

บทที่ 1 พื้นฐานวงจรไฟฟ้า

ในการศึกษาวิชาอิเล็กทรอนิกส์ (Electronics) และการประยุกต์ใช้งานอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ (electronic devices) ต่างๆ นั้น นักศึกษาควรมีพื้นฐานเบื้องต้นทางด้านวงจรไฟฟ้า เพื่อที่จะสามารถวิเคราะห์วงจรและนำอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่มีประโยชน์เหล่านี้ไปใช้งานได้ถูกต้องและปลอดภัย ในบทนี้ เนื้อหาจะกล่าวถึงความรู้เกี่ยวกับ องค์ประกอบต่างๆ ที่เป็นส่วนประกอบพื้นฐานในวงจรไฟฟ้า ใดๆ เช่น แหล่งจ่ายแรงดัน (voltage source), ตัวต้านทาน (resistor), ตัวเก็บประจุ (capacitor), ตัวเหนี่ยวนำ (inductor) เป็นต้น รวมถึงทฤษฎีวงจรไฟฟ้าพื้นฐาน เพื่อให้ผู้เรียนสามารถประยุกต์ ในการวิเคราะห์การทำงานของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ได้อย่างถูกต้อง

1.1 ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับวงจรไฟฟ้า

1.1.1 ประจุ (charge) และกระแส (Current)

การศึกษาวงจรไฟฟ้า เกี่ยวข้องกับการเคลื่อนที่ของปริมาณประจุไฟฟ้าผ่านระบบปิด และตัวนำอุดมคติ ซึ่งเรียกวาวงจร(Circuit) ประจุมีหน่วยเป็นคูลอมบ์ (Coulombs, C) และแทนด้วยตัวย่อ q โดยที่ประจุเป็นได้ทั้งบวกหรือลบ

อัตราที่ประจুবวก (Positive charge) เคลื่อนผ่านจุดสังเกตใดเทียบกับเวลา ถูกเรียกว่า “กระแสไฟฟ้า” กระแสไฟฟ้ามีหน่วยเป็นแอมแปร์ (Amperes, A) และแทนด้วยตัวย่อ i

$$i = \frac{dq}{dt} \quad (1)$$

จะสังเกตได้ว่า กระแส 1 แอมป์ หมายความว่า ในตัวนำไฟฟ้า มีประจุ 1 C เคลื่อนที่ผ่านจุดสังเกต (Observation point) ในแต่ละ 1 วินาที

1.1.2 แรงดัน (Voltage) และกำลังไฟฟ้า (Power)

ขณะที่ประจุไหลผ่านวงจร มันจะเคลื่อนผ่านจุดที่มีความต่างศักย์ไฟฟ้าที่ต่างกัน พิจารณาประจุที่อยู่จุดหนึ่งในวงจรที่ความต่างศักย์ไฟฟ้ามีค่าสูง เปรียบได้กับมวลที่อยู่ในตำแหน่งสูงกว่า ซึ่งจะมีความแตกต่างของพลังงานศักย์ที่พร้อมจะใช้งาน งาน (Work) ที่ต้องใช้เวลาเพื่อที่จะเคลื่อนประจุหนึ่งคูลอมบ์จากจุดที่มีความต่างศักย์ต่ำไปที่จุดที่มีความต่างศักย์สูง เรียกว่าแรงดันปรากฏ (Voltage rise) ระหว่างจุดสองจุดในวงจร แรงดันปรากฏนี้มีสัญลักษณ์เป็น V และมีหน่วยเป็น โวลต์ (Volts, V)

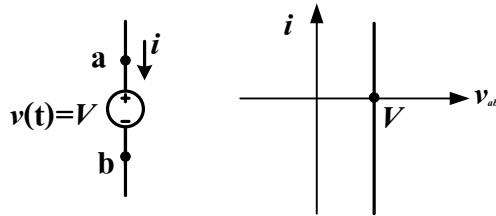
1.1.3 กำลังไฟฟ้า (Power) ซึ่งมีสัญลักษณ์เป็น p คือผลคูณระหว่างแรงดันและกระแส

$$p = v \times i = \text{volts} \times \text{amperes}$$

$$= \frac{\text{work}}{\text{charge}} \times \frac{\text{charge}}{\text{time}} = \frac{\text{work(J)}}{\text{time(s)}} = \text{power(Watts)} \quad (2)$$

1.1.4 แหล่งจ่ายแรงดัน (Voltage source)

