การทดลอง
การอัดประจุและการคายประจุของตัวเก็บประจุในวงจร RC

วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาผลของตัวเก็บประจุในวงจรไฟฟ้ากระแสตรง
2. เพื่อหาค่าความจุของตัวเก็บประจุ ในวงจรอนุกรม RC โดยวิธีการอัดประจุและการคายประจุ

อุปกรณ์

1. แผงวงจรสำหรับการทดลองอัดและคายประจุ
2. ตัวเก็บประจุ ขนาด 2200 ไมโครฟารัด จำนวน 1 ตัว
3. ตัวต้านทาน ขนาด 30 กิโลโอห์ม จำนวน 1 ตัว
4. VOM 1 เครื่อง
5. นาฬิกาจับเวลา
6. เครื่องจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง
7. สายไฟต่อวงจร

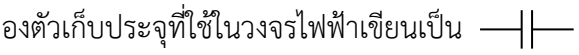
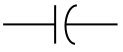
ทฤษฎี

ตัวเก็บประจุเป็นอุปกรณ์ไฟฟ้าที่ใช้ทำหน้าที่เก็บประจุไฟฟ้า ประกอบด้วยตัวนำคู่หนึ่งวางห่างกันเป็นระยะ d และคั่นด้วยฉนวนไฟฟ้าที่เรียกว่า **ไดอิเล็กตริก** (dielectric) เมื่อใช้เครื่องจ่ายไฟอัดประจุให้กับตัวนำทั้งสอง จะทำให้มีประจุบนตัวนำทั้งสองเท่ากัน แต่จะเป็นประจุชนิดตรงข้ามกันคือ +Q และ -Q ถ้าศักย์ไฟฟ้าของตัวนำคู่นั้นเป็น V_1 และ V_2 จะได้ความต่างศักย์ไฟฟ้าระหว่างตัวนำคู่นี้เป็น $V = V_2 - V_1$

เราเรียกความสามารถในการเก็บประจุของตัวเก็บประจุว่า **ความจุ** (Capacitance, C) โดยนิยามว่าอัตราส่วนของขนาดประจุบนแต่ละแผ่นตัวนำต่อความต่างศักย์ระหว่างตัวนำทั้งสอง เขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$C = \frac{Q}{V_2 - V_1} = \frac{Q}{V}$$

เมื่อ C คือ ความจุของตัวเก็บประจุ มีหน่วยเป็น ฟารัด
Q คือ ประจุบนตัวนำ มีหน่วยเป็น คูลอมบ์
V คือ ความต่างศักย์ระหว่างแผ่นตัวนำ มีหน่วยเป็น โวลต์

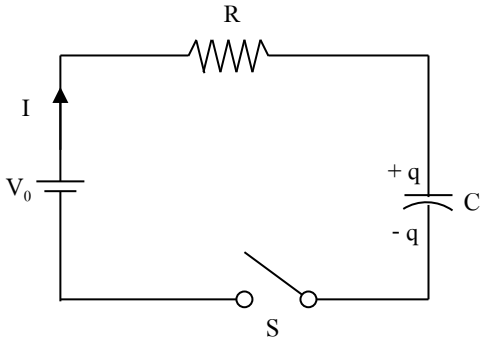
สัญลักษณ์ของตัวเก็บประจุที่ใช้ในวงจรไฟฟ้าเขียนเป็น  หรือ 

ประโยชน์ของตัวเก็บประจุที่ใช้ในวงจรไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ คือ ใช้ในการเก็บพลังงาน สกัดกั้นไฟฟ้ากระแสตรง แต่ให้ไฟฟ้ากระแสสลับผ่านได้ ทำหน้าที่เสมือนเป็นตัวกรอง (filter elements) เป็นส่วนประกอบในวงจรจูน (tune) หรือเรโซแนนซ์ (resonance) นอกนั้นยังใช้ในวงจรนับเวลา หรืออื่นๆ อีกมากมาย

