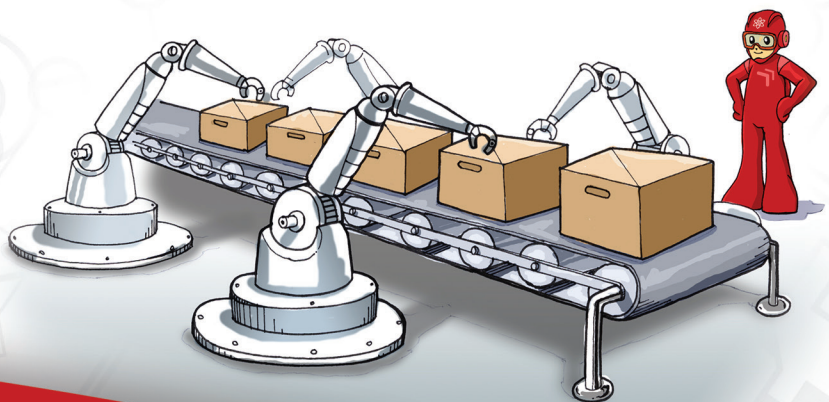
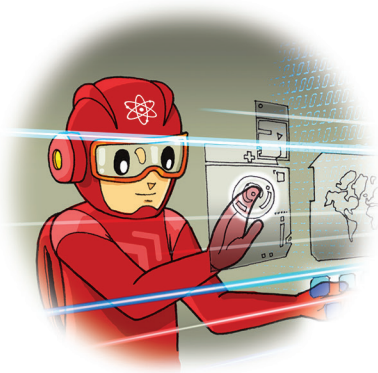


