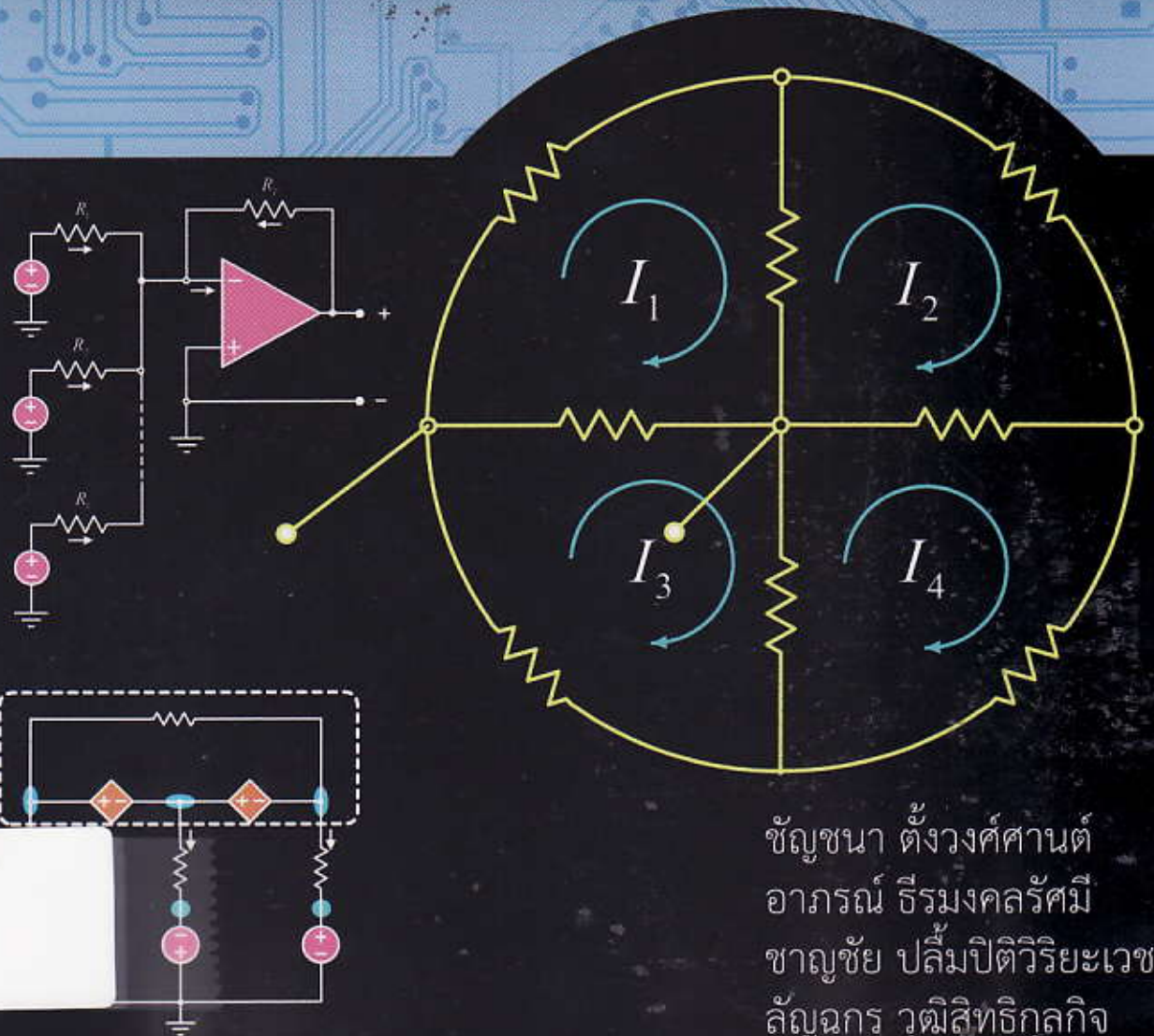




สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ทฤษฎีวงจรไฟฟ้า

ภาควงจรกระแสตรง



ชัยชนา ตั้งวงศ์สานต์
 อารณีย์ ธีรมงคลรัศมี
 ชาญุชัย ปลื้มปิติวิริยะเวช
 ลัญฉกร วุฒิสีทธิกุลกิจ
 มานะ ศรียุทธศักดิ์
 ชุมพล อันตรเสน
 สุขุมวิทย์ ภูมิวุฒิสาร
 เทียนชัย ประดิศถายน



