลสโคป

ก) ปรับค่า time / div 500 ns / div

ข) ปรับค่า time / div 1 μs / div

ค) ปรับค่า time / div 10 μs / div

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

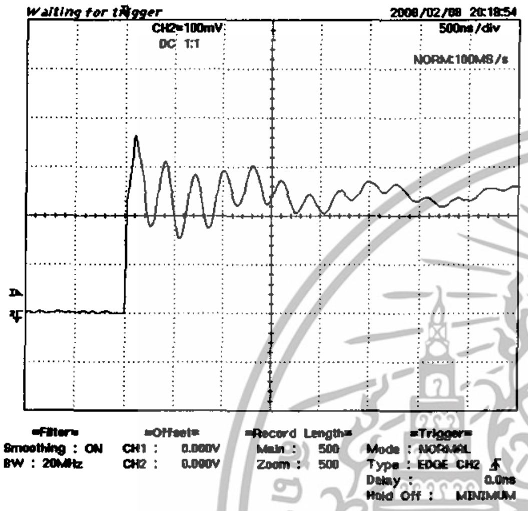
รูปที่ 4.42

ภาคแรงสูง ตัวเก็บประจุแบบฟิล์มชนิดโพลิเอสเตอร์คาปาซิเตอร์ขนาด 15 nF 27 ตัว

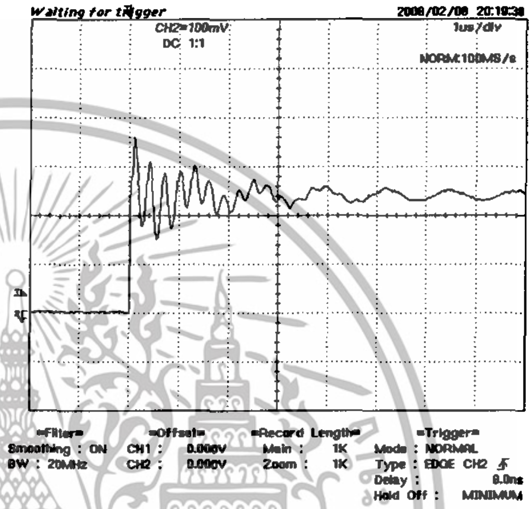
ภาคแรงต่ำ ตัวเก็บประจุแบบฟิล์มชนิดโพลิเอสเตอร์คาปาซิเตอร์ขนาด 47 nF 10 ตัว

ทำการต่อแมทชิ่งที่ภาคแรงต่ำของระบบวัด

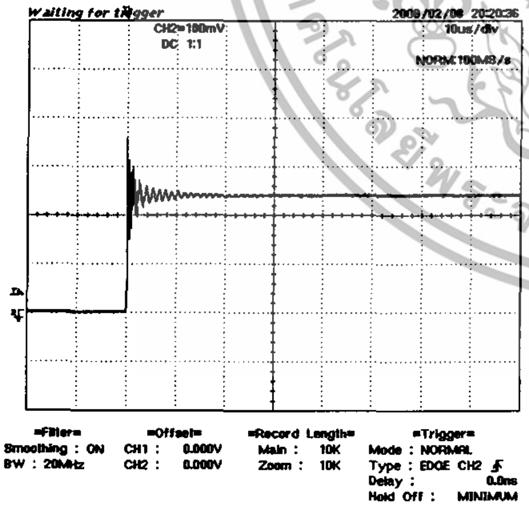
และ ระบบเกิดค่าความเหนี่ยวนำ1 µH ที่ภาคแรงต่ำ 1 ค่า



ก)



ข)



ค)

รูปคลื่นสัญญาณที่วัดได้จากออสซิลโลสโคป

ก) ปรับค่า time / div 500 ns / div

ข) ปรับค่า time / div 1 µs / div

ค) ปรับค่า time / div 10 µs / div

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

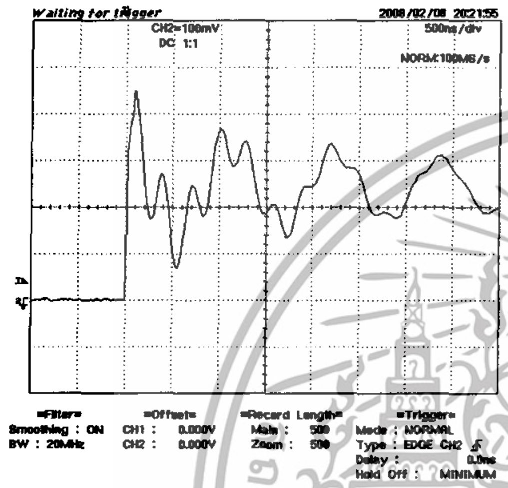
รูปที่ 4.43

ภาคแรงสูง ตัวเก็บประจุแบบฟิล์มชนิดโพลิเอสเตอร์คาปาซิเตอร์ขนาด 15 nF 27 ตัว

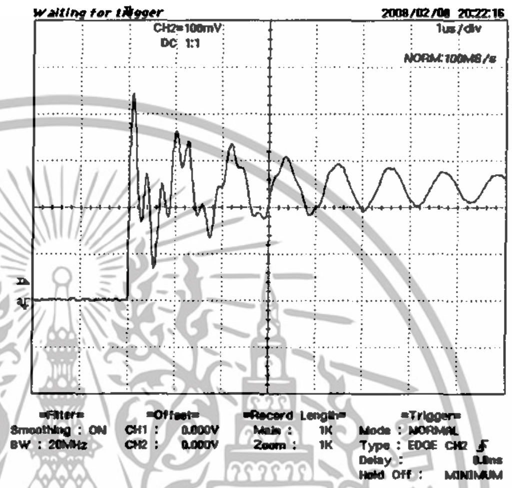
ภาคแรงต่ำ ตัวเก็บประจุแบบฟิล์มชนิดโพลิเอสเตอร์คาปาซิเตอร์ขนาด 47 nF 10 ตัว

ทำการต่อแมทชิ่งที่ภาคแรงต่ำของระบบวัด

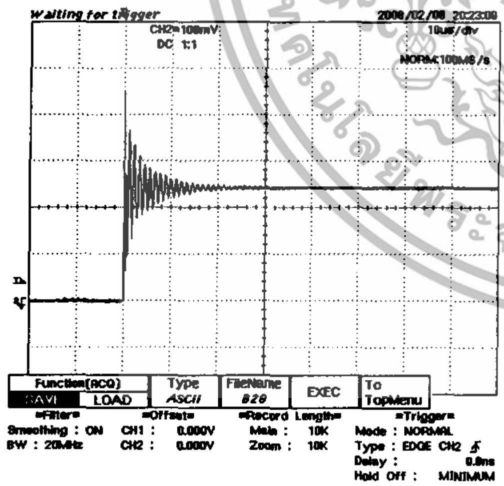
และ ระบบเกิดค่าความเหนี่ยวนำ1 μH ที่ภาคแรงต่ำ 3 ค่า



ก)



ข)



ค)

รูปคลื่นสัญญาณที่วัดได้จากออสซิลโลสโคป

ก) ปรับค่า time / div 500 ns / div

ข) ปรับค่า time / div 1 μs / div

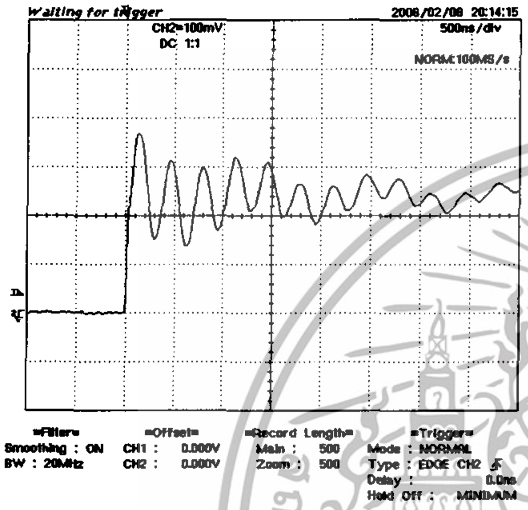
ค) ปรับค่า time / div 10 μs / div

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

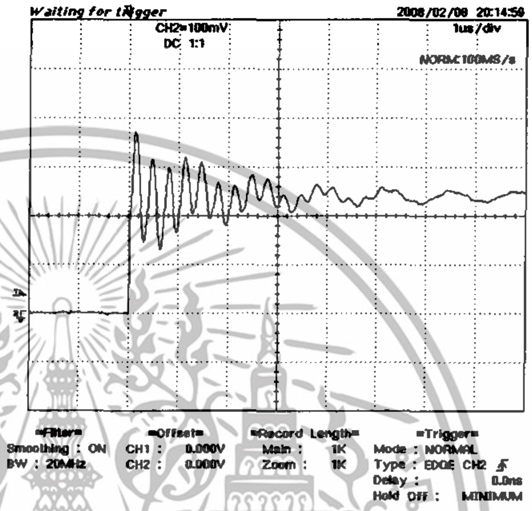
รูปที่ 4.44

ภาคแรงสูง ตัวเก็บประจุแบบฟิล์มชนิดโพลิเอสเตอร์คาปาซิเตอร์ขนาด 15 nF 27 ตัว

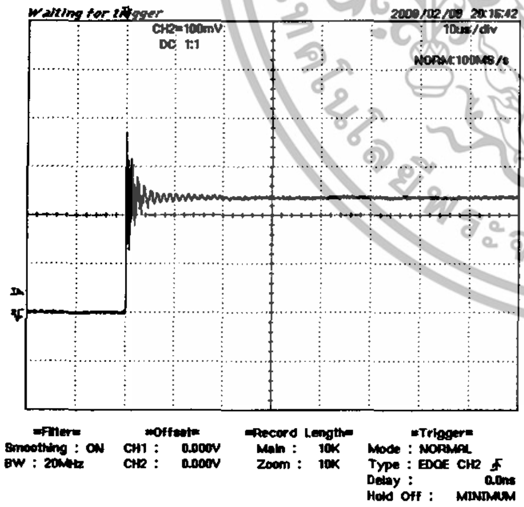
ภาคแรงต่ำ ตัวเก็บประจุแบบฟิล์มชนิดโพลิเอสเตอร์คาปาซิเตอร์ขนาด 47 nF 10 ตัว
ทำการต่อแมทชิ่งที่ภาคแรงต่ำของระบบวัด
และ ระบบเกิดค่าความเหนี่ยวนำ1 μH ที่ภาคแรงสูง 1 ค่าและภาคแรงต่ำ 1 ค่า



ก)



ข)



ค)

รูปคลื่นสัญญาณที่วัดได้จากออสซิลโลสโคป
ก) ปรับค่า time / div 500 ns / div
ข) ปรับค่า time / div 1 μs / div
ค) ปรับค่า time / div 10 μs / div