การอัดและการคายประจุในวงจร RC

ก. การอัดประจุ (charging)

รูปที่ 1 แสดงวงจรการอัดประจุ เมื่อปิดสวิตช์ S แรงเคลื่อนไฟฟ้า V_0 ทำให้เกิดกระแสไฟฟ้า I ไหลในวงจรมีทิศทางตามลูกศร จะเกิดการสะสมประจุที่ตัวเก็บประจุ C ทำให้เกิดความต่างศักย์คร่อมตัวเก็บประจุ V_C เมื่อตัวเก็บประจุเริ่มรับประจุไว้ก็จะเริ่มมีการต้านการไหลของประจุ เนื่องจากที่ขั้วบวกของตัวเก็บประจุจะพยายามดึงอิเล็กตรอนไว้ ในขณะที่ขั้วลบของตัวเก็บประจุจะพยายามต้านการเพิ่มของจำนวนอิเล็กตรอน ดังนั้นความต่างศักย์ V_C มีทิศทางต้านแรงเคลื่อนไฟฟ้า V_0 โดยที่ $V_C = -q / C$ ตัวเก็บประจุจะค่อยๆ ถูกอัดประจุเพิ่มขึ้นจนค่าความต่างศักย์ $V_C = V_0$ ก็จะอยู่ในสภาวะสมดุล และไม่มีกระแสไหลในวงจร



รูปที่ 1 วงจรการอัดประจุ

อัตราการเคลื่อนที่ของประจุที่เข้าหรือออกจากตัวเก็บประจุขึ้นอยู่กับผลคูณ RC ของวงจร ผลคูณนี้มีหน่วยเป็นเวลา (วินาที) ถ้าค่า RC มีค่าน้อยประจุที่ตัวเก็บประจุจะเพิ่มขึ้นเร็วกว่าค่า RC ที่มีค่ามาก เนื่องจากทั้งค่า R และ C ในวงจรหนึ่งๆ มีค่าคงที่ จึงเรียกค่า RC นี้ว่า **ค่าคงที่ของเวลาของวงจร RC** เขียนแทนได้ด้วย τ

ตามกฎของเคอร์ชอฟ จะได้

$$V_0 + V_C = IR$$

$$V_0 - \frac{q}{C} = R\frac{dq}{dt}$$

$$\frac{dq}{(q - V_oC)} = -\left(\frac{1}{RC}\right)dt$$

อินทิเกรตทั้งสองข้าง โดยที่เมื่อ t = 0 ประจุที่ตัวเก็บประจุ q = 0 จะได้ว่า

$$q(t) = q_o(1-e^{-\frac{t}{RC}}) \qquad \text{.....(1)}$$

เมื่อ q_0 คือ ค่าประจุสูงสุดของตัวเก็บประจุ = V_0C
และ $q(t)$ คือ ประจุที่ตัวเก็บประจุ ณ เวลา t ใด ๆ

จาก $I(t) = \frac{dq}{dt} = \frac{d}{dt}V_oC(1-e^{-\frac{t}{RC}})$ จะได้ว่า

$$I(t) = I_o e^{-\frac{t}{RC}} \qquad \text{.....(2)}$$

เมื่อ I_0 คือ กระแสไฟฟ้าสูงสุดในวงจร = $\frac{V_o}{R}$
และ $I(t)$ คือ กระแสไฟฟ้าในวงจร ณ เวลา t ใด ๆ

