วังอักษร
การวิเคราะห์
วงจรไฟฟ้า
สายัณต์ ชื่นอารมย์

การวิเคราะห์วงจรไฟฟ้า
(Electric Circuit Analysis)

รหัสวิชา 30105-1001

หมวดวิชาสมรรถนะวิชาชีพ กลุ่มสมรรถนะวิชาชีพพื้นฐาน
กลุ่มพื้นฐานวิชาชีพ ประเภทวิชาอุตสาหกรรม
หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง พุทธศักราช 2563
และใช้ได้กับหลักสูตรปริญญาตรี

เรียบเรียงโดย
สายัณต์ ซื่นอารมย์

การวิเคราะห์วงจรไฟฟ้า

(Electric Circuit Analysis)

คำอธิบายรายวิชา

ศึกษาและปฏิบัติเกี่ยวกับการวิเคราะห์วงจรไฟฟ้ากระแสตรงและกระแสสลับ ทฤษฎีโครงข่ายไฟฟ้ากระแสตรงและกระแสสลับ คุณลักษณะทางไฟฟ้า ผลตอบสนองต่อไฟฟ้ากระแสตรงและกระแสสลับของวงจรตัวต้านทาน คาปาซิเตอร์และอินดักเตอร์ วงจรแม่เหล็กไฟฟ้า กำลังไฟฟ้ากระแสสลับ วงจรเรโซแนนซ์ ฟิลเตอร์ พารามิเตอร์ของวงจรสองทางเข้าออก ระบบไฟฟ้าสามเฟส วงจรทรานสฟอร์เมอร์ วงจรคับเปิลและฮาร์มอนิกในระบบไฟฟ้า

จัดพิมพ์และจำหน่ายโดย...

บริษัท วังอักษร จำกัด

69/3 ถนนอรุณอมรินทร์

แขวงวัดอรุณ เขตบางกอกใหญ่

กรุงเทพฯ 10600

โทร. 0-2472-3293-5

โทรสาร 0-2891-0742

Mobile 08-8585-1521

e-Mail : wangaksorn9@gmail.com Facebook : สำนักพิมพ์ วังอักษร

http://www.wangaksorn.com ID Line : @wangaksorn

ข้อมูลทางบรรณานุกรมของสำนักหอสมุดแห่งชาติ

สายัณต์ ชื่นอารมย์.

การวิเคราะห์วงจรไฟฟ้า. -- กรุงเทพฯ : วังอักษร, 2563.

188 หน้า.

1. วงจรไฟฟ้า. I. ชื่อเรื่อง.

621.3

ISBN 978-616-211-923-1

พิมพ์ครั้งที่ 1 พ.ศ. 2563

สงวนลิขสิทธิ์ตามพระราชบัญญัติลิขสิทธิ์ พ.ศ. 2537

โดย บริษัท วังอักษร จำกัด ห้ามนำส่วนใดส่วนหนึ่งของหนังสือเล่มนี้ไปทำซ้ำ
ดัดแปลง หรือเผยแพร่ต่อสาธารณชน ไม่ว่ารูปแบบใด ๆ นอกจากได้รับอนุญาต
เป็นลายลักษณ์อักษรจากทางบริษัทฯ เท่านั้น
ชื่อและเครื่องหมายการค้าอื่น ๆ ที่อ้างอิงในหนังสือฉบับนี้
เป็นสิทธิโดยชอบด้วยกฎหมายของเจ้าของแต่ละราย
โดย บริษัท วังอักษร จำกัด มิได้อ้างความเป็นเจ้าของแต่อย่างใด

คำนำ

วิชาการวิเคราะห์วงจรไฟฟ้า รหัสวิชา **30000-1403** จัดอยู่ในหมวดวิชาสมรรถนะวิชาชีพ กลุ่มสมรรถนะวิชาชีพพื้นฐาน ประเภทวิชาอุตสาหกรรม **หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง พุทธศักราช 2563** และใช้ได้กับหลักสูตรปริญญาตรี นำเสนอเนื้อหาที่เข้าใจง่าย มีลำดับขั้นตอน มีภาพประกอบ และแบบฝึกหัดท้ายบท เพื่อให้นักศึกษาค้นคว้า และทำความเข้าใจเพิ่มเติม โดยผู้เขียนได้บริหารสาระการเรียนรู้แบ่งเป็น 7 บทเรียน และได้จัดแผนการจัดการเรียนรู้/แผนการสอนที่มุ่งเน้นฐานสมรรถนะ (Competency Based) และการบูรณาการ (Integrated) ตรงตามจุดประสงค์รายวิชา สมรรถนะรายวิชา และคำอธิบายรายวิชา ในแต่ละบทเรียน มุ่งให้ความสำคัญส่วนที่เป็นความรู้ ทฤษฎี หลักการ กระบวนการ และส่วนที่เป็นทักษะประสบการณ์ เร่งพัฒนาบทบาทของผู้เรียนเป็นผู้จัดการแสวงหาความรู้ (Explorer) เป็นผู้สอนตนเองได้ สร้างองค์ความรู้ใหม่ และบทบาทของผู้สอนเปลี่ยนจากผู้ให้ความรู้มาเป็นผู้จัดการชี้แนะ (Teacher Roles) จัดสิ่งแวดล้อมเอื้ออำนวยต่อความสนใจเรียนรู้ และเป็นผู้ร่วมเรียนรู้ (Co-investigator) จัดห้องเรียนเป็นสถานที่ทำงานร่วมกัน (Learning Context) จัดกลุ่มเรียนรู้ให้รู้จักทำงานร่วมกัน (Grouping) ฝึกความใจกว้าง มุ่งสร้างสรรค์คนรุ่นใหม่ สอนความสามารถที่นำไปทำงานได้ (Competency) สอนความรัก ความเมตตา (Compassion) ความเชื่อมั่น ความซื่อสัตย์ (Trust) เป้าหมายอาชีพอันยังประโยชน์ (Productive Career) และชีวิตที่มีศักดิ์ศรี (Noble Life) เหนือสิ่งอื่นใด เป็นคนดีทั้งกาย วาจา ใจ มีคุณธรรม จรรยาบรรณทางธุรกิจและวิชาชีพ