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

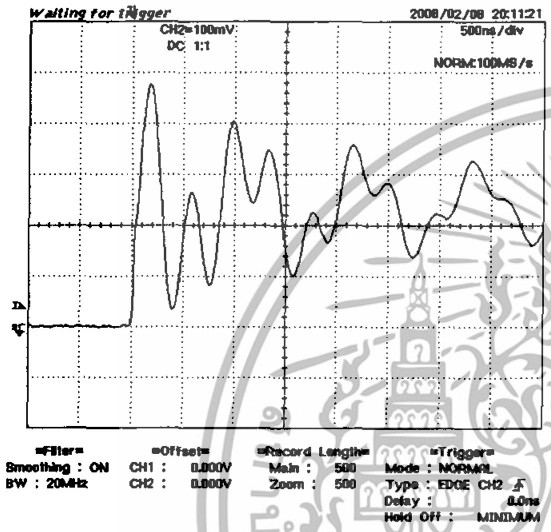
รูปที่ 4.45

ภาคแรงสูง ตัวเก็บประจุแบบฟิล์มชนิดโพลิเอสเตอร์คาปาซิเตอร์ขนาด 15 nF 27 ตัว

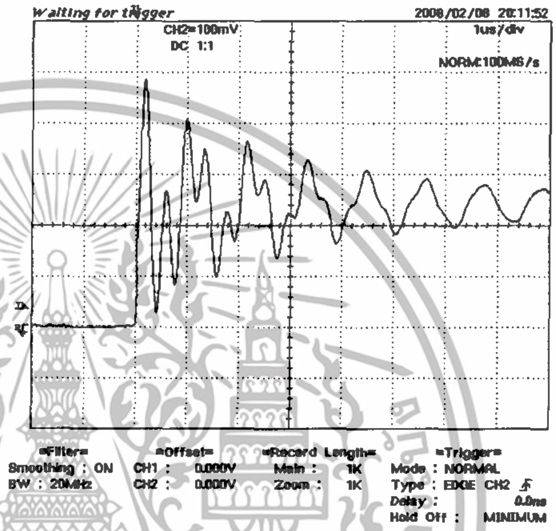
ภาคแรงต่ำ ตัวเก็บประจุแบบฟิล์มชนิดโพลิเอสเตอร์คาปาซิเตอร์ขนาด 47 nF 10 ตัว

ทำการต่อแมทชิ่งที่ภาคแรงต่ำของระบบวัด

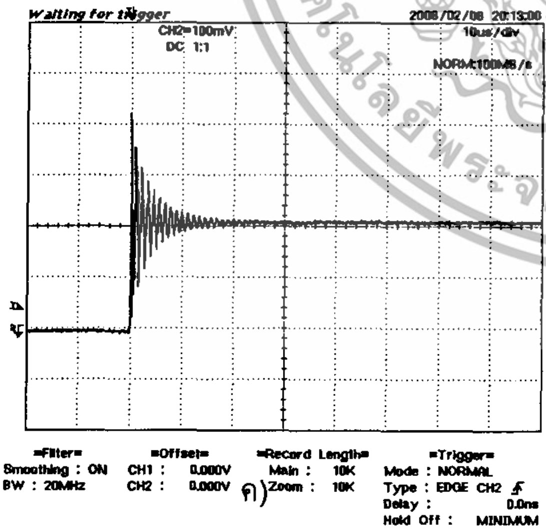
และ ระบบเกิดค่าความเหนี่ยวนำ1 μH ที่ภาคแรงสูง 3 ค่าและภาคแรงต่ำ 3 ค่า



ก)



ข)



ค)

รูปคลื่นสัญญาณที่วัดได้จากออสซิลโลสโคป

ก) ปรับค่า time / div 500 ns / div

ข) ปรับค่า time / div 1 μs / div

ค) ปรับค่า time / div 10 μs / div

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

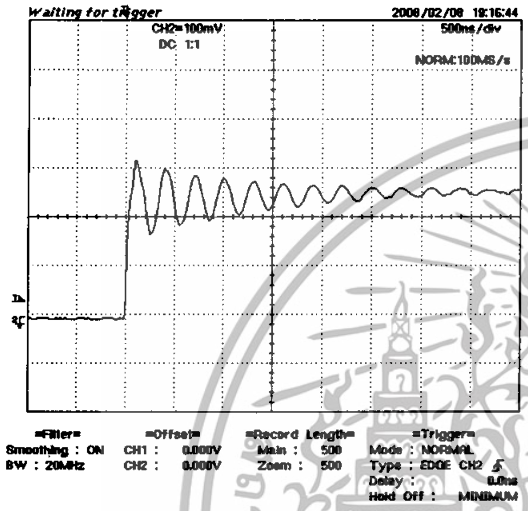
รูปที่ 4.46

ภาคแรงสูง ตัวเก็บประจุแบบฟิล์มชนิดโพลิเอสเตอร์คาปาซิเตอร์ขนาด 15 nF 27 ตัว

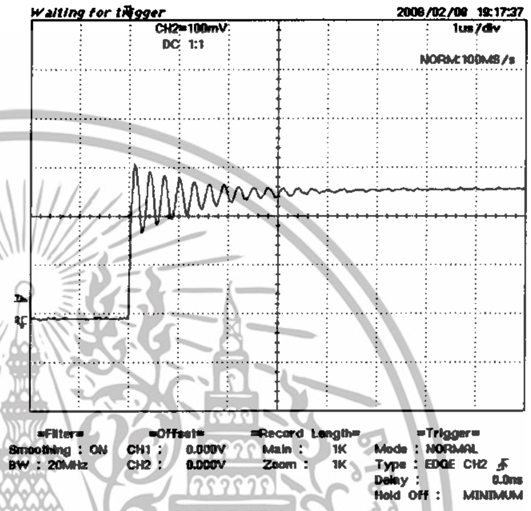
ภาคแรงต่ำ ตัวเก็บประจุแบบฟิล์มชนิดโพลิเอสเตอร์คาปาซิเตอร์ขนาด 47 nF 10 ตัว

ทำการต่อแมทชิ่งที่ภาคแรงต่ำของระบบวัด

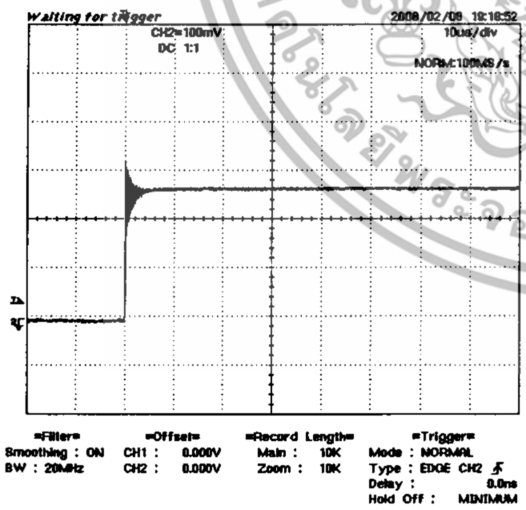
แล้วกระจายความต้านทานหน่วงแบบขนานขนาด 150 Ω จำนวน 3 ตัว



ก)



ข)



ค)

รูปคลื่นสัญญาณที่วัดได้จากออสซิลโลสโคป

ก) ปรับค่า time / div 500 ns / div

ข) ปรับค่า time / div 1 μs / div

ค) ปรับค่า time / div 10 μs / div

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

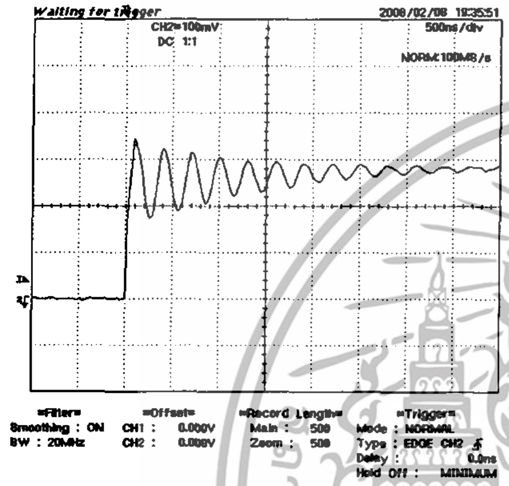
รูปที่ 4.47

ภาคแรงสูง ตัวเก็บประจุแบบฟิล์มชนิดโพลิเอสเตอร์คาปาซิเตอร์ขนาด 15 nF 27 ตัว

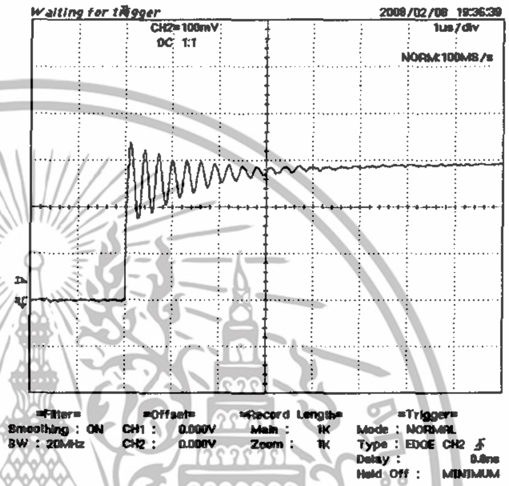
ภาคแรงต่ำ ตัวเก็บประจุแบบฟิล์มชนิดโพลิเอสเตอร์คาปาซิเตอร์ขนาด 47 nF 10 ตัว

ทำการต่อแมทชิ่งที่ภาคแรงต่ำของระบบวัด

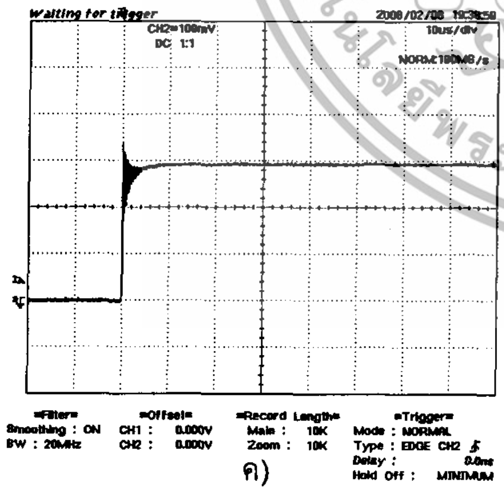
แล้วกระจายความต้านทานหน่วงแบบขนานขนาด 150 Ω จำนวน 5 ตัว



ก)



ข)



ค)

