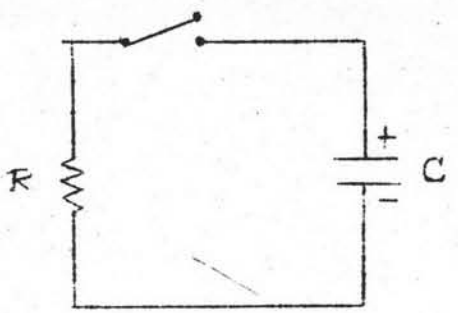
หอสมุดกลาง จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 2

ทฤษฎี อุปกรณ์ และการทดลอง



รูปที่ 2.1 แสดงวงจรการรั่วของประจุ ซึ่งประกอบด้วยความต้านทานต่ออนุกรมกับคาปาซิเตอร์

2.1 วงจรความต้านทานกับคาปาซิเตอร์

คาปาซิเตอร์ที่ประจุไฟไว้เต็มเมื่อต่ออนุกรมกับความต้านทาน และสับสวิทช์จะเกิดการรั่วของประจุผ่านความต้านทานนั้น ซึ่งสามารถจะคำนวณหาประจุที่เหลือได้ดังนี้ จากวงจรรูปที่ 2.1

กำหนดให้ C เป็นความจุของคาปาซิเตอร์ (ฟารัด)

R เป็นค่าความต้านทาน (โอห์ม)

q_o เป็นจำนวนประจุเริ่มต้น (คูลอมบ์)

q เป็นจำนวนประจุที่เวลาใด ๆ หลังจากสับสวิทช์ปิดวงจร (คูลอมบ์)

t เป็นเวลา (วินาที)

จากกฎของ Kirchoff

$$Ri + \frac{q}{C} = R\frac{dq}{dt} - \frac{q}{C} = 0$$

$$R\frac{dq}{dt} - \frac{q}{C} = 0$$

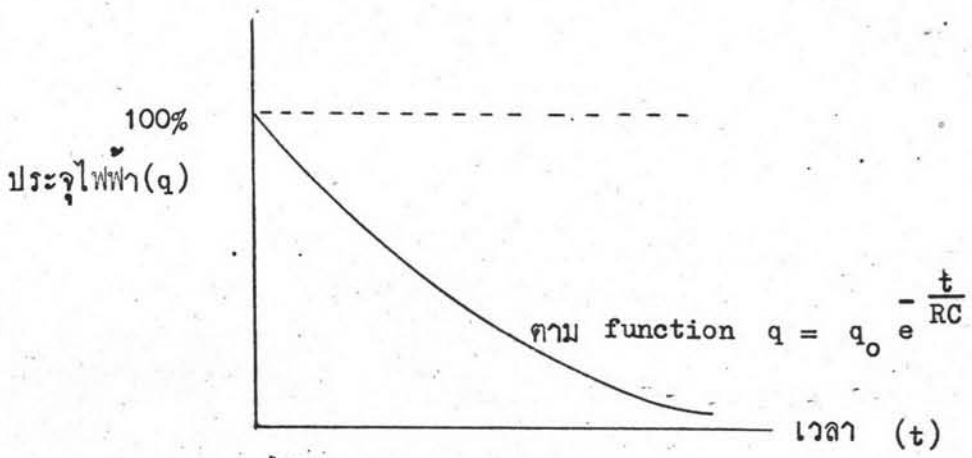
$$-\frac{dq}{q} = \frac{1}{RC}\,dt$$

$$-\int_{q_o}^{q}\frac{dq}{q} = \int_{t=o}^{t}\frac{1}{RC}\,dt$$

$$\ln\frac{q_o}{q} = -\frac{t}{RC}$$

$$q = q_o\, e^{-\frac{t}{RC}}$$

นำมาเขียนกราฟจะได้ ดังรูป



รูปที่ 2.2 แสดงกราฟการรั่วของประจุกับช่วงเวลาของการรั่วประจุ

หอสมุดกลาง

RC มีหน่วยเป็นเวลาเรียกว่า Time constant ซึ่งหมายความว่าเป็นเวลาที่ประจุ q จะรั่วลงเหลือ $\frac{1}{e}$ ของ q_0 หรือประมาณ37% ของ q_0 ถ้า $\frac{t}{RC} \ll 1, e^{-\frac{t}{RC}}$ สามารถจะกระจายเป็นอนุกรมได้ คือ

$$= (1 - \frac{t}{RC}) + \ldots\ldots\ldots\ldots \text{(ค่านี้ตัดทิ้งเพราะน้อยมาก)}$$

