

# บทที่ 1

## แนะนำวงจรไฟฟ้า

### Introduction to Electric Circuits

ในบทนี้จะกล่าวถึงแนวคิดพื้นฐานของการศึกษาเกี่ยวกับวงจรไฟฟ้า ความเป็นมาและประวัติโดยสังเขปของวิศวกรรมไฟฟ้า นิยามและหน่วยของตัวแปรต่างๆ ในวงจรไฟฟ้า เช่น กระแส แรงดัน กำลังไฟฟ้า พลังงานไฟฟ้า รวมถึงวิธีการกำหนดทิศทางอ้างอิง แนวคิดเกี่ยวกับเครื่องมือที่ใช้ในการวัดค่าตัวแปรในวงจรไฟฟ้าเหล่านี้ ข้อแนะนำการนำคอมพิวเตอร์มาใช้ในการคำนวณเกี่ยวกับวงจรไฟฟ้า และแนวคิดเกี่ยวกับการออกแบบวงจรไฟฟ้า

#### 1.1 แนวคิดพื้นฐานของการศึกษาเกี่ยวกับวงจรไฟฟ้า

ในการศึกษาด้านวิศวกรรมไฟฟ้าซึ่งเกี่ยวข้องกับการศึกษา วิเคราะห์ หรือออกแบบระบบที่เกี่ยวข้องกับหรือใช้ไฟฟ้าเช่นระบบสื่อสาร ระบบควบคุม ระบบการประมวลสัญญาณ เป็นต้น จำเป็นต้องอาศัยพื้นฐานความเข้าใจเกี่ยวกับกฎและทฤษฎีวงจรไฟฟ้า เพื่อที่จะประยุกต์ใช้งานระบบเหล่านี้ได้อย่างถูกต้องและมีประสิทธิภาพ ดังนั้นก่อนที่จะศึกษาระบบต่าง ๆ ในทางวิศวกรรมไฟฟ้าจึงต้องมีการศึกษาวิชาด้านวงจรไฟฟ้าก่อนวิชาอื่น ๆ เพื่อเป็นพื้นฐานในการทำความเข้าใจและอธิบายวิชาวิศวกรรมไฟฟ้าอื่น ๆ ที่จะตามมา เช่น วิชาทางด้านวงจรอิเล็กทรอนิกส์ วิชาทางด้านระบบไฟฟ้ากำลัง เป็นต้น

การจัดหลักสูตรวิศวกรรมไฟฟ้าในระดับปริญญาตรีของทุกสถาบัน จะต้องมียุทธศาสตร์ที่ศึกษาเกี่ยวกับวงจรไฟฟ้าโดยอาจจัดเป็นวิชาบังคับทั้งหมด หรืออาจมีบางส่วนเป็นวิชาเลือก อาจครอบคลุมเฉพาะการวิเคราะห์วงจร (Circuit Analysis) หรืออาจจะกล่าวถึงการออกแบบและสังเคราะห์วงจร (Circuit Design and Synthesis) ด้วย กล่าวได้ว่าสำหรับสาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้าซึ่งมีความหลากหลายของแขนงความรู้ ถ้าถามว่าวิชาไหนที่วิศวกรไฟฟ้าทุกคนต้องเรียนรู้และนำไปใช้เป็นรากฐานในการเรียนรู้ต่อยอดในแขนงวิชาเฉพาะเหล่านั้น หนึ่งในคำตอบนั้นจะต้องเป็นวิชาวงจรไฟฟ้าอย่างแน่นอน

วิชาวงจรไฟฟ้าเป็นกรณีพิเศษ (Special Case) ของวิชาสนามแม่เหล็กไฟฟ้าซึ่งศึกษาเกี่ยวกับประจุไฟฟ้าที่อยู่นิ่งและเคลื่อนที่ โดยที่การมีอยู่ของประจุไฟฟ้าก็คือที่มาของศาสตร์ด้านวิศวกรรมไฟฟ้าทั้งหมด ในการศึกษาทฤษฎีทั่วไปเกี่ยวกับสนามแม่เหล็กไฟฟ้านั้นต้องอาศัยคณิตศาสตร์ขั้นสูงและการนำมาประยุกต์ใช้ในชีวิตประจำวันนั้นจะยุ่งยากกว่ามาก ดังนั้นจึงมีการทำให้ง่ายขึ้นโดยสร้างสมมติฐานซึ่งในการประยุกต์ใช้งานทั่วไปจะเป็นจริงได้เสมอ วิธีการนี้นำมาสู่การศึกษาทฤษฎีทั่วไปเกี่ยวกับวงจรไฟฟ้าแทนโดยมีข้อดีและผลประโยชน์ที่พอสรุปได้ดังต่อไปนี้

- การศึกษาทฤษฎีเกี่ยวกับวงจรไฟฟ้าจะให้คำตอบที่ง่ายกว่าการใช้ทฤษฎีสนามแม่เหล็กไฟฟ้า และมีความถูกต้องในระดับเพียงพอต่อการนำไปใช้ เราจะสามารถวิเคราะห์และสร้างวงจรไฟฟ้าในทางปฏิบัติได้โดยใช้ทฤษฎีวงจรไฟฟ้า
- การนำทฤษฎีวงจรไฟฟ้ามาใช้ในการวิเคราะห์และออกแบบระบบทางไฟฟ้าโดยทั่วไปจะมีความซับซ้อนน้อยกว่าการใช้ทฤษฎีสนามแม่เหล็กไฟฟ้า โดยการแบ่งระบบใหญ่ออกเป็นระบบย่อยจนถึงระดับที่เรียกว่าส่วนประกอบ (Component) เราจะสามารถใช้การศึกษาคุณลักษณะที่ขั้วต่อ (Terminal) ของส่วนประกอบแต่ละส่วน ไปทำนายคุณลักษณะหรือพฤติกรรมของระบบที่มีการเชื่อมต่อกันของส่วนประกอบเหล่านี้ การที่เราสามารถทำการศึกษาแบบจำลองวงจร (Circuit Model) ของอุปกรณ์ไฟฟ้าต่างๆ ทำให้การศึกษาทฤษฎีวงจรไฟฟ้าน่าสนใจมาก เนื่องจากจะสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับระบบขนาดใหญ่ที่มีความซับซ้อนได้ โดยในระบบไฟฟ้าขนาดใหญ่และซับซ้อนอาจนิยมเรียกว่าเครือข่ายไฟฟ้า (Electrical Network) มากกว่า
- ทฤษฎีวงจรไฟฟ้านำไปสู่วิธีการแก้ปัญหาของเครือข่ายขนาดใหญ่ที่อธิบายด้วยสมการเชิงอนุพันธ์แบบเชิงเส้น ซึ่งวิธีการแก้ปัญหาที่จะได้ศึกษาในวิชานี้สามารถนำไปใช้แก้ปัญหาทางวิศวกรรมในสาขาอื่นๆ ได้ เช่น วิศวกรรมเครื่องกล วิศวกรรมโครงสร้าง เป็นต้น
- การศึกษาทฤษฎีเกี่ยวกับวงจรไฟฟ้าเป็นวิชาที่มีความน่าสนใจในตัวเอง โดยสามารถจะพัฒนาเป็นศาสตร์เฉพาะและสามารถนำไปอธิบายปรากฏการณ์ทางไฟฟ้าที่เกิดขึ้นโดยทั่วไปได้

