

USE OF BALLISTIC GALVANOMETER PRINCIPLE IN RADIATION DOSE MEASUREMENT
UTILISING THE CADMIUM SULPHIDE PHOTOCONDUCTIVE CELL AS DETECTOR

Mr. Paisert Thummanuthum

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

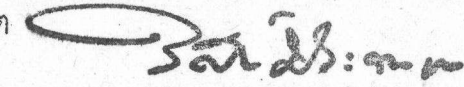
Department of Nuclear Technology

Graduate School

Chulalongkorn University

1977

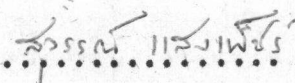
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วน
หนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาโทบัณฑิต

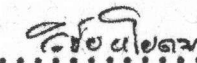


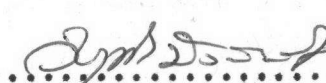
(ศาสตราจารย์ ดร. วิศิษฐ์ ประจวบเหมาะ)

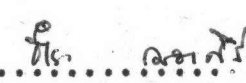
คณบดี

คณะกรรมการตรวจวิทยานิพนธ์

.....  ประธานกรรมการ
(ศาสตราจารย์ สุวรรณ แสงเพชร)

.....  กรรมการ
(ศาสตราจารย์ วิชัย หโยคม)

.....  กรรมการ
(อาจารย์ วิรุฬห์ มังคละวิรัช)

.....  กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ชำรง เมธาศิริ)

อาจารย์ผู้ควบคุมการวิจัย

ศาสตราจารย์ วิชัย หโยคม

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์เรื่อง การใช้หลักการกัลวานอิมิตอร์บอลลิสติกวัคโคสของรังสีโคโยมีเซลล์
โฟโตคอนดักตีฟแคดเมียมซัลไฟด์เป็นหัววัด

โดย นายไพเสริฐ ธรรมมานุธรรม
แผนกวิชา นิวเคลียร์เทคโนโลยี

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การใช้หลักการกัลวานอิมิตอร์แบบบอลดิสติก วัดโคสของรังสีโดยมีเซลล์
ไฟโตคอนคักทีฟแคดเมียมซัลไฟด์เป็นหัววัด

ชื่อ นายไพเสวีรุ ธรรมมานุธรรม แผนกวิชา นิเวศเคัลยร์เทคโนโลยี

ปีการศึกษา 2519

บทคัดย่อ



ได้ประกอบอุปกรณ์วัดโคสของรังสีเอ็กซ์ โดยใช้แคดเมียมซัลไฟด์เป็นหัววัด โดยต่ออนุกรมกับคาปาซิเตอร์ หลักการมีโดยย่อว่าปกติแคดเมียมซัลไฟด์ เมื่อไม่ถูกแสงสว่างหรือรังสีจะมีความต้านทานสูงมาก แต่เมื่อถูกแสงสว่างหรือรังสีความต้านทานจะลดลง ดังนั้นขณะที่แคดเมียมซัลไฟด์กำลังรับรังสี จะมีประจุส่วนหนึ่งคายออกจากคาปาซิเตอร์จะผ่านแคดเมียมซัลไฟด์ และวัดประจุที่เหลือโดยใช้หลักการของบอลดิสติกกัลวานอิมิตอร์

ในการทดลองได้ใช้เครื่องมือที่ประกอบแล้วนี้วัดรังสีเอ็กซ์ โดยใช้โคสสูงสุดประมาณ 1300 มิลลิเริงเกินซ์ และโคสเรทสูงสุดประมาณ 830 มิลลิเริงเกินซ์ต่อวินาที ผลปรากฏว่าที่โคสต่ำมาก โคสเรทที่แตกต่างกันไม่มีผลต่อค่าที่วัดได้มากนัก แต่ถ้าเพิ่มโคสให้สูงขึ้นเรื่อย ๆ ผลการอ่านโคสเดียวกันแต่มีโคสเรทต่างกันจะได้ค่าแตกต่างกัน แสดงว่าแคดเมียมซัลไฟด์ใช้รับโคสสูงไม่ได้ผล นอกจากนั้นยังแสดงอาการอิมิตัวคือ อ่านค่าได้เกือบคงที่ ถึงแม้จะเพิ่มโคสขึ้นไปเรื่อย ๆ