รูปคลื่นสัญญาณที่วัดได้จากออสซิลโลสโคป

ก) ปรับค่า time / div 500 ns / div

ข) ปรับค่า time / div 1 μs / div

ค) ปรับค่า time / div 10 μs / div

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

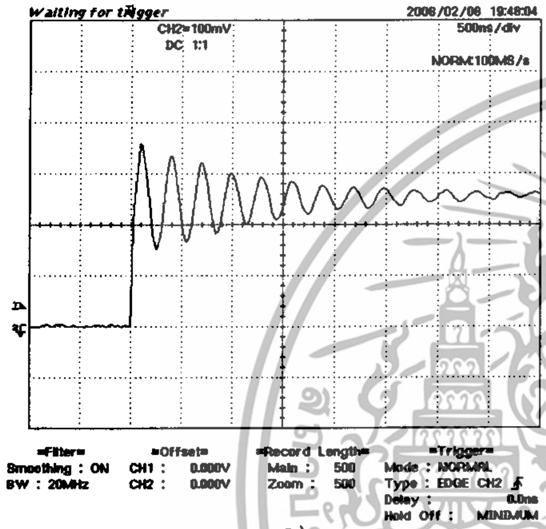
รูปที่ 4.48

ภาคแรงสูง ตัวเก็บประจุแบบฟิล์มชนิดโพลิเอสเตอร์คาปาซิเตอร์ขนาด 15 nF 27 ตัว

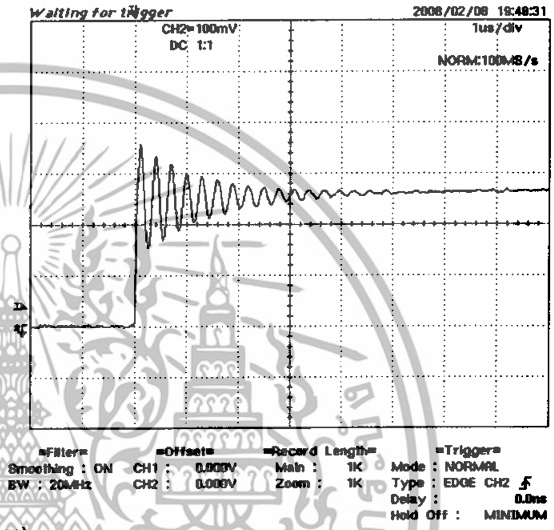
ภาคแรงต่ำ ตัวเก็บประจุแบบฟิล์มชนิดโพลิเอสเตอร์คาปาซิเตอร์ขนาด 47 nF 10 ตัว

ทำการต่อแมทชิ่งที่ภาคแรงต่ำของระบบวัด

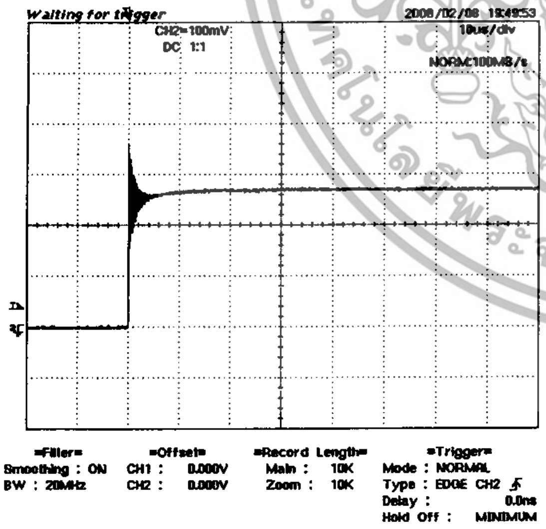
แล้วกระจายความต้านทานหน่วงแบบขนานขนาด 330 Ω จำนวน 3 ตัว



ก)



ข)



ค)

รูปคลื่นสัญญาณที่วัดได้จากออสซิลโลสโคป

ก) ปรับค่า time / div 500 ns / div

ข) ปรับค่า time / div 1 μs / div

ค) ปรับค่า time / div 10 μs / div

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

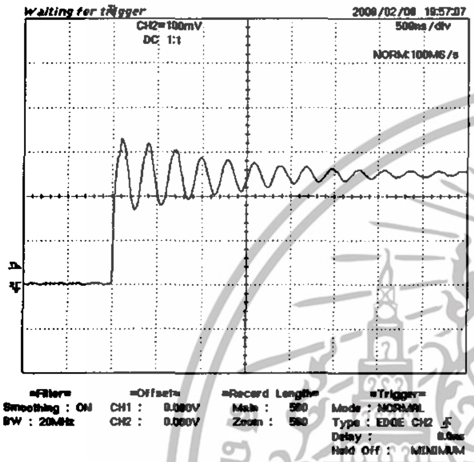
รูปที่ 4.49

ภาคแรงสูง ตัวเก็บประจุแบบฟิล์มชนิดโพลิเอสเตอร์คาปาซิเตอร์ขนาด 15 nF 27 ตัว

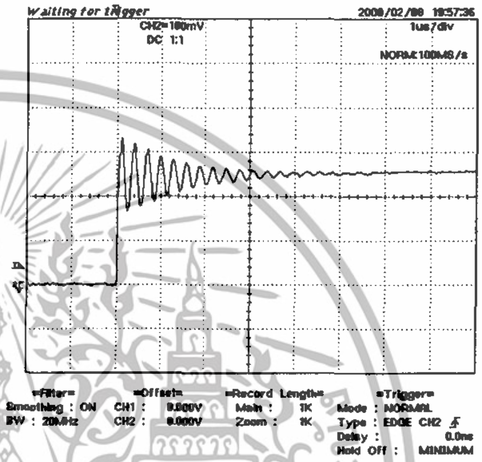
ภาคแรงต่ำ ตัวเก็บประจุแบบฟิล์มชนิดโพลิเอสเตอร์คาปาซิเตอร์ขนาด 47 nF 10 ตัว

ทำการต่อแมทชิ่งที่ภาคแรงต่ำของระบบวัด

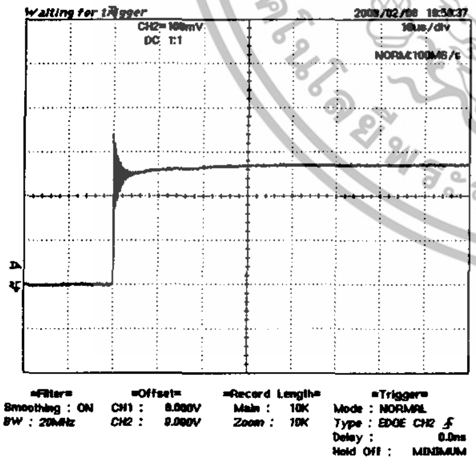
แล้วกระจายความต้านทานหน่วงแบบขนานขนาด 680 Ω จำนวน 3 ตัว



ก)



ข)



ค)

รูปคลื่นสัญญาณที่วัดได้จากออสซิลโลสโคป

ก) ปรับค่า time / div 500 ns / div

ข) ปรับค่า time / div 1 μs / div

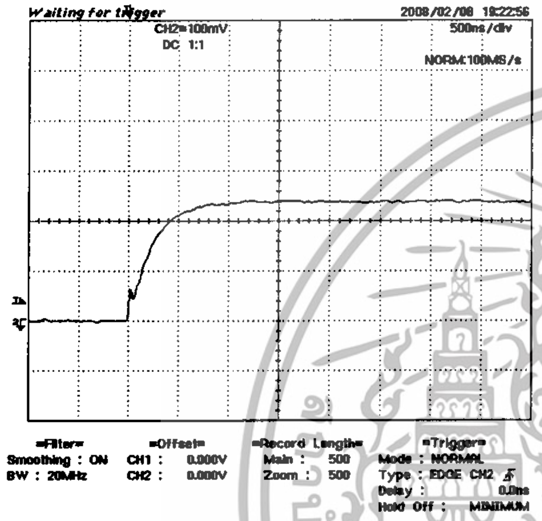
ค) ปรับค่า time / div 10 μs / div

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

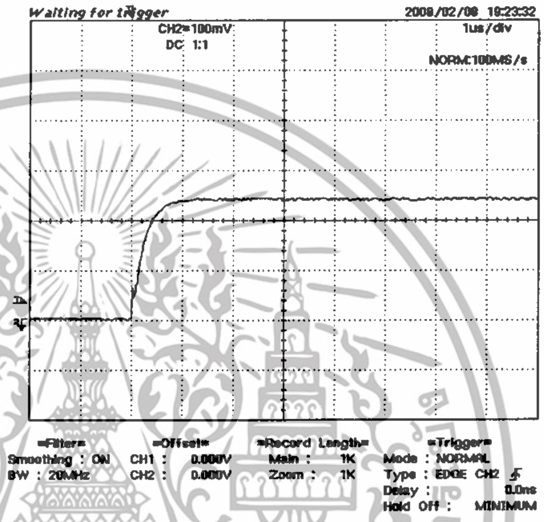
รูปที่ 4.50

ภาคแรงสูง ตัวเก็บประจุแบบฟิล์มชนิดโพลิเอสเตอร์คาปาซิเตอร์ขนาด 15 nF 27 ตัว

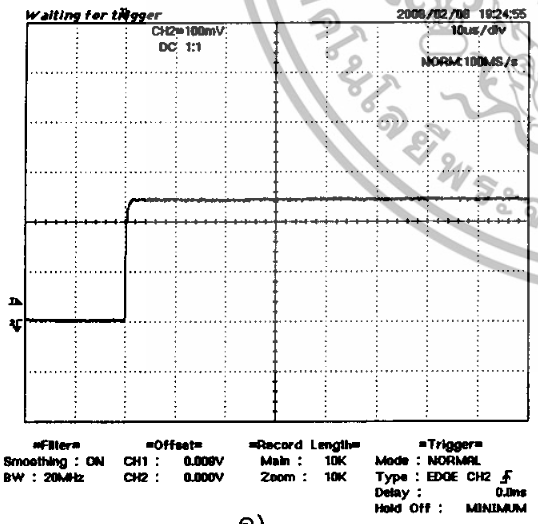
ภาคแรงต่ำ ตัวเก็บประจุแบบฟิล์มชนิดโพลิเอสเตอร์คาปาซิเตอร์ขนาด 47 nF 10 ตัว ทำการต่อแมทชิ่งที่ภาคแรงต่ำของระบบวัด แล้วกระจายความต้านทานหน่วงแบบอนุกรมขนาด 150 Ω จำนวน 3 ตัว



ก)



ข)



ค)