ถึงแม้ว่าทฤษฎีวงจรไฟฟ้าจะเป็นกรณีพิเศษของทฤษฎีสนามแม่เหล็กไฟฟ้า แต่ในการศึกษาวิชานี้ ไม่มีความจำเป็นที่จะต้องเรียนวิชาทฤษฎีสนามแม่เหล็กไฟฟ้ามาก่อน อย่างไรก็ตามจะต้องมีความรู้พื้นฐานทางฟิสิกส์ที่เกี่ยวข้องกับปรากฏการณ์ทางไฟฟ้าและแม่เหล็กมาก่อน

สมมติฐานที่ใช้ในการศึกษาวิชาวงจรไฟฟ้าโดยทั่วไป และที่ใช้ในหนังสือเล่มนี้คือ

- ประจุไฟฟ้าที่เคลื่อนที่สร้างสัญญาณไฟฟ้าซึ่งจะแพร่ (Propagate) ผ่านระบบด้วยความเร็วจำกัดค่าหนึ่ง โดยทั่วไปจะใกล้เคียงกับความเร็วแสง ในวิชาวงจรไฟฟ้าเราจะพิจารณาว่าระบบมีขนาดทางกายภาพเล็กมากจนกระทั่งไม่ต้องนำผลจากการแพร่ของสัญญาณไฟฟ้ามาคิด นั่นคือการเกิดสัญญาณทางไฟฟ้าจะเกิดขึ้นพร้อมกันหมดทั้งระบบ การไม่นำขนาดทางกายภาพของระบบมาพิจารณาจะเรียกว่าระบบองค์ประกอบแบบก้อน (Lumped Element System)
- ประจุสุทธิในส่วนประกอบทุกส่วนของวงจรจะมีค่าเป็นศูนย์ ไม่มีส่วนประกอบใดที่สามารถสะสมประจุสุทธิได้ อุปกรณ์บางชนิดสะสมประจุได้แต่จะต้องมีประจุตรงข้ามจำนวนเท่ากัน ทำให้ประจุสุทธิมีค่าเป็นศูนย์

- ไม่มีการเชื่อมต่อทางแม่เหล็กระหว่างส่วนประกอบในระบบ การเชื่อมต่อทางแม่เหล็กจะเกิดขึ้นภายในส่วนประกอบนั้นเท่านั้น

สำหรับสมมติฐานแรกหากมีคำถามว่าขนาดทางกายภาพของระบบจะต้องเล็กขนาดไหนจึงจะสามารถพิจารณาว่าเป็นระบบองค์ประกอบแบบก้อน สามารถอธิบายโดยพิจารณาสัญญาณไฟฟ้าที่เกิดขึ้นในระบบว่ามีการเคลื่อนที่หรือแพร่แบบคลื่น ดังนั้นถ้าความยาวคลื่น ( $\lambda \approx \frac{c}{f}$ ) ของสัญญาณไฟฟ้าที่เกิดขึ้นในระบบมีขนาดใหญ่มากกว่าขนาดทางกายภาพของระบบมาก (มากกว่า 10 เท่าขึ้นไป) จะถือว่าระบบนี้คือระบบองค์ประกอบแบบก้อน โดยที่ความถี่  $f$  มีหน่วยเป็น Hz และความเร็วแสง  $c \approx 3 \times 10^8$  m/s ในหนังสือเล่มนี้จะกล่าวถึงระบบองค์ประกอบแบบก้อนเท่านั้น

## 1.2 นิยามและหน่วยของตัวแปรในวงจรไฟฟ้า

ในหัวข้อนี้จะอธิบายนิยามของศัพท์และตัวแปรต่างๆ ที่จะใช้ในหนังสือเล่มนี้รวมทั้งหน่วยต่างๆ สำหรับตัวแปรในวงจรไฟฟ้าตามมาตรฐานของ International System of Units (SI)

ไฟฟ้า (Electricity) หมายถึงปรากฏการณ์ทางกายภาพที่เกิดขึ้นจากการมีอยู่ และการมีปฏิสัมพันธ์กันของประจุไฟฟ้า ในช่วงแรกของการศึกษาเกี่ยวกับไฟฟ้าจะเป็นการศึกษาโดยนักวิทยาศาสตร์เป็นส่วนใหญ่โดยมีวัตถุประสงค์เพื่ออธิบายปรากฏการณ์เหล่านี้ ต่อมาได้พัฒนามาสู่การนำมาใช้ให้เกิดประโยชน์ต่อมวลมนุษยชาติ ซึ่งการพัฒนาการประยุกต์ใช้ประโยชน์อย่างถูกต้องและมีประสิทธิภาพเป็นหน้าที่ของวิศวกรไฟฟ้า (Electrical Engineer) ผู้ซึ่งศึกษาด้านวิศวกรรมไฟฟ้า (Electrical Engineering)

การออกแบบวงจรไฟฟ้า (Electric Circuit Design) คือกระบวนการสร้างหรือค้นหาแบบจำลองวงจรไฟฟ้า (Electric Circuit Model) ที่มีคุณสมบัติ หรือสามารถจะให้ผลตอบสนองตรงต่อความต้องการของผู้ออกแบบภายใต้เงื่อนไขและสมมติฐานที่เป็นไปได้ในทางปฏิบัติหรือตามที่ถูกออกแบบกำหนด