ส่งเสริมสนับสนุนยุทธศาสตร์การพัฒนาระบบคุณวุฒิวิชาชีพ (Vocational Qualification System) สอดคล้องตามมาตรฐานอาชีพ (Occupational Standard) สร้างภูมิคุ้มกัน เพิ่มขีดความสามารถในการแข่งขันของประเทศ กำลังแรงงาน การพัฒนามาตรฐานการปฏิบัติงานระดับชาติ (National Benchmarking) และการวิเคราะห์หน้าที่การงาน (Functional Analysis) เพื่อให้เกิดผลสำเร็จในภาคธุรกิจ อุตสาหกรรม ทุกสาขาอาชีพ เป็นการเตรียมความพร้อมของผู้เรียนเข้าสู่สนามการแข่งขันในประชาคมอาเซียน

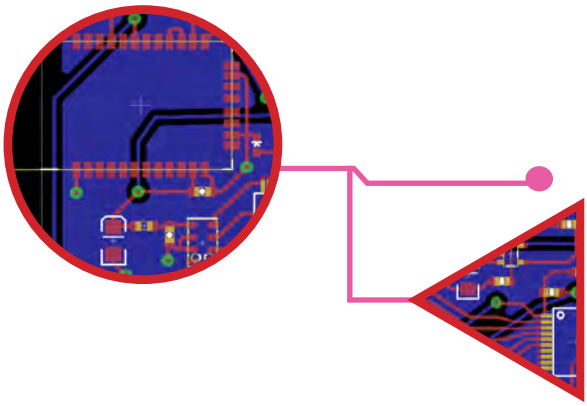
หากหนังสือเล่มนี้เป็นประโยชน์สำหรับนักศึกษาและบุคคลทั่วไปที่สนใจ ผู้เขียนขอมอบด้วยความระลึกถึงพระคุณของบิดา มารดา ครู อาจารย์ผู้สอนทุกท่าน ที่ประสาทวิชาความรู้ให้กับผู้เขียนไว้ ณ โอกาสนี้

สายัณต์ ชื่นอารมย์

สารบัญ

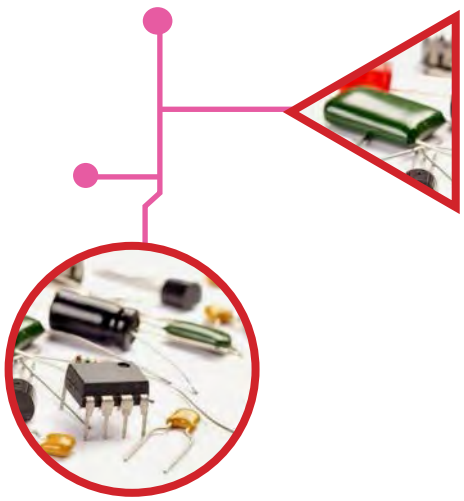
1 การวิเคราะห์วงจรไฟฟ้ากระแสตรงและวงจรไฟฟ้ากระแสสลับ 1

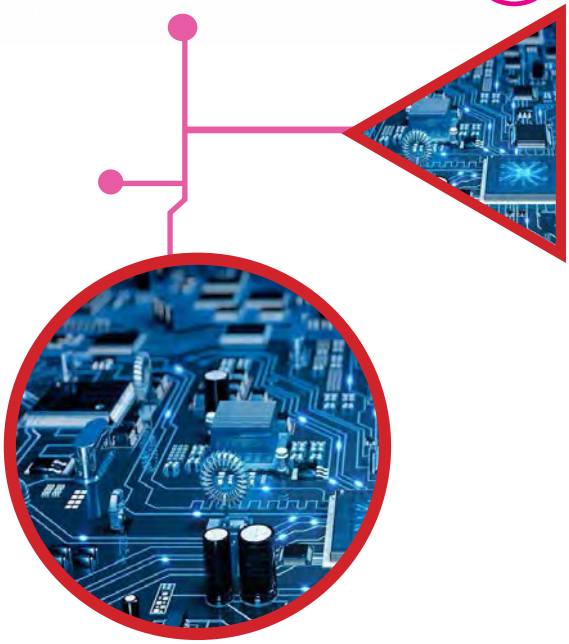
ความรู้พื้นฐานในการวิเคราะห์วงจรไฟฟ้า 2
วิเคราะห์วงจรไฟฟ้าแบบเมช 6
วิเคราะห์วงจรไฟฟ้าแบบโนด 11
แบบทดสอบและกิจกรรมการฝึกทักษะ 17
ใบงานที่ 1.1 วิเคราะห์วงจรไฟฟ้าแบบเมชและโนด 21



2 ทฤษฎีโครงข่ายไฟฟ้ากระแสตรงและไฟฟ้ากระแสสลับ 23

ทฤษฎีเทวินิน 24
ทฤษฎีนอร์ตัน 30
ทฤษฎีการส่งผ่านกำลังไฟฟ้าสูงสุด 36
แบบทดสอบและกิจกรรมการฝึกทักษะ 40
ใบงานที่ 2.1 ทฤษฎีโครงข่ายไฟฟ้าแบบเทวินิน นอร์ตันและการส่งผ่านกำลังไฟฟ้าสูงสุด 45