จึงสรุปได้ว่า แคดเมียมซัลไฟด์เป็นเครื่องมือวัดรังสีได้ในช่วง 0-20 มิลลิเริงเกินซ์เท่านั้น และการอิมิตัวอาจเกิดขึ้นเมื่อวัดโคสเพียง 300 มิลลิเริงเกินซ์

Thesis Title Use of Ballistic Galvanometer Principle in Radiation
Dose Measurement Utilising the Cadmium Sulphide Pho-
toconductive Cell as Detector.

Name Mr. Paisert Thummanuthum ; Depart : Nuclear Technology

Academic Year 1976

ABSTRACT

A dose measuring device for X-radiation using a cadmium sulphide cell in series with a capacitor as detector is made. The device is based on the fact that the very high electrical resistance of the cadmium sulphide cell could be reduced by exposure to light or radiation. During the irradiation some electrical charge will flow from the charged capacitor through the cadmium sulphide cell, the remaining charge could therefore be measured by means of a ballistic galvanometer.

In the experiments, this device was exposed to X-radiation up to a maximum dose of 1300 mR and a maximum dose rate of 830 mR/sec. The results showed that it was a dose-rate independent device when used at very low dose, but at high dose, it wasn't i.e. giving different results for the same dose of different dose rates. Besides, the cadmium sulphide cell showed saturation when measured up to some doses. These indicated that cadmium sulphide cell fails to be a good detector at high dose.

The device is considered to be useful in the range of
0 - 20 mR ; saturation may occur at only 300 mR .

กิติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ สำเร็จลงได้ด้วยความช่วยเหลือและแนะนำ ทั้งทางด้านวิชาการและการทดลองจาก ศาสตราจารย์ วิชัย หโยคม ซึ่งเป็นอาจารย์ผู้ควบคุมการวิจัย ทั้งยังได้ให้ความกรุณาในการตรวจทาน แก้ไข จนวิทยานิพนธ์นี้สำเร็จได้ด้วยดี ซึ่งผู้เขียนขอกราบขอบพระคุณไว้ ณ โอกาสนี้

นอกจากนี้ผู้เขียนขอขอบพระคุณ กรมวิทยาศาสตร์การแพทย์ ที่ได้กรุณาอนุญาตให้ใช้ห้องปฏิบัติการรังสี ตลอดจนเครื่องมือต่าง ๆ ที่ใช้ในการทดลอง

สุดท้ายนี้ผู้เขียนขอขอบคุณ คุณโอฬาร บัวผ่อง คุณเสนาะ ธรรมรักษา และขอขอบคุณเป็นพิเศษแก่ คุณโกมล เมาะงาม ที่มีส่วนช่วยให้วิทยานิพนธ์นี้สำเร็จไปได้ด้วยดี



สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
กิตติกรรมประกาศ	ช
รายการตารางประกอบ	ฉ
รายการภาพประกอบ	ค



บทที่

1. บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาของปัญหา	1
1.2 การสำรวจวิจัยอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้องกับซึ่งได้กระทำมาแล้ว	1
1.3 วัตถุประสงค์และขอบเขตวิจัย	3
1.4 แผนการวิจัย	3
2. ริงส์ไอเกิ้ล และเครื่องกำเนิดริงส์ไอเกิ้ล	4
2.1 หลอดริงส์ไอเกิ้ล	4
2.2 ชนิดของหลอดริงส์ไอเกิ้ล	5
2.2.1 หลอดริงส์ไอเกิ้ลสำหรับวินิจฉัยโรค	5
2.2.2 หลอดริงส์ไอเกิ้ลสำหรับรักษาโรค	5
2.3 ขบวนการเกิดริงส์ไอเกิ้ล	5
2.3.1 อันตรกิริยาของอิเล็กตรอน	5
2.3.1.1 พลังงานของอิเล็กตรอนที่สูญหายไปเนื่องจากการชน	7
2.3.1.2 พลังงานของอิเล็กตรอนที่สูญหายไปเนื่องจากการเกิดริงส์ไอเกิ้ล	7
2.3.2 ริงส์ไอเกิ้ลเฉพาะ	8