ทฤษฎีวงจรไฟฟ้า ภาควงจรกระแสตรง

ชัยชนา ตั้งวงศ์สถานต์
และ คณะ

เลขทะเบียน **M 0134862**

วันลงทะเบียน **15 ก.ค. 2556**

เลขเรียกหนังสือ

621.31915

ซ 36191

2556



สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2556

220.-



ชัชวาลย์ ตั้งวงศ์ศานต์

ทฤษฎีวงจรไฟฟ้าภาควงจรกระแสตรง / เรียบเรียงโดย ชัชวาลย์ ตั้งวงศ์ศานต์ และคณะ

1. วงจรไฟฟ้า 2. กระแสตรง

621.3192

ISBN 978-974-03-3091-2

สปพ. 1688



สรรคุดกคำวิชาการ ผู้สังคัม

www.ChulaPress.com

Knowledge to All

ลิขสิทธิ์ของสำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

พิมพ์ครั้งที่ 1 จำนวน 2,000 เล่ม พ.ศ. 2556

การผลิตและการลอกเลียนหนังสือเล่มนี้ไม่ว่ารูปแบบใดทั้งสิ้น

ต้องได้รับอนุญาตเป็นลายลักษณ์อักษรจากสำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ผู้จัดจำหน่าย ศูนย์หนังสือแห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ถนนพญาไท เขตปทุมวัน กรุงเทพฯ 10330

สาขา ศาลาพระเกี้ยว โทร. 0-2218-7000-3 โทรสาร 0-2255-4441

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

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

รัตนานิเบศร์ (แยกแคทราย) โทร. 0-2950-5408-9 โทรสาร 0-2950-5405

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

เครือข่าย ศูนย์หนังสือ ม.แม่ฟ้าหลวง จ. เชียงราย โทร. 0-5391-7020-4 โทรสาร 0-5391-7025

ศูนย์หนังสือ ม.วลัยลักษณ์ จ. นครศรีธรรมราช โทร. 0-7567-3648-51 โทรสาร 0-7567-3652

ร้านหนังสือบดินทรเดชา (สิงห์ สิงหเสนี) งามคำแหง 43/1 โทร. 0-2538-2573 โทรสาร 0-2539-7091

ศูนย์หนังสือ ม.ราชภัฏเชียงราย จ. เชียงราย โทร. 0-5377-6000

ศูนย์หนังสือ ม.อุบลราชธานี จ. อุบลราชธานี โทร. 0-4535-3140, 0-4528-8400-3 ต่อ 1803

โทรสาร 0-4535-3145

ศูนย์หนังสือ ม.ราชภัฏสุราษฎร์ธานี จ. สุราษฎร์ธานี โทร. 0-7735-5466, 0-7791-3333

โทรสาร 0-7735-5468

ศูนย์หนังสือโรงเรียนเทคโนโลยีโออาร์พีซี จ. ระยอง โทร. 0-3889-9130-2 ต่อ 331

โทรสาร 0-3889-9130 ต่อ 301

ศูนย์หนังสือมหาวิทยาลัยราชภัฏเทพสตรี จ. ลพบุรี โทร. 0-3642-7485-93

ร้านค้าติดต่อ แผนกขายส่ง สาขารัตนานิเบศร์ (แยกแคทราย) โทร. 0-2950-5408-9 โทรสาร 0-2950-5405