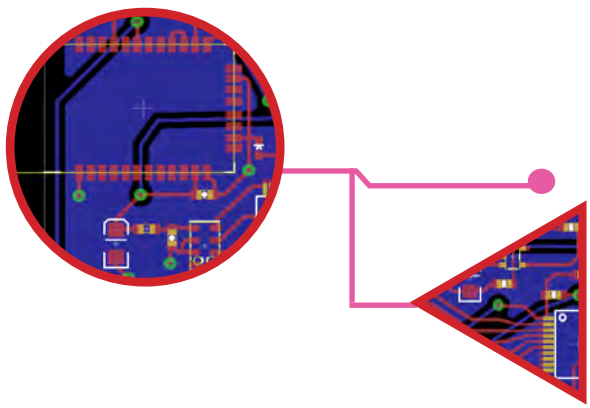


3 **คุณลักษณะไฟฟ้าและผลตอบสนองของอุปกรณ์ R - L - C** **47**

ตัวต้านทาน 48
ตัวเหนี่ยวนำไฟฟ้า 51
ตัวเก็บประจุไฟฟ้า 53
วงจร R – C ที่ปราศจากแหล่งจ่ายไฟฟ้าตรง 55
วงจร R – L ที่ปราศจากแหล่งจ่ายไฟฟ้าตรง 59
ตัวอย่างการแก้ปัญหาอุปกรณ์ R – L – C ในวงจรไฟฟ้ากระแสสลับ 62
แบบทดสอบและกิจกรรมการฝึกทักษะ 67
ใบงานที่ 3.1 อุปกรณ์ R – L – C ในวงจรไฟฟ้ากระแสสลับ 71
ใบงานที่ 3.2 วงจร R – C ในวงจรไฟฟ้ากระแสตรง 75

4 **กำลังไฟฟ้ากระแสสลับ** **77**

บทนำ 78
กำลังไฟฟ้า 79
เพาเวอร์ไตรแองเกิล 80
เพาเวอร์แฟกเตอร์ 82
แบบทดสอบและกิจกรรมการฝึกทักษะ 88
ใบงานที่ 4.1 การวัดค่ากำลังไฟฟ้าปรากฏ ในวงจรไฟฟ้ากระแสสลับ 91
ใบงานที่ 4.2 การวัดค่ากำลังไฟฟ้าจริง ในวงจรไฟฟ้ากระแสสลับ 93

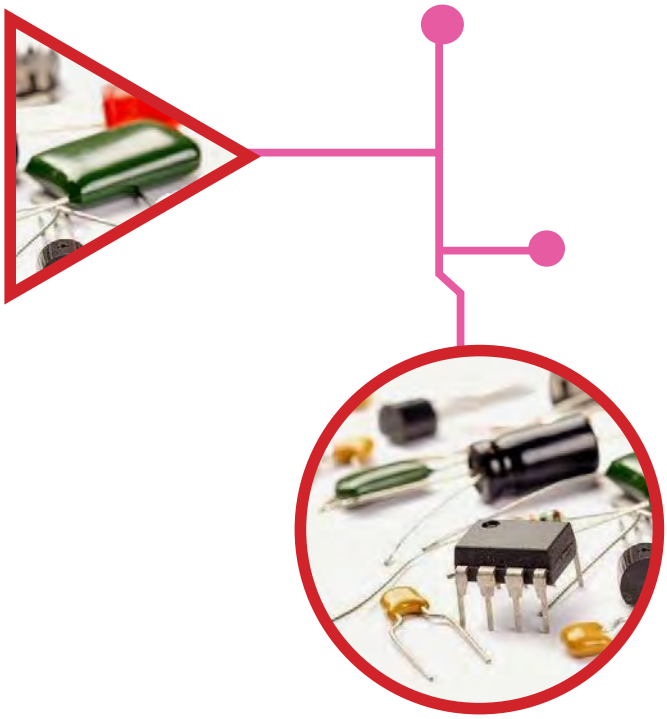


5 ระบบไฟฟ้า 3 เฟส 95

การกำเนิดแรงดันไฟฟ้า 96
การลำดับเฟส 98
การต่อขดลวดเครื่องกำเนิดไฟฟ้า 3 เฟส 102
ตัวอย่างการคำนวณ 109
แบบทดสอบและกิจกรรมการฝึกทักษะ 113
ใบงานที่ 5.1 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ 3 เฟส 116

6 วงจรเรโซแนนซ์ วงจรฟิลเตอร์และวงจรหม้อแปลงไฟฟ้า 117

วงจรเรโซแนนซ์ 118
ตัวประกอบคุณภาพของวงจรเรโซแนนซ์อนุกรม 123
วงจรฟิลเตอร์ 125
วงจรหม้อแปลงไฟฟ้า 128
แบบทดสอบและกิจกรรมการฝึกทักษะ 138
ใบงานที่ 6.1 วงจรเรโซแนนซ์ 142
ใบงานที่ 6.2 วงจรกรองแถบความถี่ 144
ใบงานที่ 6.3 วงจรกั้นความถี่ 146
ใบงานที่ 6.4 วงจรหม้อแปลงไฟฟ้า 147



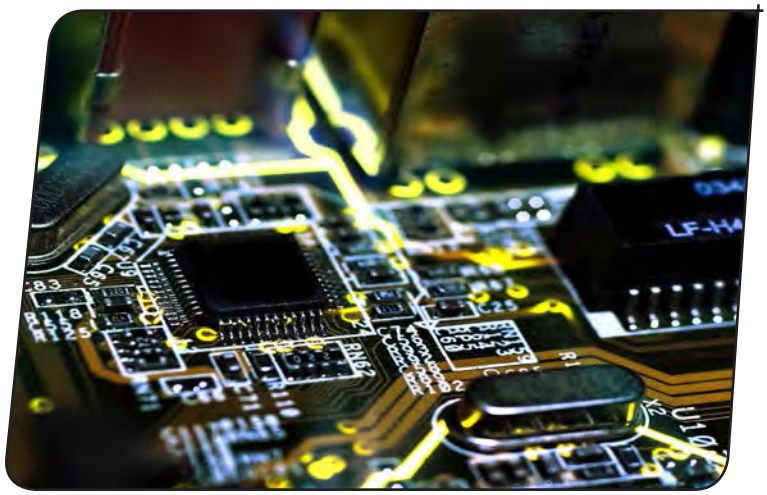
7 **พารามิเตอร์ของวงจรสองทางเข้า - ออก วงจรคับเปิลและฮาร์โมนิกส์ในระบบไฟฟ้า** **148**