2.3.3	เบรมสตราลุง	8
2.4	ความยาวคลื่นต่ำสุด	10
2.5	ประสิทธิภาพของหลอดรังสีเอ็กซ์	13
2.6.1	ความต่างศักย์	15
2.6.2	กระแส	15
2.6.3	ระยะทาง	17
2.6.4	ตัวกรอง	17
3.	บอลลิสติกัลวานอมิเตอร์	18
3.1	ทฤษฎีของบอลลิสติกัลวานอมิเตอร์	18
3.1.1	ในกรณีที่ประจุไฟฟ้าผ่านกัลวานอมิเตอร์แปรตามเวลา	19
3.1.2	ในกรณีที่ประจุไฟฟ้าผ่านกัลวานอมิเตอร์เป็นแบบทันทีทันใด	24
4.	แคคเมียมซัลไฟด์	26
4.1	ทฤษฎีการนำไฟฟ้า	27
4.2	ความเร็วของการตอบสนอง	30
4.3	โพรมิ่ง	31
5.	วิธีดำเนินการทดลอง	34
5.1	อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง	34
5.1.1	เครื่องกำเนิดรังสีเอ็กซ์	34
5.1.2	แคคเมียมซัลไฟด์เซลล์	34
5.1.3	คาปาซิเตอร์	34
5.1.4	กัลวานอมิเตอร์	34
5.1.5	เครื่องมือวัดรังสีเอ็กซ์	34
5.2	การทดลอง	35

5.2.1 ทดสอบความไวของคาปาซิเตอร์กับมาตรวัดไมโครแอมมิเตอร์	35
5.2.2 ทดสอบความไวของคาปาซิเตอร์กับมาตรวัดความต่างศักย์ไฟฟ้า	35
5.2.3 ทดสอบคุณสมบัติของแคคเมียมซัลไฟด์ที่โคสเรตต่าง ๆ โดยโคสรวม เท่ากัน	36
5.2.4 ทดสอบคุณสมบัติของแคคเมียมซัลไฟด์ที่พลังงานของรังสีเอ็กซ์ต่าง ๆ กัน โดยมีโคสของรังสีเอ็กซ์คงที่	37
5.2.5 ทดลองหาเปอร์เซ็นต์ที่ประจุนั่วจากคาปาซิเตอร์	37
6. สรุปผลและวิจารณ์	61
บรรณานุกรม	64
ประวัติการศึกษา	66