กองบรรณาธิการ : ทิวพรรณ โหละสุด พิสูจน์อักษร : วิวิพรรณ จันทร์มั่น

ออกแบบปก : อภินันท์ อินทร์ไชยา รูปเล่ม : รองศาสตราจารย์ ดร.ชุมพล อ้นตรเสน

พิมพ์ที่ บริษัทฯ. พันธ์ (1991) จำกัด โทร. 0-2451-3010 โทรสาร 0-2451-31016

คำนำ

หนังสือ ทฤษฎีวงจรไฟฟ้า เล่มนี้เป็นหนึ่งใน “โครงการตำราภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าเพื่อเป็นเสาหลักแห่งปัญญา” โดยรวบรวม ปรับปรุง ตำรา เอกสารคำสอน ฯลฯ ของคณาจารย์อาวุโสและที่เกษียณไปแล้ว แต่ยังทรงคุณค่า เพิ่มเติมด้วยองค์ความรู้ที่ทันสมัยของอาจารย์รุ่นใหม่ เพื่อขานรับองค์ความรู้ทั้งหมดนี้ไว้ไม่ให้สูญหาย เป็นหนังสือหรือตำราที่มีอัตลักษณ์ เปี่ยมล้นในคุณค่า และทันสมัยทันสมัยในเชิงวิชาการ สอดคล้องกับนโยบายของฝ่ายวิชาการคณะวิศวกรรมศาสตร์ ที่ริเริ่มโครงการตำรา 100 เล่ม 100 ปี เพื่อฉลองในวาระที่คณะวิศวกรรมศาสตร์จะครบรอบ 100 ปี ใน พ.ศ. 2556 ซึ่งมุ่งให้คณาจารย์ในทุกภาควิชาครอบคลุมทุกศาสตร์วิศวกรรม ได้ร่วมพลังสร้างสรรค์และถ่ายทอดองค์ความรู้ที่สั่งสมมายาวนานในรูปของหนังสือตำราเพื่อเป็นฐานความรู้ของสังคมไทย ก่อเกิดประโยชน์ในวงกว้าง และให้เป็นไปตามปรัชญาของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยที่พึงทำหน้าที่เป็นเสาหลักของแผ่นดินอย่างจริงจังและเป็นรูปธรรม

หนังสือเล่มนี้ได้ถูกเรียบเรียง ปรับปรุง และเพิ่มเติมจาก หนังสือ การวิเคราะห์วงจรไฟฟ้าเบื้องต้น ของรองศาสตราจารย์ ดร.สุชุมวิทย์ ภูมิวุฒิสาร เล่มที่ 1 โดยได้มีการจัดเรียงลำดับเนื้อหาใหม่ ใช้คำอธิบายที่ง่ายและมีขั้นตอน โดยเน้นเฉพาะวงจรไฟฟ้ากระแสตรงที่มีเฉพาะตัวต้านทาน มีการเพิ่มเติม โจทย์ตัวอย่าง แบบฝึกหัดท้ายบทพร้อมเฉลยคำตอบ คณะผู้เขียนจึงหวังเป็นอย่างยิ่งว่าหนังสือเล่มนี้จะเป็นประโยชน์ต่อวงการวิชาการทางด้านวิศวกรรมไฟฟ้าของประเทศไทยได้อย่างแท้จริง

นอกจากนี้ คณะผู้เขียนขอแสดงความขอบคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์มานิต รุจิวิโรดม กรรมการผู้อำนวยการสำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย และบุคลากรคุณภาพของสำนักพิมพ์ ที่ได้ให้การสนับสนุนการจัดทำหนังสือเล่มนี้ให้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี ขอขอบคุณนิสิตทั้งระดับตรี โท และเอก อาทิ Mr.Muhammad Saadi นายกานต์ ศรีรัชตบุรณ์ นายกมลลาสต์ วรรณกง นายพลวัต วัลลภวิสุทธ์ น.ส.ทรรสมล เอี่ยมศิริเมธิ นายธีรวิทย์ วิไลประสิทธิ์พร นายชยากร วงศ์กุลพิศาล นายเดชนันท์ เอี่ยมฤกษ์ศิริ และนายภูมิ จันทร โมลี กับความยินดีที่มีส่วนช่วยในการวาดรูปวงจรไฟฟ้า ตรวจสอบความถูกต้อง และพิมพ์สมการต่าง ๆ ในหนังสือ