พารามิเตอร์ของวงจรสองทางเข้า - ออก 149
วงจรคับเปิล 159
ฮาร์โมนิกส์ในระบบไฟฟ้า 161
แบบทดสอบและกิจกรรมการฝึกทักษะ 163
ใบงานที่ 7.1 อิมพีแดนซ์พารามิเตอร์ 167

คำถามเพื่อการทบทวน **169**

คำศัพท์ **173**

บรรณานุกรม



บทที่ 1

การวิเคราะห์วงจรไฟฟ้ากระแสตรงและวงจรไฟฟ้ากระแสสลับ

จุดประสงค์เชิงพฤติกรรม (Behavioral Objectives)

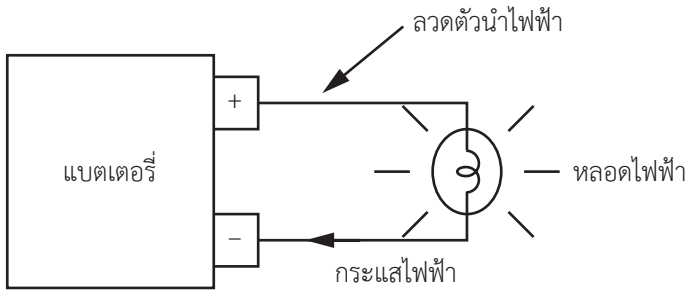
หลังจากศึกษาจบบทเรียนนี้แล้ว นักศึกษาจะมีความสามารถดังนี้

1. อธิบายความรู้พื้นฐานในการวิเคราะห์วงจรไฟฟ้า
2. วิเคราะห์วงจรไฟฟ้าแบบเมช เพื่อคำนวณหาค่ากระแสไฟฟ้าในวงจรไฟฟ้ากระแสตรงและวงจรไฟฟ้ากระแสสลับ
3. วิเคราะห์วงจรไฟฟ้าแบบโนด เพื่อคำนวณหาค่าแรงดันไฟฟ้าในวงจรไฟฟ้ากระแสตรงและวงจรไฟฟ้ากระแสสลับ

บทที่ 1
การวิเคราะห์วงจรไฟฟ้ากระแสตรง และวงจรไฟฟ้ากระแสสลับ

ความรู้พื้นฐานในการวิเคราะห์วงจรไฟฟ้า

1. วงจรไฟฟ้า (Electric Circuit) เบื้องต้นประกอบด้วยแหล่งจ่ายไฟฟ้า (Electrical Source) ภาระไฟฟ้า (Load) หรือโหลด และกระแสไฟฟ้า (Current) แสดงในรูปที่ 1.1 ซึ่งแหล่งจ่ายไฟฟ้า คือ แบตเตอรี่ (Battery) ทำหน้าที่จ่ายกระแสไฟฟ้าไปให้กับหลอดไฟฟ้า โดยมีเส้นลวดตัวนำที่ทำให้กระแสไฟฟ้าไหลผ่านหลอดไฟฟ้าได้ครบวงจรทำให้เกิดความสว่างขึ้น



รูปที่ 1.1 *วงจรไฟฟ้าเบื้องต้น*

2. ประจุไฟฟ้า (Charge, C) คือคุณสมบัติไฟฟ้าของอะตอมซึ่งเป็นอนุภาคที่เล็กที่สุดของสสาร มีหน่วยวัดเป็นคูลอมบ์ (Coulombs, C) ประกอบด้วยประจุไฟฟ้าบวก (Proton, p) ประจุไฟฟ้าลบ (Electron, e) และประจุไฟฟ้าที่มีทั้งประจุไฟฟ้าบวกและประจุไฟฟ้าลบเท่ากัน (Neutron, n) มีสภาพเป็นกลางทางไฟฟ้า

3. กระแสไฟฟ้า(Current, i) คือการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนโดยไหลจากขั้วลบของแบตเตอรี่ไปหาขั้วบวกของแบตเตอรี่ ซึ่งการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนจะไหลตรงข้ามกับกระแสไฟฟ้านิยมโดยมีข้อตกลงทางวิศวกรรมไฟฟ้า (Electrical Engineering) ว่าให้กระแสไฟฟ้านิยมดังกล่าวไหลจากขั้วบวกของแบตเตอรี่ไปหาขั้วลบของแบตเตอรี่

การวัดกระแสไฟฟ้าจะวัดจากการเปลี่ยนแปลงประจุไฟฟ้าเทียบกับเวลา

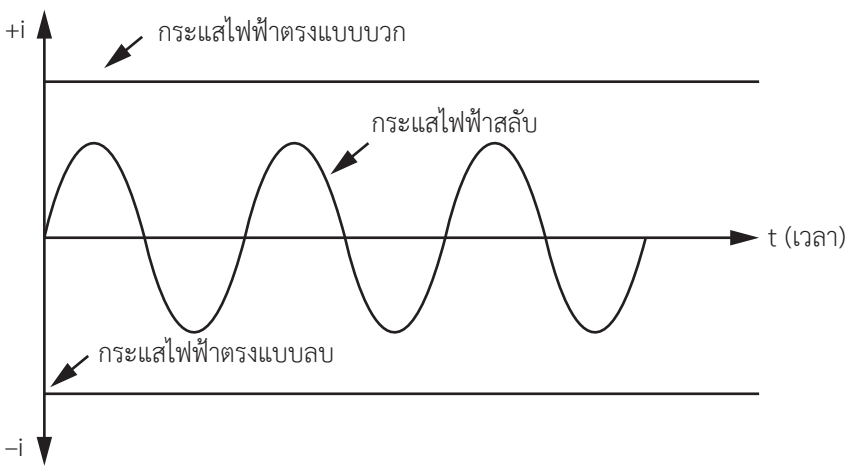
$$i = \frac{dq}{dt} \qquad \text{..... (1.1)}$$