จากสมการ (1) หารด้วยความจุ C จะได้ค่าความต่างศักย์คร่อมตัวเก็บประจุ V_C ที่เวลา t ใด ๆ

$$V_C(t) = V_o(1-e^{-\frac{t}{RC}}) \qquad \text{.....(3)}$$

ค่า $e^{-\frac{t}{RC}}$ จากสมการ (1) , (2) และ (3) จะลดลงตามเวลาที่เพิ่มขึ้น

ที่ t = 0 คือขณะที่เราปิดสวิตช์ S ค่า $e^{-\frac{t}{RC}} = 1$ ทำให้สมการ (1) , (2) และ (3) กลายเป็น

$$q(0) = 0$$
$$I(0) = I_0$$
$$V_C(0) = 0$$

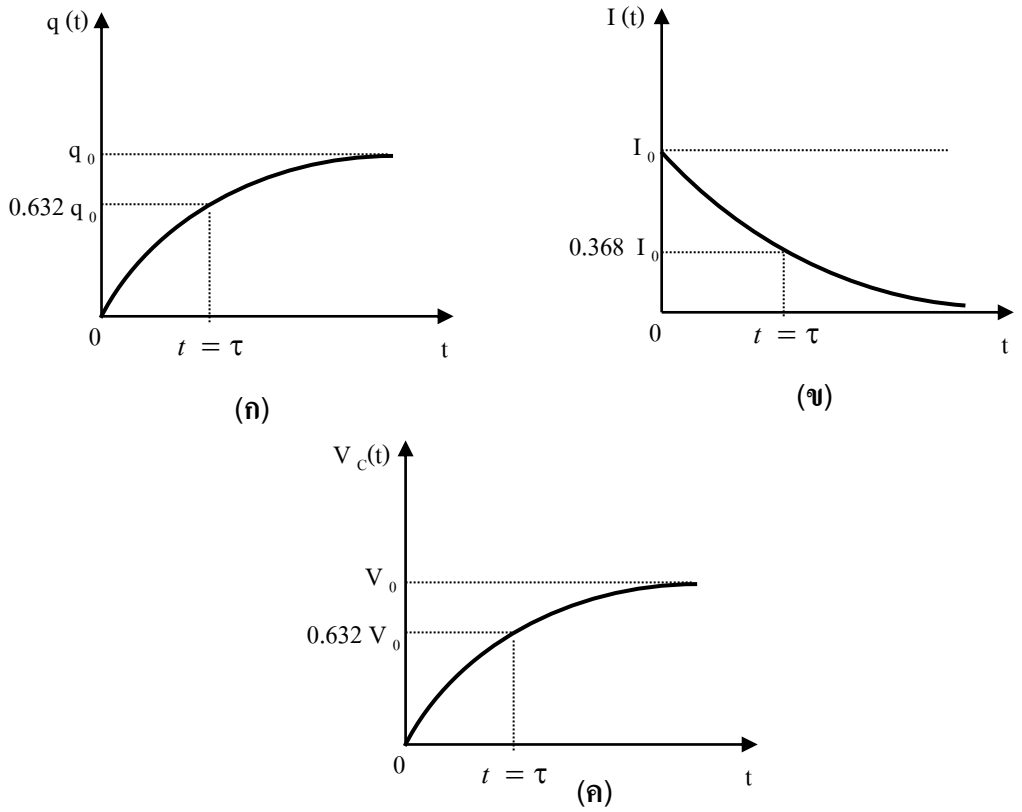
ถ้าปล่อยให้เวลาผ่านไปกระทั่ง t = τ = RC จะได้ว่า ค่า $e^{-\frac{t}{RC}} = e^{-1} = 0.368$ ทำให้สมการ (1) , (2) และ (3) กลายเป็น

$$q(\tau) = 0.632\, q_0$$
$$I(\tau) = 0.368\, I_0$$
$$V_C(\tau) = 0.632\, V_0$$

ถ้าปล่อยให้เวลาผ่านไปเรื่อยๆ ค่า $e^{-\frac{t}{RC}}$ จะยิ่งลดลง จนเมื่อเวลาผ่านไปมีค่าอนันต์ (infinity) ค่า $e^{-\frac{t}{RC}} = 0$ (แต่ในทางปฏิบัติจะใช้เวลาประมาณ 5 RC) สมการ (1), (2) และ (3) จะกลายเป็น