คณะผู้เขียน

วันที่ 1 มิถุนายน 2555

สารบัญ

หน้า

คำนำ

บทที่ 1	บทนำทฤษฎีวงจรไฟฟ้า.....	1
1.1	บทนำ : วิศวกรรมไฟฟ้า.....	2
1.2	ตัวแปรวงจรไฟฟ้า.....	3
1.2.1	ประจุไฟฟ้า.....	3
1.2.2	กระแส.....	6
1.2.3	แรงดัน.....	8
1.2.4	กำลังไฟฟ้า.....	10
1.3	การนิยาม โนด กิ่ง และลูป.....	11
1.4	กฎของเคอร์ชอฟฟ์.....	13
1.4.1	กฎกระแสของเคอร์ชอฟฟ์.....	13
1.4.2	กฎแรงดันของเคอร์ชอฟฟ์.....	17
	แบบฝึกหัดท้ายบท.....	20
บทที่ 2	องค์ประกอบพื้นฐานของวงจรไฟฟ้า.....	27
2.1	บทนำ.....	28
2.2	ตัวต้านทาน.....	29
2.3	แหล่งจ่ายไฟฟ้าอิสระ.....	32
2.3.1	แหล่งจ่ายแรงดันอุดมคติ.....	33
2.3.2	แหล่งจ่ายกระแสอุดมคติ.....	34
2.4	แหล่งจ่ายไฟฟ้าไม่อิสระหรือแหล่งจ่ายไฟฟ้าควบคุม.....	36
2.4.1	แหล่งจ่ายแรงดันควบคุม.....	37
2.4.2	แหล่งจ่ายกระแสควบคุม.....	38

2 ทฤษฎีวงจรไฟฟ้า

2.5	วงจรแบ่งแรงดันและการต่ออนุกรมตัวต้านทาน	40
2.6	วงจรแบ่งกระแสและการต่อขนานตัวต้านทาน	45
2.7	การรวมแหล่งจ่ายแรงดันอิสระและแหล่งจ่ายกระแสอิสระ	50
2.8	การแปลงวงจรเตลตา-วาย หรือ โฟ-ที	55
2.9	แหล่งจ่ายไฟฟ้าในทางปฏิบัติ	59
2.10	การแปลงแหล่งจ่ายไฟฟ้า	61
	แบบฝึกหัดท้ายบท	69
บทที่ 3	การวิเคราะห์แรงดันโหนด	95
3.1	บทนำ	96
3.2	การวิเคราะห์แรงดัน โหนด	97
3.2.1	การวิเคราะห์แรงดัน โหนดของวงจรที่มีแต่แหล่งจ่ายกระแสอิสระ	107
3.2.2	การวิเคราะห์แรงดัน โหนดของวงจรที่มีแหล่งจ่ายแรงดันอิสระร่วมด้วย	110
3.3	การวิเคราะห์แรงดัน โหนดของวงจรที่มีแหล่งจ่ายไม่อิสระ	118
	แบบฝึกหัดท้ายบท	129
บทที่ 4	การวิเคราะห์กระแสเมช	157
4.1	บทนำ	158
4.2	การวิเคราะห์กระแสเมช	164
4.2.1	การวิเคราะห์กระแสเมชของวงจรที่มีแต่แหล่งจ่ายแรงดันอิสระ	174
4.2.2	การวิเคราะห์กระแสเมชของวงจรที่มีแหล่งจ่ายกระแสอิสระร่วมด้วย	177
4.3	การวิเคราะห์กระแสเมชของวงจรที่มีแหล่งจ่ายไม่อิสระ	184
	แบบฝึกหัดท้ายบท	195
บทที่ 5	ทฤษฎีการวิเคราะห์วงจรไฟฟ้า	221
5.1	บทนำ	222
5.2	ทฤษฎีบทการทับซ้อน	222
5.3	ทฤษฎีบทเทวินิน	231

5.4 ทฤษฎีบทนอร์ตัน.....	239
5.5 การหาวงจรสมมูลเทวินินและนอร์ตันกรณีมีแหล่งจ่ายไม่อิสระ.....	243
5.6 ทฤษฎีบทการถ่ายโอนกำลังไฟฟ้าสูงสุด.....	249
แบบฝึกหัดท้ายบท.....	254
ภาคผนวก ก การวิเคราะห์วงจรออปแอมป์.....	279
ก.1 ออปแอมป์.....	279
ก.2 วงจรขยายกลับขั้ว.....	282
ก.3 วงจรขยายไม่กลับขั้ว.....	283
ก.4 วงจรบัฟเฟอร์ที่มีอัตราขยายเป็นหนึ่ง.....	284
ก.5 วงจรขยายผลบวก.....	285
ก.6 วงจรขยายผลต่าง.....	287
แบบฝึกหัดท้ายบท.....	293
บรรณานุกรม.....	297