รายการตารางประกอบ

ตารางที่		หน้า
2-1	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าพลังงานเอฟเฟกต์ฟลักซ์กับค่า H.V.L.	15
5-1	ความสัมพันธ์ระหว่างแรงเคลื่อนไฟฟ้าของแบตเตอรี่กับจำนวนช่องที่เข็มคิกไป เมื่อใช้มาตรวัดไมโครแอมแปร์ ใช้คาปาซิเตอร์ขนาด 0.5 ไมโครฟารัด ต่อกับมาตรวัดไมโครแอมแปร์ และใช้ความต้านทานขนาดต่าง ๆ ต่อกับมาตรวัดไมโครแอมแปร์	38
5-2	ความสัมพันธ์ระหว่างแรงเคลื่อนไฟฟ้าของแบตเตอรี่กับจำนวนช่องที่เข็มคิกไป เมื่อใช้มาตรวัดความต่างศักย์ ใช้คาปาซิเตอร์ 0.1 ไมโครฟารัด ต่อกับมาตรวัดไมโครแอมแปร์	39
5-3	ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณรังสีเอกซ์กับจำนวนช่องที่เข็มคิกไป เมื่อใช้มาตรวัดไมโครแอมแปร์ โดยต่อกับความต้านทานขนาด 870 KΩ วัดจากคาปาซิเตอร์ขนาด 0.5 ไมโครฟารัด ใช้แคดเมียมซัลไฟด์ต่อกับความต้านทานขนาดต่าง ๆ และใช้แบตเตอรี่ขนาด 18.46 โวลต์ ใช้เวลาในการอาบรังสีเอกซ์ 1.0 วินาทีคงที่	40
5-4	ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณรังสีเอกซ์กับจำนวนช่องที่เข็มคิกไป เมื่อใช้มาตรวัดไมโครแอมแปร์ โดยต่อกับความต้านทานขนาด 870 KΩ วัดจากคาปาซิเตอร์ขนาด 0.5 ไมโครฟารัด ใช้แคดเมียมซัลไฟด์ต่อกับความต้านทานขนาดต่าง ๆ และใช้แบตเตอรี่ขนาด 18.46 โวลต์ ใช้เวลาในการอาบรังสีเอกซ์ 2.0 วินาทีคงที่	40
5-5	ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณรังสีเอกซ์กับจำนวนช่องที่เข็มคิกไป เมื่อใช้มาตรวัดความต่างศักย์ วัดจากคาปาซิเตอร์ขนาด 0.1 ไมโครฟารัด ใช้แคดเมียมซัลไฟด์ต่อกับความต้านทานขนาด 0, 10.0 เมกกะโอม และใช้แบตเตอรี่ขนาด 18.46 โวลต์ ใช้เวลาในการอาบรังสีเอกซ์ 0.6 วินาทีคงที่	41

- 5-6 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณรังสีเอ็กซ์กับจำนวนช่องที่เข็มคีดไป เมื่อใช้
มาตรวัดความตางศักย์ วัดจากคาปาซิเตอร์ขนาด 0.1 ไมโครฟารัด
ใช้แคดเมียมซัลไฟด์คอนนุกรมกับความต้านทานขนาด 0, 10.0 เม็กกะโอห์ม
และใช้แบตเตอรี่ขนาด 18.46 โวลต์ ใช้เวลาในการอาบรังสี 1.0 วินาทีคงที่... 42
- 5-7 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณรังสีเอ็กซ์จำนวนช่องที่เข็มคีดไป เมื่อใช้มาตรวัด
ความตางศักย์ วัดได้จากคาปาซิเตอร์ขนาด 0.1 ไมโครฟารัด ใช้แคดเมียม-
ซัลไฟด์คอนนุกรมกับความต้านทานขนาด 0, 10.0 เม็กกะโอห์มและแบตเตอรี่
18.46 โวลต์ ใช้เวลาในการอาบรังสีเอ็กซ์ 2.0 วินาทีคงที่ 43
- 5-8 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณรังสีเอ็กซ์กับจำนวนช่องที่เข็มคีดไป เมื่อใช้มาตรวัด
ความตางศักย์ วัดได้จากคาปาซิเตอร์ขนาด 0.1 ไมโครฟารัด ใช้แคดเมียม-
ซัลไฟด์คอนนุกรมกับความต้านทานขนาด 0, 10.0 เม็กกะโอห์ม และใช้แบตเตอรี่
ขนาด 18.46 โวลต์ ใช้เวลาในการอาบรังสีเอ็กซ์ 2.0 วินาทีคงที่ 44
- 5-9 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณรังสีเอ็กซ์กับจำนวนช่องที่เข็มคีดไป เมื่อใช้มาตร
วัดความตางศักย์ วัดได้จากคาปาซิเตอร์ขนาด 0.1 ไมโครฟารัด ใช้แคดเมียม
ซัลไฟด์คอนนุกรมกับความต้านทาน 0, 10.0 เม็กกะโอห์ม และใช้แบตเตอรี่
ขนาด 18.46 โวลต์ ใช้เวลาอาบรังสีเอ็กซ์ 5.6 วินาทีคงที่ 45
- 5-10 ความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานเฉลี่ยของรังสีเอ็กซ์กับจำนวนช่องที่เข็มคีดไปเมื่อ
ใช้มาตรวัดความตางศักย์ วัดจากคาปาซิเตอร์ขนาด 0.1 ไมโครฟารัด โดยใช้
ปริมาณรังสีเอ็กซ์ 100 mR และเวลาอาบรังสีเอ็กซ์ 2.8 วินาทีคงที่ ใช้แบต -
เตอรี่ขนาด 18.46 โวลต์ 46
- 5-11 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลากับเปอร์เซ็นต์การรั่วของคาปาซิเตอร์ โทโยใช้
มาตรวัดความตางศักย์ วัดจากคาปาซิเตอร์ขนาด 0.1 ไมโครฟารัด 47