รูปคลื่นสัญญาณที่วัดได้จากออสซิลโลสโคป

ก) ปรับค่า time / div 500 ns / div

ข) ปรับค่า time / div 1 μs / div

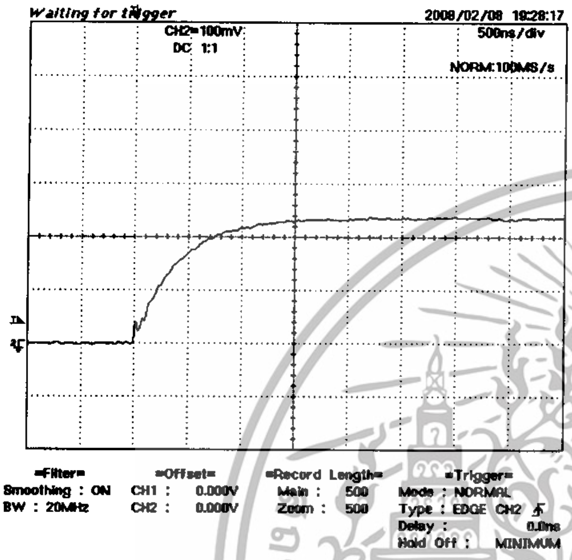
ค) ปรับค่า time / div 10 μs / div

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

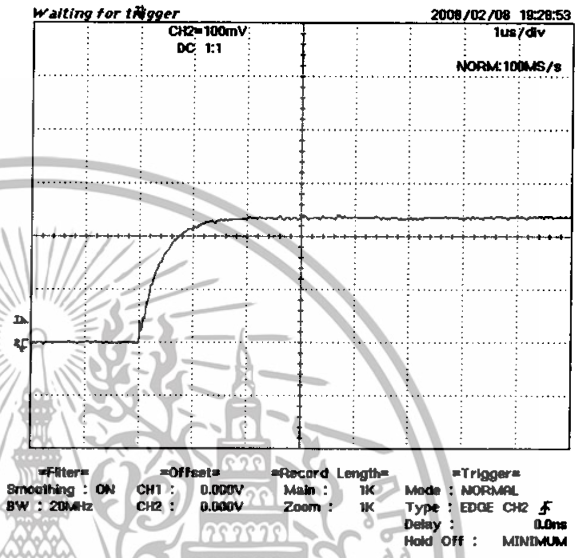
รูปที่ 4.51

ภาคแรงสูง ตัวเก็บประจุแบบฟิล์มชนิดโพลิเอสเตอร์คาปาซิเตอร์ขนาด 15 nF 27 ตัว

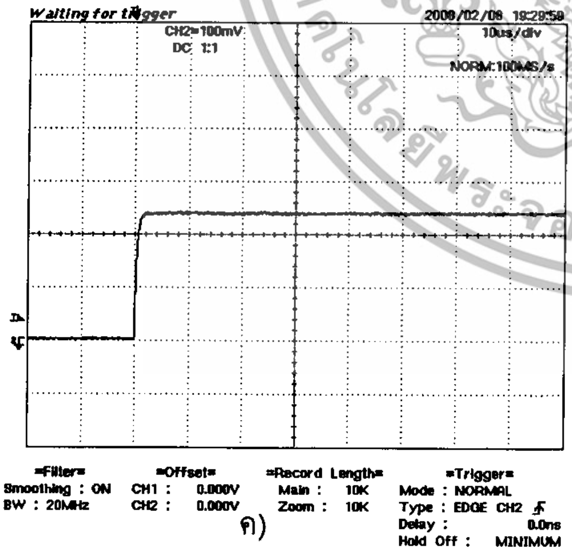
ภาคแรงต่ำ ตัวเก็บประจุแบบฟิล์มชนิดโพลิเอสเตอร์คาปาซิเตอร์ขนาด 47 nF 10 ตัว
ทำการต่อแมทชิ่งที่ภาคแรงต่ำของระบบวัด
แล้วกระจายความต้านทานหน่วงแบบอนุกรมขนาด 150 Ω จำนวน 5 ตัว



ก)



ข)



ค)

รูปคลื่นสัญญาณที่วัดได้จากออสซิลโลสโคป

ก) ปรับค่า time / div 500 ns / div

ข) ปรับค่า time / div 1 μs / div

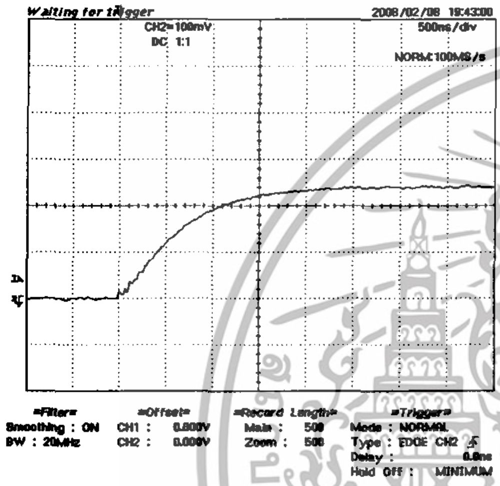
ค) ปรับค่า time / div 10 μs / div

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

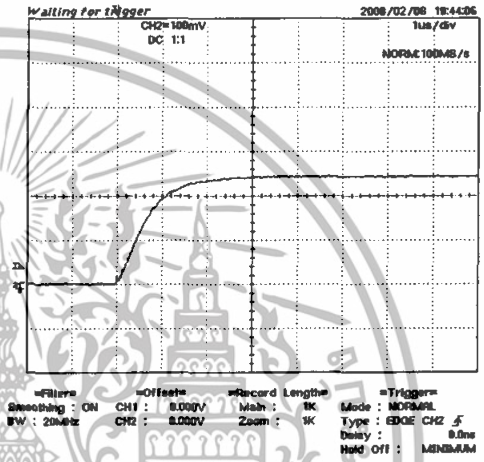
รูปที่ 4.52

ภาคแรงสูง ตัวเก็บประจุแบบฟิล์มชนิดโพลิเอสเตอร์คาปาซิเตอร์ขนาด 15 nF 27 ตัว

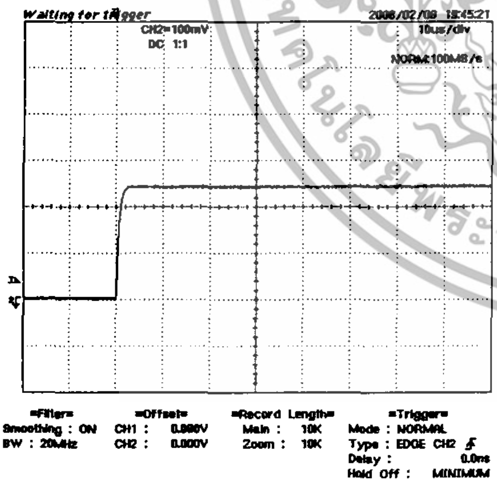
ภาคแรงต่ำ ตัวเก็บประจุแบบฟิล์มชนิดโพลิเอสเตอร์คาปาซิเตอร์ขนาด 47 nF 10 ตัว
ทำการต่อแมทชิ่งที่ภาคแรงต่ำของระบบวัด
แล้วกระจายความต้านทานหน่วงแบบอนุกรมขนาด 330 Ω จำนวน 3 ตัว



ก)



ข)



ค)

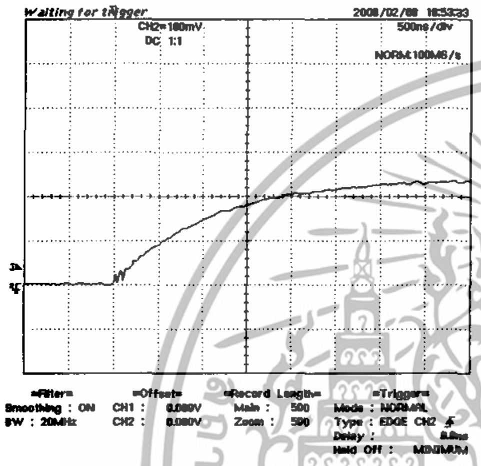
รูปคลื่นสัญญาณที่วัดได้จากออสซิลโลสโคป
ก) ปรับค่า time / div 500 ns / div
ข) ปรับค่า time / div 1 μs / div
ค) ปรับค่า time / div 10 μs / div

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

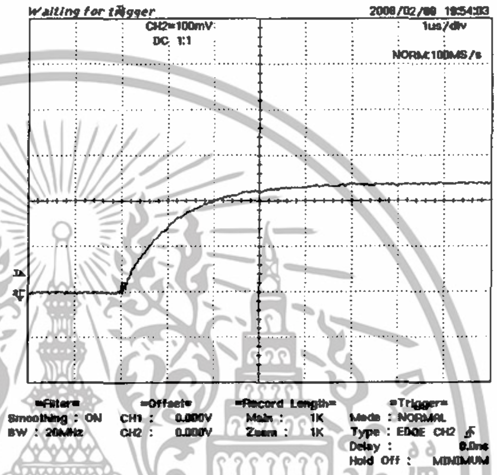
รูปที่ 4.53

ภาคแรงสูง ตัวเก็บประจุแบบฟิล์มชนิดโพลิเอสเตอร์คาปาซิเตอร์ขนาด 15 nF 27 ตัว

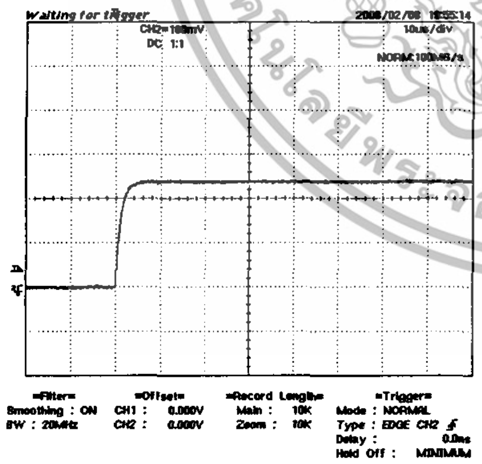
ภาคแรงต่ำ ตัวเก็บประจุแบบฟิล์มชนิดโพลิเอสเตอร์คาปาซิเตอร์ขนาด 47 nF 10 ตัว
ทำการต่อแมทชิ่งที่ภาคแรงต่ำของระบบวัด
แล้วกระจายความต้านทานหน่วงแบบอนุกรมขนาด 680 Ω จำนวน 3 ตัว



ก)



ข)



ค)

รูปคลื่นสัญญาณที่วัดได้จากออสซิลโลสโคป
ก) ปรับค่า time / div 500 ns / div
ข) ปรับค่า time / div 1 μs / div
ค) ปรับค่า time / div 10 μs / div