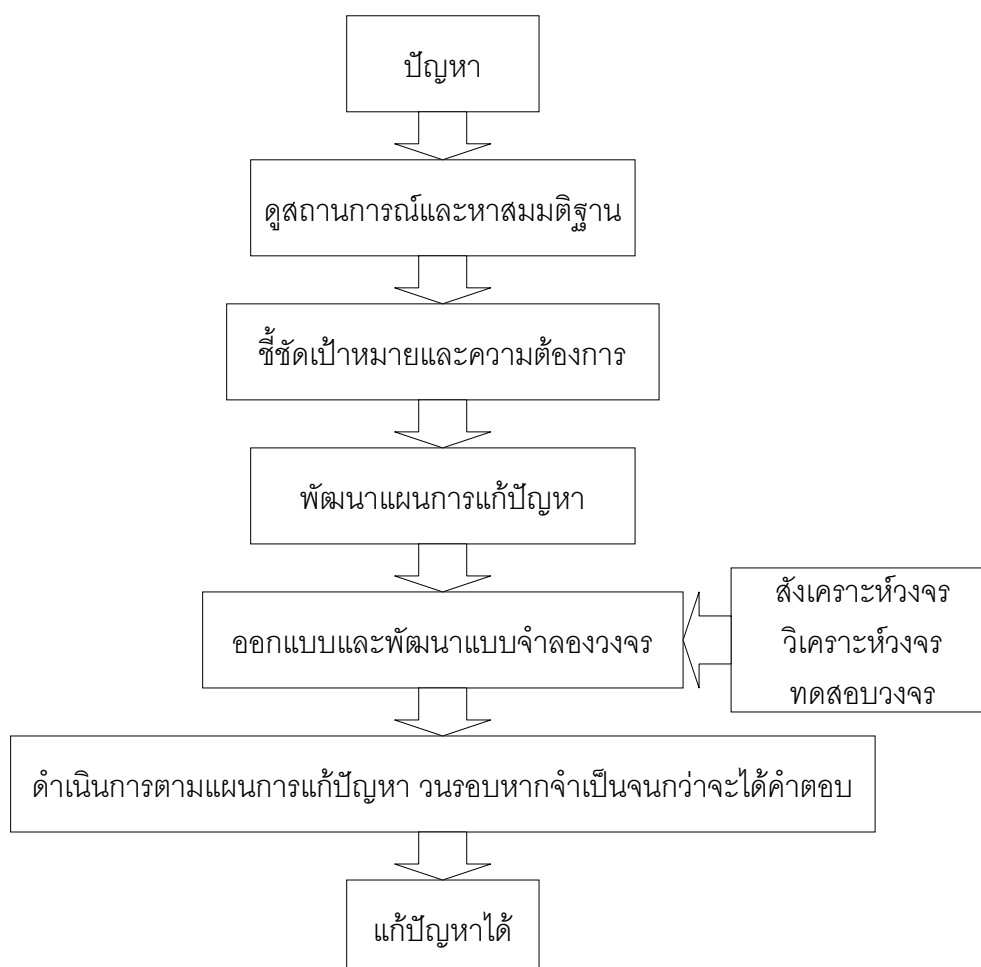
ในกระบวนการออกแบบวงจรสามารถแบ่งออกเป็นสามขั้นตอนคือ

- การสังเคราะห์วงจร (Circuit Synthesis)
- การวิเคราะห์วงจร (Circuit Analysis)
- การทดสอบวงจร (Circuit Evaluation)

รูปที่ 1.1 แสดงแนวคิดของการศึกษาและแก้ปัญหาทางวิศวกรรมไฟฟ้า โดยเมื่อวิศวกรไฟฟ้าได้รับปัญหาก็จะเริ่มโดยการวินิจฉัยปัญหาที่ได้รับ ศึกษาสถานการณ์และสมมติฐานที่ต้องใช้ ทำความเข้าใจปัญหาและเขียนเป้าหมายและความต้องการให้ชัดเจน ขั้นตอนต่อไปเป็นการหาคำตอบที่เป็นไปได้ โดยอาศัยความรู้เกี่ยวกับปรากฏการณ์นั้นในการออกแบบและสร้างแบบจำลองวงจร สำหรับอธิบายพฤติกรรมของระบบทางไฟฟ้าที่กำลังพิจารณาเรียกว่า วงจร (Circuit) ซึ่งจะประกอบด้วยองค์ประกอบต่างๆ ที่ทำให้เกิดวงจรนี้ เรียกว่าส่วนประกอบ ขั้นตอนนี้เรียกว่าการสังเคราะห์วงจร จากนั้นจะใช้เทคนิคทางคณิตศาสตร์และ

ทฤษฎีวงจรไฟฟ้าที่จะได้ศึกษาในบทต่อไป เข้ามาทำการวิเคราะห์วงจร ขั้นตอนนี้เรียกว่าการวิเคราะห์วงจร และขั้นตอนสุดท้ายคือการตรวจสอบคำตอบเทียบกับเป้าหมายและความต้องการที่ตั้งไว้ หากไม่ได้ตามต้องการ ก็จะต้องพิจารณาคำตอบอื่นๆ หรือปรับปรุงคำตอบเดิม จนกว่าจะพอใจ จึงจะสรุปว่านั่นคือคำตอบของปัญหาดังกล่าว โดยการนำผลจากการวิเคราะห์ไปเปรียบเทียบกับการวัดจากระบบจริงหากตรงกันหรือใกล้เคียงในระดับที่ยอมรับได้จะถือว่าแบบจำลองวงจรที่ใช้สามารถอธิบายและทำนายพฤติกรรมของระบบทางไฟฟ้าที่กำลังพิจารณาได้ หากผลการวัดไม่ตรงกับผลจากการวิเคราะห์แสดงว่าแบบจำลองวงจรหรือวงจรที่ใช้ยังไม่ถูกต้อง อาจต้องทำการปรับตัววงจร หรือค่าส่วนประกอบของวงจรหรือแบบจำลองวงจร จนกว่าจะได้ผลตามที่ต้องการ ขั้นตอนสุดท้ายนี้เรียกว่า การทดสอบวงจร

จะเห็นว่าในกระบวนการออกแบบวงจร ผู้ออกแบบจะต้องมีเป้าหมายเกี่ยวกับคุณสมบัติหรือผลตอบสนองของวงจรแล้ว ในขณะที่การวิเคราะห์วงจร ผู้วิเคราะห์จะทำการหาว่าวงจรที่กำลังพิจารณาจะมีคุณสมบัติหรือผลตอบสนองอย่างไร ขั้นตอนนี้จึงมีความสำคัญและเป็นหัวใจหลักของการศึกษาในวิชาและหนังสือเล่มนี้ ส่วนขั้นตอนการสังเคราะห์วงจรและการทดสอบวงจรมันอยู่นอกเหนือขอบเขตของวิชานี้ และจะไม่ได้กล่าวถึงในที่นี้



รูปที่ 1.1 แนวคิดของการศึกษาและแก้ปัญหาทางวิศวกรรมไฟฟ้า

### 1.2.1 กระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้า

แนวคิดของประจุไฟฟ้าเป็นรากฐานของการอธิบายปรากฏการณ์ทางไฟฟ้า ประจุไฟฟ้ามี 2 ชนิด คือประจุบวกและประจุลบ ซึ่งจะปรากฏตัวอยู่โดยมีค่าประจุไม่ต่อเนื่องคือเป็นจำนวนเท่าของประจุอิเล็กตรอน  $1.6022 \times 10^{-19}$  คูลอมบ์ (Coulomb, C) ปรากฏการณ์ทางไฟฟ้าเกิดจากการแยกประจุไฟฟ้าออกจากกันและการเคลื่อนที่ของประจุไฟฟ้าในวงจรไฟฟ้า การแยกประจุไฟฟ้าออกจากกันนำไปสู่การเกิดความต่างศักย์ไฟฟ้าหรือแรงดันไฟฟ้า (Electric Potential หรือ Voltage) และการเคลื่อนที่ของประจุไฟฟ้านำไปสู่การเกิดกระแสไฟฟ้า (Electric Current)