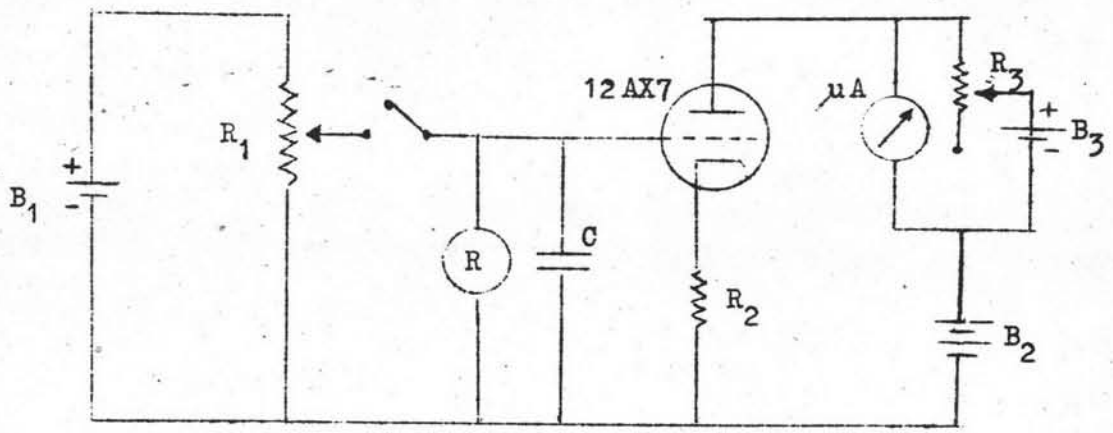
$$\therefore q = q_0 (1 - \frac{t}{RC})$$

ซึ่งเมื่อนำไปเขียนกราฟระหว่าง q กับ t จะเป็นกราฟเส้นตรง

ถ้าใช้แคดเมียมซัลไฟด์หุ้มด้วยแถบดำเพื่อกันแสง เป็นความต้านทาน R แทนในรูปที่ 2.1 ปรากฏว่าภายใน 30 นาที ประจุไฟฟ้าไม่ลดจากคาปาซิเตอร์ (คาปาซิเตอร์มีความจุ 0.5 - 5 μF) แสดงว่าความต้านทานของแคดเมียมซัลไฟด์สูงมาก ถือว่าเป็นอินฟินิตี้ (infinity)

ถ้าส่องรังสีเอกซ์ให้ถูกแคดเมียมซัลไฟด์วูบหนึ่ง ความต้านทานจะลดลงชั่วขณะหนึ่ง ทำให้ประจุคายออกจำนวนหนึ่ง พอหมดรังสีเอกซ์ ความต้านทานของแคดเมียมซัลไฟด์กลับมีค่าสูงขึ้นมากตามเดิม ประจุก็หยุดคายอีกต่อไป การวัดประจุที่เหลือในคาปาซิเตอร์ จึงน่าจะมีความสัมพันธ์กับปริมาณรังสีเอกซ์ที่ใช้

การวัดประจุที่เหลืออยู่อาจวัดโดยวิธีวัด ศักย์ ระหว่างขั้วของคาปาซิเตอร์ เพราะศักย์เป็นปฏิภาคโดยตรงกับประจุ ในการวัดศักย์นี้ใช้โวลต์มิเตอร์ธรรมดาไม่ได้เพราะโวลต์มิเตอร์ มีความต้านทานไม่ถึงอินฟินิตี้ เมื่อต่อโวลต์มิเต่อร์เข้าไป จะมีการคายประจุผ่านโวลต์มิเตอร์ทันที จึงต้องหาวิธีสร้างโวลต์มิเตอร์ ซึ่งมีความต้านทานไฟตรงสูงมาก ดังแสดงในรูปที่ 2.3 แสดงวงจรทั้งหมดที่ใช้ในการทดลอง .



รูปที่ 2.3 แสดงวงจรที่ใช้ในการทดลอง

กำหนดให้

B_1, B_3	เป็นแบตเตอรี่ 1.5 โวลต์
B_2	เป็นเพาเวอร์ซัพพลาย แปรค่าได้ 0-300 โวลต์
R	เป็นแคดเมียมซัลไฟด์ หุ้มแถบดำ
R_1, R_3	เป็นความต้านทานแปรค่าได้ 5 K Ω
R_2	เป็นความต้านทานคงที่ 2 K Ω
C	คาปาซิเตอร์ 4.75 μF และ 0.5 μF
12 AX 7	เป็นหลอดไทรโอด และ
μA	เป็นไมโครแอมมิเตอร์