เนคเทคไฮโร

ตะลุยเมืองอิเล็กทรอนิกส์



คำนำ

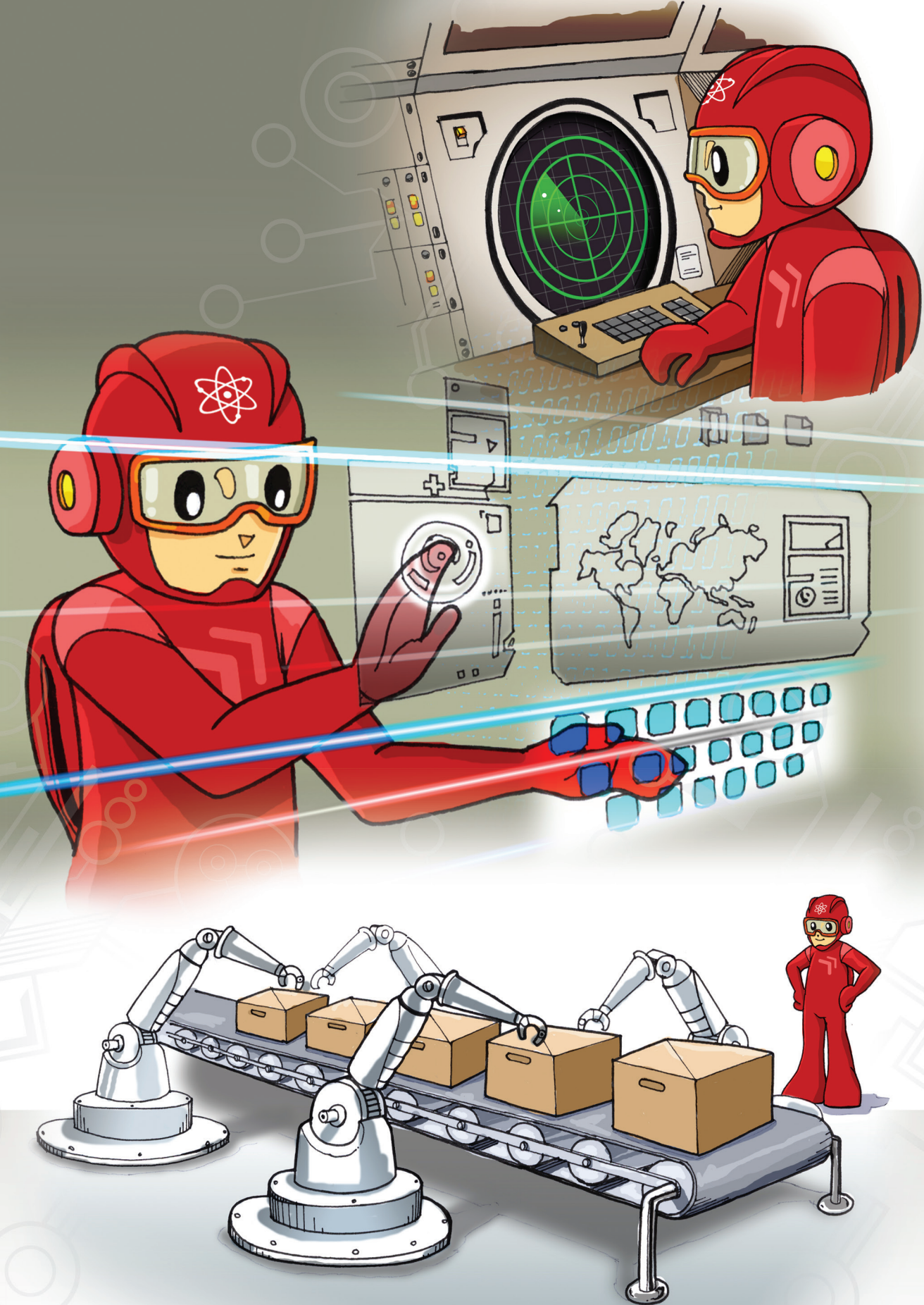
วิทยาการด้านเทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์ในปัจจุบัน พัฒนาไปอย่างรวดเร็ว อีกทั้งเป็นกลไกสำคัญในการขับเคลื่อนประเทศเปลี่ยนผ่านเข้าสู่ยุคเศรษฐกิจและสังคมดิจิทัล (Digital Economy) การพัฒนากำลังคนในระดับผู้เชี่ยวชาญทางด้านดิจิทัลและอิเล็กทรอนิกส์ทั้งในเชิงปริมาณและคุณภาพ มีความสำคัญต่อการสร้างนวัตกรรมดิจิทัลในอนาคต และเยาวชนนับเป็นกำลังสำคัญที่จะเชื่อมโยงให้เกิดกลไกการป้อนบุคลากรเข้าสู่ตลาดแรงงาน ด้วยเล็งเห็นความสำคัญของการสร้างแรงบันดาลใจให้กับเยาวชนในการศึกษาต่อและทำงานด้านอิเล็กทรอนิกส์ ศูนย์เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์แห่งชาติ (เนคเทค) สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ (สวทช.) กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ได้ดำเนินโครงการ “ค่ายนักอิเล็กทรอนิกส์รุ่นเยาว์ (NECTEC eCamp)” มาตั้งแต่ปี 2553 โครงการนี้ได้มุ่งสร้างแรงบันดาลใจ ส่งเสริมและกระตุ้นให้นักเรียน นิสิต นักศึกษา ได้มีโอกาสพัฒนาทักษะ ความรู้ ความสามารถ และประดิษฐ์โครงงานด้านอิเล็กทรอนิกส์ NECTEC eCamp จัดในช่วงปิดเทอมของทุกปี โดยสถาบันการศึกษาทั้งภาครัฐและภาคเอกชนในกลุ่มพันธมิตร ครอบคลุมพื้นที่ทั่วประเทศ

หนังสือเล่มนี้จะสำเร็จไม่ได้เลยหากปราศจากความร่วมมือที่ดีเยี่ยมและความเสียสละอันมีค่าจากคณะทำงานในการทำหนดขอบเขตเนื้อหา ปรับเปลี่ยนเรื่องยากให้ง่ายขึ้น และโอเคียภาพประกอบที่สร้างสรรค์ คณะทำงานประกอบด้วยคณาจารย์ผู้ดูแลศูนย์ประสานงาน NECTEC eCamp คณะนักวิจัยและเจ้าหน้าที่เนคเทค สวทช. ที่เกี่ยวข้อง หนังสือเล่มนี้ยึดโครงสร้างและเนื้อหาหลักจากหนังสือก้าวทันโลกอิเล็กทรอนิกส์ซึ่งตีพิมพ์ไปเมื่อปี... โดยเนคเทคเป็นผู้จัดทำ แต่ได้สอดแทรกภาพการ์ตูน และปรับภาษาให้สามารถเข้าใจได้ง่ายขึ้นกว่าเดิมสำหรับนักเรียนในระดับชั้นประถมศึกษาและมัธยมศึกษา หนังสือมีการปูเนื้อหาพื้นฐานที่ทุกคนสามารถเรียนรู้ได้ด้วยตนเอง