การนำค่าแรงดันไฟฟ้า (Voltage) และกระแสไฟฟ้า (Current) มาใช้ในการศึกษาวงจรไฟฟ้ามีข้อดีคือสามารถคำนวณค่าได้ง่าย เมื่อใดที่ประจุบวกและลบถูกแยกออกจากกันจะมีการใช้พลังงาน ค่าแรงดันไฟฟ้าก็คือค่าพลังงานต่อประจุหนึ่งหน่วยซึ่งเกิดจากการแยกประจุนั่นเอง สามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$v = \frac{dw}{dq} \quad (1.1)$$

โดยที่  $v$  คือค่าแรงดันไฟฟ้ามีหน่วยเป็นโวลต์ (Volt, V)  $w$  คือพลังงานไฟฟ้ามีหน่วยเป็นจูล (Joule, J) และ  $q$  คือประจุไฟฟ้ามีหน่วยเป็น คูลอมบ์ (Coulomb, C)

การเกิดกระแสไฟฟ้าจะขึ้นอยู่กับอัตราการไหลผ่านของประจุ สามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$i = \frac{dq}{dt} \quad (1.2)$$

โดยที่  $i$  คือค่ากระแสไฟฟ้ามีหน่วยเป็น แอมแปร์ (Ampere, A)  $t$  คือเวลามีหน่วยเป็นวินาที (Second, s) และ  $q$  คือประจุไฟฟ้ามีหน่วยเป็น คูลอมบ์ (Coulomb, C)

สมการ (1.1) และ (1.2) คือนิยามสำหรับคำนวณหาขนาดของแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าตามลำดับ จากการที่ประจุไฟฟ้ามีสองขั้วคือบวกและลบทำให้เราต้องกำหนดขั้วทิศทางอ้างอิง ซึ่งจะได้กล่าวถึงต่อไป

**ตัวอย่าง 1.1** จงหาค่ากระแสที่ไหลผ่านขั้วของอุปกรณ์ไฟฟ้าตัวหนึ่ง เมื่อค่าประจุไฟฟ้าที่เข้าสู่อุปกรณ์ตัวนี้คือ  $q = 10t$  C โดยที่  $t$  คือเวลามีหน่วยเป็นวินาที

**วิธีทำ** จากสมการ (1.2) สามารถหาค่ากระแสได้คือ

$$i = \frac{dq}{dt} = \frac{d(10t)}{dt} = 10 \text{ A}$$

**ตัวอย่าง 1.2** จงหาค่าของประจุไฟฟ้าที่เข้าสู่ขั้วของอุปกรณ์ไฟฟ้าตัวหนึ่ง ที่เวลา  $t$  ใดๆ เมื่อค่ากระแสที่ไหลผ่านอุปกรณ์ตัวนี้คือ  $i = At$  ;  $t \geq 0$  A โดยที่  $A$  คือค่าคงที่และ  $t$  คือเวลามีหน่วยเป็นวินาที

**วิธีทำ** จากสมการ (1.2) สามารถหาประจุไฟฟ้าจากค่ากระแสได้ดังนี้

$$\begin{aligned} q &= \int_0^t i \, dt \\ &= \int_0^t (A\tau) \, d\tau \\ &= \frac{At^2}{2} \text{ C} \end{aligned}$$

**ตัวอย่าง 1.3** กระแสคงที่ขนาด 2 A ไหลผ่านขั้วของอุปกรณ์ไฟฟ้าตัวหนึ่ง เมื่อค่าพลังงานที่ใช้ในการเคลื่อนประจุเข้าสู่อุปกรณ์ตัวนี้คือ 10 J ในเวลา 1 s จงหาค่าแรงดันตกคร่อมอุปกรณ์ตัวนี้

**วิธีทำ** จากสมการ (1.2) สามารถหาค่าประจุที่ถูกเคลื่อนได้คือ

$$i = \frac{dq}{dt} \quad \therefore q = i \, dt = 2 \times 1 = 2 \text{ C}$$

และจะได้จากสมการ (1.1)

$$v = \frac{dw}{dq} = \frac{10}{2} = 5 \text{ V}$$

## 1.2.2 กำลังไฟฟ้าและพลังงานไฟฟ้า

การคำนวณหาค่ากำลังไฟฟ้าและพลังงานไฟฟ้าเป็นเรื่องสำคัญและจำเป็นในการวิเคราะห์และออกแบบวงจร โดยเฉพาะอย่างยิ่งในกรณีที่ผลตอบสนองหรือเอาต์พุต (Output) ที่ได้จากระบบที่พิจารณาไม่ได้อยู่ในรูปของสัญญาณไฟฟ้า การอธิบายผลตอบสนองเหล่านี้จะสามารถทำได้สะดวกเมื่ออธิบายในรูปของกำลังและพลังงานไฟฟ้ามากกว่าในรูปของกระแสและแรงดันไฟฟ้า

ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้าและพลังงานไฟฟ้ากับกระแสและแรงดันไฟฟ้าสามารถอธิบายได้ดังนี้ จากพื้นฐานฟิสิกส์ กำลังคืออัตราการให้หรือรับพลังงาน

$$p = \frac{dw}{dt} \tag{1.3}$$

โดยที่  $p$  คือค่ากำลังไฟฟ้ามีหน่วยเป็นวัตต์ (Watt, W)  $t$  คือเวลามีหน่วยเป็นวินาที และ  $w$  คือพลังงานไฟฟ้ามีหน่วยเป็นจูล ในที่นี้จะเห็นว่า 1 W ก็คือ 1 J/s นั่นเอง

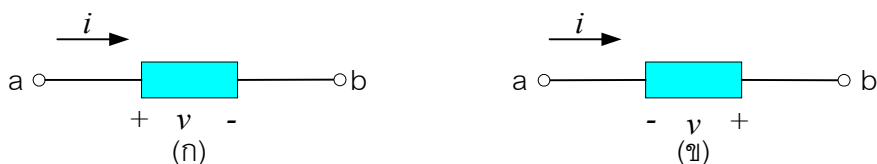
เราสามารถเขียนค่ากำลังไฟฟ้าในรูปของกระแสและแรงดันไฟฟ้า ได้จากสมการ (1.3) และอาศัยกฎลูกโซ่ได้ดังนี้

$$p = \frac{dw}{dt} = \left( \frac{dw}{dq} \right) \left( \frac{dq}{dt} \right) = vi \tag{1.4}$$

