



สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

# วิศวกรรมไฟฟ้าเบื้องต้น

สำหรับนิสิตนักศึกษาวิศวกรรมศาสตร์สาขาอื่นที่เกี่ยวข้อง

วิศวกรรมไฟฟ้า (Electrical Engineering) เป็นการนำความรู้ทางด้านคณิตศาสตร์และวิทยาศาสตร์ที่เกี่ยวข้องกับการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนมาประยุกต์ใช้ หนังสือวิศวกรรมไฟฟ้าเบื้องต้นเล่มนี้ เป็นหนังสือที่รวบรวมความรู้พื้นฐานทางด้านวิศวกรรมไฟฟ้า เพื่อให้ให้นิสิตนักศึกษาที่ศึกษาอยู่ในสาขาวิศวกรรมศาสตร์ด้านอื่น ๆ ได้ทำการศึกษาเนื้อหาในหนังสือเล่มนี้ประกอบด้วย 3 ส่วน ได้แก่ (1) ทฤษฎีวงจรไฟฟ้า ทั้งวงจรไฟตรงและวงจรไฟสลับ (2) อุปกรณ์ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์พื้นฐาน รวมถึงไดโอดและเซนเซอร์ต่าง ๆ และ (3) เครื่องกลไฟฟ้ากำลัง ซึ่งประกอบด้วยหม้อแปลง ทรานส์ดิวเซอร์ มอเตอร์และเครื่องกำเนิดไฟฟ้า จุดประสงค์ของการศึกษาตามหนังสือเล่มนี้คือ เพื่อให้ให้นิสิตนักศึกษาได้เข้าใจถึงหลักการพื้นฐานทางวิศวกรรมไฟฟ้า และสามารถนำไปประยุกต์ใช้ร่วมกับงานทางวิศวกรรมสาขาที่ตนเองศึกษาอยู่ได้



จัดพิมพ์โดย  
สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
ถนนพญาไท เขตปทุมวัน กรุงเทพฯ 10330  
โทร. 0-2218-3269  
โทรสาร 0-2218-3266  
e-mail: cupress@chula.ac.th  
www.ChulaPress.com Knowledge to All  
assคุณค่าวิชาการ สู่สังคม



www.ChulaPress.com

วิศวกรรมไฟฟ้าเบื้องต้น  
สำหรับนิสิตนักศึกษาวิศวกรรมศาสตร์สาขาอื่นที่เกี่ยวข้อง

สุวิทย์ กิระวิทยา

ศพจ.  
1878

# วิศวกรรมไฟฟ้าเบื้องต้น

สำหรับนิสิตนักศึกษาวิศวกรรมศาสตร์สาขาอื่นที่เกี่ยวข้อง



สุวิทย์ กิระวิทยา

# วิศวกรรมไฟฟ้าเบื้องต้น

สำหรับนิสิตนักศึกษาวิศวกรรมศาสตร์สาขาอื่นที่เกี่ยวข้อง

สุวิทย์ กิระวิทยา



สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2557

460.-

สุวิทย์ กิระวิทยา

วิศวกรรมไฟฟ้าเบื้องต้น สำหรับนิสิตนักศึกษาวิศวกรรมศาสตร์สาขาอื่นที่เกี่ยวข้อง / สุวิทย์ กิระวิทยา

1. วิศวกรรมไฟฟ้า.

621.3

ISBN 978-974-03-3285-5

สพจ. 1878



สรรคณด้าวิชาการ สู้สังคณ

www.ChulaPress.com

*Knowledge to All*

ลิขสิทธิ์ของสำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

พิมพ์ครั้งที่ 1 จำนวน 1,000 เล่ม พ.ศ. 2557

การผลิตและการลอกเลียนหนังสือเล่มนี้ไม่ว่ารูปแบบใดทั้งสิ้น

ต้องได้รับอนุญาตเป็นลายลักษณ์อักษรจากสำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ผู้จัดจำหน่าย ศูนย์หนังสือจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ถนนพญาไท เขตปทุมวัน กรุงเทพฯ 10330

สาขา

ศาลาพระเกี้ยว โทร.0-2218-7000-3 โทรสาร0-2255-4441

สยามสแควร์ โทร.0-2218-9881-2 โทรสาร 0-2254-9495

ม.นเรศวร จ.พิษณุโลก โทร. 0-5526-0162-4 โทรสาร 0-5526-0165

ม.เทคโนโลยีสุรนารี จ.นครราชสีมา โทร. 0-4421-6131-4 โทรสาร 0-4421-6135

ม.บูรพา จ.ชลบุรี โทร. 0-3839-4855-9 โทรสาร 0-3839-3239

โรงเรียนนายร้อย จปร. จ.นครนายก โทร. 0-3739-3023 โทรสาร 0-3739-3023

ม.พะเยา จ.พะเยา โทร. 0-5446-6799-800 โทรสาร 0-5446-6798

จัตุรัสจามจุรี (CHAMCHURI SQUARE) ชั้น 4 โทร. 0-2160-5301-2 โทรสาร0-2160-5304

หัวหมาก โทร. 0-2374-1378 โทรสาร 0-2374-1377

Call Center (จัดส่งทั่วประเทศ) โทร. 0-2255-4433 <http://www.chulabook.com> และเครือข่าย ฯ

ร้านค้าติดต่อ

แผนกขายส่ง สาขาหัวหมาก โทร. 0-2374-1375 โทรสาร 0-2374-1377

กองบรรณาธิการ : รวีวรรณ จันทรเม้น

พิสูจน์อักษร : ทิพวรรณ โหละสุต

ออกแบบปกและรูปเล่ม : สุวิทย์ กิระวิทยา

พิมพ์ที่ โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย โทร. 0-2218-3557 โทรสาร 02-215-3612 [5802-063]