ศูนย์ฯ หวังเป็นอย่างยิ่งว่า หนังสือ “ฮิโรตะลุยเมืองอิเล็กทรอนิกส์” จะเป็นแรงบันดาลใจให้เยาวชนและผู้สนใจทางด้านอิเล็กทรอนิกส์ได้พัฒนาทักษะความรู้รวมถึงเห็นความสำคัญและความจำเป็นในการพัฒนาตนเองให้มีความรู้ความสามารถ ที่จะเติบโตเป็นทรัพยากรทางด้านอิเล็กทรอนิกส์ที่มีศักยภาพและเป็นพลังสำคัญในการพัฒนาประเทศสู่ความเป็นเลิศในยุคเศรษฐกิจดิจิทัลต่อไป

ดร.ศรัณย์ สัมฤทธิ์เดชขจร

ผู้อำนวยการศูนย์เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์แห่งชาติ



● บทที่ 1	โลกของวงจรอิเล็กทรอนิกส์	1
● บทที่ 2	ระบบอิเล็กทรอนิกส์พื้นฐาน	19
● บทที่ 3	อุปกรณ์ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์	23
● บทที่ 4	การวัดและเครื่องมือวัดทางอิเล็กทรอนิกส์	55
● บทที่ 5	อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์และวงจรรวม	63
● บทที่ 6	พื้นฐานดิจิทัลอิเล็กทรอนิกส์	92
● บทที่ 7	เทคนิคการบัดกรี	115
● บทที่ 8	การประยุกต์เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์	129
● บทพิเศษ	อันตรายของไฟฟ้าต่อร่างกายมนุษย์	9

โลกของวงจรอิเล็กทรอนิกส์

อ.ณัฐวุฒิ พานิชเจริญ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

อ.สรายุทธ จันทเขต

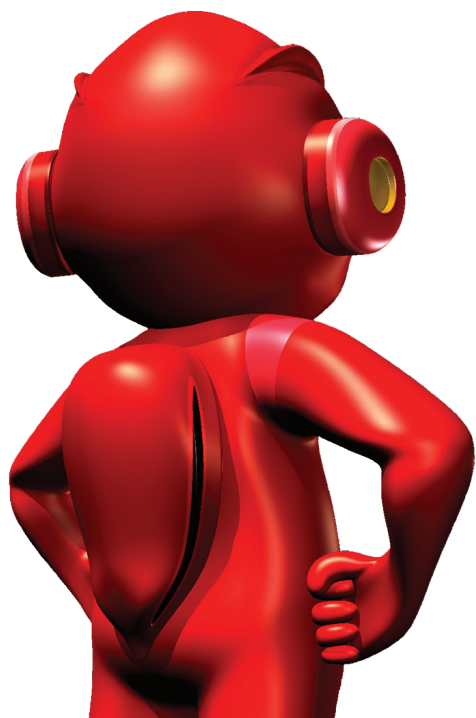
มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์

1.1 ความสำคัญ

ในสังคมปัจจุบัน กิจกรรมในชีวิตประจำวันของทุกคน เช่น การจองตั๋วเครื่องบิน เบิกเงินจากตู้เอทีเอ็ม คุยโทรศัพท์กับเพื่อน กิจกรรมต่าง ๆ เหล่านี้ มีอุปกรณ์ที่มีอิเล็กทรอนิกส์เข้ามาเกี่ยวข้องอยู่ด้วยเสมอ ไม่ว่าจะเป็น เครื่องเสียง วิทยุ โทรทัศน์ เครื่องเล่นดีวีดี เครื่องใช้ไฟฟ้าอำนวยความสะดวกต่าง ๆ เครื่องมือสื่อสารโทรคมนาคมที่ทันสมัย โทรศัพท์ โทรศัพท์มือถือ สมาร์ทโฟน คอมพิวเตอร์ ระบบไอที ทำให้เกิดสังคมออนไลน์ ทำให้สามารถสื่อสารด้วยเสียง ภาพ ภาพเคลื่อนไหว ข้อความ หรืออื่น ๆ ในเวลาเดียวกัน อุปกรณ์ดังกล่าวมีส่วนเกี่ยวข้องกับชีวิตประจำวันของเราอย่างกลมกลืน และเรา