บทนำทฤษฎีวงจรไฟฟ้า

วัตถุประสงค์การเรียนรู้

- เข้าใจความหมายของวิศวกรรมไฟฟ้า
- เข้าใจนิยามของประจุ กระแส แรงดัน และกำลังไฟฟ้า
- เข้าใจนิยามของ โนด กิ่ง และลูป
- เข้าใจและสามารถประยุกต์ใช้กฎกระแสของเคอร์ชอฟฟ์ในการวิเคราะห์วงจรไฟฟ้า
- เข้าใจและสามารถประยุกต์ใช้กฎแรงดันของเคอร์ชอฟฟ์ในการวิเคราะห์วงจรไฟฟ้า

2 ทฤษฎีวงจรไฟฟ้า

1.1 บทนำ : วิศวกรรมไฟฟ้า

วิศวกรรมไฟฟ้า (Electrical Engineering) เป็นวิศวกรรมศาสตร์สาขาหนึ่งที่เกี่ยวข้องกับการประยุกต์การใช้ไฟฟ้าและสิ่งประดิษฐ์ทางไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ วิศวกรไฟฟ้าเป็นผู้มีหน้าที่ประยุกต์และสร้างสรรค์งานทางไฟฟ้า มีตั้งแต่งานวิจัยและพัฒนาองค์ความรู้ในศาสตร์ทางไฟฟ้า งานออกแบบผลิตภัณฑ์และกระบวนการผลิต งานควบคุมและปรับปรุงการผลิตอุปกรณ์ งานออกแบบระบบไฟฟ้า และงานภาคสนามเพื่อควบคุมดูแลการติดตั้งระบบและอุปกรณ์ทางไฟฟ้า นอกจากนี้ยังมีงานให้คำปรึกษาและงานสอนอีกด้วย

ระบบไฟฟ้า (Electrical System) นั้น ประกอบด้วยระบบต่าง ๆ ได้แก่ ระบบไฟฟ้ากำลัง ระบบไฟฟ้าสื่อสาร อุปกรณ์และระบบอิเล็กทรอนิกส์ ระบบควบคุม ระบบคอมพิวเตอร์ และระบบประมวลผลสัญญาณ และอื่น ๆ โดยมีรายละเอียดต่าง ๆ ดังนี้

ระบบไฟฟ้ากำลัง (Power System) เป็นระบบที่เกี่ยวข้องกับการผลิตไฟฟ้า การส่ง การควบคุม การแปรสภาพ และการใช้ประโยชน์พลังงานไฟฟ้า รวมทั้งการออกแบบ และสร้างระบบไฟฟ้าภายในและภายนอกอาคาร การออกแบบสร้างและทดสอบอุปกรณ์ไฟฟ้ากำลัง เช่น เครื่องกำเนิดไฟฟ้ามอเตอร์และหม้อแปลงไฟฟ้า ฯลฯ

ระบบไฟฟ้าสื่อสาร (Communication System) เป็นระบบไฟฟ้าที่เกี่ยวข้องกับการสร้างเครื่องส่ง เครื่องรับ และการควบคุมสัญญาณข่าวสารที่เป็นไฟฟ้า โดยใช้สายส่งทองแดง สายใยแก้วนำแสง (fiber optic) หรือท่อนำคลื่น (wave guide) เป็นตัวกลางในการรับส่ง รวมทั้งการออกแบบ สร้างอุปกรณ์ และระบบสื่อสารไร้สายต่าง ๆ ได้แก่ วิทยุ โทรทัศน์ ระบบโทรศัพท์ ระบบสื่อสารไร้สาย ระบบสื่อสารดาวเทียม และระบบสื่อสารทางแสง