# คำนำ

หนังสือเล่มนี้จัดทำขึ้นเพื่อใช้อ่านประกอบการเรียนการสอนในวิชาพื้นฐานวิศวกรรมไฟฟ้า (Fundamental of Electrical Engineering) และวิชาวิศวกรรมไฟฟ้าเบื้องต้น (Introduction to Electrical Engineering) ซึ่งเป็นวิชาที่เปิดสอน โดยภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร โดยเปิดสอนในหลักสูตรระดับปริญญาตรีในหลายสาขาวิชา ได้แก่ สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ สาขาวิศวกรรมเครื่องกล สาขาวิศวกรรมเคมี และสาขาวิศวกรรมวัสดุ เนื้อหาที่นำเสนอในเอกสารนี้ ใช้สำหรับการเรียนการสอนนิสิตนักศึกษาในสาขาวิศวกรรมในระดับชั้นปีที่ 2 ขึ้นไป โดยผู้เรียนจะต้องมีความรู้พื้นฐานทางด้านฟิสิกส์และแคลคูลัสมาก่อนแล้ว ในการจัดทำหนังสือนี้ ผู้เขียนมีจุดประสงค์เพื่อให้ผู้อ่านที่เป็นนิสิตนักศึกษาสามารถนำไปใช้อ่านประกอบการทำความเข้าใจเนื้อหาวิชานี้

เนื้อหาในหนังสือเล่มนี้ประกอบด้วยบทนำ ในบทที่ 1 ที่กล่าวถึงภาพรวมของศาสตร์ทางวิศวกรรมด้านไฟฟ้า และศาสตร์ที่เกี่ยวข้องกับความรู้ด้านวิศวกรรมไฟฟ้า จากนั้นบทที่ 2 จะเป็นเรื่องเกี่ยวกับความรู้พื้นฐานทางวงจรไฟฟ้า แล้วจึงเข้าสู่การวิเคราะห์วงจรตัวต้านทานในบทที่ 3 และการวิเคราะห์วงจรขั้วที่มีระเบียบแบบแผนในบทที่ 4 บทที่ 5 จะเป็นการอธิบายถึงทฤษฎีทางวงจรไฟฟ้าที่สำคัญ บทที่ 6 จะกล่าวถึงลักษณะสมบัติของอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องกับวงจรไฟฟ้ากระแสสลับ ซึ่งได้แก่ ตัวเก็บประจุ ตัวเหนี่ยวนำ หม้อแปลง และแหล่งจ่ายสัญญาณไฟสลับ และในบทที่ 7 จะนำเสนอวงจรไฟสลับ บทที่ 8 จะกล่าวถึงรายละเอียดด้านกำลังไฟฟ้าของวงจรไฟสลับ และระบบส่งกำลังไฟฟ้า บทที่ 9 จะอธิบายพื้นฐานของอุปกรณ์และวงจรอิเล็กทรอนิกส์และการประยุกต์ใช้ คือ ไดโอดและวงจรไดโอด จากนั้นบทที่ 10-12 จะนำเสนอเกี่ยวกับระบบกลไฟฟ้า โดยในบทที่ 10 จะกล่าวถึงพื้นฐานทฤษฎีทางแม่เหล็กที่เกี่ยวข้องกับการอธิบายหลักการทำงานของระบบกลไฟฟ้า จากนั้นในบทที่ 11 จะนำเสนอหลักการทำงานของหม้อแปลงและทรานสดิวเซอร์แบบต่าง ๆ และบทที่ 12 จะกล่าวถึงการทำงานของเครื่องกลไฟฟ้าแบบหมุน ได้แก่ มอเตอร์และเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ทั้งแบบไฟฟ้ากระแสตรงและไฟฟ้ากระแสสลับ



ในแต่ละบทผู้เขียนได้สอดแทรกตัวอย่างและคำถามทดสอบความเข้าใจ เพื่อให้ผู้อ่านได้ลองทดสอบความเข้าใจของตนเองทันทีหลังจากการเรียนรู้ในแต่ละหัวข้อ โดยแบบฝึกหัดท้ายบทเป็นแบบฝึกหัดและคำถามเพิ่มเติมที่จัดทำขึ้น เพื่อให้ผู้อ่านได้ทดสอบความเข้าใจหลังจากที่ได้ศึกษาในแต่ละบท โดยเฉลยคำตอบของแบบฝึกหัดท้ายบทได้แสดงไว้ที่ภาคผนวก ข

สำหรับสัญลักษณ์ของตัวแปรต่าง ๆ ที่ปรากฏอยู่ในหนังสือเล่มนี้ ผู้เขียนใช้ *ภาษาอังกฤษตัวพิมพ์เล็ก* อย่างเช่น กระแสไฟฟ้า  $i$ , แรงดัน  $v$ , กำลัง  $p$  สำหรับปริมาณที่แปรเปลี่ยนได้ (สำหรับสัญญาณ) โดยหากปริมาณนั้นแปรเปลี่ยนในเชิงเวลาอย่างชัดเจน ก็จะกำกับด้วยตัวแปรเวลา  $t$  เช่น แรงดันที่เป็นฟังก์ชันของเวลา คือ  $v(t)$  และใช้ *ภาษาอังกฤษตัวพิมพ์ใหญ่* ในกรณีที่ปริมาณนั้น ๆ เป็นตัวแปรที่มีค่าคงที่ เช่น แรงดันไฟตรง  $V$ , กระแสไฟตรง  $I$ , ความต้านทาน  $R$ , ความเก็บประจุ  $C$  สำหรับปริมาณเฟสเซอร์ที่พบในการวิเคราะห์วงจรไฟฟ้ากระแสสลับในโดเมนความถี่ ในบทที่ 6 เป็นต้นไป เราจะใช้ *ภาษาอังกฤษตัวพิมพ์ใหญ่หนา* เช่น กระแสไฟฟ้า  $\mathbf{I}$ , แรงดัน  $\mathbf{V}$  เพื่อบ่งบอกว่าเป็นปริมาณในโดเมนความถี่ โดยอาจจะใช้  $j\omega$  กำกับปริมาณนั้น ๆ เพื่อแสดงให้เห็นอย่างชัดเจนว่าเป็นปริมาณในโดเมนความถี่ โดย  $j$  คือ ค่าคงที่จินตภาพ ( $= \sqrt{-1}$ ) และ  $\omega$  คือ ตัวแปรความถี่เชิงมุม