สามารถใช้งานมันได้อย่างสะดวกง่ายดาย บางครั้งด้วยการกดปุ่มเพียงไม่กี่ปุ่ม ก็สามารถตอบสนองความต้องการของเราได้อย่างสมบูรณ์

อย่างไรก็ตาม คนส่วนใหญ่สนใจและรู้เพียงแค่วัตถุประสงค์และวิธีการใช้อุปกรณ์เหล่านั้นเท่านั้น ไม่รู้ (หรืออาจจะไม่อยากจะรู้) ว่าอุปกรณ์เหล่านั้นประกอบไปด้วยอะไร หรือทำงานได้อย่างไร กล่าวอีกอย่างได้ว่า อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ต่าง ๆ ที่เราใช้ในชีวิตประจำวันกลายเป็นกล่องดำไปแล้ว ยิ่งอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ใช้ง่ายมากขึ้นเท่าไร จำนวนกล่องดำในสังคมมนุษย์ก็ยิ่งเพิ่มจำนวนมากขึ้นเท่านั้น



หนังสือเล่มนี้ จะช่วยให้ผู้อ่านมีความเข้าใจในเบื้องต้นถึงการทำงานของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ต่าง ๆ หรือเข้าใจสิ่งที่อยู่ในกล่องดำ ดังเช่นการที่เราจะทำความเข้าใจร่างกายของมนุษย์นั้น แต่การรู้จักอวัยวะต่าง ๆ คงไม่เพียงพอ เราต้องมีการทดลองหาความสัมพันธ์ของการทำงานระหว่างอวัยวะหนึ่งกับอวัยวะอื่น จึงจะเริ่มเข้าใจร่างกายมนุษย์ในภาพรวมได้ วงจรอิเล็กทรอนิกส์ก็เช่นกัน นอกจากรู้จักอุปกรณ์แต่ละชิ้นแล้ว เรายังต้องรู้จักการทำงาน และความสัมพันธ์ระหว่างอุปกรณ์เหล่านั้นด้วย



รูปที่ 1.1 ทำความรู้จักกับกล่องดำ (วงจรอิเล็กทรอนิกส์)



1.2 เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์กับการพัฒนาด้านต่างๆ

1.2.1 อิเล็กทรอนิกส์กับการสื่อสารโทรคมนาคม

การสื่อสารโทรคมนาคมในปัจจุบันได้เจริญก้าวหน้าไปมาก มีเครื่องมือรับส่งวิทยุที่มีประสิทธิภาพสูงขนาดเล็กกะทัดรัด ปัจจุบันสามารถติดต่อสื่อสารถึงกันได้ทั่วโลกโดยใช้ระบบดาวเทียมเพื่อเชื่อมโยงข้อมูลข่าวสารถึงกัน ยังมีการพัฒนาระบบสื่อสารด้วยเส้นใยแก้วนำแสงที่สามารถส่งข้อมูลในปริมาณมาก ๆ ให้สามารถส่งได้อย่างรวดเร็ว สามารถติดต่อสื่อสารถึงกันได้ทั้งโทรศัพท์ โทรภาพ หรือแฟกซ์ไมล์ คอมพิวเตอร์ อินเทอร์เน็ต ซึ่งใช้เวลาในการติดต่อสื่อสารถึงกันภายในไม่กี่วินาที และมีความชัดเจนเหมือนเป็นการพูดคุยแบบอยู่ตรงหน้า

ระบบสื่อสารโทรคมนาคมเป็นระบบขนาดใหญ่และสำคัญมากที่สุดส่วนหนึ่งของทุกสังคม อีกทั้งยังทำให้ระบบอื่นในสังคมเจริญก้าวหน้ามากขึ้นด้วย ความสำคัญดังกล่าวจึงทำให้การพัฒนาด้านการสื่อสาร ให้ก้าวหน้าและทันสมัยมากขึ้นตลอดเวลา จนอาจกล่าวได้ว่าโลกอยู่ในมือของเราแล้ว ซึ่งหมายถึงโลกที่ใหญ่โตใบนี้ เหมือนกับมีขนาดเล็กที่สามารถใช้มือหยิบจับได้ ด้วยเทคโนโลยีด้านการสื่อสารโทรคมนาคมที่ทันสมัย ทำให้ทุกคนในโลกสามารถติดต่อสื่อสารพูดคุยกัน มองเห็นหน้ากันได้ทั่วโลก