$$q(\infty) = q_0$$
$$I(\infty) = 0$$
$$V_C(\infty) = V_0$$

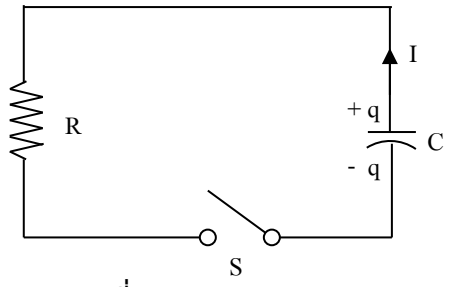
การเปลี่ยนแปลงตามเวลาของค่า q, I และ V ตามสมการ (1), (2) และ (3) แสดงไว้ในรูป 2(ก), (ข) และ (ค) ตามลำดับ



รูปที่ 2 (ก), (ข) และ (ค) แสดงการเปลี่ยนแปลงของค่า q, I และ V ตามเวลา (t) ในการอัดประจุตามลำดับ

ข. การคายประจุ (discharging)

รูปที่ 3 แสดงวงจรการคายประจุ เมื่อปิดสวิตช์ S ตัวเก็บประจุจะคายประจุผ่านความต้านทาน R



รูปที่ 3 วงจรการคายประจุ

ตามกฎของเคอร์ชอฟ จะได้

$$V_C = IR$$

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

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

อินทิเกรดทั้งสองข้าง โดยที่เมื่อ t = 0 ประจุที่ตัวเก็บประจุ = q_0 ทำให้ได้

$$q(t) = q_o e^{-\frac{t}{RC}} \qquad \text{.....(4)}$$

$$I(t) = \frac{dq}{dt} = I_o e^{-\frac{t}{RC}} \qquad \text{.....(5)}$$

เมื่อ $I_0 = q_0/RC = V_0/R$ เครื่องหมายลบแสดงว่ากระแสไฟฟ้ามีทิศทางตรงข้ามกับกระแสไฟฟ้าในรูปที่ 1 จากสมการ (4) หารด้วยความจุ C จะได้

$$V_C(t) = V_o e^{-\frac{t}{RC}} \qquad \text{.....(6)}$$

ในทำนองเดียวกันกับการอัดประจุ จะได้ว่า เมื่อ t = 0 สมการ (4), (5) และ (6) จะกลายเป็น

$$q(0) = q_0$$
$$I(0) = -I_0$$
$$V_C(0) = V_0$$

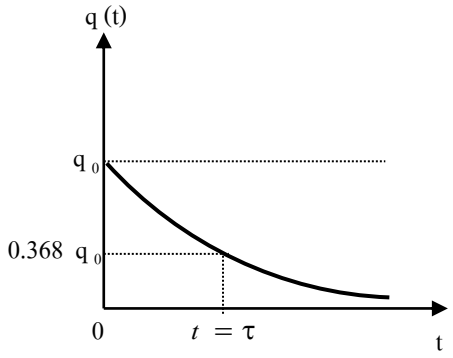
เมื่อเวลาผ่านไปจนกระทั่ง $t = \tau = RC$ สมการ (4), (5) และ (6) จะกลายเป็น

$$q(\tau) = 0.368\, q_0$$
$$I(\tau) = -0.368\, I_0$$
$$V_C(\tau) = 0.368\, V_0$$

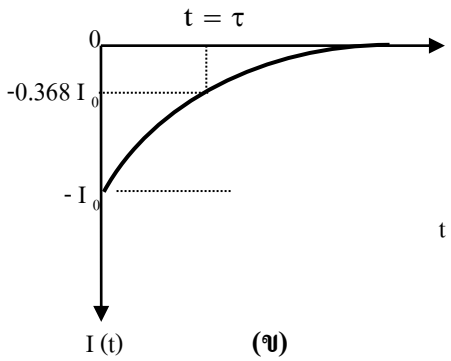
และที่เวลาอนันต์ สมการ (4) , (5) และ (6) จะกลายเป็น