การจัดทำหนังสือเล่มนี้จะเสร็จสิ้นลงมิได้หากปราศจากการสนับสนุนของภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร ผู้เขียนขอขอบคุณอาจารย์วันวิสาข์ ปันศักดิ์ ที่อยู่เบื้องหลังในการจัดเตรียมหนังสือเล่มนี้ หากผู้ใช้หนังสือเล่มนี้ (ไม่ว่าจะเป็นนิสิตนักศึกษา หรืออาจารย์) พบข้อผิดพลาด หรือต้องการเสนอแนะเกี่ยวกับหนังสือเล่มนี้ ก็ขอให้แจ้งมาที่ผู้เขียนโดยตรง เพื่อทำการปรับปรุงต่อไป

สุวิทย์ ภิระวิทยา

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

พิษณุโลก

พฤศจิกายน 2557

# สารบัญ

| คำนำ                                                  | หน้า      |
|-------------------------------------------------------|-----------|
| <b>บทที่ 1 แนะนำเกี่ยวกับวิศวกรรมไฟฟ้า</b>            | <b>1</b>  |
| 1.1 บทนำ                                              | 2         |
| 1.2 วิชาต่าง ๆ ในหลักสูตรวิศวกรรมไฟฟ้าและการจำแนกสาขา | 2         |
| 1.3 วิศวกรรมไฟฟ้ากับวิศวกรรมสาขาอื่น ๆ                | 5         |
| 1.4 ระบบหน่วย SI                                      | 8         |
| แบบฝึกหัด                                             | 11        |
| <b>บทที่ 2 พื้นฐานวงจรไฟฟ้า</b>                       | <b>13</b> |
| 2.1 บทนำ                                              | 14        |
| 2.2 นิยามที่สำคัญเกี่ยวกับวงจรไฟฟ้า                   | 15        |
| 2.2.1 แหล่งจ่ายแรงดันอุดมคติ                          | 15        |
| 2.2.2 แหล่งจ่ายกระแสอุดมคติ                           | 16        |
| 2.2.3 แหล่งจ่ายไม่อิสระ                               | 16        |
| 2.2.4 วงจรข่ายทางไฟฟ้า                                | 17        |
| 2.3 ประจุและกระแสไฟฟ้า                                | 19        |
| 2.3.1 ประจุ                                           | 19        |
| 2.3.2 กระแสไฟฟ้า                                      | 20        |
| 2.4 กฎของเคิร์ชฮอฟฟ์สำหรับกระแส                       | 23        |
| 2.5 แรงดันและกราวนด์                                  | 27        |
| 2.6 กฎของเคิร์ชฮอฟฟ์สำหรับแรงดัน                      | 30        |
| 2.7 กำลังไฟฟ้าและข้อตกลงเครื่องหมายแบบแพสซีฟ          | 33        |
| แบบฝึกหัด                                             | 39        |
| <b>บทที่ 3 วงจรความต้านทาน</b>                        | <b>43</b> |
| 3.1 บทนำ                                              | 44        |
| 3.2 ความต้านทานและกฎของโอห์ม                          | 44        |
| 3.3 การต่ออนุกรมและกฎการแบ่งแรงดัน                    | 48        |
| 3.4 การต่อขนานและกฎการแบ่งกระแส                       | 51        |

|                                               |            |
|-----------------------------------------------|------------|
| 3.5 ตัวต้านทานในวงจรไฟฟ้า                     | 57         |
| 3.6 แหล่งจ่ายและอุปกรณ์การวัดทางไฟฟ้า         | 63         |
| 3.6.1 แหล่งจ่ายแรงดันและแหล่งจ่ายกระแส        | 63         |
| 3.6.2 โอห์มมิเตอร์ โวลต์มิเตอร์ และแอมมิเตอร์ | 64         |
| 3.6.3 วัตต์มิเตอร์                            | 67         |
| แบบฝึกหัด                                     | 67         |
| <b>บทที่ 4 การวิเคราะห์วงจรจ่าย</b>           | <b>73</b>  |
| 4.1 บทนำ                                      | 74         |
| 4.2 การวิเคราะห์แรงดัน โนด                    | 75         |
| 4.3 การวิเคราะห์กระแสเมช                      | 87         |
| 4.4 เทคนิคการใช้วิธีวิเคราะห์วงจรจ่าย         | 100        |
| แบบฝึกหัด                                     | 101        |
| <b>บทที่ 5 ทฤษฎีวงจรไฟฟ้า</b>                 | <b>107</b> |
| 5.1 บทนำ                                      | 108        |
| 5.2 หลักการทับซ้อน                            | 108        |
| 5.3 วงจรสมมูลเทวินิน                          | 113        |
| 5.4 การแปลงแหล่งจ่ายและวงจรสมมูลนอร์ตัน       | 122        |
| 5.5 ทฤษฎีบทกำลังส่งผ่านสูงสุด                 | 126        |
| แบบฝึกหัด                                     | 130        |
| <b>บทที่ 6 อุปกรณ์และสัญญาณไฟสลับ</b>         | <b>135</b> |
| 6.1 บทนำ                                      | 136        |
| 6.2 ตัวเก็บประจุ                              | 136        |
| 6.2.1 ตัวเก็บประจุอุดมคติ                     | 136        |
| 6.2.2 การต่อตัวเก็บประจุ                      | 140        |
| 6.2.3 พลังงานสะสมในตัวเก็บประจุ               | 145        |
| 6.2.4 ชนิดของตัวเก็บประจุ                     | 146        |
| 6.3 ตัวเหนี่ยวนำ                              | 147        |
| 6.3.1 ตัวเหนี่ยวนำอุดมคติ                     | 147        |
| 6.3.2 การต่อตัวเหนี่ยวนำ                      | 150        |