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

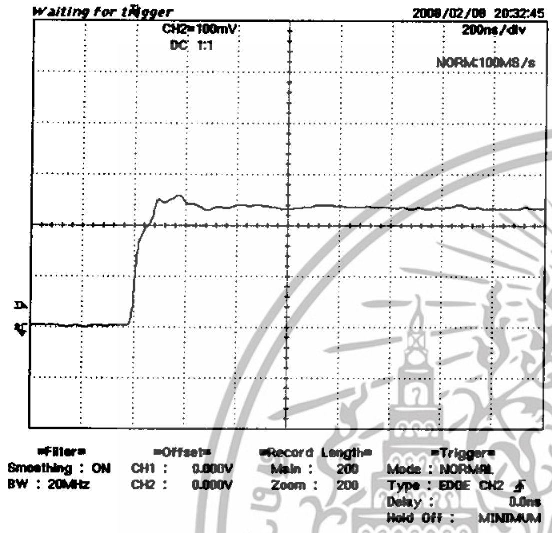
รูปที่ 4.54

ภาคแรงสูง ตัวเก็บประจุแบบฟิล์มชนิดโพลิเอสเตอร์คาปาซิเตอร์ขนาด 15 nF 27 ตัว

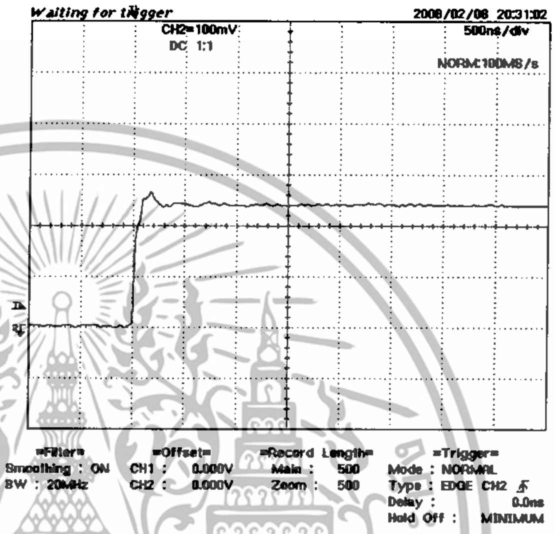
ภาคแรงต่ำ ตัวเก็บประจุแบบฟิล์มชนิดโพลิเอสเตอร์คาปาซิเตอร์ขนาด 47 nF 10 ตัว

ทำการต่อแมทชิ่งที่ภาคแรงต่ำของระบบวัด

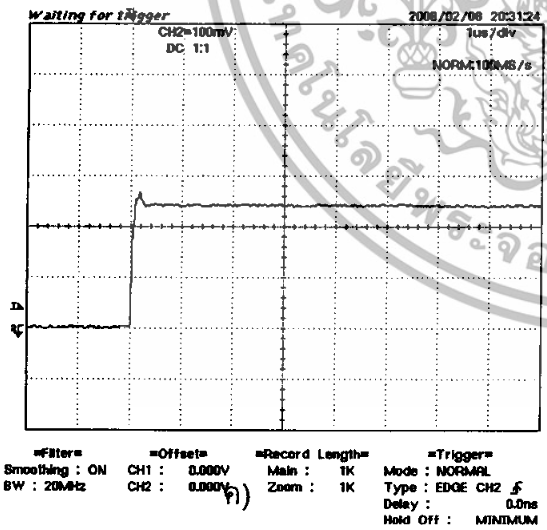
แล้วกระจายความต้านทานหน่วงแบบอนุกรมขนาด 50 Ω



ก)



ข)



ค)

รูปคลื่นสัญญาณที่วัดได้จากออสซิลโลสโคป

ก) ปรับค่า time / div 200 ns / div

ข) ปรับค่า time / div 500 ns / div

ค) ปรับค่า time / div 1 μs / div

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

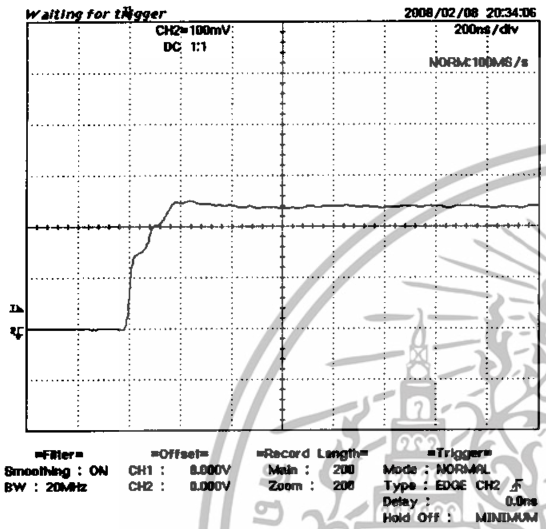
รูปที่ 4.55

ภาคแรงสูง ตัวเก็บประจุแบบฟิล์มชนิดโพลิเอสเตอร์คาปาซิเตอร์ขนาด 15 nF 27 ตัว

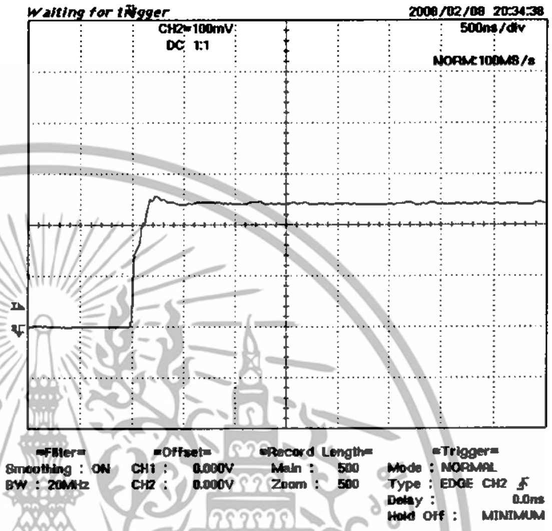
ภาคแรงต่ำ ตัวเก็บประจุแบบฟิล์มชนิดโพลิเอสเตอร์คาปาซิเตอร์ขนาด 47 nF 10 ตัว

ทำการต่อแมทชิ่งที่ภาคแรงต่ำของระบบวัด

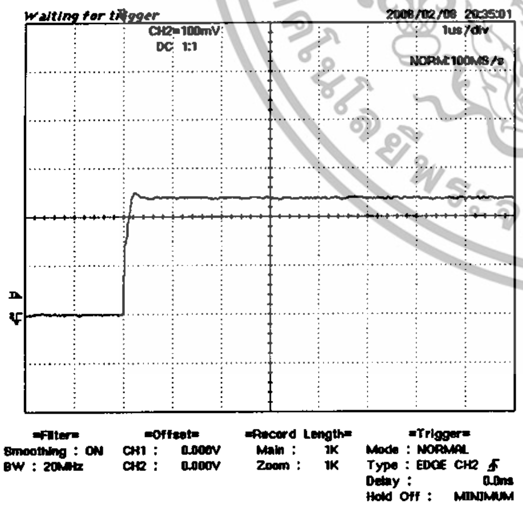
แล้วกระจายความต้านทานหน่วงแบบอนุกรมขนาด 100 Ω



ก)



ข)



ค)

รูปคลื่นสัญญาณที่วัดได้จากออสซิลโลสโคป

ก) ปรับค่า time / div 200 ns / div

ข) ปรับค่า time / div 500 ns / div

ค) ปรับค่า time / div 1 μs / div

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.56

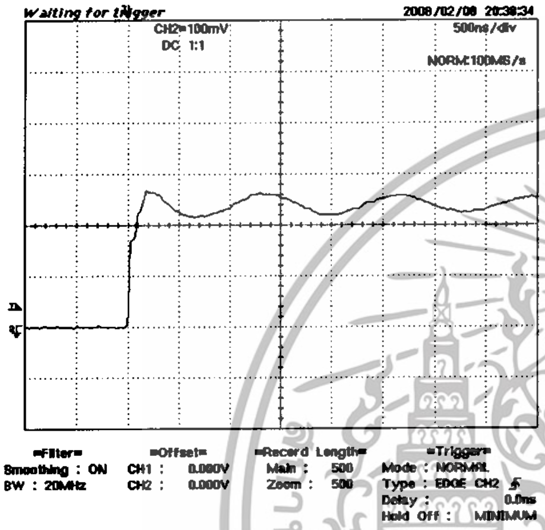
ภาคแรงสูง ตัวเก็บประจุแบบฟิล์มชนิดโพลิเอสเตอร์คาปาซิเตอร์ขนาด 15 nF 27 ตัว

ภาคแรงต่ำ ตัวเก็บประจุแบบฟิล์มชนิดโพลิเอสเตอร์คาปาซิเตอร์ขนาด 47 nF 10 ตัว

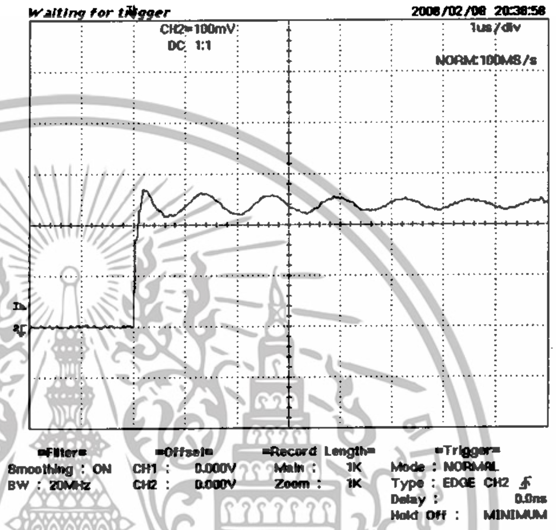
ทำการต่อแมทชิ่งที่ภาคแรงต่ำของระบบวัด

แล้วกระจายความต้านทานหน่วงแบบอนุกรมขนาด 100 Ω

และ ระบบเกิดค่าความเหนี่ยวนำ1 μH ที่ภาคแรงต่ำ 1 ค่า



ก)



ข)