จากสมการที่ 1.1 กระแสไฟฟ้า 1 A เกิดจากการเคลื่อนที่ของประจุไฟฟ้า 1 คูลอมบ์ ใช้เวลา 1 วินาที ประจุไฟฟ้าที่ไหลออกจากจุดหนึ่งที่เวลา t_O ถึงเวลา t_1 สามารถหาค่า q ได้ โดยการ อินทิเกรต (Integrate)

$$\int_{t_0}^{t_1} idt = \int dq = q$$

ดังนั้น $$q = \int_{t_0}^{t_1} idt \qquad \text{.....(1.2)}$$

กระแสไฟฟ้ามีทั้งไฟฟ้ากระแสตรง (Direct Current, dc) และไฟฟ้ากระแสสลับ (Alternating Current, ac) แสดงในรูปที่ 1.2 ซึ่งกระแสไฟฟ้าตรงหรือกระแสไฟฟ้าดีซีจะมีค่าคงที่ไม่ขึ้นอยู่กับเวลา ขณะที่กระแสไฟฟ้าสลับจะเปลี่ยนแปลงตลอดเวลาโดยขึ้นอยู่กับเวลา



รูปที่ 1.2 *กระแสไฟฟ้าตรงและกระแสไฟฟ้าสลับ*

4. แรงดันไฟฟ้า (Electromotive Force, EMF) เกิดจากแรงที่กระทำต่ออะตอมแล้วทำให้อิเล็กตรอนเกิดการเคลื่อนที่ สมมติให้แรงดันไฟฟ้าที่ขั้ว 1 – 2 คือ v_{12}

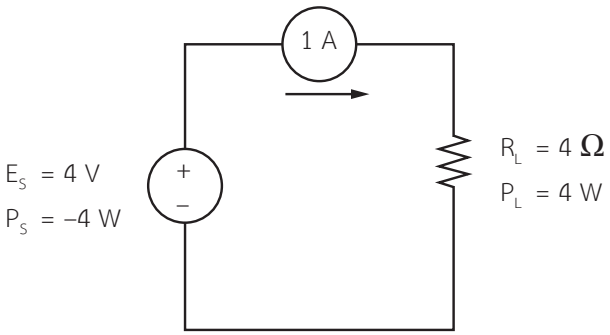
จะได้ $$v_{12} = \frac{dw}{dq} \quad \text{..... (1.3)}$$

จากสมการที่ 1.3 w คือพลังงานมีหน่วยเป็นจูล (Joule, J) ส่วน q คือประจุไฟฟ้ามีหน่วยเป็นคูลอมบ์ และ v คือแรงดันไฟฟ้า (Voltage , V) มีหน่วยเป็นโวลต์

5. กำลังไฟฟ้า (Power, p) คืออัตราการใช้พลังงาน (Energy, w) มีหน่วยเป็นวัตต์

$$p = \frac{dw}{dt} = vi \quad \text{..... (1.4)}$$

จากสมการที่ 1.4 ค่า v และ i จะเป็นฟังก์ชันของเวลา ทำให้ p เป็นปริมาณที่เปลี่ยนแปลงตามเวลาด้วยเรียกว่า **กำลังไฟฟ้าชั่วขณะ (Instantaneous Power)**



รูปที่ 1.3 *กำลังไฟฟ้าแจกจ่ายและกำลังไฟฟ้าดูดกลืน*

พิจารณารูปที่ 1.3 แหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้า 4 V จ่ายให้กับภาระไฟฟ้า R_L แล้วทำให้เกิดกระแสไฟฟ้า 1 A ถือว่าแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้าดังกล่าวทำหน้าที่แจกจ่ายกำลังไฟฟ้า ขณะที่ R_L จะทำหน้าที่ดูดกลืนกำลังไฟฟ้า ทำให้ผลรวมพีชคณิตของกำลังไฟฟ้าในวงจร ณ ช่วงเวลาใด ๆ มีค่าเท่ากับศูนย์

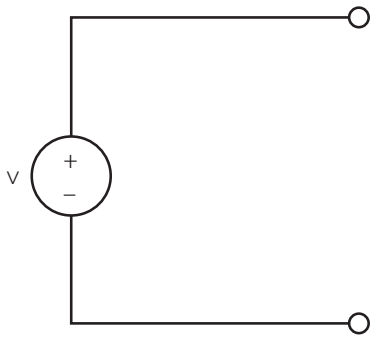
จะได้ $P_L + P_S = 0$

$4 - 4 = 0$

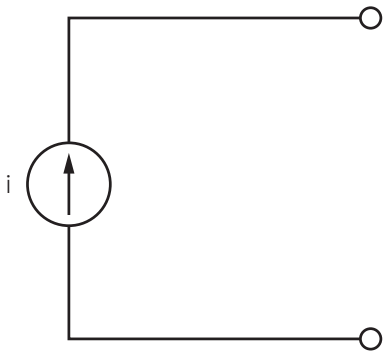
ดังนั้น กำลังไฟฟ้าที่แจกจ่ายมีค่าเท่ากับกำลังไฟฟ้าที่ดูดกลืน