|                                                  |            |
|--------------------------------------------------|------------|
| 6.3.3 พลังงานสะสมในตัวเหนี่ยวนำ                  | 154        |
| 6.3.4 ชนิดของตัวเหนี่ยวนำ                        | 154        |
| 6.3.5 หม้อแปลงอุดมคติ                            | 155        |
| 6.4 แหล่งจ่ายที่ขึ้นกับเวลา                      | 158        |
| 6.4.1 สัญญาณคลื่นรูปไซน์                         | 159        |
| 6.4.2 ค่าเฉลี่ยของสัญญาณ                         | 161        |
| 6.4.3 ค่ารากกำลังสองเฉลี่ยของสัญญาณ              | 163        |
| แบบฝึกหัด                                        | 165        |
| <b>บทที่ 7 วงจรไฟสลับ</b>                        | <b>167</b> |
| 7.1 บทนำ                                         | 168        |
| 7.2 วงจรอนุกรม RC                                | 168        |
| 7.2.1 สมการเชิงอนุพันธ์จากวงจรอนุกรม RC          | 169        |
| 7.2.2 ผลตอบสนองธรรมชาติของวงจรอนุกรม RC          | 170        |
| 7.2.3 ผลตอบสนองต่อแหล่งจ่ายไฟตรงของวงจรอนุกรม RC | 172        |
| 7.3 ผลตอบสนองต่อสัญญาณไฟสลับของวงจรอนุกรม RC     | 175        |
| 7.4 เฟสเซอร์                                     | 180        |
| 7.4.1 พื้นฐานจำนวนเชิงซ้อน                       | 180        |
| 7.4.2 เอกลักษ์ของออยเลอร์                        | 186        |
| 7.4.3 รูปแบบเฟสเซอร์ของสัญญาณคลื่นรูปไซน์        | 187        |
| 7.5 อิมพีแดนซ์                                   | 191        |
| 7.5.1 อิมพีแดนซ์ของตัวต้านทาน                    | 192        |
| 7.5.2 อิมพีแดนซ์ของตัวเก็บประจุ                  | 193        |
| 7.5.3 อิมพีแดนซ์ของตัวเหนี่ยวนำ                  | 194        |
| 7.5.4 อิมพีแดนซ์รวม                              | 195        |
| 7.5.5 รีแอกแตนซ์และแอดมิตแตนซ์                   | 199        |
| แบบฝึกหัด                                        | 203        |
| <b>บทที่ 8 กำลังไฟสลับ</b>                       | <b>205</b> |
| 8.1 บทนำ                                         | 206        |
| 8.2 กำลังขณะหนึ่งและกำลังเฉลี่ย                  | 206        |



|                                                                   |            |
|-------------------------------------------------------------------|------------|
| 8.3 การคำนวณกำลังในวงจรไฟสลับ                                     | 211        |
| 8.4 นิยามที่สำคัญเกี่ยวกับกำลังไฟฟ้าและการใช้กำลังเชิงซ้อน        | 218        |
| 8.4.1 กำลังปรากฏและตัวประกอบกำลัง                                 | 218        |
| 8.4.2 กำลังเชิงซ้อนและกำลังรีแอ็กทีฟ                              | 219        |
| 8.5 วงจรไฟสลับแบบสามเฟส                                           | 228        |
| 8.6 ระบบส่งกำลังที่ใช้งานในปัจจุบัน                               | 233        |
| แบบฝึกหัด                                                         | 237        |
| <b>บทที่ 9 ไดโอดและวงจรไดโอด</b>                                  | <b>241</b> |
| 9.1 บทนำ                                                          | 242        |
| 9.2 สารกึ่งตัวนำ                                                  | 242        |
| 9.3 ลักษณะสมบัติของไดโอดรอยต่อพีเอ็น                              | 246        |
| 9.4 แบบจำลองทางวงจรสำหรับไดโอด                                    | 252        |
| 9.4.1 แบบจำลองของไดโอดอุดมคติ                                     | 252        |
| 9.4.2 แบบจำลองของไดโอดที่มีออฟเซต                                 | 259        |
| 9.4.3 การวิเคราะห์เส้นโหลดสำหรับวงจรไดโอด                         | 264        |
| 9.5 วงจรเรียงกระแส                                                | 266        |
| 9.5.1 วงจรเรียงกระแสแบบครึ่งคลื่น                                 | 267        |
| 9.5.2 วงจรเรียงกระแสแบบเต็มคลื่นที่ใช้หม้อแปลงที่มีจุดแยกกึ่งกลาง | 269        |
| 9.5.3 วงจรเรียงกระแสแบบเต็มคลื่นที่ใช้ไดโอดบริดจ์                 | 271        |
| 9.5.4 วงจรแหล่งจ่ายไฟตรง                                          | 273        |
| 9.6 ไดโอดชนิดอื่น ๆ                                               | 274        |
| 9.6.1 ไดโอดซีเนอร์                                                | 274        |
| 9.6.2 ไดโอดเปล่งแสง                                               | 277        |
| 9.6.3 ตัวตรวจจับแสงและเซลล์แสงอาทิตย์                             | 278        |
| แบบฝึกหัด                                                         | 280        |
| <b>บทที่ 10 แม่เหล็กและวงจรแม่เหล็ก</b>                           | <b>285</b> |
| 10.1 บทนำ                                                         | 286        |
| 10.2 ไฟฟ้าและแม่เหล็ก                                             | 286        |
| 10.2.1 สนามแม่เหล็ก                                               | 287        |