รูปคลื่นสัญญาณที่วัดได้จากออสซิลโลสโคป

ก) ปรับค่า time / div 500 ns / div

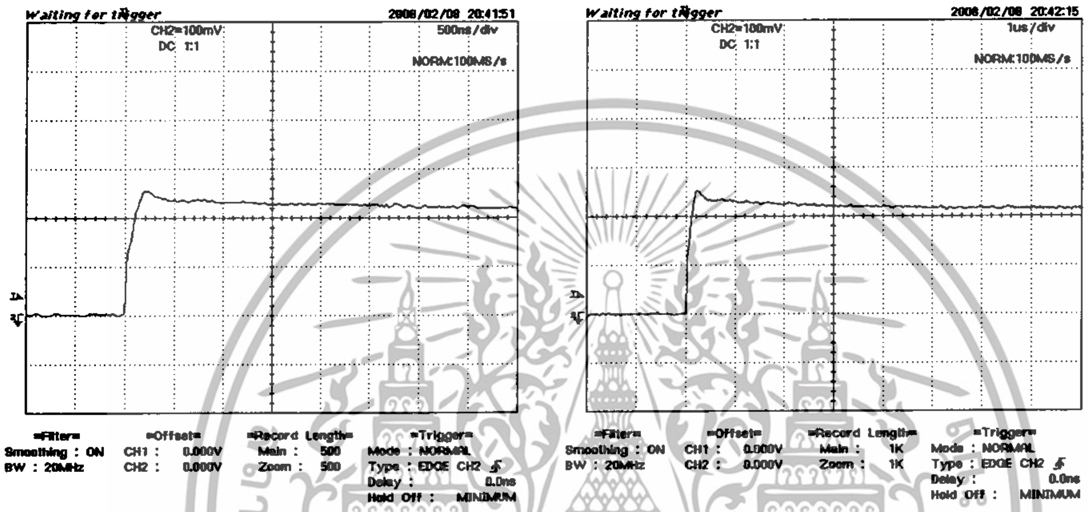
ข) ปรับค่า time / div 1 μs / div

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.57

ภาคแรงสูง ตัวเก็บประจุแบบฟิล์มชนิดโพลิเอสเตอร์คาปาซิเตอร์ขนาด 15 nF 27 ตัว

ภาคแรงต่ำ ตัวเก็บประจุแบบฟิล์มชนิดโพลิเอสเตอร์คาปาซิเตอร์ขนาด 47 nF 10 ตัว
ทำการต่อแมทชิ่งที่ภาคแรงต่ำของระบบวัด
แล้วกระจายความต้านทานหน่วงแบบอนุกรมขนาด 100 Ω
และ ระบบเกิดค่าความเหนี่ยวนำ1 μH ที่ภาคแรงสูง 1 ค่า

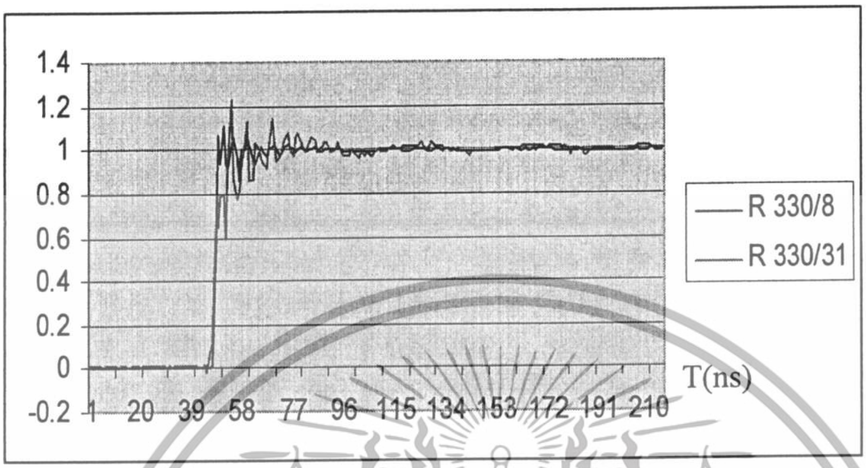


ก) ข)

รูปคลื่นสัญญาณที่วัดได้จากออสซิลโลสโคป
ก) ปรับค่า time / div 500 ns / div
ข) ปรับค่า time / div 1 μs / div

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

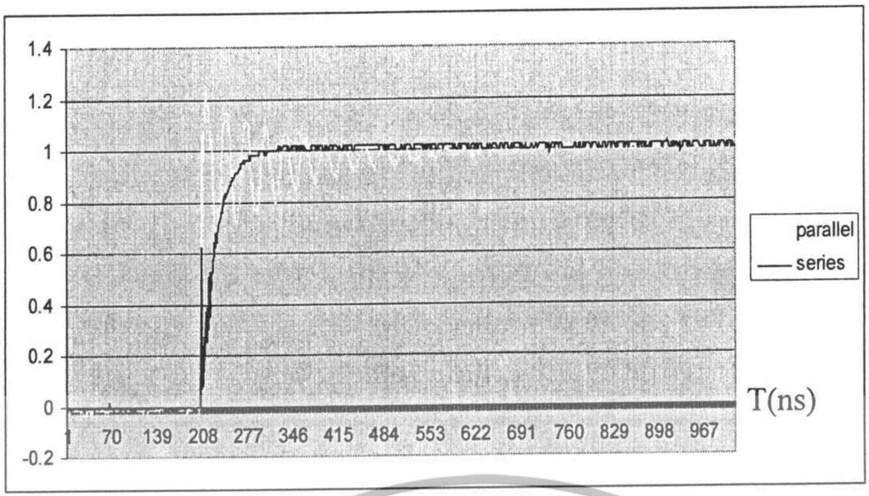
ในการวิเคราะห์ผลการทดลองจะเริ่มจากการนำผลตอบสนองรูปขั้นที่ได้ข้างต้นมาทำการนอร์มัลไลซ์ แล้วทำการเปรียบเทียบในแกนเดียวกันตามกรณีต่าง ๆที่ต้องการศึกษา ดังนี้



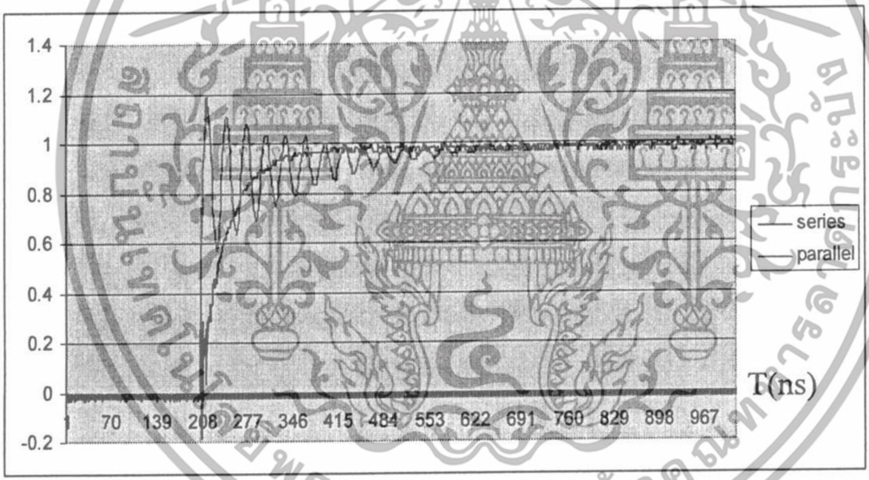
รูปที่ 4.58 การทดลองแสดงผลตอบสนองรูปขั้นของโวลเตจดิไวเดอร์ชนิดความต้านทานล้วนที่มีค่าความต้านทานต่างกัน

รูปที่ 4.59 การทดลองแสดงผลตอบสนองรูปขั้นของโวลเตจดิไวเดอร์ชนิดตัวเก็บประจุที่มีการหน่วงค่าความต้านทานหน่วงแบบอนุกรมที่ค่าต่างกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

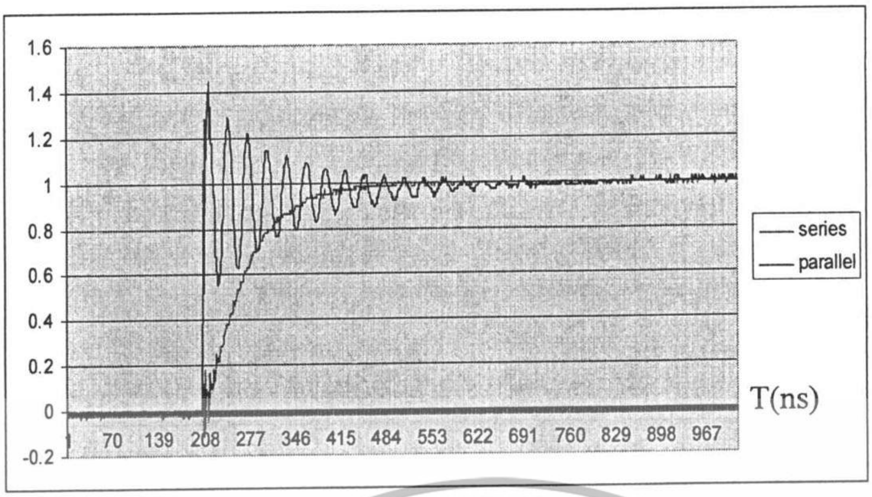


รูปที่ 4.60 การทดลองแสดงผลตอบสนองรูปขั้นของโวลเตจดิไวเดอร์ชนิดตัวเก็บประจุขนาด 15 nF ที่มีค่าความต้านทานหน่วงอนุพันธ์ย่อยเท่ากับ 150 Ω กระจายจำนวน 3 ตัว

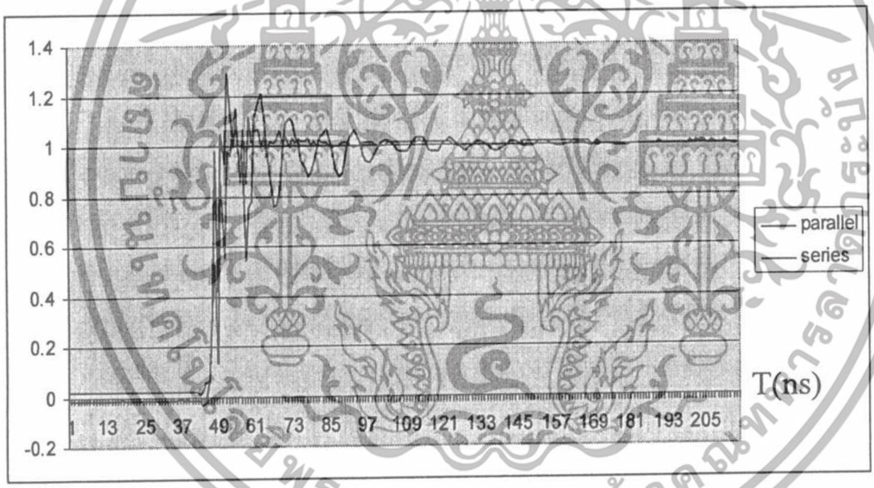


รูปที่ 4.61 การทดลองแสดงผลตอบสนองรูปขั้นของโวลเตจดิไวเดอร์ชนิดตัวเก็บประจุขนาด 15 nF ที่มีค่าความต้านทานหน่วงอนุพันธ์ย่อยเท่ากับ 150 Ω กระจายจำนวน 5 ตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