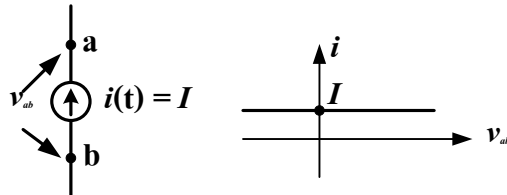
แหล่งจ่ายแรงดัน (Voltage source) เป็นส่วนประกอบทางไฟฟ้าที่รักษาการปรากฏของแรงดัน (Voltage rise) ที่ตกคร่อมขั้วของมัน โดยไม่ขึ้นอยู่กับปริมาณกระแสที่ไหลผ่าน



รูปที่ 1 คุณลักษณะระหว่างแรงดันและกระแสของแหล่งจ่ายแรงดันอุดมคติ

1.1.5 แหล่งจ่ายกระแส (Current source)

แหล่งจ่ายกระแส คือส่วนประกอบทางไฟฟ้าที่จะรักษาอัตราการไหลของประจุโดยไม่ขึ้นกับแรงดันที่ตกคร่อมขั้วของมัน



รูปที่ 2 คุณลักษณะระหว่างแรงดันและกระแสของแหล่งจ่ายกระแสอุดมคติ

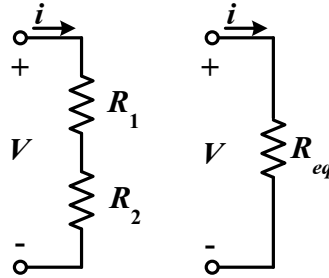
1.1.6 กฎของโอห์ม

ประจุสามารถเคลื่อนที่ได้สะดวกในตัวนำที่ดี ดังเช่นในสายตัวนำที่เป็นโลหะ แต่มันจะเคลื่อนที่ได้ลำบากในตัวนำที่มีคุณสมบัตินำไฟฟ้าไม่ดี ซึ่งเรียกได้เป็นตัวต้านทาน (Resistor, R) เราสามารถจะพูดได้ว่าการเคลื่อนที่ของประจุนั้นไม่ต้องการพลังงานใดๆ เลย ในการที่จะเคลื่อนประจุจากที่หนึ่งไปอีกที่หนึ่งในตัวนำที่สมบูรณ์แบบ ถ้ามีกระแสไหลผ่านตัวต้านทานแล้วจะมีความแตกต่างของค่าศักย์ไฟฟ้า Δv ตกคร่อมระหว่างปลายทั้งสองของตัวต้านทานนั้น ความต้านทานถูกนิยามว่าเป็นอัตราส่วนระหว่าง แรงดัน Δv และกระแส i

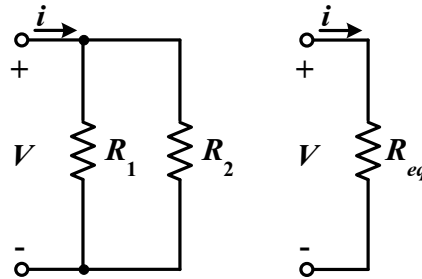
$$R = \frac{\Delta v}{i} \quad (3)$$

1.1.7 ความต้านทาน (Resistance)

ความต้านทานมีหน่วยเป็นโอห์ม (Ω) การต่อความต้านทานสองตัวอนุกรมกันค่าความต้านทานรวมจะผลรวมของความต้านทานทั้งสองตัว



รูปที่ 3 ตัวต้านทานที่ต่ออนุกรม และความต้านทานเทียบเท่า

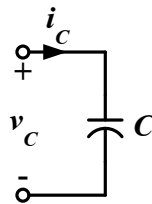


รูปที่ 4 ตัวต้านทานที่ต่อขนานกันและความต้านทานเทียบเท่า

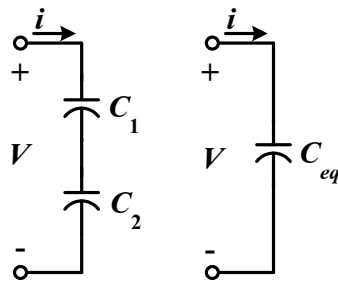
1.1.8 ความจุ (Capacitance)

ตัวเก็บประจุ (Capacitor) เป็นอุปกรณ์ไฟฟ้าที่กระแสที่ไหลผ่านตัวมันแปรผันตรงตามอัตราการเปลี่ยนแปลงของแรงดันที่ตกคร่อมตัวเก็บประจุเทียบกับเวลา $V_C(t)$ ความจุ C เป็นค่าคงตัวมีหน่วยเป็นฟาราด (Farad, F)