|                                                      |            |
|------------------------------------------------------|------------|
| 10.2.2 กฎของแอมแปร์                                  | 289        |
| 10.2.3 กฎของฟาราเดย์                                 | 292        |
| 10.3 วงจรแม่เหล็ก                                    | 298        |
| 10.4 วัสดุแม่เหล็ก                                   | 313        |
| แบบฝึกหัด                                            | 317        |
| <b>บทที่ 11 หม้อแปลงและทรานสดิวเซอร์</b>             | <b>323</b> |
| 11.1 บทนำ                                            | 324        |
| 11.2 การเหนี่ยวนำและหม้อแปลงไฟฟ้าในอุดมคติ           | 324        |
| 11.3 หม้อแปลงไฟฟ้าจริง                               | 330        |
| 11.4 การแปลงพลังงานกลไฟฟ้า                           | 336        |
| 11.4.1 ทรานสดิวเซอร์แบบหลักเคลื่อนที่                | 338        |
| 11.4.2 ทรานสดิวเซอร์แบบขดลวดเคลื่อนที่               | 346        |
| แบบฝึกหัด                                            | 352        |
| <b>บทที่ 12 เครื่องกลไฟฟ้าแบบหมุน</b>                | <b>357</b> |
| 12.1 บทนำ                                            | 358        |
| 12.2 การจำแนกและสิ่งบ่งบอกสมรรถนะ                    | 358        |
| 12.2.1 การจำแนกชนิดของเครื่องกลไฟฟ้า                 | 359        |
| 12.2.2 ลักษณะสมบัติที่บ่งบอกสมรรถนะของเครื่องกลไฟฟ้า | 361        |
| 12.3 เครื่องกลไฟตรง                                  | 368        |
| 12.3.1 เครื่องกลไฟตรงแบบแม่เหล็กถาวร                 | 372        |
| 12.3.2 เครื่องกลไฟตรงแบบขานาน                        | 374        |
| 12.3.3 เครื่องกลไฟตรงแบบอนุกรม                       | 377        |
| 12.4 เครื่องกลไฟสลับ                                 | 379        |
| 12.4.1 เครื่องกลไฟฟ้าแบบซิงโครนัส                    | 379        |
| 12.4.2 มอเตอร์เหนี่ยวนำ                              | 382        |
| 12.5 การควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้า                           | 390        |
| แบบฝึกหัด                                            | 392        |

|               |     |
|---------------|-----|
| บรรณานุกรม    | 395 |
| เฉลยแบบฝึกหัด | 397 |
| ดัชนี         | 405 |

# บทที่ 1

## แนะนำเกี่ยวกับวิศวกรรมไฟฟ้า

### วัตถุประสงค์การเรียนรู้

- อธิบายโครงสร้างหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิตสาขาวิศวกรรมไฟฟ้าได้
- สามารถบอกรายชื่อสาขาวิชาต่าง ๆ ทางวิศวกรรมไฟฟ้าได้
- สามารถเชื่อมโยงความรู้จากสาขาวิศวกรรมศาสตร์อื่น ๆ กับทางวิศวกรรมไฟฟ้าได้
- สามารถประยุกต์ใช้หน่วย SI ฐาน และหน่วยที่พัฒนามาจากหน่วย SI ฐานได้

## 1.1 บทนำ

คำว่า **วิศวกรรมไฟฟ้า (electrical engineering)** ประกอบด้วยคำว่า **วิศวกรรม** และ **ไฟฟ้า** โดยคำว่า **วิศวกรรม (engineering)** หมายถึง “การนำความรู้ทางคณิตศาสตร์และวิทยาศาสตร์ธรรมชาติมาประยุกต์ใช้”<sup>1</sup> และคำว่า **ไฟฟ้า (electricity)** หมายถึง “พลังงานรูปหนึ่งซึ่งเกี่ยวข้องกับการแยกตัวออกมา หรือการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอน หรือโปรตอน หรืออนุภาคอื่นที่มีสมบัติแสดงอำนาจคล้ายคลึงกับอิเล็กตรอนหรือโปรตอน ใช้ประโยชน์ก่อให้เกิดพลังงานอื่น เช่น ความร้อน แสงสว่าง การเคลื่อนที่” ดังนั้น วิศวกรรมไฟฟ้า จึงหมายถึง การนำความรู้ทางด้านคณิตศาสตร์และวิทยาศาสตร์ที่เกี่ยวข้องกับการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนมาประยุกต์ใช้ ในปัจจุบัน ศาสตร์ทางด้านวิศวกรรมไฟฟ้าแตกแขนงออกไปอย่างมาก ดังนั้น เพื่อให้เข้าใจเกี่ยวกับวิศวกรรมไฟฟ้า เราจึงควรศึกษาภาพรวมของศาสตร์ทางวิศวกรรมไฟฟ้าก่อน