อุปกรณ์และระบบอิเล็กทรอนิกส์ (Electronic Device and System) เป็นอุปกรณ์และระบบไฟฟ้าที่เกี่ยวข้องกับหลักการทำงาน และการใช้ประโยชน์จากการเคลื่อนที่ของพาหะไฟฟ้าในสิ่งประดิษฐ์ เช่น หลอดสุญญากาศ ทรานซิสเตอร์ และจจรวมหรือ ไอซี (integrated circuit) ฯลฯ การวิเคราะห์และการออกแบบวงจรต่าง ๆ ทั้งวงจรแอนะล็อก (analog circuit) และวงจรดิจิทัล (digital circuit) เช่น วงจรขยายสัญญาณ วงจรสร้างความถี่ วงจรนับ ฯลฯ ที่ใช้สิ่งประดิษฐ์ดังกล่าวข้างต้น

ระบบควบคุม (Control System) เป็นระบบวิศวกรรมไฟฟ้าที่เกี่ยวข้องกับการวิเคราะห์ ออกแบบ และสร้างระบบควบคุม รวมทั้งอุปกรณ์ต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง เช่น ระบบควบคุม เครื่องจักรกลไฟฟ้า ระบบควบคุมกระบวนการผลิตในอุตสาหกรรม (Process Control) ระบบควบคุมหุ่นยนต์ และระบบควบคุมอัตโนมัติสำหรับอาคาร (Building Automation System, BAS)

ระบบคอมพิวเตอร์ (Computer System) และระบบประมวลผลสัญญาณ (Signal Processing System) เป็นระบบไฟฟ้าที่ใช้สัญญาณไฟฟ้าแทนข่าวสารข้อมูล การแปลงสัญญาณ ข่าวสารข้อมูลให้อยู่ในรูปแบบที่เหมาะสม รวมทั้งการออกแบบสร้างอุปกรณ์ในระบบ คอมพิวเตอร์ และระบบประมวลผลสัญญาณ (Signal Processing) ต่าง ๆ

ทฤษฎีวงจรไฟฟ้าเป็นองค์ความรู้ขั้นพื้นฐานที่สำคัญและจำเป็นต่อการศึกษาาระบบไฟฟ้าต่าง ๆ ที่กล่าวมาข้างต้น นอกจากนี้วิชาทฤษฎีวงจรไฟฟ้ายังเป็นประโยชน์สำหรับวิศวกรรมสาขาอื่น ๆ รวมทั้งสาขาวิทยาศาสตร์ประยุกต์ และคณิตศาสตร์อีกด้วย

1.2 ตัวแปรในวงจรไฟฟ้า

ในการศึกษาให้เข้าใจถึงทฤษฎีวงจรไฟฟ้านั้นเราจำเป็นต้องรู้จักนิยามพื้นฐานของตัวแปรต่าง ๆ ที่ใช้ในการอธิบายคุณลักษณะของวงจรไฟฟ้าก่อน ดังนั้น ในหัวข้อย่อยนี้เราจะกล่าวถึงตัวแปรสำคัญ 3 ตัว ได้แก่ กระแส (current) แรงดัน (voltage) และกำลังไฟฟ้า (electrical power) เนื่องจากตัวแปรเหล่านี้ล้วนแล้วแต่เริ่มต้นจาก ประจุไฟฟ้า (charge) ดังนั้น เราจะทบทวนความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับประจุไฟฟ้าก่อนแล้วจึงอธิบายถึงนิยามและความหมายของ กระแสไฟฟ้า แรงดันไฟฟ้า และกำลังไฟฟ้า ตามลำดับต่อไป

1.2.1 ประจุไฟฟ้า

จากความรู้พื้นฐานทางฟิสิกส์เราทราบว่าอะตอมเป็นโครงสร้างพื้นฐานของสสารหรือวัตถุ โครงสร้างภายในอะตอมประกอบด้วย โปรตอน (proton) อิเล็กตรอน (electron) และนิวตรอน (neutron) โดยโปรตอนและนิวตรอนประกอบกันเป็นนิวเคลียส (nucleus) อยู่ตรงกลาง และมีอิเล็กตรอนเคลื่อนที่อยู่รอบนอก โปรตอนมีประจุไฟฟ้าเป็นบวก อิเล็กตรอนมีประจุไฟฟ้าเป็นลบ และนิวตรอนมีประจุไฟฟ้าเป็นกลาง เนื่องจากประจุต่างชนิดกันเมื่ออยู่ใกล้กันจะดูดเข้าหากัน แต่