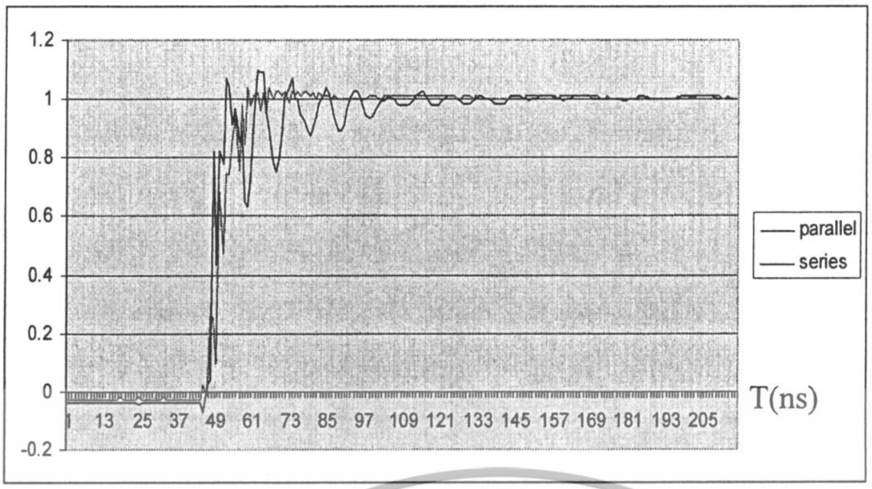


รูปที่ 4.62 การทดลองแสดงผลตอบสนองรูปขั้นของโวลเตจดิไวเดอร์ชนิดตัวเก็บประจุขนาด 15 nF ที่มีค่าความต้านทานหน่วงอนุพันธ์ย่อยเท่ากับ 330 Ω กระจายจำนวน 3 ตัว

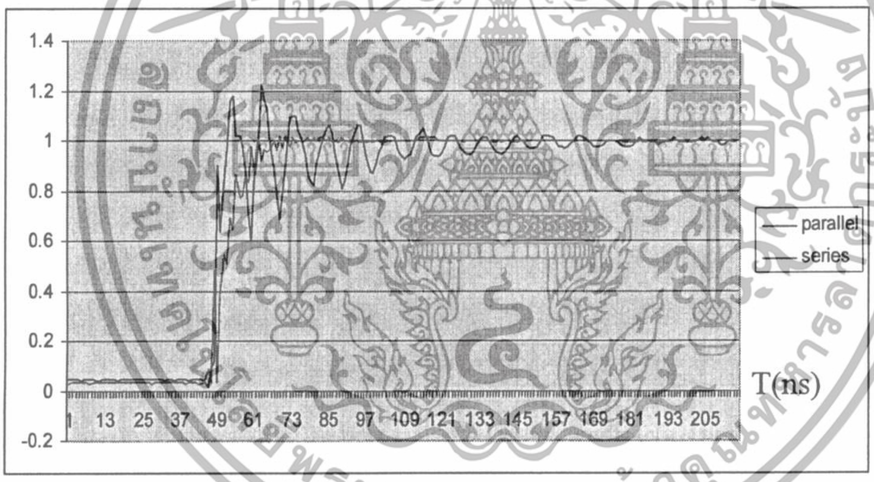


รูปที่ 4.63 การทดลองแสดงผลตอบสนองรูปขั้นของโวลเตจดิไวเดอร์ชนิดตัวเก็บประจุขนาด 1.5 nF ที่มีค่าความต้านทานหน่วงอนุพันธ์ย่อยเท่ากับ 150 Ω กระจายจำนวน 3 ตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

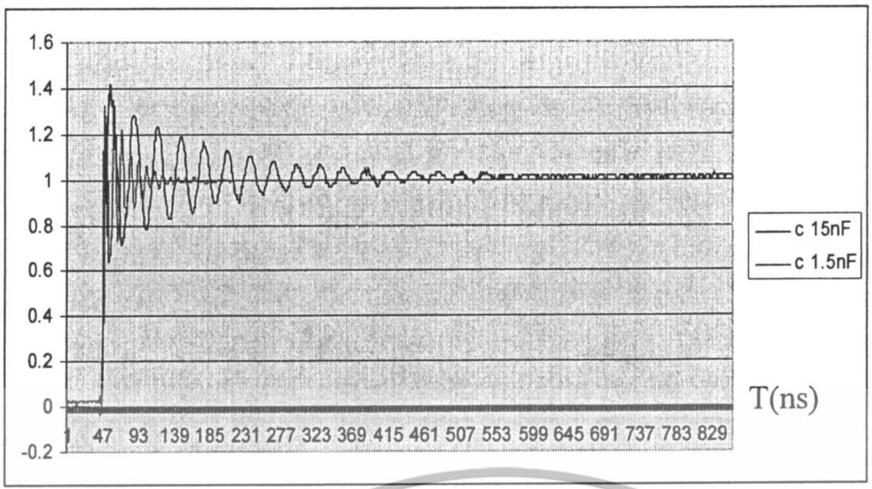


รูปที่ 4.64 การทดลองแสดงผลตอบสนองรูปขั้นของโวลเตจดิไวเดอร์ชนิดตัวเก็บประจุขนาด 1.5 nF ที่มีค่าความต้านทานหน่วงอนุพันธ์ย่อยเท่ากับ 150 Ω กระจายจำนวน 5 ตัว

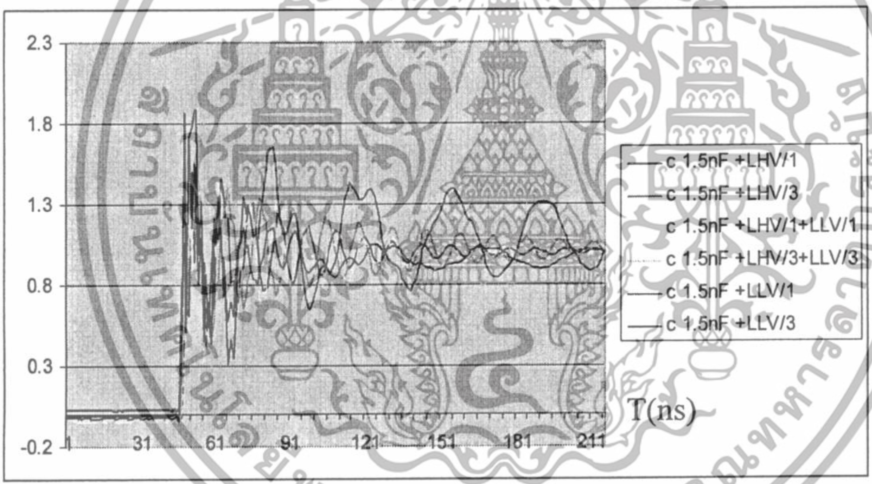


รูปที่ 4.65 การทดลองแสดงผลตอบสนองรูปขั้นของโวลเตจดิไวเดอร์ชนิดตัวเก็บประจุขนาด 1.5 nF ที่มีค่าความต้านทานหน่วงอนุพันธ์ย่อยเท่ากับ 330 Ω กระจายจำนวน 3 ตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

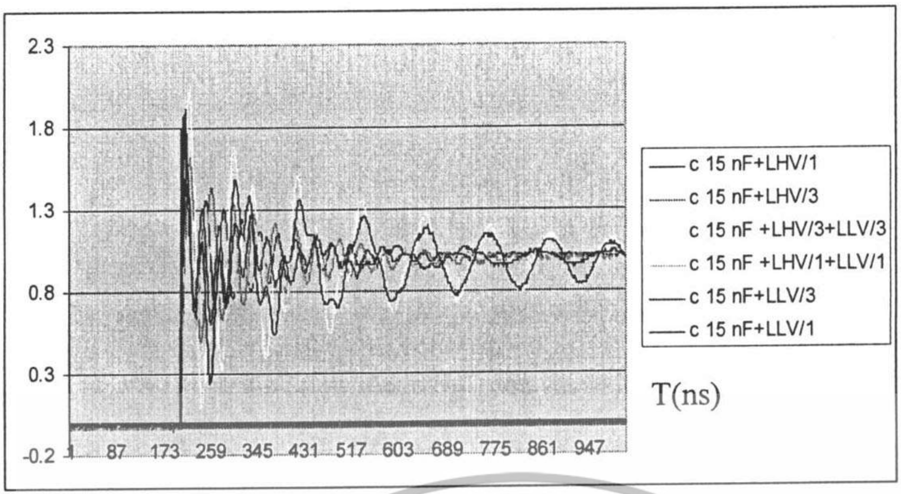


รูปที่ 4.66 การทดลองแสดงผลตอบสนองรูปขั้นของโวลเตจดิไวเดอร์ชนิดตัวเก็บประจุ เพื่อเปรียบเทียบขนาดตัวเก็บประจุ

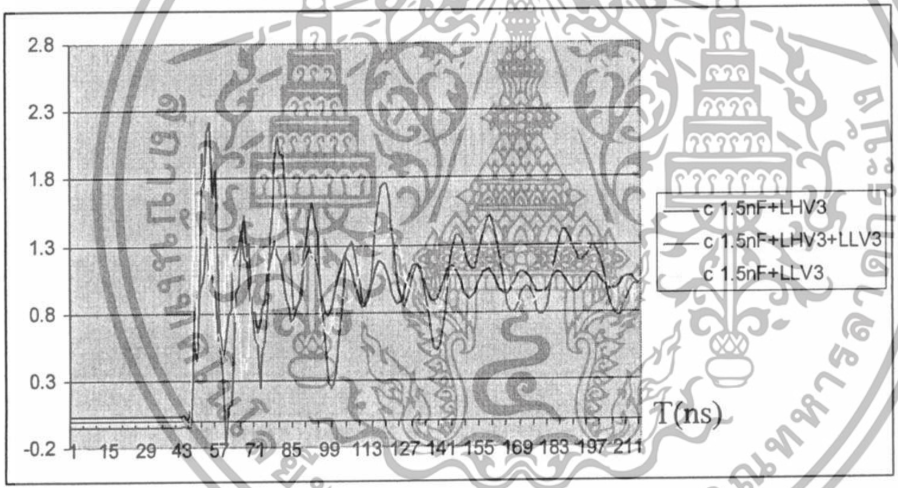


รูปที่ 4.67 การทดลองแสดงผลตอบสนองรูปขั้นของโวลเตจดิไวเดอร์ชนิดตัวเก็บประจุ ขนาด 1.5 nF ในการเปรียบเทียบผลกระทบของขนาดค่าความเหนี่ยวนำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