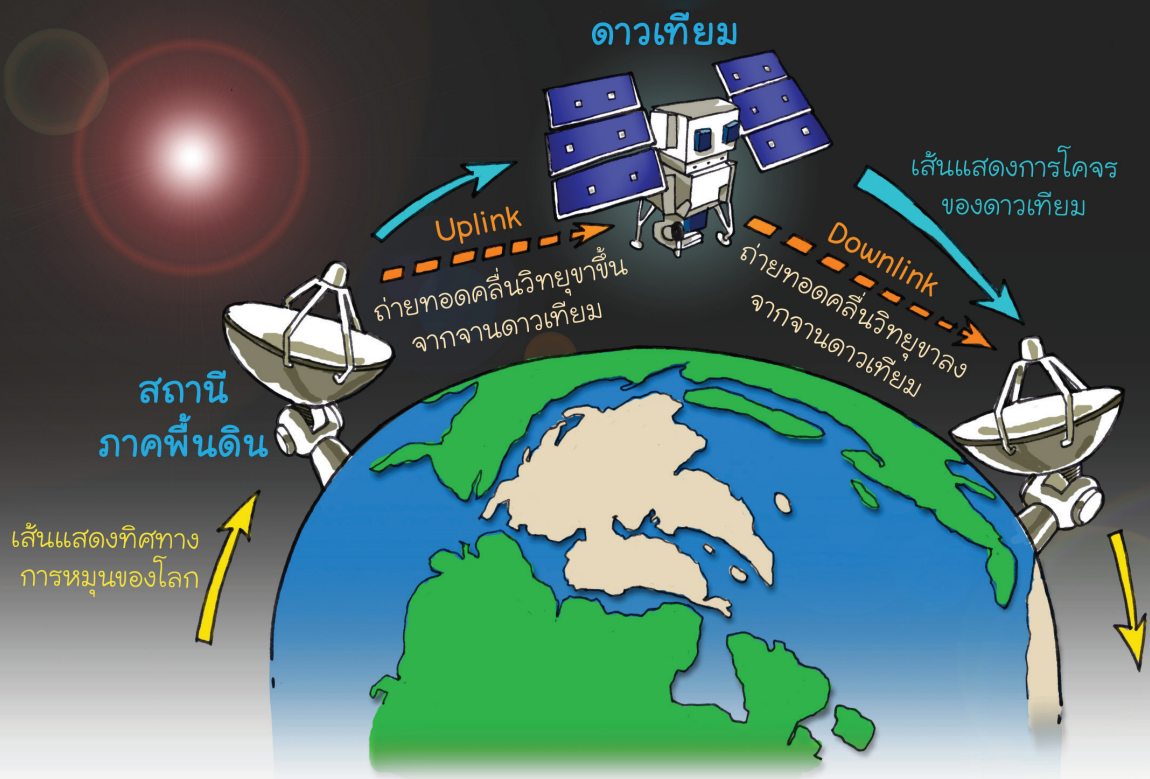
รูปที่ 1.2 โทรศัพท์พื้นฐาน และโทรศัพท์เคลื่อนที่



รูปที่ 1.3 เครื่องโทรสาร

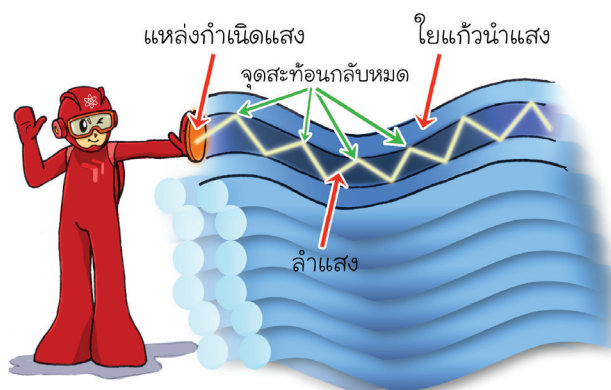
การสื่อสารด้วยโทรสารในการสื่อสารที่ส่งข่าวสารด้วยภาพนิ่งหรือตัวอักษร มีความรวดเร็วและติดต่อสื่อสารได้ทั่วโลก