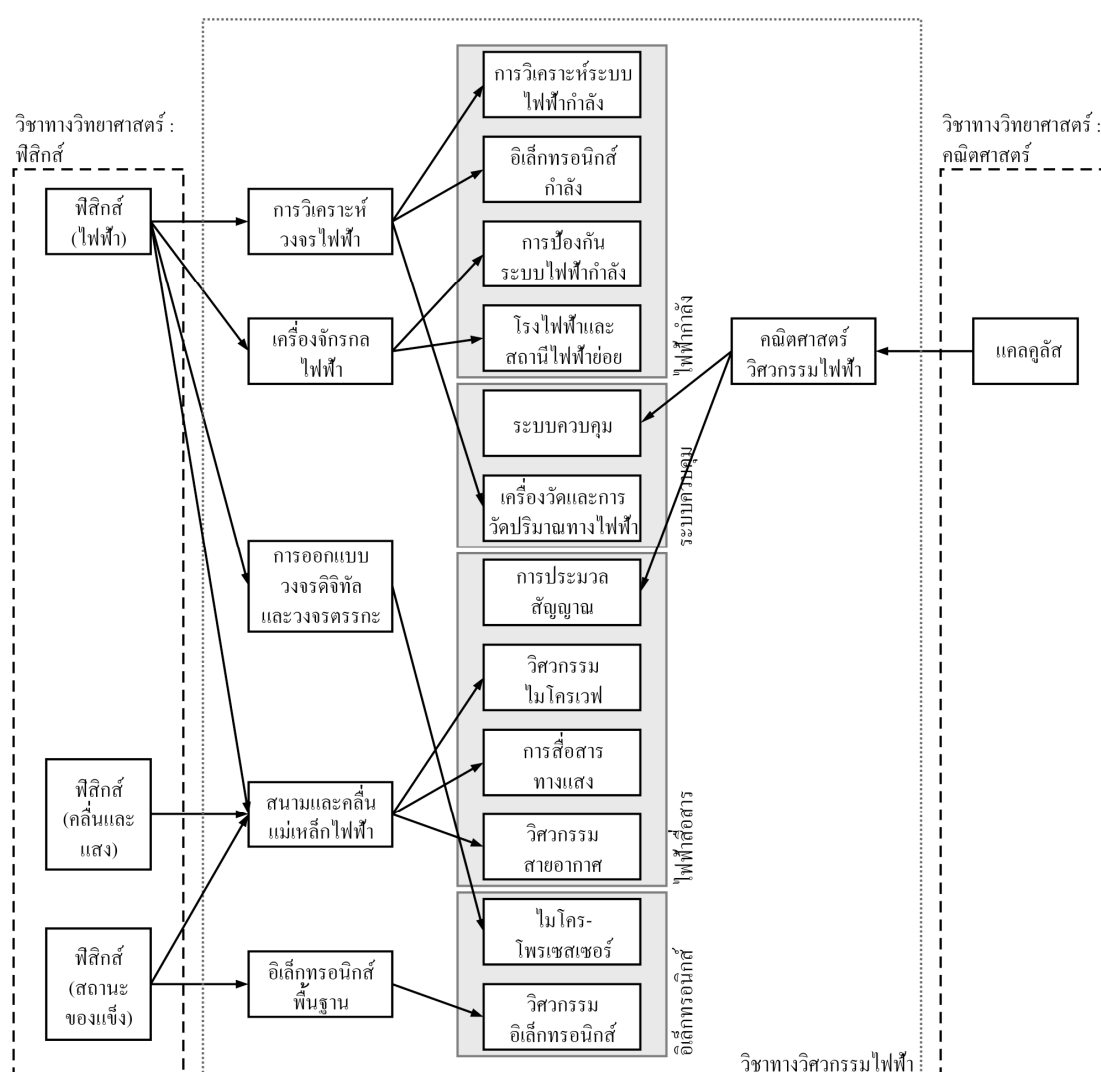
ในบทนี้จะกล่าวถึงการเชื่อมโยงของวิชาต่าง ๆ ที่อยู่ในหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า และการแบ่งสาขาย่อยในการเรียนสาขาวิศวกรรมไฟฟ้า จากนั้นจะกล่าวถึงการนำความรู้ทางวิศวกรรมไฟฟ้าไปเชื่อมโยงกับศาสตร์ทางวิศวกรรมสาขาอื่น ๆ โดยในหัวข้อสุดท้าย จะนำเสนอเกี่ยวกับระบบหน่วยที่ใช้ในงานด้านวิศวกรรมไฟฟ้า ซึ่งก็คือ ระบบหน่วย SI และคำเต็มหน้ามาตรฐาน

## 1.2 วิชาต่าง ๆ ในหลักสูตรวิศวกรรมไฟฟ้าและการจำแนกสาขา

สำหรับการเรียนตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิตสาขาวิศวกรรมไฟฟ้า ในแต่ละมหาวิทยาลัยจะมีลักษณะที่คล้ายคลึงกัน หากเราดูความเชื่อมโยงระหว่างแต่ละวิชาในหลักสูตรเหล่านี้ เราสามารถเขียนแสดงเป็นแผนภาพได้ดังรูปที่ 1.1 โดยแต่ละหลักสูตรอาจมีรายละเอียด ชื่อวิชาต่างกันออกไปบ้าง จากรูปจะเห็นได้ว่า ความรู้พื้นฐานของการเรียนในสาขาวิชานี้คือ พื้นฐาน

<sup>1</sup> จาก พจนานุกรม ฉบับราชบัณฑิตยสถาน พ.ศ. ๒๕๕๔ (<http://www.royin.go.th>)