ก่อนสับสวิทช์จะมีกระแสไหลในวงจร ขวามือของรูป 2.3 ผ่านหลอดไทรโอด 12 AX 7, ผ่านความต้านทาน R_2 ค่าของกระแสที่ไหลผ่านมิเตอร์จะคงที่ค่าหนึ่ง แต่สามารถจะบังคับให้เริ่มต้นจาก 0 ของสเกล 100 ไมโครแอมมิเตอร์ โดยใช้วงจรของความต้านทาน R_3 กับแบตเตอรี่ B_3 ช่วยทำให้เกิดกระแสไหลกลับทิศทางในไมโครแอมมิเตอร์

การปรับความต้านทาน R_3 จะช่วยทำให้เข็มเริ่มต้นจาก 0 ได้

เมื่อสับสวิทช์แบตเตอรี่ B_1 จะประจุ คาปาซิเตอร์ เกิดกระแสไหลผ่านหลอดไทรโอด ทำให้เข็มมิเตอร์แสดงค่าสูงขึ้นที่อีกค่าหนึ่ง ซึ่งค่านี้สามารถจะปรับให้สุดสเกล 100 ไมโครแอมมิเตอร์ได้ โดยอาศัยความต้านทาน R_1 ปรับให้ได้สเกล 10 ช่องของสเกล 100 ไมโครแอมป์ เมื่อยกสวิทช์ออกเข็มอาจจะลดลงอย่างช้า ๆ ได้ แต่ถ้าปรับ B_2 ให้มีค่าสูงกว่า 250 โวลต์ เข็มจะค้าง ไม่แสดงอาการลดลง ดังนั้น การปรับ R_1, R_3 และ B_3 จะสามารถควบคุมให้เข็มของมิเตอร์เริ่มต้นจาก 0 ก่อนประจุและเต็มสเกล หลังประจุได้โดยที่เข็มจะค้างอยู่กับที่ไม่แสดงอาการค่อย ๆ ลดลงเอง

2.2 การคายประจุเพียงชั่วขณะ

พิจารณาจากรูปที่ 2.1 โดยถือว่าความต้านทานมีค่าอินฟินิตี้เกือบตลอดเวลา ยกเว้นในช่วงเวลาสั้น T ให้ความต้านทานมีค่า R โอห์ม จาก

$$q = q_o e^{-\frac{t}{RC}} \qquad (2.1)$$

ประจุที่เหลือเมื่อความต้านทานกลับสู่ค่าอินฟินิตี้ตามเดิม หาได้จาก

$$q_1 = q_o e^{-\frac{T}{RC}} \qquad (2.2)$$

หรือ

$$q_1 = q_o(1-\frac{T}{RC}) \quad \text{ถ้า} \quad T \ll RC \qquad (2.3)$$

ค่าความต้านทานจะลงเหลือค่าน้อย ถ้าโอสเรทของรังสีเอกซ์ ยิ่งมากแต่ก็มิได้มีความสัมพันธ์กันอย่างตรงไปตรงมา นั่นคือ ไม่อาจเขียนได้ว่า

$$R = \frac{K}{D} \qquad (2.4)$$

โดย K เป็นค่าคงตัว และ D เป็นโดสเรท

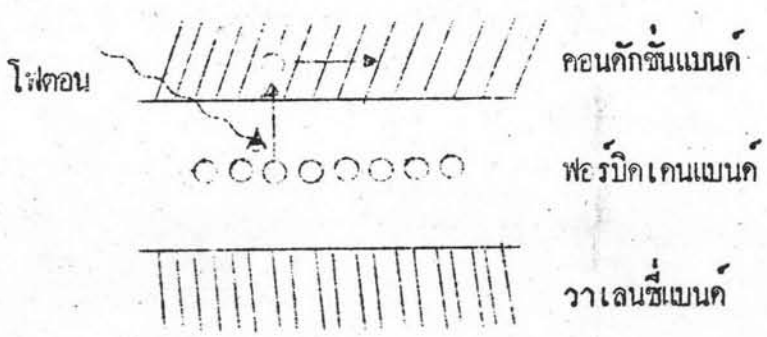
จุดประสงค์ในที่นี้ต้องการวัดโดสทั้งหมด หรือวัด DT สมมติว่า สมการ (2.4) เป็นจริง

$$DT = \frac{KT}{R} \qquad (2.5)$$

สมการ (2.3) และ (2.5) แสดงว่า q_1 และ DT ต่างก็เป็นปฏิภาคโดยตรงกับ $\frac{T}{R}$ แสดงว่า q_1 เป็นปฏิภาคกับ DT อย่างไรก็ตาม ผลการทดลองแสดงว่าสมการ (2.4) ไม่เป็นความจริง เพราะจากการทดลองใช้โดสเท่ากัน แต่โดสเรท และเวลาต่างกัน ได้ q_1 แตกต่างกันมาก

2.3 แคดเมียมซัลไฟด์ [1] (Cadmium sulphide - CdS)