รายการภาพประกอบ

รูปที่		หน้า
2-1.1	แสดงหลอดรังสีเอกซ์วินิจฉัยโรค	6
2-1.2	แสดงหลอดรังสีเอกซ์รักษาโรค	6
2-2	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มกับพลังงานของโฟตอน เมื่ออิเล็กตรอน วิ่งเข้าชนเป้าด้วยพลังงาน 65, 100, 150 และ 200 กิโลโวลต์ เส้นไข ปลาไคจากการคำนวณผลการ (2-2) เส้นหนักเป็นรังสีเอกซ์ที่ผ่านการ กรองด้วยอลูมิเนียมหนา 1 มม.	9
2-3	แสดงผลของตัวกรองที่มีต่อพลังงานเฉลี่ยของรังสีเอกซ์	14
2-4	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความหนาครึ่งกึ่งกับค่าพลังงานเฉลี่ย- ของรังสีเอกซ์สำหรับตัวกรองอลูมิเนียมและทองแดง	16
3-1	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างมุมที่กัควานอิมเตอร์ เบียง เบนไป ($\theta/KCE_0/P$) กับเวลาต่าง ๆ กัน โดยมีค่า $\frac{k}{2P} = \frac{1}{4}$ และค่า α มีขนาดต่าง ๆ กัน	21
4-1	แสดงการเหนี่ยวนำกระแสไฟฟ้าในแกนเมียมซัลไฟด์	27
4-2	กราฟแสดงการเหนี่ยวนำกระแสในแกนเมียมซัลไฟด์กับเวลา ภายหลัง จากการฉายรังสี- ๕ โกลเรท 1 R/hr (ดูจากแหล่งที่เด้าหน้า 315) ก. ภายหลังจากที่เก็บไว้ในที่มืดเป็นระยะ เวลาต่าง ๆ โดยไม่ได้ฉาย รังสี. ช่วงเวลาจาก 10 นาทีถึง 12 วัน ข. แสดงถึงการโพรมิงกระแสที่เหนี่ยวนำในแกนเมียมซัลไฟด์เซด โดยเก็บไว้ไม่ได้ฉายรังสีเป็นเวลายาวนาน (เส้นกราฟล่าง) และในผลึกเดียวกันนำไปโพรมิงด้วยรังสี- ๕ โกลเรท 35 mR/hr เป็นเวลา 4 วัน	32
5-1	แสดงวงจรที่ใช้ในการทดลอง	33