$$q(\infty) = 0$$
$$I(\infty) = 0$$
$$V_C(\infty) = 0$$

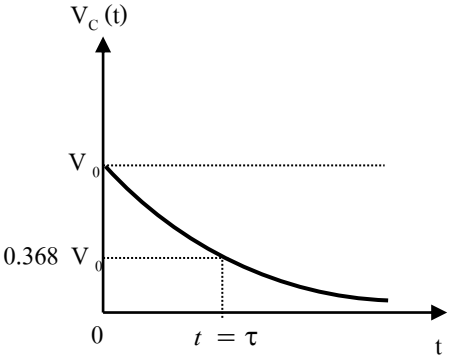
การเปลี่ยนแปลงตามเวลาของค่า q, I และ V ตามสมการ (4), (5) และ (6) แสดงไว้ในรูปที่ 4 (ก), (ข) และ (ค) ตามลำดับ



(ก)



(ข)



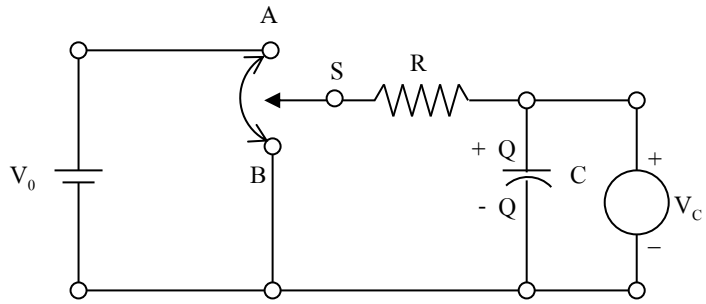
(ค)

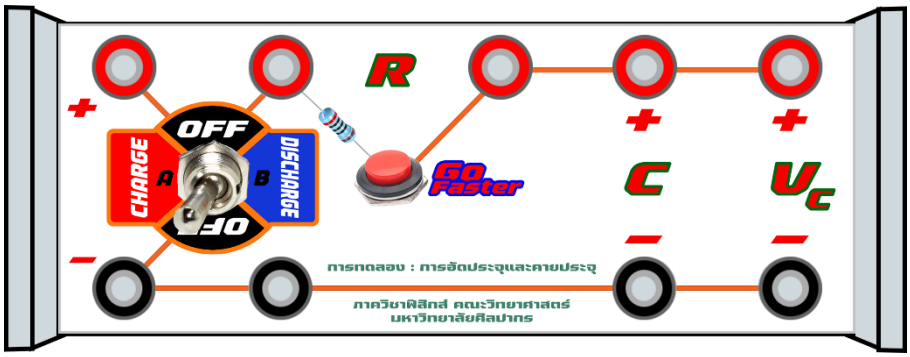
รูปที่ 4 (ก), (ข) และ (ค) แสดงการเปลี่ยนแปลงของคา q, I และ V ตามเวลา (t) ในการคายประจุตามลำดับ

วิธีการทดลอง

ข้อควรระวัง

1. ในการต่อวงจร ต้องต่อขั้วไฟฟ้าของเครื่องจ่ายไฟ VOM และ ตัวเก็บประจุให้ถูกต้อง
2. ขณะทำการทดลองอย่าขยับเครื่อง VOM และต้องคอยสังเกตเข็มของเครื่อง VOM ถ้าเคลื่อนที่ไม่เรียบ เช่น อาจจะสั่นหรือเคลื่อนที่แบบกระตุก ผลของการทดลองคลาดเคลื่อน ต้องเริ่มทำการทดลองตอนนั้นใหม่ อาจจะสลับใช้สายไฟต่อวงจรต่อแทนสายโพรบของ VOM ได้