สมการ (1.4) แสดงให้เห็นว่ากำลังไฟฟ้าของส่วนประกอบวงจรใดๆ ก็คือผลคูณของค่ากระแสไหลผ่านและแรงดันตกคร่อมตัวมันนั่นเอง และกำลังไฟฟ้าได้จากการคำนวณที่เกี่ยวข้องกับสองขั้วหรือหนึ่งคู่ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องสามารถบอกได้จากการคำนวณว่ากำลังไฟฟ้ากำลังถูกส่งออกจากหรือรับเข้าสู่ส่วนประกอบวงจรนั้น ข้อมูลนี้จะได้มาจากการใช้หลักการสัญญาณเครื่องหมายพาสซีฟ (Passive Sign Convention)

ในกรณีที่ใช้หลักการสัญญาณเครื่องหมายพาสซีฟ สมการ (1.4) จะถูกต้องเมื่อทิศทางอ้างอิงของกระแสอยู่ในทิศทางเดียวกับการตกคร่อมของแรงดัน คือกำหนดให้ชี้ในทิศทางจากขั้วบวกไปยังขั้วลบผ่านตัวส่วนประกอบนั้น ดังแสดงในรูป 1.2 (ก) หากไม่เป็นไปตามนี้ ดังในรูป 1.2 (ข) จะต้องใส่เครื่องหมายลบหน้าผลที่คำนวณได้จากสมการ (1.4) ดังแสดงในสมการ (1.5)

$$p = -vi \quad (1.5)$$



รูปที่ 1.2 การกำหนดทิศทางอ้างอิงของกระแสและแรงดัน

(ก) ตามหลักการสัญญาณเครื่องหมายพาสซีฟ (ข) ไม่เป็นไปตามหลักการสัญญาณเครื่องหมายพาสซีฟ การแปลความหมายของเครื่องหมายของกำลังไฟฟ้าที่คำนวณได้จากสมการ (1.4) หรือ (1.5) ทำได้ดังนี้

ถ้าคำนวณได้ค่าเป็นบวก ( $p > 0$ ) หมายความว่ามีการส่งกำลังเข้าสู่ (Delivered to หรือ Supplied to) ตัวอุปกรณ์หรือส่วนประกอบวงจรมานั้น หรือกล่าวอีกอย่างหนึ่งว่าตัวอุปกรณ์หรือส่วนประกอบวงจรมันกำลังรับ (Absorbing) หรือใช้ (Dissipating) พลังงาน

หากคำนวณได้ค่าเป็นลบ ( $p < 0$ ) หมายความว่ามีการส่งกำลังออกจาก (Extracted from) ตัวอุปกรณ์หรือส่วนประกอบวงจรมานั้น หรือกล่าวอีกอย่างหนึ่งว่าตัวอุปกรณ์หรือส่วนประกอบวงจรมันกำลังส่ง (Delivering) หรือให้ (Supplying) พลังงานออกมา

**ตัวอย่าง 1.4** พิจารณาองค์ประกอบหนึ่งในวงจรดังแสดงในรูปที่ 1.2 (ก) เมื่อค่าแรงดัน  $v = 4 \text{ V}$  และกระแส  $i = 10 \text{ A}$  จงหาค่ากำลังไฟฟ้าซึ่งองค์ประกอบนี้กำลังรับและค่าพลังงานที่ได้รับไปในช่วงเวลา  $10 \text{ s}$

**วิธีทำ** จากสมการ (1.3) สามารถหาค่ากำลังไฟฟ้าที่องค์ประกอบนี้กำลังรับคือ

$$p = vi = 4 \times 10 = 40 \text{ W}$$

และค่าพลังงานที่ได้รับไปในช่วงเวลา  $10 \text{ s}$  คือ

$$w = \int_0^{10} p \, dt = \int_0^{10} 40 \, dt = 40 \times 10 = 400 \text{ J}$$

**ตัวอย่าง 1.5** จากวงจรในตัวอย่าง 1.4 จงหาค่ากำลังไฟฟ้าซึ่งองค์ประกอบนี้กำลังรับ ถ้ากระแสหรือแรงดัน ถูกกำหนดทิศตรงข้ามกับในตัวอย่าง 1.4

**วิธีทำ** ในกรณีนี้จะคำนวณจากสมการ (1.4) เนื่องจากการกำหนดทิศทางอ้างอิงไม่เป็นไปตามหลักการใช้เครื่องหมายพาสซีฟ ดังนั้นค่ากำลังไฟฟ้าที่องค์ประกอบนี้กำลังรับคือ กรณีแรงดันถูกกำหนดทิศตรงข้าม

$$p = -vi = -(-4) \times 10 = 40 \text{ W}$$

กรณีกระแสถูกกำหนดทิศตรงข้าม

$$p = -vi = -4 \times (-10) = 40 \text{ W}$$

จากตัวอย่างนี้จะเห็นได้ว่าไม่ว่าการกำหนดทิศทางอ้างอิงของกระแสและแรงดันอย่างไรก็สามารถคำนวณหาค่ากำลังไฟฟ้าได้เท่าเดิม ทั้งนี้ต้องตรวจสอบว่าการกำหนดทิศทางอ้างอิงของกระแสและแรงดันว่าเป็นไปตามหลักการสัญญาณเครื่องหมายพาสซีฟหรือไม่ก่อน เพื่อที่จะใช้สมการที่ถูกต้องมาคำนวณ

### 1.2.3 หน่วยของตัวแปรทางไฟฟ้า

หน่วยของตัวแปรทางไฟฟ้าต่างๆ ในปัจจุบันจะใช้ตามมาตรฐาน SI (International System of Units) ซึ่งจะแบ่งเป็นสองส่วนคือหน่วยฐาน (Fundamental หรือ Base Units) และหน่วยอนุพัทธ์ (Derived Units) ซึ่งได้จากการศึกษาความสัมพันธ์ของปริมาณต่างๆ ในรูปของปริมาณที่มีหน่วยฐาน เช่นความเร็วคือระยะทางต่อเวลา ดังนั้นหน่วยของความเร็วคือ เมตรต่อวินาที เป็นต้น ตาราง 1.1 แสดงหน่วยฐานและตาราง 1.2 แสดงหน่วยอนุพัทธ์

**ตาราง 1.1** หน่วยฐานตามระบบ SI

ปริมาณ	หน่วย SI	
	ชื่อ	สัญลักษณ์
ความยาว	เมตร	m
มวล	กิโลกรัม	kg
เวลา	วินาที	s
กระแสไฟฟ้า	แอมแปร์	A
อุณหภูมิ	เคลวิน	K
ปริมาณสสาร	โมล	mol
ความเข้มของการส่องสว่าง	แคนเดลา	cd