5-1	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนช่องที่วัดได้ โดยใช้มาตรวัดไมโครแอมป์กับแรงเคลื่อนไฟฟ้าจากแบตเตอรี่ขนาดต่าง ๆ ใช้คาปาซิเตอร์ขนาด 0.5 ไมโครฟารัด และมีความต้านทานขนาดต่าง ๆ	
	คือนุกรมกับมาตรวัด	48
5-2	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนช่องที่วัดได้โดยใช้มาตรวัดความต่างศักย์กับแรงเคลื่อนไฟฟ้าจากแบตเตอรี่ขนาดต่าง ๆ ใช้คาปาซิเตอร์ขนาด 0.1 ไมโครฟารัด	49
5-3	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนช่องที่วัดได้โดยใช้มาตรวัดไมโครแอมมิเตอร์กับปริมาณรังสีเอ็กซ์ ใช้ความต้านทานขนาดต่าง ๆ คือนุกรมกับแคคิเมียมซัลไฟด์ ใช้เวลาอาบรังสีเอ็กซ์ 1.0 วินาทีและคาปาซิเตอร์ขนาด 0.5 ไมโครฟารัด	50
5-4	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนช่องที่วัดได้โดยใช้มาตรวัดไมโครแอมป์กับปริมาณรังสีเอ็กซ์ ใช้ความต้านทานขนาดต่าง ๆ คือนุกรมกับแคคิเมียมซัลไฟด์ ใช้เวลาอาบรังสีเอ็กซ์ 2.0 วินาที และคาปาซิเตอร์ขนาด 0.5 ไมโครฟารัด	51
5-5	แสดงการเปรียบเทียบของเส้นกราฟโดยใช้ความต้านทานขนาด 10.0 เม็กกะโอห์มคือนุกรมกับแคคิเมียมซัลไฟด์ ใช้เวลาอาบรังสีเอ็กซ์ต่าง ๆ กัน	52
5-6	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนช่องที่วัดได้โดยใช้มาตรวัดความต่างศักย์กับปริมาณรังสีเอ็กซ์ ใช้ความต้านทาน 0, 10.0 เม็กกะโอห์มคือนุกรมกับแคคิเมียมซัลไฟด์ ใช้เวลาอาบรังสีเอ็กซ์ 0.6 วินาที และคาปาซิเตอร์ขนาด 0.1 ไมโครฟารัด	53
5-7	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนช่องที่วัดได้โดยใช้มาตรวัดความต่างศักย์กับปริมาณรังสีเอ็กซ์ ใช้ความต้านทาน 0, 10.0 เม็กกะโอห์มคือนุกรมกับแคคิเมียมซัลไฟด์ ใช้เวลาอาบรังสีเอ็กซ์ 1.0	

วินาที และคาปาซิเตอร์ขนาด 0.1 ไมโครฟารัด 54

5-8 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนของที่วัดได้โดยใช้มาตร วัดความ
ต่างศักย์กับปริมาณรังสีเอ็กซ์ ใช้ความต้านทาน 0, 10.0 เม็กกะ-
โอมต่ออนุกรมกับแคดเมียมซัลไฟด์ ใช้เวลาอาบรังสีเอ็กซ์ 1.0
วินาที และคาปาซิเตอร์ขนาด 0.1 ไมโครฟารัด 55

5-9 แสดงการ เปรียบเทียบของ เส้นกราฟที่ใช้ความต้านทานขนาด
10.0 เม็กกะโอมต่ออนุกรมกับแคดเมียมซัลไฟด์ ใช้เวลาอาบ
รังสีเอ็กซ์ต่าง ๆ กัน 56

5-10 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนของที่วัดได้โดยใช้มาตร วัดความ
ต่างศักย์กับปริมาณรังสีเอ็กซ์ ใช้ความต้านทานขนาด 0, 10.0
เม็กกะโอมต่ออนุกรมกับแคดเมียมซัลไฟด์ ใช้เวลาอาบรังสีเอ็กซ์
ต่าง ๆ กัน และคาปาซิเตอร์ขนาด 0.1 ไมโครฟารัด 57

5-11 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณรังสีเอ็กซ์กับจำนวนของที่เข็มชี้
ไปโดยขยายจากกราฟรูปที่ (5-10) 58

5-12 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนของที่วัดได้ต่อ 100 มิลลิเรินจ์
กับค่าพลังงานเฉลี่ยของรังสีเอ็กซ์ โดยใช้เวลาอาบรังสีเอ็กซ์ 2.0
วินาที และคาปาซิเตอร์ขนาด 0.1 ไมโครฟารัด 59

5-13 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง เปอร์เซ็นต์ของการรั่วของประจุจากคาปา-
ซิเตอร์ขนาด 0.1 ไมโครฟารัดกับเวลาต่าง ๆ กัน 60