6. องค์ประกอบวงจรไฟฟ้า มี 2 แบบ คือ แบบแพสซีฟ (Passive) กับแบบแอคตีฟ (Active) ซึ่งองค์ประกอบวงจรไฟฟ้าแบบแพสซีฟจะไม่สามารถกำเนิดพลังงานไฟฟ้าได้ เช่น ตัวต้านทาน ตัวเก็บประจุไฟฟ้า และตัวเหนี่ยวนำ ส่วนองค์ประกอบวงจรไฟฟ้าแบบแอคตีฟจะกำเนิดพลังงานไฟฟ้าได้ เช่น อุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ (ทรานซิสเตอร์ ไอซี) และแบตเตอรี่

องค์ประกอบวงจรไฟฟ้าแบบแอคตีฟประกอบด้วย แหล่งจ่ายกระแสไฟฟ้า (Current Source) กับแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้า (Voltage Source) มีทั้งแหล่งจ่ายไฟฟ้าอิสระ (Independent Source) และแหล่งจ่ายไฟฟ้าไม่อิสระ (Dependent Source)



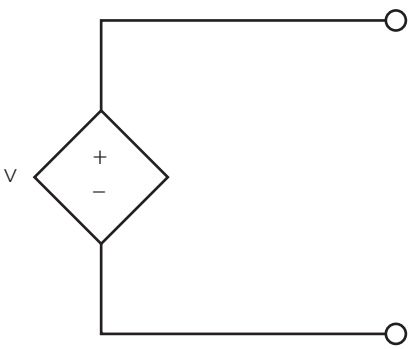
(ก) แหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้าอิสระ



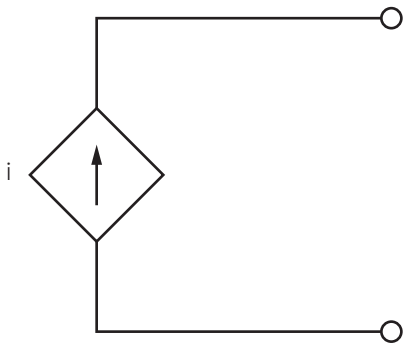
(ข) แหล่งจ่ายกระแสไฟฟ้าอิสระ

รูปที่ 1.4 *แหล่งจ่ายไฟฟ้าอิสระ*

รูปที่ 1.4 แสดงแหล่งจ่ายไฟฟ้าอิสระมีทั้งแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้า ซึ่งจะไม่ขึ้นอยู่กับตัวแปรใด ๆ ในวงจรไฟฟ้า



(ก) แหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้าไม่อิสระ



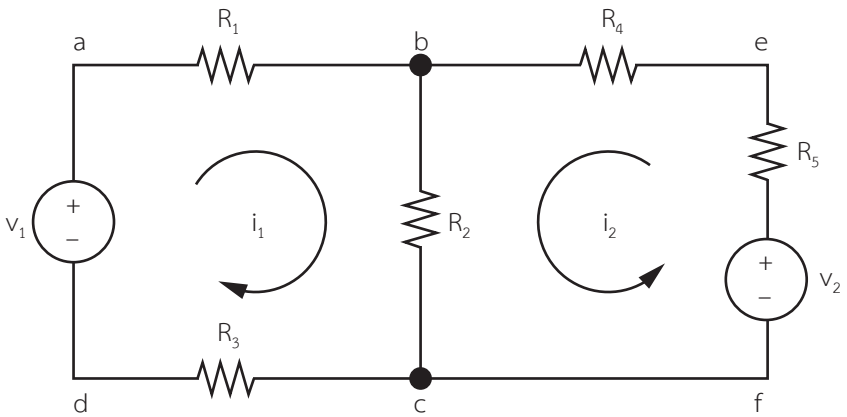
(ข) แหล่งจ่ายกระแสไฟฟ้าไม่อิสระ

รูปที่ 1.5 *แหล่งจ่ายไฟฟ้าไม่อิสระ*

รูปที่ 1.5 แสดงแหล่งจ่ายไฟฟ้าไม่อิสระ ซึ่งแรงดันไฟฟ้าหรือกระแสไฟฟ้าจะถูกควบคุมด้วยแรงดันไฟฟ้าหรือกระแสไฟฟ้าอื่น ๆ ในวงจร

วิเคราะห์วงจรไฟฟ้าแบบเมช

การวิเคราะห์วงจรไฟฟ้าแบบเมช (Mesh Analysis) ใช้กฎแรงดันไฟฟ้าของเคอร์ชอฟฟ์ (Kirchhoff Voltage Law, KVL) มาพิจารณาเพื่อหาค่ากระแสไฟฟ้าต่าง ๆ ที่ไหลในวงจร ซึ่งเมชเป็นวงรอบหรือลูป (Loop) ที่ไม่ซับซ้อน แสดงในรูปที่ 1.6 เป็นวงจรไฟฟ้าที่มี 2 เมช คือ เมช abcd และ befc โดยที่ abefcd ถือว่าไม่ใช่เมช ส่วนกระแสไฟฟ้าผ่านเมชคือ i_1 กับ i_2



รูปที่ 1.6 *วงจรไฟฟ้ามี 2 เมช*

พิจารณารูปที่ 1.6 สามารถวิเคราะห์วงจรไฟฟ้าแบบเมช ดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 กำหนดกระแสไฟฟ้าแบบเมช i_1 กับ i_2 และกำหนดทิศทางไปทางใดก็ได้