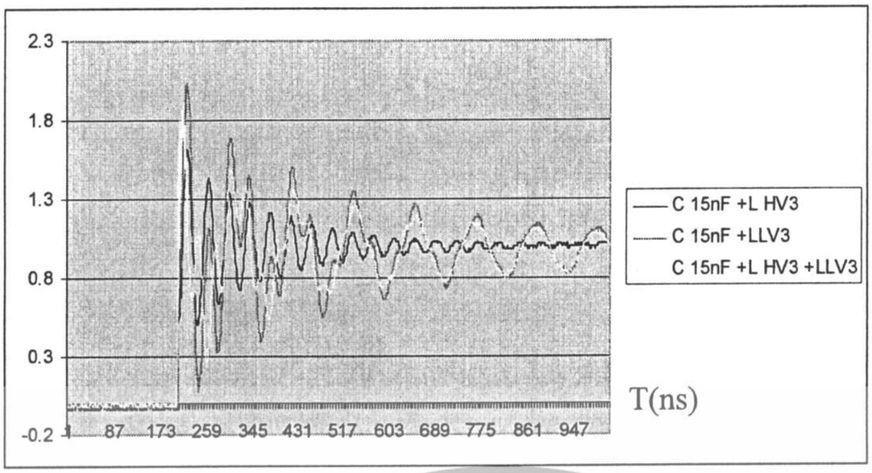


รูปที่ 4.68 การทดลองแสดงผลตอบสนองรูปขั้นของโวลเตจดิไวเดอร์ชนิดตัวเก็บประจุขนาด 15 nF ในการเปรียบเทียบผลกระทบของขนาดค่าความเหนี่ยวนำ



รูปที่ 4.69 การทดลองแสดงผลตอบสนองรูปขั้นของโวลเตจดิไวเดอร์ชนิดตัวเก็บประจุขนาด 1.5 nF เพื่อเปรียบเทียบผลกระทบของบริเวณที่เกิดค่าความเหนี่ยวนำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.70 การทดลองแสดงผลตอบสนองรูปขั้นของโวลเตจดิไวเดอร์ชนิดตัวเก็บประจุ ขนาด 15 nF เพื่อเปรียบเทียบผลกระทบของบริเวณที่เกิดค่าความเหนี่ยวนำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลการทดลอง

5.1 สรุปผลการทดลอง

ในการพัฒนาชุดทดลองการแบ่งแรงดันสูง ได้ทำการศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยต่างที่เกี่ยวข้อง รวมทั้งมาตรฐานต่างๆที่ใช้ในการทดสอบเพื่อทำการจัดเตรียมอุปกรณ์ทั้งหมดที่เกี่ยวข้อง และได้ทำการทดสอบแบบผลตอบสนองรูปขั้น (Unit Step) ตามมาตรฐาน IEC 60060-2 (1994) High Voltage Test Techniques-Part 2 : Measuring System โดยทำการทดสอบชนิดต่างๆทุกกราฟผลการทดลองจะเป็นผลทำให้ทราบถึงลักษณะต่างๆดังนี้

- ขนาดของความต้านทานและขนาดของตัวเก็บประจุนั้นมีผลต่อผลตอบสนองรูปขั้น (Unit Step Response) คือ เมื่อขนาดของความต้านทานหรือตัวเก็บประจุมีค่ามากขึ้น เวลาตอบสนองจะช้าลงจะสังเกตได้จากค่าความชันของกราฟผลการทดลองที่เกิดขึ้น

- การต่อความต้านทานหน่วง(R Damp) ใน Voltage Divider แบบตัวเก็บประจุนั้นจะต้องเลือกขนาดให้เหมาะสม เพื่อไม่ทำให้กราฟผลตอบสนอง ช้าจนเกินไป ในการทดลองนั้นเราได้แบ่งการต่อตัวต้านทานหน่วงออกเป็น 2 แบบ คือ ตัวต้านทานหน่วงต่ออนุกรม กับ ความต้านทานหน่วงแบบต่อขนาน

ความต้านทานหน่วงแบบต่ออนุกรม เราจะสังเกตรูปกราฟที่เราทดสอบได้ว่า เมื่อเราเพิ่มค่าตัวต้านทานหน่วงลงไปจะทำให้เวลาตอบสนองจะช้าลงอย่างรวดเร็วอย่างเห็นได้ชัดเจนจากกราฟผลตอบสนองรูปขั้นที่เราทดสอบ

ความต้านทานหน่วงแบบต่อขนาน เราจะสังเกตรูปกราฟที่เราทดสอบได้ว่าเมื่อเราเพิ่มค่าตัวต้านทานหน่วงลงไปจะทำให้กราฟผลตอบสนองเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อยเท่านั้น เราจะต้องทำให้กราฟผลตอบสนองรูปขั้นของ Voltage Divider แบบตัวเก็บประจุ ลดการแกว่งที่เกิดขึ้นเราจะต้องเพิ่มค่าความต้านทานหน่วงค่ามากกว่าจะทำให้การแกว่งที่เกิดขึ้นลดลง

- การทดสอบดูกราฟผลตอบสนองรูปขั้น เมื่อเราใส่ตัวเหนี่ยวนำลงไป เราจะสามารถสังเกตผลได้เลยว่ามีการเปลี่ยนแปลงของผลตอบสนองเกิดขึ้น ดังในการทดสอบเราได้ทำการทดสอบ 3 แบบ คือ ได้ใส่ตัวเหนี่ยวนำเข้าไปในภาคแรงสูง ภาคแรงต่ำ และใส่ลงไปทั้งภาคแรงสูงและแรงต่ำ

เมื่อเราใส่ตัวเหนี่ยวนำลงไปที่ภาคแรงสูงผลของกราฟผลตอบสนองรูปขั้น จะสังเกตได้ว่ารูปกราฟผลตอบสนองรูปขั้น ไม่เปลี่ยนแปลงไปเท่าไร ถึงแม้จะเพิ่มค่าตัวเหนี่ยวนำไปแล้วก็ตาม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อเราใส่ตัวเหนี่ยวนำลงไปที่ภาคแรงต่ำผลของกราฟผลตอบสนองรูปขั้น จะสังเกตได้ว่ารูปกราฟผลตอบสนองเกิดการแกว่งอย่างมาก และเมื่อเราเพิ่มค่าตัวตัวเหนี่ยวนำลงไปอีกก็ทำให้กราฟผลตอบสนองแกว่งมากยิ่งขึ้น

เมื่อเราใส่ตัวเหนี่ยวนำลงไปที่ภาคแรงสูงและภาคแรงต่ำพร้อมกัน เราจะสังเกตได้ว่าเกิดการแกว่งขึ้นทำให้เราทราบได้เลยว่าตัวเหนี่ยวนำมีผลอย่างมากต่อภาคแรงต่ำ

5.2 ปัญหาที่พบ

- ค่าที่คำนวณได้ทางทฤษฎีไม่มีขายตามท้องตลาด ทำให้อัตราส่วนแรงดันที่ได้คลาดเคลื่อน
- จุดต่อระหว่างภาคแรงสูงและภาคแรงต่ำทำออกมา ไม่เป็นไปตามที่ออกแบบไว้ ทำให้มีปัญหาเมื่อนำไปใช้วัดแรงดัน
- ชุดต่อกราวด์มีปัญหาเนื่องจากชุดทดลองภาคแรงต่ำที่ได้ออกแบบไว้มีชั้นฉนวนที่ตื้นมาก
- ข้อต่อระหว่างสายเคเบิ้ลสูงกับแรงต่ำของชุดทดลองไม่ต่อถึงกันอย่างแนบสนิท ทำให้วงจรการทดสอบไม่ครบวงจร
- แผ่น PCB ที่ตัดเป็นสล็อตบางตัวชำรุดเสียหาย ทำให้สัญญาณที่เข้าสโคปจึงผิดเพี้ยน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

1. ประเสริฐ รังสีโสภณอาภรณ์. การออกแบบและสร้างอิมพัลส์โวลเตจดิไวเดอร์ขนาด 1000 กิโลโวลต์, วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า, บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2539
2. Kuffel, E. and Zaengl, W.S., High Voltage Engineering Fundamental, Pergamon Press, Oxford, 2[st] ed., 1984
3. IEC Publication 60-2, 1994, High Voltage Test Techniques-Part 2:Measuring System
4. สำรวย สังข์สะอาด, วิศวกรรมไฟฟ้าแรงสูง, ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพมหานคร
5. นรเศรษฐ พัฒนเดช, เอกสารประกอบการสอนวิชาวัสดุทางวิศวกรรมไฟฟ้า, ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, กรุงเทพมหานคร, 2548

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้จัดทำ

นาย พรเทพ กิตติรุ่งเรือง ชื่อเล่น เทพ รหัส 47010484 4B
วันที่เกิด 23 มกราคม พ.ศ. 2528
ที่อยู่ปัจจุบัน 4/1020 หมู่ 4 แขวงคลองกุ่ม เขตบึงกุ่ม กรุงเทพฯ 10240
มัธยมศึกษาตอนต้น โรงเรียนบดินทรเดชา (สิงห์ สิงหเสนี) ๒
มัธยมศึกษาตอนปลาย โรงเรียนบดินทรเดชา (สิงห์ สิงหเสนี) ๒
ปริญญาตรี สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
อีเมลล์ eik_q747@hotmail.com โทรศัพท์ 083-1889342

นาย วิษณุ ภูพวก ชื่อเล่น หนุ่ม รหัส 47010720 4B
วันที่เกิด 26 ธันวาคม พ.ศ. 2527
ที่อยู่ปัจจุบัน 186/1 ม.5 ตำบลดูน อำเภอกันทรารมย์ จังหวัดศรีสะเกษ 33130
มัธยมศึกษาตอนต้น โรงเรียนจุฬาภรณราชวิทยาลัย
มัธยมศึกษาตอนปลาย โรงเรียนเบ็ญจะมะมหาราช
ปริญญาตรี สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
อีเมลล์ witsanu.p@hotmail.com โทรศัพท์ 085-8602217

นาย ศุภฤกษ์ สุรเชษฐ์ชัยพงศ์ ชื่อเล่น เอก รหัส 47010784 4B
วันที่เกิด 1 มกราคม พ.ศ. 2529
ที่อยู่ปัจจุบัน 97 ซ.นราธิวาสฯ 6 แขวงยานนาวา เขตสาทร กรุงเทพฯ 10120
มัธยมศึกษาตอนต้น โรงเรียนวัดสุทธิวราราม
มัธยมศึกษาตอนปลาย โรงเรียนวัดสุทธิวราราม
ปริญญาตรี สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
อีเมลล์ eak_power43@hotmail.com โทรศัพท์ 084-1568187

นาย สมนึก พัฒนชัย ชื่อเล่น ต้อ รหัส 47010803 4B
วันที่เกิด 3 ธันวาคม พ.ศ. 2528
ที่อยู่ปัจจุบัน 117 หมู่12 ตำบลหนองแหวง อำเภอละหานทราย จังหวัดบุรีรัมย์
มัธยมศึกษาตอนต้น โรงเรียนละหานทรายรัชดาภิเษก
มัธยมศึกษาตอนปลาย โรงเรียนละหานทรายรัชดาภิเษก
ปริญญาตรี สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
อีเมลล์ asus_43@hotmail.com โทรศัพท์ 084-0836892

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้