รูปที่ 1.4 ระบบสื่อสารผ่านดาวเทียม

เราสามารถสื่อสารระหว่างประเทศถึงกันได้ทั่วโลกผ่านระบบดาวเทียม ปัจจุบันประเทศไทยใช้ดาวเทียมในการสื่อสารหลายอย่าง เช่น ถ่ายทอดสัญญาณผ่านโทรทัศน์ ถ่ายทอดสัญญาณวิทยุกระจายเสียง นอกจากนี้ยังมีระบบการรับสัญญาณภาพโทรทัศน์จากดาวเทียมโดยตรงทำให้การได้รับข่าวสารสาธารณะเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ ทั้งนี้ยังได้ประยุกต์การสื่อสารผ่านดาวเทียมไปในงานอื่น ๆ เช่น การทหาร การธนาคาร การแพทย์ การสำรวจต่าง ๆ



รูปที่ 1.5 การสื่อสารด้วยเส้นใยแก้วนำแสง

นอกจากนี้ ยังมีเทคโนโลยีที่ช่วยให้การสื่อสารโทรคมนาคมสามารถส่งข้อมูลปริมาณมากได้อย่างรวดเร็วสามารถตอบสนองการรับส่งสัญญาณที่มีความเร็วสูงได้ คือระบบการสื่อสารด้วยเส้นใยแก้วนำแสง ซึ่งในปัจจุบันถูกนำมาใช้เชื่อมต่อสัญญาณ ทั้งในและต่างประเทศอย่างกว้างขวาง ทำให้การสื่อสารมีประสิทธิภาพสูง สามารถเชื่อมต่อระบบอินเทอร์เน็ตได้ทั่วโลกด้วยความเร็วสูงตอบสนองต่อการใช้งานอย่างสมบูรณ์

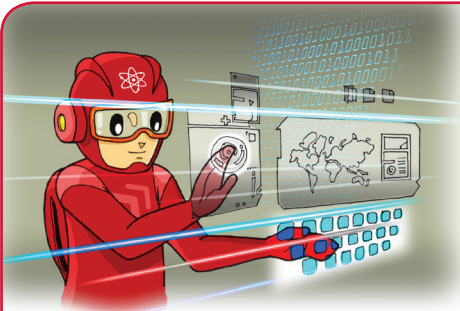
1.2.2 อิเล็กทรอนิกส์กับคอมพิวเตอร์และเทคโนโลยีสารสนเทศ

คอมพิวเตอร์เป็นระบบอิเล็กทรอนิกส์ระบบหนึ่ง ด้วยเทคโนโลยีไมโครอิเล็กทรอนิกส์ เรามีคอมพิวเตอร์ที่ทำงานได้เร็วขึ้น และจัดเก็บข้อมูลได้ปริมาณมากขึ้น ทำให้คอมพิวเตอร์มีบทบาทมากขึ้น กล่าวได้ว่าอิเล็กทรอนิกส์ในปัจจุบันคือ อิเล็กทรอนิกส์คอมพิวเตอร์ คอมพิวเตอร์ถูกใช้งานในหลายด้าน เช่น ธุรกิจ วิศวกรรม วิทยาศาสตร์ จราจร อุตสาหกรรม ทหาร ตลอดจนนำไปใช้ในการพัฒนาประเทศ เพื่อให้เป็นระเบียบและสำเร็จผลได้รวดเร็วขึ้น