วิชาทางด้านวิทยาศาสตร์ สาขาฟิสิกส์ และคณิตศาสตร์ สาขาแคลคูลัส ดังนั้น วิชาภายในหลักสูตรวิศวกรรมไฟฟ้า จะเชื่อมโยงจาก 2 วิชานี้เป็นหลัก โดยเฉพาะอย่างยิ่งในส่วนของวิชาฟิสิกส์เรื่องแม่เหล็กไฟฟ้า และฟิสิกส์สมัยใหม่



รูปที่ 1.1 ความเชื่อมโยงระหว่างวิชาต่างๆ ทางวิศวกรรมไฟฟ้า

สำหรับการจำแนกวิชาต่าง ๆ เป็นสาขาวิชานั้น เราอาจแบ่งได้ 4 สาขาหลัก ๆ ได้แก่

**1. ไฟฟ้ากำลัง (power)** เป็นสาขาที่จัดการเกี่ยวกับการกักเก็บและแปลงพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานในรูปแบบอื่น ๆ รวมถึงระบบส่งไฟฟ้า โดยระบบเหล่านี้จะประกอบด้วยเครื่องกำเนิดไฟฟ้า หม้อแปลง สายส่ง มอเตอร์ และอุปกรณ์อื่น ๆ ที่เกี่ยวข้อง เนื่องจากระบบไฟฟ้ากำลังส่วนมากจะมีเครื่องกลไฟฟ้ารวมอยู่ด้วยเสมอ ดังนั้น วิศวกรรมไฟฟ้าสาขาวิชานี้จะมีความเชื่อมโยงที่ชัดเจนกับวิศวกรรมเครื่องกล

**2. ระบบควบคุม (control system)** เป็นสาขาที่นำข้อมูลจากเซนเซอร์ต่าง ๆ และใช้พลังงานไฟฟ้าในการควบคุมกระบวนการต่าง ๆ ยกตัวอย่างเช่น การควบคุมอุณหภูมิด้วยเครื่องปรับอากาศ ตัวเซนเซอร์วัดอุณหภูมิ (เทอร์มอสแตต) จะเทียบค่าที่อ่านได้กับค่าที่ต้องการแล้วทำการควบคุมการทำงานของวาล์วและมอเตอร์ ผ่านวงจรไฟฟ้า/อิเล็กทรอนิกส์ โดยในระบบควบคุมสมัยใหม่จะมีการนำความรู้ทางคณิตศาสตร์ชั้นสูงมาสร้างตัวควบคุมและอธิบายการทำงานของระบบ ดังนั้น การศึกษาในสาขาวิชานี้จึงต้องใช้ความรู้ทางคณิตศาสตร์ชั้นสูงด้วย

**3. ไฟฟ้าสื่อสาร (communication)** เป็นสาขาที่สนใจการส่งและการจัดการกับข้อมูลในรูปแบบสัญญาณทางไฟฟ้า ตัวอย่างระบบไฟฟ้าสื่อสารที่เห็นได้ในชีวิตประจำวัน ได้แก่ โทรศัพท์เคลื่อนที่ วิทยุ โทรทัศน์ และอินเทอร์เน็ต นอกจากนี้สาขานี้ยังสนใจการส่งข้อมูลระยะไกล เช่น ภายในวงจรรวมด้วย การส่งข้อมูลอาจเป็นแบบการกระจายข้อมูลจากผู้ส่งหนึ่งรายไปยังผู้รับหลายราย หรือเป็นการส่งแบบหนึ่งต่อหนึ่ง

**4. อิเล็กทรอนิกส์ (electronics)** เป็นสาขาที่ศึกษาและนำอุปกรณ์หรือวงจรอิเล็กทรอนิกส์ไปใช้งานในด้านต่าง ๆ เช่น การขยายสัญญาณ หรือการประมวลสัญญาณ ปัจจุบันเรามีเครื่องใช้อิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้งานอยู่จำนวนมาก โดยอุปกรณ์หลักภายในเครื่องใช้เหล่านี้คือ ทรานซิสเตอร์ ในหนังสือเล่มนี้เราจะศึกษาพื้นฐานแนวคิดในการนำอุปกรณ์ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ไปสร้างวงจร โดยวงจรเหล่านี้สามารถแบ่งได้เป็นวงจรแอนะล็อก (analog circuit) และวงจรดิจิทัล (digital circuit)

นอกจากสาขาวิชาหลัก ๆ ทั้ง 4 สาขาที่กล่าวมานี้ เรายังอาจแบ่งย่อยสาขาวิชาทางวิศวกรรมไฟฟ้าเพิ่มเติมมากขึ้นได้ ยกตัวอย่างเช่น สาขาระบบคอมพิวเตอร์ (computer system) สาขาการประมวลสัญญาณ (signal processing) และสาขาแม่เหล็กไฟฟ้า (electromagnetism)