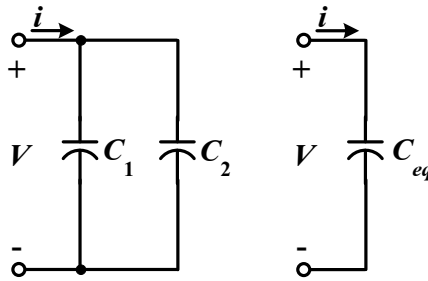
$$i_C = C \frac{dV_C}{dt} \quad (4)$$



รูปที่ 5 สัญลักษณ์ตัวเก็บประจุ



รูปที่ 6 ตัวเก็บประจุที่ต่ออนุกรมและค่าความจุเทียบเท่า

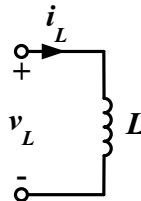


รูปที่ 7 ตัวเก็บประจุที่ต่อขนานและค่าความจุเทียบเท่า

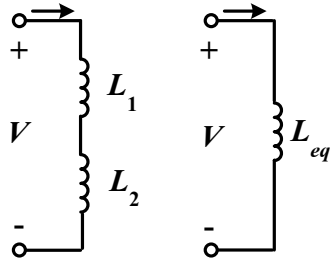
1.1.9 ความเหนี่ยวนำ (Inductance)

ตัวเหนี่ยวนำ (Inductor) เป็นอุปกรณ์ไฟฟ้าที่มีแรงดันตกคร่อมแปรผันตรงตามอัตราการเปลี่ยนแปลงของกระแสที่ไหลผ่านตัวมันเทียบกับเวลา $i_L(t)$ ความเหนี่ยวนำ L มีหน่วยเป็น เฮนรี (Henry, H)

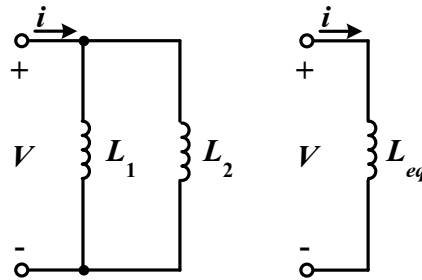
$$v_L = L \frac{di_L}{dt} \quad (5)$$



รูปที่ 8 สัญลักษณ์ตัวเหนี่ยวนำ



รูปที่ 9 ตัวเหนี่ยวนำที่ต่ออนุกรมและค่าความเหนี่ยวนำเทียบเท่า

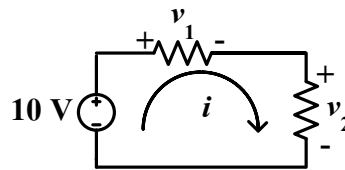


รูปที่ 10 ตัวเหนี่ยวนำที่ต่อขนานและค่าความเหนี่ยวนำเทียบเท่า

1.2 การวิเคราะห์วงจรไฟฟ้าพื้นฐาน

1.2.1 กฎแรงดันของเคอร์ชอฟฟ์ (Kirchhoff's Voltage Law, KVL)

เมื่อพิจารณาในลูปปิดใดๆ ในวงจร กฎแรงดันของเคอร์ชอฟฟ์ได้กล่าวไว้ว่า “ผลรวมทางพีชคณิตของแรงดันเท่ากับศูนย์”

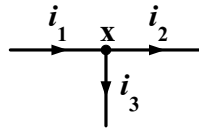


รูปที่ 11 แรงดันในลูปปิด

$$-10 + v_1 + v_2 = 0 \quad (6)$$

1.2.2 กฎกระแสของเคอร์ชอฟฟ์ (Kirchhoff's Current Law, KCL)

เมื่อพิจารณาจุดใดๆ ในวงจร กฎกระแสของเคอร์ชอฟฟ์กล่าวไว้ว่า “ผลรวมทางพีชคณิตของกระแสมีค่าเท่ากับศูนย์”



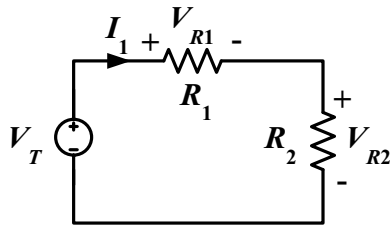
รูปที่ 12 กระแส ณ จุด x

$$i_1 - i_2 - i_3 = 0 \quad (7)$$

1.2.3 การแบ่งแรงดัน (voltage division)