ตาราง 1.2 หน่วยอนุพัทธ์ตามระบบ SI

ปริมาณ	หน่วย SI		
	สูตร	ชื่อ	สัญลักษณ์
ความเร่ง(เชิงเส้น)	$m/s^2$	เมตรต่อวินาทีต่อวินาที	
ความเร็ว(เชิงเส้น)	$m/s$	เมตรต่อวินาที	
ความถี่	$s^{-1}$	เฮิรตซ์	Hz
แรง	$kg \bullet m/s^2$	นิวตัน	N
ความดันหรือความเค้น	$N/m^2$	ปาสคาล	Pa
ความหนาแน่น	$kg/m^3$	กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร	
พลังงานหรืองาน	$N \bullet m$	จูล	J
กำลังไฟฟ้า	$J/s$	วัตต์	W
ประจุไฟฟ้า	$A \bullet s$	คูลอมบ์	C
ความต่างศักย์ไฟฟ้า	$W/A$	โวลท์	V
ความต้านทานไฟฟ้า	$V/A$	โอห์ม	$\Omega$
ความนำไฟฟ้า	$A/V$	ซีเมนส์	S
ความจุไฟฟ้า	$C/V$	ฟารัด	F
เส้นแรงแม่เหล็ก	$V \bullet s$	วีเบอร์	Wb
ความเหนี่ยวนำ	$Wb/A$	เฮนรี่	H

หน่วยที่แสดงในตารางที่ 1.1 และ 1.2 อาจมีขนาดใหญ่หรือเล็กเกินไปในการแสดงค่าปริมาณบางอย่าง เพื่อให้สะดวกในการแสดงค่าหน่วยเหล่านี้ได้มีการกำหนดคำนำหน้าหน่วยมาตรฐาน (Standard Prefix) ซึ่งจะเป็นตัวเลขยกกำลังของสิบดังแสดงในตาราง 1.3

ตาราง 1.3 คำนำหน้าหน่วยมาตรฐาน

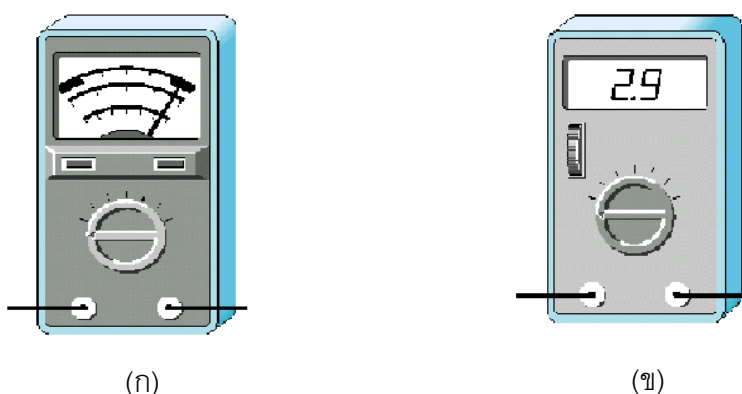
ตัวคูณ	คำนำหน้าหน่วย	สัญลักษณ์
$10^{12}$	tera	T
$10^9$	giga	G
$10^6$	mega	M
$10^3$	kilo	k
$10^{-2}$	centi	c
$10^{-3}$	milli	m

ตัวคูณ	คำนำหน้าหน่วย	สัญลักษณ์
$10^{-6}$	micro	$\mu$
$10^{-9}$	nano	n
$10^{-12}$	pico	p
$10^{-15}$	femto	f

### 1.3 การวัดปริมาณทางไฟฟ้าเบื้องต้น

เครื่องมือสำหรับวัดค่ากระแส แรงดัน กำลัง และพลังงานไฟฟ้า เป็นอุปกรณ์สำคัญในการศึกษาวงจรไฟฟ้า โดยเฉพาะอย่างยิ่งเครื่องมือสำหรับวัดค่ากระแสและแรงดันไฟฟ้า เพราะหากสามารถวัดค่ากระแสและแรงดันไฟฟ้าได้แล้วจะสามารถคำนวณหาค่ากำลังและพลังงานไฟฟ้าได้โดยอาศัยความสัมพันธ์ที่ได้ศึกษาแล้วในหัวข้อ 1.2

โดยทั่วไปเครื่องมือสำหรับวัดค่าตัวแปรทางไฟฟ้าเหล่านี้จะแบ่งเป็นสองชนิดตามรูปแบบของการแสดงผลคือ แบบแสดงผลด้วยเข็มและแบบแสดงผลด้วยตัวเลขดังแสดงในรูปที่ 1.3



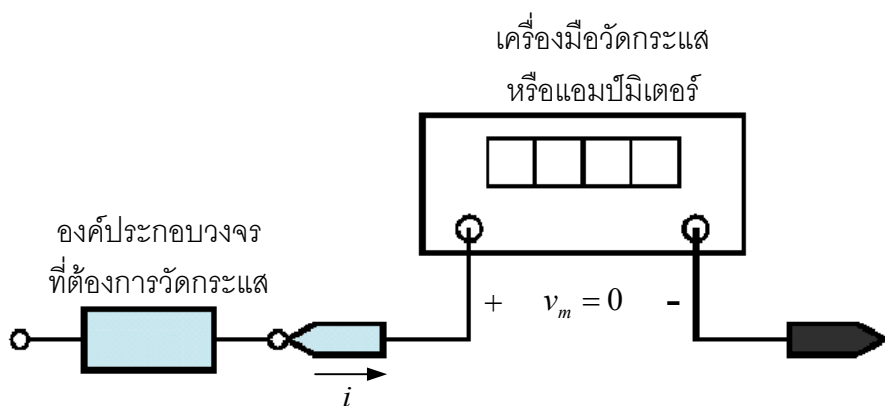
รูปที่ 1.3 เครื่องมือวัดค่าตัวแปรทางไฟฟ้า

(ก) แบบแสดงผลด้วยเข็ม (ข) แบบแสดงผลด้วยตัวเลข

ในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงพื้นฐานของเครื่องมือวัดค่ากระแสและแรงดันไฟฟ้าในเบื้องต้นเท่านั้น รายละเอียดโครงสร้างและหลักการทำงานจะไม่นำมากล่าวในที่นี้

#### 1.3.1 เครื่องมือวัดค่ากระแส หรือแอมป์มิเตอร์

มีหลักการทำงานคือเมื่อทำการต่อแอมป์มิเตอร์ให้มีกระแสที่ต้องการจะวัดไหลผ่านตัวมิเตอร์ มิเตอร์จะแสดงค่ากระแสที่ไหลผ่าน อาจแสดงผลด้วยเข็มหรือเป็นตัวเลขแล้วแต่ชนิดของมิเตอร์ที่ใช้ หลักการนี้ทำให้เราต้องต่อมิเตอร์อนุกรมกับองค์ประกอบของวงจรที่ต้องการจะวัดค่ากระแส ดังแสดงในรูปที่ 1.4 โดยการต่อแบบนี้ทำให้กระแสที่ไหลผ่านองค์ประกอบของวงจรนี้จะเท่ากับกระแสที่ไหลผ่านแอมป์มิเตอร์