ขั้นตอนที่ 2 ใช้กฎแรงดันไฟฟ้าของเคอร์ชอฟฟ์ เขียนสมการในแต่ละเมช

เมช 1 พิจารณาวงรอบ abcda

$$i_1 R_1 + (i_1 + i_2) R_2 + i_1 R_3 - V_1 = 0$$

$$(R_1 + R_2 + R_3) i_1 + R_2 i_2 = V_1 \quad \text{..... (1.5)}$$

เมช 2 พิจารณาวงรอบ ebcfe

$$i_2 (R_4 + R_5) + (i_2 + i_1) R_2 - V_2 = 0$$

$$R_2 i_1 + (R_2 + R_4 + R_5) i_2 = V_2 \quad \text{..... (1.6)}$$

ขั้นตอนที่ 3 จากสมการที่ (1.5) กับ (1.6) พบว่า ค่าความต้านทานและแรงดันไฟฟ้าเป็นค่าคงที่ จึงเหลือตัวแปร i_1 กับ i_2 แล้วแก้สมการ i_1 กับ i_2 ด้วยวิธีเมทริกซ์และดีเทอร์มิแนนต์

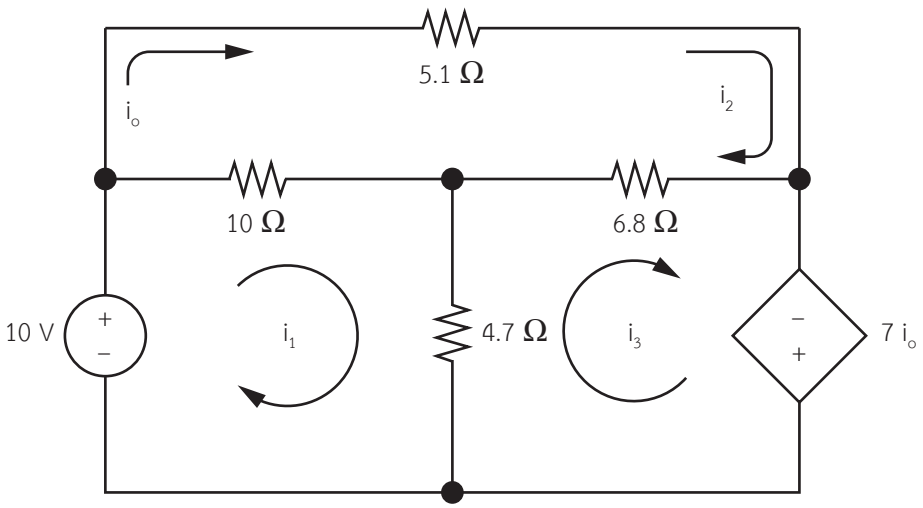
ตัวต้านทาน R_1 กับ R_3 จะมีกระแสไฟฟ้า i_1 ไหลผ่าน

ตัวต้านทาน R_2 จะมีกระแสไฟฟ้า i_1 กับ i_2 ไหลผ่าน

ตัวต้านทาน R_4 กับ R_5 จะมีกระแสไฟฟ้า i_2 ไหลผ่าน

อย่างไรก็ตาม ผลลัพธ์กระแสไฟฟ้าแบบเมชจะชี้ทิศทางกระแสไฟฟ้าที่แท้จริง กล่าวคือ ถ้าคำนวณ i_1 ออกมาเป็นบวก แสดงว่า i_1 ไหลจากซ้ายไปขวา (ตามเข็มนาฬิกา) และถ้าคำนวณ i_1 ออกมาเป็นลบ แสดงว่า ทิศทางกระแสไฟฟ้า i_1 ไหลจากขวาไปซ้าย (ทวนเข็มนาฬิกา)

ตัวอย่างที่ 1.1 จากรูปที่ 1.7 ให้วิเคราะห์แบบเมชหาค่ากระแสไฟฟ้า i_o



รูปที่ 1.7 *ภาพประกอบตัวอย่างที่ 1.1*

วิธีทำ

1. กำหนดทิศทางกระแสไฟฟ้าแบบเมชและใช้กฎ KVL
2. ใช้กฎ KVL เขียนสมการแต่ละเมช

เมช 1 จะได้ $10(i_1 - i_2) + 4.7(i_1 - i_3) - 10 = 0$

$14.7\, i_1 - 10\, i_2 - 4.7\, i_3 = 10$ ..... (1.7)

เมช 2 จะได้ $5.1\, i_2 + 6.8(i_2 - i_3) + 10(i_2 - i_1) = 0$

$-10\, i_1 + 21.9\, i_2 - 6.8\, i_3 = 0$ ..... (1.8)

เมช 3 จะได้ $6.8(i_3 - i_2) - 7\, i_o + 4.7(i_3 - i_1) = 0$

โดยที่ $i_o = i_2$ ดังนั้นจะได้ $-4.7\, i_1 - 13.8\, i_2 + 11.5\, i_3 = 0$ ..... (1.9)

3. จากสมการที่ 1.7, 1.8 และ 1.9 แก้สมการหาค่า i_1, i_2 และ i_3 ด้วยวิธีดีเทอร์มิแนนต์และเมทริกซ์

$$\begin{bmatrix} 14.7 & -10 & -4.7 \\ -10 & 21.9 & -6.8 \\ -4.7 & -13.8 & -11.5 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_1 \\ i_2 \\ i_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 10 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

$$\Delta = \begin{bmatrix} 14.7 & -10 & -4.7 \\ -10 & 21.9 & -6.8 \\ -4.7 & -13.8 & 11.5 \end{bmatrix}$$

$$= (14.7)(158.01) + (10)(-146.96) + (-4.7)(240.93)$$

$$= 2{,}322.747 - 1{,}469.60 - 1{,}132.371$$

$$= -279.22$$

$$\Delta i_1 = \begin{bmatrix} 10 & -10 & -4.7 \\ 0 & 21.9 & -6.8 \\ 0 & -13.8 & 11.5 \end{bmatrix} = (10)(158.01)$$

$$= 1{,}580.10$$

$$\Delta i_2 = \begin{bmatrix} -14.7 & 10 & -4.7 \\ -10 & 0 & -6.8 \\ -4.7 & 0 & 11.5 \end{bmatrix} = (-10)(-146.96)$$

$$= 1{,}469.60$$

$$\Delta i_3 = \begin{bmatrix} 14.7 & 10 & 10 \\ -10 & 21.9 & 0 \\ -4.7 & -13.8 & 0 \end{bmatrix} = (10)(240.93)$$

$$= 2{,}409.30$$

$$i_1 = \frac{\Delta i_1}{\Delta} = \frac{1{,}580.10}{-279.22} = -5.66 \text{ A}$$