หลักการแบ่งแรงดันไฟฟ้านี้ ใช้บ่อยมากในกรณีที่ เมื่อเราทราบค่าแรงดันตกคร่อมรวมของตัวต้านทานสองตัวที่ต่ออนุกรมกัน แต่เราต้องการทราบค่าแรงดันตกคร่อมตัวต้านทานตัวใดตัวหนึ่ง ลองพิจารณาวงจรในรูปที่ 13 เมื่อกำหนดให้แรงดันตกคร่อมรวมของตัวต้านทานสองตัวที่ต่ออนุกรมกันคือ V_T ดังนั้น แรงดันตกคร่อมตัวต้านทาน V_{R2} จะมีค่าเป็น

$$V_{R2} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} V_T \quad (8)$$

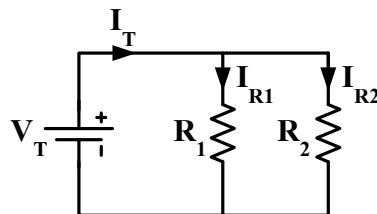


รูป 13 การแบ่งแรงดัน

1.2.4 การแบ่งกระแส (current division)

ในกรณีที่ เราทราบค่ากระแสรวม ของตัวต้านทานที่ต่อขนานกันสองตัว เราก็สามารถที่จะหาค่ากระแสที่ไหลผ่านตัวต้านทานแต่ละตัวได้ ดังรูปที่ 14 เมื่อกำหนดให้กระแสรวมของตัวต้านทานที่ต่อขนานกันสองตัว I_T ดังนั้น กระแสที่ไหลผ่านตัวต้านทาน I_{R2} จะมีค่าเป็น

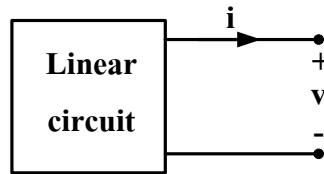
$$I_{R2} = \frac{R_1}{R_1 + R_2} I_T \quad (9)$$



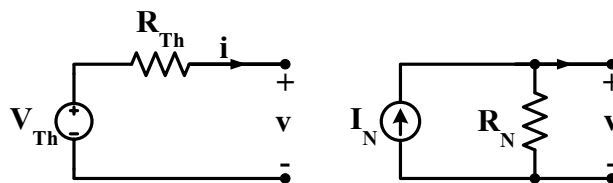
รูป 14 การแบ่งกระแส

1.2.5 ทฤษฎีของเทวินิน (Thevenin theorem) และนอร์ตัน (Norton theorem)

การวิเคราะห์วงจรอิเล็กทรอนิกส์โดยมาก สถานการณ์ที่เราพบอยู่เสมอ นั่นก็คือ อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ ซึ่งมีคุณลักษณะที่ไม่เป็นเชิงเส้นต่ออยู่ในวงจรไฟฟ้าที่มีคุณลักษณะเป็นเชิงเส้น หลักการวิเคราะห์วงจรอิเล็กทรอนิกส์เหล่านี้ สามารถทำให้ง่ายขึ้นได้โดยใช้ทฤษฎีของเทวินินและนอร์ตัน มาทำการหาจรรยาเทียบเคียงของวงจรไฟฟ้าที่มีคุณลักษณะเป็นเชิงเส้น จากนั้นเราจะสามารถหาผลตอบสนองใด ๆ ของวงจรอิเล็กทรอนิกส์ ได้ อย่างง่ายดาย ในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงหลักการหาจรรยาเทียบเคียงของเทวินิน ในวงจรเชิงเส้นใด ๆ



รูปที่ 15 วงจรแบบสองขั้ว (two-terminal circuit)

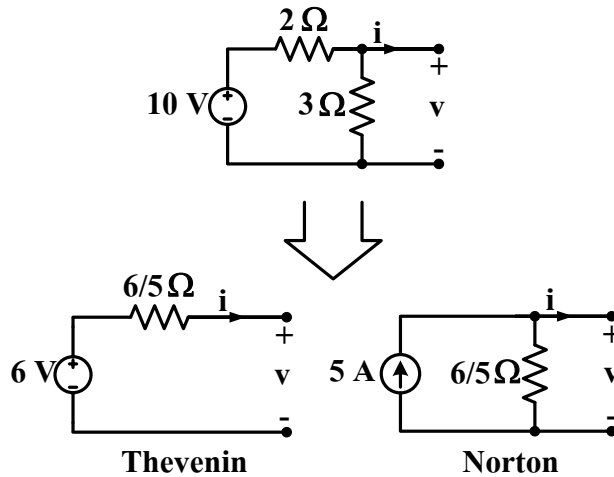


รูปที่ 15 วงจรเทียบเคียงเทวินิน (Thevenin's equivalent circuit)