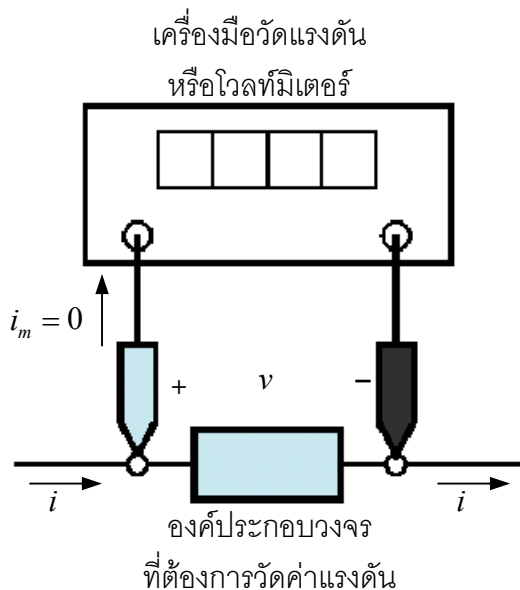


รูปที่ 1.4 การต่อเครื่องมือวัดค่ากระแสไฟฟ้า

ในทางอุดมคติการต่อมิเตอร์เข้าไปในวงจรจะต้องไม่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงค่าต่างๆ ในวงจรที่นำมิเตอร์นั้นไปต่อร่วม จากรูปที่ 1.4 จะเห็นว่าถ้ามีกระแส  $i$  ไหลผ่านแอมป์มิเตอร์ซึ่งมีความต้านทานภายในค่าหนึ่ง (ไม่เท่ากับศูนย์) จะเกิดแรงดันตกคร่อมตัวแอมป์มิเตอร์  $v_m$  ตามกฎของโอห์ม แต่หากแอมป์มิเตอร์ที่ใช้เป็นแอมป์มิเตอร์ในอุดมคติ จะไม่เกิดแรงดันตกคร่อมตัวแอมป์มิเตอร์เนื่องจากค่าความต้านทานภายในของแอมป์มิเตอร์ในอุดมคติมีค่าเป็นศูนย์ ในทางปฏิบัติแอมป์มิเตอร์จะถูกออกแบบเพื่อให้ได้ใกล้เคียงกับแอมป์มิเตอร์ในอุดมคติให้มากที่สุด คือต้องมีค่าความต้านทานภายในใกล้เคียงศูนย์

### 1.3.2 เครื่องมือวัดค่าแรงดัน หรือโวลต์มิเตอร์

มีหลักการทำงานคือเมื่อทำการต่อขั้วของโวลต์มิเตอร์เข้ากับแรงดันที่ต้องการจะวัด มิเตอร์จะแสดงค่าแรงดันตกคร่อมที่วัดได้ โดยอาจแสดงผลด้วยเข็มหรือเป็นตัวเลขแล้วแต่ชนิดของมิเตอร์ที่ใช้ จากหลักการนี้ทำให้เราต้องต่อโวลต์มิเตอร์ขนานกับองค์ประกอบของวงจรที่ต้องการจะวัดค่าแรงดัน ดังแสดงในรูปที่ 1.5



รูปที่ 1.5 การต่อเครื่องมือวัดค่าแรงดันไฟฟ้า

ในทำนองเดียวกันกับแอมป์มิเตอร์ ทางอุดมคติการต่อโวลท์มิเตอร์เข้าไปในวงจรจะต้องไม่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงค่าต่างๆ ในวงจรที่นำมิเตอร์นั้นไปต่อร่วม จากรูปที่ 1.5 จะเห็นว่าถ้ามีแรงดัน  $v$  ตกคร่อมตัวโวลท์มิเตอร์ซึ่งมีความต้านทานภายในค่าหนึ่ง (ไม่เท่ากับอนันต์) จะมีกระแส  $i_m$  ไหลผ่านตัวโวลท์มิเตอร์ตามกฎของโอห์ม แต่หากโวลท์มิเตอร์ที่ใช้เป็นโวลท์มิเตอร์ในอุดมคติ จะไม่เกิดกระแสไหลผ่านตัวโวลท์มิเตอร์เนื่องจากค่าความต้านทานภายในของโวลท์มิเตอร์ในอุดมคติมีค่าเป็นอนันต์ ในทางปฏิบัติโวลท์มิเตอร์จะถูกออกแบบเพื่อให้ได้ใกล้เคียงกับโวลท์มิเตอร์ในอุดมคติให้มากที่สุด คือต้องมีค่าความต้านทานภายในสูงมากใกล้เคียงอนันต์

ในการศึกษาวงจรไฟฟ้าต่อไปนี้จะอนุมานว่ามิเตอร์ที่ใช้เป็นมิเตอร์แบบอุดมคติ คือไม่ส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงใดๆ ในวงจรเมื่อนำมิเตอร์ไปต่อเพื่อวัดค่าต่างๆ

## 1.4 การวิเคราะห์และจำลองวงจรด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์

การนำคอมพิวเตอร์มาใช้ในการคำนวณเกี่ยวกับวงจรไฟฟ้าเริ่มมีมาหลายสิบปีแล้ว โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อวงจรหรือเครือข่ายที่จะทำการวิเคราะห์มีขนาดใหญ่และซับซ้อน เช่นในการออกแบบวงจรรวม (Integrated Circuit) ในอดีตมีผู้ที่จะมีโอกาสใช้คอมพิวเตอร์ในการคำนวณเกี่ยวกับวงจรไฟฟ้าน้อยมาก เนื่องจากการพัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์จะใช้บนเครื่องซึ่งมีขีดความสามารถในการคำนวณสูง เช่นคอมพิวเตอร์เมนเฟรมหรือเวิร์กสเตชัน ในปัจจุบันมีโปรแกรมสำหรับช่วยออกแบบ วิเคราะห์ และจำลองวงจรมากมายที่สามารถใช้ได้บนเครื่องไมโครคอมพิวเตอร์ส่วนตัว นอกจากนี้ยังมีโปรแกรมช่วยในการหาคำตอบจากสมการแบบต่างๆ ทั้งสมการพีชคณิตหรือสมการอนุพันธ์ ทั้งแบบเชิงเส้น และไม่เป็นเชิงเส้น สามารถคำนวณเป็นตัวเลขและเป็นสัญลักษณ์