แคดเมียมซัลไฟด์ เป็นสารประเภทกึ่งตัวนำและไวแสง ซึ่งมีความต้านทานสูงมาก ถือว่าเป็นอินซูเลเตอร์ เมื่อไม่ได้รับแสง ทฤษฎีของสารกึ่งตัวนำ อธิบายด้วยแถบชั้นต่าง ๆ คือ วาเลนซี่ แบนด์ (Valency band) , คอนดักชั่นแบนด์ (Conduction band), และฟอร์บิดเดน แบนด์ (forbidden band) ผลึกแคดเมียมซัลไฟด์ มีสารบางชนิดเจือปนในอัตราส่วน 1 ในล้านส่วน โดยปกติไม่นำไฟฟ้า เพราะไม่มีอีเล็คตรอนอยู่ในคอนดักชั่นแบนด์ แต่เมื่อแคดเมียมซัลไฟด์ได้รับพลังงานเช่น พลังงานรังสีเอกซ์ หรือแสง อีเล็คตรอนจากฟอร์บิดเดน แบนด์ จะกระโดดไปยังคอนดักชั่นแบนด์ ทำให้เกิดการนำไฟฟ้า ดูจากรูป 2.4



รูป 2.4 แสดงแถบพลังงานของแคดเมียมซัลไฟด์

1 Photoelectronic material and devices, p 141

หอสมุดกลาง

แคดเมียมซัลไฟด์ที่ใช้ในการทดลองนี้ บริษัทฟิลิปส์เป็นผู้ผลิต และมีจำหน่ายในประเทศไทย

ปกติใช้แคดเมียมซัลไฟด์ในการควบคุมด้วยแสงสว่าง เช่น ควบคุมการเปิดปิดไฟฟ้าในห้อง ถนน หรือควบคุมการปรับความสว่างของจอวิทยุ โทรทัศน์ ให้เหมาะกับสภาพความสว่างของห้อง โดยอัตโนมัติ นอกจากนั้น อาจใช้เป็นเครื่องวัดแสงโดยเปลี่ยนปริมาณแสงเป็นกระแสไฟฟ้า

ในการทดลองกับรังสีเอกซ์ จำเป็นต้องปิดแคดเมียมซัลไฟด์ด้วยแถบดำ เพื่อมิให้เกิดการรบกวนจากแสง

2.4 เครื่องกำเนิดรังสีเอกซ์

ใช้เครื่องกำเนิดรังสีเอกซ์วินิจฉัยโรคแบบ SUPER PRATIX ของบริษัทฟิลิปส์ ซึ่งมีอยู่ที่แผนกรังสีวิทยา โรงพยาบาลจุฬาลงกรณ์ เป็นเครื่องกำเนิดรังสีเอกซ์ ที่ใช้กระแสในหลอดกำเนิด 25 มิลลิแอมแปร์ คงที่ เปลี่ยนค่า ศักย์ระหว่างขั้ว ได้ 4 ค่า คือ 50, 60, 72 และ 85 กิโลโวลต์ เพื่อให้เหมาะกับลักษณะของโรคที่ต้องการวินิจฉัย ตั้งเวลาได้หลายค่า ตั้งแต่ 0.1-8.0 วินาที

สำหรับการทดลองนี้ ได้ตั้งศักย์ระหว่างขั้วหลอด คงที่ 50 กิโลโวลต์ ตลอดการทดลอง

2.5 การทดลอง

การทดลองมีตามลำดับขั้นดังนี้

ก. ทดลองรังสีที่โดสเรทต่างกัน 2 ค่า คือ 63 mR/ sec และ 118 mR/ sec ซึ่งทำได้โดยจัดระยะทางระหว่างหลอดกำเนิดรังสีเอกซ์ กับแคดเมียมซัลไฟด์ ระยะใกล้ให้โดสเรทสูงกว่าตามกฎกำลังสองผกผัน (inverse square law) ค่าโดสเรทวัดด้วยพอกเคตโดสิมิเตอร์ (Pocket dosimeter) ซึ่งอาจให้ค่าโดสไม่แม่นยำนัก แต่พบว่า โดสเป็นปฏิภาคโดยตรงกับการจัดเวลาของเครื่องกำเนิดรังสีเอกซ์ จึงดำเนินการทดลองโดยใช้เวลาแทนโดส

ข. ทดลอง โดยใช้แคดเมียมซัลไฟด์เปล่า ๆ และใช้ความต้านทาน 10,000, 100,000, 10^6 และ 10^7 โอห์ม ต่ออนุกรมกับแคดเมียมซัลไฟด์

ค. ทดลองเพิ่มความไวในการคายประจุโดยลดค่าความจุของคาปาซิเตอร์