วงจรเทียบเคียงเทวินินที่ได้จากวงจรเชิงเส้นใด ๆ นั้น จะประกอบด้วยแรงดันเทวินิน และความต้านทานเทวินิน โดยที่แรงดันเทวินิน V_{th} หาได้จากการพิจารณาว่าความต้านทาน ∞ โอห์ม ต่ออยู่ที่ขั้วของวงจรเชิงเส้น (สภาวะเปิดวงจร) ดังนั้นแรงดันเทวินินจะมีค่าเท่ากับแรงดันที่ขั้วของวงจรเชิงเส้นดังรูปที่ 15 ขณะเปิดวงจร และความต้านทานเทวินิน R_{Th} หาได้จากการพิจารณาขั้วของวงจรเชิงเส้นทั้งสองเป็นหลัก โดยที่อยู่ในสภาวะที่สมมติให้แหล่งจ่ายแรงดันทั้งหมดในวงจรเชิงเส้นลัดวงจร และแหล่งจ่ายกระแสทั้งหมดในวงจรเชิงเส้นเปิดวงจร

สำหรับวงจรเทียบเคียงนอร์ตันนั้น แหล่งจ่ายกระแสเทียบเคียงนอร์ตันสามารถหาได้จากเมื่อพิจารณาขั้วของวงจรเชิงเส้นทั้งสองลัดวงจร ค่ากระแสเทียบเคียงนอร์ตันจะมีค่าเท่ากับกระแสลัดวงจร ส่วนความต้านทานนอร์ตัน R_N จะมีค่าเท่ากับความต้านทานเทวินิน R_{Th}

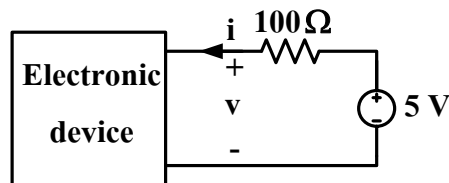
ตัวอย่างที่ 1 การหาวงจรเทียบเคียงเทวินินและนอร์ตัน



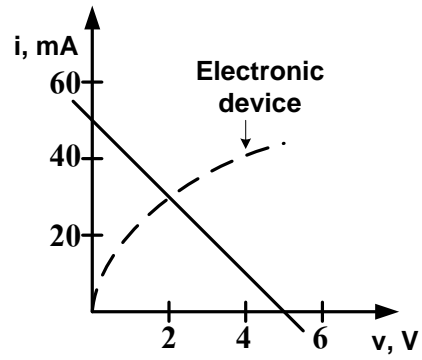
การประยุกต์ใช้ทฤษฎีของเทวินิน (Thevenin's theorem) และนอร์ตัน (Norton's theorem)

ตัวอย่างที่ 2 อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ (electronic device) มีคุณลักษณะของแรงดันและกระแส (volt-ampere characteristic) ดังแสดงในรูปที่ 16 (b) อุปกรณ์นี้ถูกต่อกับวงจรไฟฟ้าซึ่งมีวงจรเทียบเคียงเทวินิน (Thevenin equivalent circuit) คือ แหล่งจ่ายแรงดัน 5 โวลต์ ต่ออนุกรมร่วมกับตัวต้านทาน 100 โอห์ม ดังรูปที่ 16(a) จงหากระแสที่ไหลผ่านอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์นี้

วิธีการก็คือ ลำดับแรกเราต้องทำการพล็อตกราฟคุณลักษณะระหว่างแรงดันและกระแสของวงจรเทียบเท่าเทวินิน (ซึ่งเป็นเส้นตรง) โดยที่จุดแรกของเส้นกราฟคุณลักษณะแรงดันและกระแสนี้ จะได้จากสภาวะกระแสสูงสุด (กระแสลัดวงจร) I_{SC} ของวงจรเทียบเท่าเทวินินได้จาก $I_{SC} = \frac{5}{100} = 50mA$ (ขณะที่เกิดกระแสลัดวงจร $v = 0$) หลังจากทราบจุดแรกของเส้นกราฟต่อไปเราสามารถหาจุดที่สองได้จาก สภาวะที่พิจารณาให้กระแส, i มีค่าเท่ากับศูนย์ ดังนั้น แรงดัน, v จะมีค่าเท่ากับ 5 V เมื่อทราบจุดทั้งสองจุดแล้ว เราสามารถลากกราฟคุณลักษณะแรงดันและกระแสได้ดังในรูป 16 (b)



รูปที่ 16 (a) อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่มีคุณลักษณะแรงดันและกระแส เป็นแบบไม่เป็นเชิงเส้นต่อร่วมกับวงจรเทียบเคียงเทวินิน



รูปที่ 16 (b) กราฟแรงดันและกระแสของวงจรที่ขบทำเทวินินและ
อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์