รูปที่ 5 วงจรและรูปแผงวงจรที่ใช้ในการทดลอง

<u>ตอนที่ 1</u> การอัดประจุ

1. ใช้ VOM วัด และตั้งค่าความต่างศักย์ของเครื่องจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง ให้ได้ค่า V_0 เท่ากับ 10 โวลต์
2. วัดค่าความต้านทานของตัวต้านทาน R ด้วย VOM (หรืออาจใช้การอ่านจากแถบสี) และบันทึกผล
3. ต่อเครื่องจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง, ตัวเก็บประจุ C, ตัวต้านทาน R และ VOM เพื่อวัดค่า Vc ลงบนแผงวงจร ตามตำแหน่งที่ระบุอยู่บนแผงวงจร (ตรวจสอบขั้วของตัวต้านทานให้ถูกต้อง)
4. คายประจุในตัวเก็บประจุออกให้หมด โดยโยกสวิตช์ไว้ที่ตำแหน่ง Discharge หรือด้าน B จากนั้นกดสวิทช์ GoFast ค้างไว้เพื่อทำการคายประจุอย่างรวดเร็ว จนค่าความต่างศักย์คร่อมตัวเก็บประจุ V_c = 0 โวลต์ จากนั้นจึงปล่อยสวิทช์ GoFast
5. โยกสวิตช์ไปที่ตำแหน่ง Charge หรือด้าน A พร้อมกับจับเวลา แล้วบันทึกเวลาที่ผ่านไปอย่างต่อเนื่องเมื่อ V_c มีค่าเท่ากับ 1.0, 2.0, 3.0, 4.0, 5.0, 6.0, 6.8, 7.6 และ 8.0 โวลต์ตามลำดับ
6. ทำการทดลองข้อ 4. และ 5. ซ้ำอีก 1 ครั้ง แล้วหาค่าเฉลี่ยของเวลาที่วัดได้ t จากการทดลอง
7. เขียนกราฟระหว่างค่า V_c กับค่าเฉลี่ยของเวลาที่วัดได้ t บนกระดาษกราฟ จะได้กราฟตามรูปที่ 2 (ค) ให้ลากเส้นกราฟเป็นเส้นโค้งเรียบที่เหมาะสม (ให้เขียนกราฟหลังจากทำการทดลองตอน 2 เสร็จสิ้นแล้ว)
8. จากกราฟ ที่ตำแหน่ง $V_c = 0.632V_0$ โวลต์ จะได้ $t = \tau$
9. คำนวณหาค่า C จากสมการ $\tau = RC$

<u>ตอนที่ 2</u> การคายประจุ

1. ใช้วงจรเดิมจากการทดลองตอนที่ 1
2. โดยเริ่มจากอัดประจุให้ตัวเก็บประจุจนเต็ม โดยโยกสวิตช์ไปที่ตำแหน่ง Charge หรือด้าน A จากนั้นกดสวิทช์ GoFast ค้างไว้เพื่อทำการอัดประจุอย่างรวดเร็ว จนค่า V_c = 10 โวลต์ จากนั้นจึงปล่อยสวิทช์ GoFast
3. โยกสวิตช์ไปที่ตำแหน่ง Discharge หรือด้าน B พร้อม ๆ กับบันทึกเวลาการคายประจุอย่างต่อเนื่องเมื่อ V_c มีค่าเท่ากับ 9.0, 8.0, 7.0, 6.0, 5.0, 4.0, 3.0, 2.0 และ 1.0 โวลต์ตามลำดับ
4. ทำการทดลองข้อ 2. และ 3. ซ้ำอีก 1 ครั้ง แล้วหาค่าเฉลี่ยของเวลาที่วัดได้ t จากการทดลอง
5. เขียนกราฟระหว่าง V_c กับค่าเฉลี่ยของเวลาที่วัดได้ t บนกระดาษกราฟ จะได้กราฟตามรูปที่ 4 (ค) ให้ลากเส้นกราฟเป็นเส้นโค้งเรียบที่เหมาะสม
6. จากกราฟที่ตำแหน่ง $V_C = 0.368V_0$ โวลต์ จะได้ $t = \tau = RC$ คำนวณค่า C