โปรแกรมสำหรับช่วยออกแบบ วิเคราะห์ และจำลองวงจรส่วนใหญ่จะอาศัยหลักวิธีการหาคำตอบจากโปรแกรมที่ชื่อ SPICE (Simulation Program with Integrated Circuits Emphasis) ซึ่งได้รับการพัฒนาขึ้นในช่วงประมาณปี 1970 โปรแกรมเหล่านี้จะช่วยให้กระบวนการศึกษาระบบหรือวงจรไฟฟ้าทำได้สะดวก รวดเร็ว และถูกต้องมากขึ้น ทั้งนี้อยู่บนเงื่อนไขของการรู้จักใช้เครื่องมือเหล่านี้ด้วย

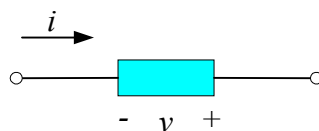
เมื่อเป็นเช่นนี้อาจมีบางคนคิดว่าการศึกษาการวิเคราะห์ด้วยมือคงไม่มีความจำเป็นอีกต่อไป ความคิดนี้ถูกเพียงครั้งเดียว คือถ้าเราไม่เคยศึกษา ทฤษฎีพื้นฐาน ทำความเข้าใจ และวิเคราะห์ด้วยมือมาก่อน เราคงไม่สามารถใช้เครื่องมือเหล่านี้ได้อย่างมั่นใจ และจะรู้ได้อย่างไรว่าคำตอบที่ได้จากคอมพิวเตอร์นั้นถูกหรือผิด ดังนั้นจึงไม่ควรจะหวังพึ่งโปรแกรมเป็นหลัก ควรพึ่งตัวเองเป็นหลักและใช้เครื่องมือเหล่านี้ช่วยให้เราได้คำตอบเร็วขึ้น

ในหนังสือเล่มนี้จะนำโปรแกรมสำหรับช่วยออกแบบ วิเคราะห์ และจำลองวงจร คือโปรแกรม TINA (Toolkits for Interactive Network Analysis) ของบริษัท DesignSoft และโปรแกรมช่วยในการคำนวณหา

คำตอบเกี่ยวกับเมตริกซ์ คือโปรแกรม MATLAB (Matrix Laboratory) ของบริษัท The Mathworks ประกอบการอธิบายการหาคำตอบของตัวอย่างบางตัวอย่าง

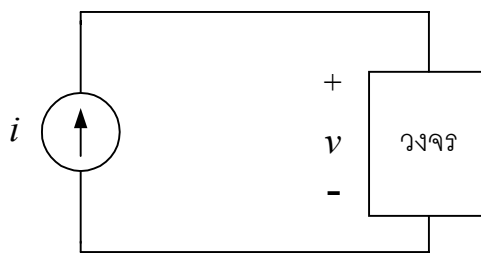
## 1.5 แบบฝึกหัดท้ายบท

- กระแสเข้าสู่ขั้วของอุปกรณ์ตัวหนึ่งมีสมการ  $q(t) = 2k_1t + k_2t^2$  C ถ้า  $i(0) = 4$  A และ  $i(3) = -4$  A จงหาค่าคงที่  $k_1$  และ  $k_2$
- กระแสในลวดตัวนำเส้นหนึ่งมีสมการ  $i(t) = 12\sin 2\pi t$  A สำหรับ  $t > 0$  และ  $i(t) = 0$  สำหรับ  $t < 0$ 
  - จงหาประจุทั้งหมดที่ผ่านพื้นที่หน้าตัดของเส้นลวดในช่วงเวลา  $t = 0$  และ  $t = 1/8$  s
  - ถ้าค่ากระแสเดียวกันนี้ไหลเข้าสู่ขั้วบวกขององค์ประกอบวงจรซึ่งมีแรงดันตกคร่อม ตามสมการ  $v(t) = 4\int_0^t i d\tau$  V จงหาค่ากำลังที่ส่งให้กับองค์ประกอบนี้
- เมื่อทำการประจุแบตเตอรี่ จะมีกระแสไหลเข้าสู่ขั้วบวกของแบตเตอรี่ขนาด 10 V โดยที่กระแสมีการเปลี่ยนแปลงแบบเชิงเส้นจาก 3 ถึง 9 mA ในช่วงเวลา  $t = 0$  ถึง  $t = 15$  นาที
  - จงหาประจุทั้งหมดที่ไหลเข้าสู่แบตเตอรี่ในช่วงเวลา 10 นาทีแรก
  - ค่ากำลังที่แบตเตอรี่ได้รับไปที่เวลา  $t = 5$  นาที และ  $t = 10$  นาที
  - ค่าพลังงานทั้งหมดที่แบตเตอรี่ได้รับไปในช่วงเวลา  $t = 0$  ถึง  $t = 15$  นาที
- จงหาค่ากำลังที่จ่ายให้องค์ประกอบวงจรตัวหนึ่งดังแสดงในรูปที่ P1.4 เมื่อค่ากระแส  $i = 12$  mA และแรงดัน  $v = 10$  V

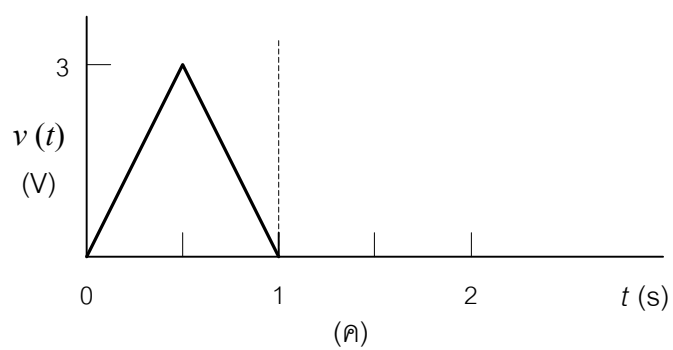
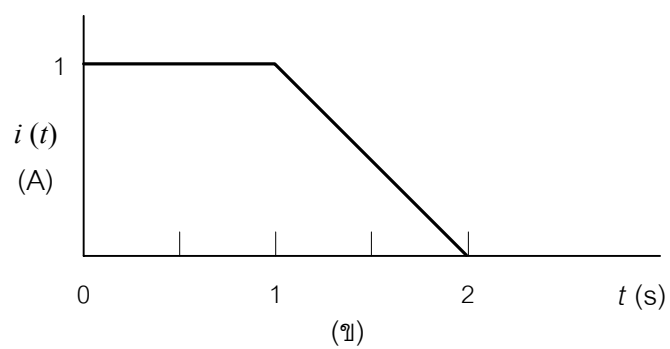


รูปที่ P1.4

- วงจรดังแสดงในรูป P1.5 (ก) มีกระแสและแรงดันดังในรูป P1.5 (ข) และ P1.5 (ค) ตามลำดับ จงหาค่าและเขียนกราฟของค่ากำลัง  $p(t)$  และพลังงาน  $w(t)$



(ก)



รูปที่ P1.5