### 1.3 วิศวกรรมไฟฟ้ากับวิศวกรรมสาขาอื่น ๆ

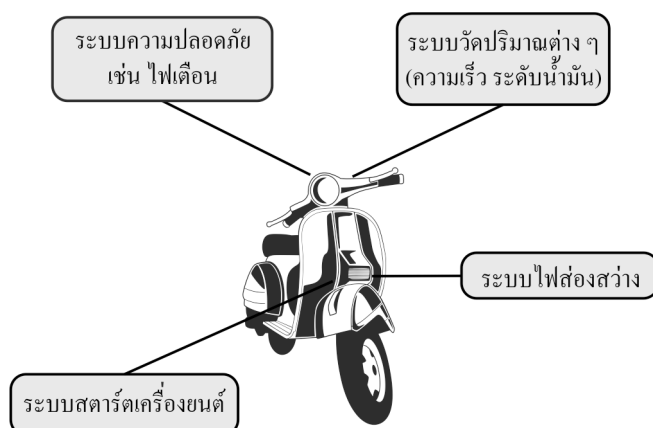
ในการนำความรู้ทางวิศวกรรมไปใช้นั้น เราจะต้องใช้ความรู้หลาย ๆ ด้านในการทำ ความเข้าใจและ/หรือแก้ปัญหาที่เกิดขึ้นในระบบหนึ่ง ๆ ซึ่งโดยทั่วไปความรู้ทางวิศวกรรมไฟฟ้านี้ เป็นสิ่งจำเป็นอย่างยิ่งสำหรับการทำความเข้าใจเครื่องมือ เครื่องจักรที่มีการใช้งานอยู่ในปัจจุบัน ทั้งนี้ เพราะเครื่องมือที่มีการนำไปใช้งานส่วนมากจะมีส่วนของระบบทางไฟฟ้ารวมอยู่ด้วยเสมอ ตัวอย่าง 1-1 และ 1-2 แสดงตัวอย่างการจำแนกระบบไฟฟ้า

#### ■■ ตัวอย่าง 1-1 ระบบไฟฟ้าในรถจักรยานยนต์

จงจำแนกระบบทางไฟฟ้าที่อยู่ภายในรถจักรยานยนต์ทั่วไป และอธิบายมาพอสังเขป

#### ■ วิธีทำ

เมื่อพิจารณาระบบไฟฟ้าภายในรถจักรยานยนต์ทั่วไป เราอาจจะแบ่งระบบต่าง ๆ ได้ดังรูป ที่ 1.2 ซึ่งประกอบด้วย (ก) ระบบไฟส่องสว่าง ที่ทำหน้าที่นำไฟฟ้าจากแบตเตอรี่มาสร้างความ สว่างด้วยหลอดไฟต่าง ๆ (ข) ระบบสตาร์ทเครื่องยนต์ที่ใช้มอเตอร์ไฟฟ้าในการสตาร์ทเครื่องยนต์



รูปที่ 1.2 ระบบไฟฟ้าต่าง ๆ ที่ติดตั้งอยู่ในรถจักรยานยนต์ทั่วไป



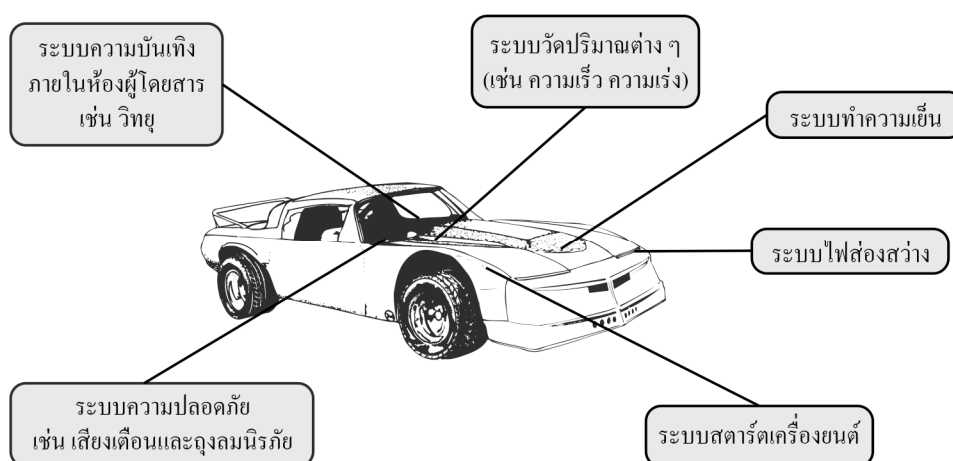
(ค) ระบบวัดปริมาณต่าง ๆ เช่น อุณหภูมิ ความเร็ว และระดับน้ำมัน ที่ประกอบด้วยเซนเซอร์ต่าง ๆ ที่ตรวจวัดปริมาณและแสดงผลบนหน้าปัด และ (ง) ระบบความปลอดภัย ที่แสดงไฟเตือนเมื่อข้อบกพร่องถึงสถานะที่ผิดปกติของระบบต่าง ๆ

## ■■ ตัวอย่าง 1-2 ระบบไฟฟ้าในรถยนต์

รถยนต์คันหนึ่ง ประกอบด้วยระบบต่าง ๆ จำนวนมาก ซึ่งมีทั้งระบบทางกล (เช่น เกียร์ ล้อ เบรก ฯลฯ) ระบบทางเคมี (เช่น แบตเตอรี่ น้ำมันหล่อลื่น ฯลฯ) และระบบทางไฟฟ้า จงจำแนกระบบทางไฟฟ้าที่อยู่ภายในรถยนต์นี้

### ■ วิธีทำ

เมื่อพิจารณาระบบไฟฟ้าภายในรถยนต์ เราอาจจะแบ่งระบบต่าง ๆ ได้ดังรูปที่ 1.3 ซึ่งประกอบด้วย (ก) ระบบไฟส่องสว่าง ที่ทำหน้าที่นำไฟฟ้าจากแบตเตอรี่มาสร้างความสว่างด้วยหลอดไฟทั้งภายนอกและภายในตัวรถ (ข) ระบบสตาร์ทเครื่องยนต์ ที่ประกอบด้วยมอเตอร์ เมื่อบิดกุญแจแล้ว มอเตอร์ก็จะทำการสตาร์ทเครื่องยนต์ (ค) ระบบทำความเย็นหรือแอร์ ที่ใช้มอเตอร์



รูปที่ 1.3 ระบบไฟฟ้าต่าง ๆ ที่ติดตั้งอยู่ในรถยนต์ทั่วไป