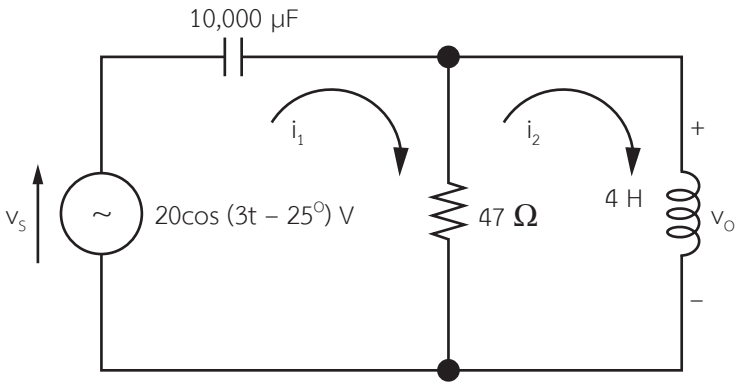
$$i_2 = \frac{\Delta i_2}{\Delta} = \frac{1{,}469.60}{-279.22} = -5.26 \text{ A}$$

$$i_3 = \frac{\Delta i_3}{\Delta} = \frac{2{,}409.30}{-279.22} = -8.63 \text{ A}$$

ดังนั้น กระแสไฟฟ้า $i_o = i_2 = -5.26$ A ซึ่งความเป็นจริง i_o จะไหลในทิศทางทวนเข็มนาฬิกา

ตอบ

ตัวอย่างที่ 1.2 จากรูปที่ 1.8 ให้วิเคราะห์แบบเมชหาแรงดันไฟฟ้า v_o



รูปที่ 1.8 *ภาพประกอบตัวอย่างที่ 1.2*

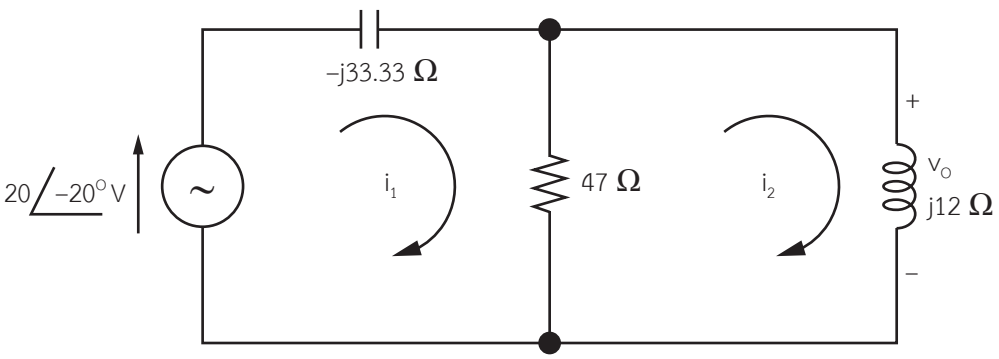
วิธีทำ

1. แหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้า $v_S = 20\cos(3t - 25^\circ) \Rightarrow v_S = 20\angle -25^\circ$ V เมื่อ $\omega = 3$

   อิมพีแดนซ์ขดลวด $L = j\omega L = j(3)(4) = j12\ \Omega = 12\angle 90^\circ\ \Omega$

   อิมพีแดนซ์ตัวเก็บประจุไฟฟ้า $C = -j\frac{1}{\omega C} = -j\frac{1}{(3)(10{,}000 \times 10^{-6})} = -j33.33\ \Omega$

2. เขียนวงจรไฟฟ้าเฟสเซอร์ในรูปที่ 1.9



รูปที่ 1.9 *วงจรไฟฟ้าเฟสเซอร์*

เมช 1 จะได้ $-j33.33\, i_1 + 47\,(i_1 - i_2) - 20\angle -25^\circ = 0$

$$(47 - j33.33)\, i_1 - 47\, i_2 = 20\angle -25^\circ \quad \text{..... (1.10)}$$

เมช 2 จะได้ $j12 i_2 + 47\,(i_2 - i_1) = 0$

$$-47 i_1 + (47 + j12)\, i_2 = 0 \quad \text{..... (1.11)}$$

นำสมการที่ 1.10 กับ 1.11 หาค่ากระแสไฟฟ้า i_1 กับ i_2 และแรงดันไฟฟ้า v_o โดยจัดในรูปดีเทอร์มิแนนต์กับเมทริกซ์

$$\begin{bmatrix} 47 - j33.33 & -47 \\ -47 & 47 + j12 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_1 \\ i_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 20\angle -25^\circ \\ 0 \end{bmatrix}$$

เนื่องจาก $47 - j33.33 = 57.62\angle -35.34^\circ$

$47 + j12 = 48.51\angle 14.32^\circ$

$20\angle -25^\circ = 18.13 - j8.45$

$\Delta = (57.62 \times 48.51)\angle -21.02^\circ - 2{,}209 = 2{,}795.15\angle -21.02^\circ - 2{,}209$

$= 400.15 - j1{,}002.60 = 1{,}079.50\angle -68.24^\circ$

$$\Delta i_1 = \begin{bmatrix} 20\angle -25 & -47 \\ 0 & 48.51\angle 14.32^\circ \end{bmatrix} = 970.20\angle -10.68^\circ$$