รูปที่ 1.6 คอมพิวเตอร์ที่เล็กลง ประสิทธิภาพสูงขึ้นมาก

เนื่องจากคอมพิวเตอร์มีความสามารถในการทำงานได้รวดเร็ว ได้ผลลัพธ์ที่แม่นยำแน่นอน เก็บข้อมูลและข้อความได้จำนวนมาก สามารถทำงานที่สลับซับซ้อนโดยไม่เหน็ดเหนื่อย ช่วยในการตัดสินใจ คอมพิวเตอร์ช่วยทำงานได้อย่างมากมาย ในด้านธุรกิจ เช่น ธนาคารใช้คอมพิวเตอร์ในการคำนวณ ดอกเบี้ยให้ลูกค้า ใช้ระบบการเบิกเงินจากธนาคารต่างสาขา หรือระบบเงินทางเครื่องเอทีเอ็ม ใช้ทำบัญชี จ่ายเงินเดือน ออกใบเสร็จรับเงิน ส่งจ่ายสินค้า สต็อกสินค้า คอมพิวเตอร์ถูกใช้ในการควบคุมการผลิต สินค้า เช่น ควบคุมแขนกลหยิบจับ เคลื่อนย้าย ยก หรือใช้งานในระบบการทำงานที่ต้องการความปลอดภัย นอกจากนี้ยังถูกประดิษฐ์ขึ้นมาเพื่ออำนวยความสะดวกในชีวิตประจำวัน เช่น เครื่องเก็บข้อความหรือกราฟิก ไดอารี่อิเล็กทรอนิกส์ เครื่องคำนวณคอมพิวเตอร์



รูปที่ 1.7 คอมพิวเตอร์ที่เล็กลง ประสิทธิภาพสูงขึ้นมาก

นอกจากนี้ระบบคอมพิวเตอร์ยังถูกนำมาใช้บริหารจัดการหรือประยุกต์ร่วมกับระบบสื่อสารโทรคมนาคม เพราะวาระบบคอมพิวเตอร์ทำงานในรูปของข้อมูลดิจิทัล สัญญาณที่ใช้รับส่งในระบบสื่อสารโทรคมนาคมในปัจจุบันนั้นส่วนใหญ่เป็นสัญญาณดิจิทัล ดังนั้นโครงข่ายโทรคมนาคมจึงสามารถใช้ร่วมกับคอมพิวเตอร์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ และเป็นโครงสร้างของเทคโนโลยี

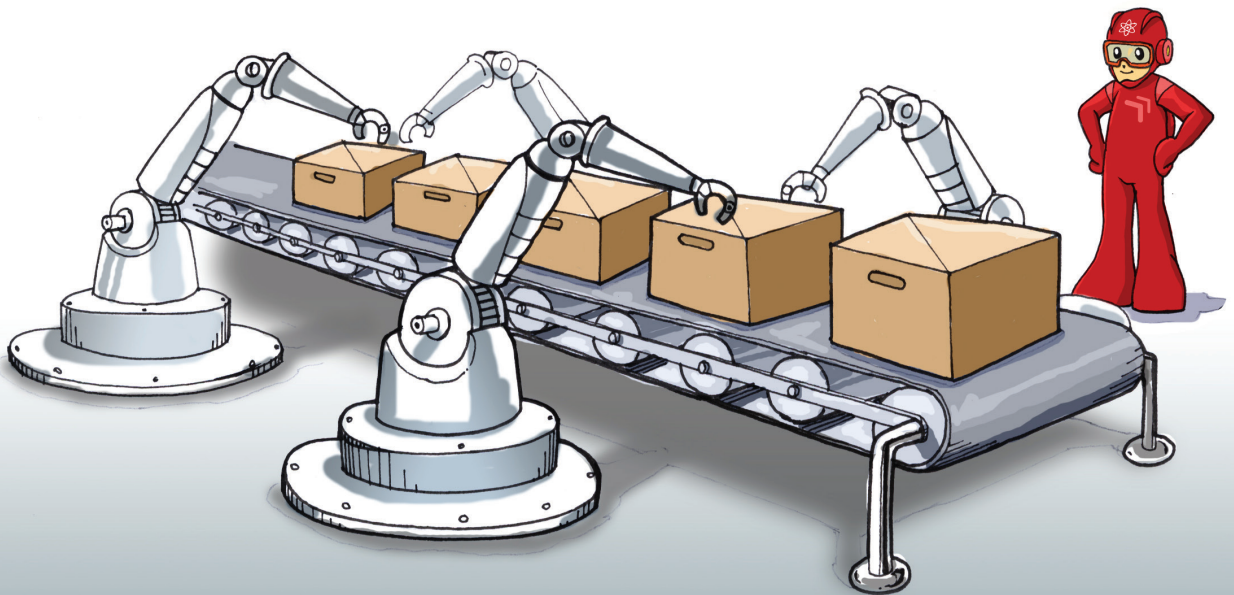
สารสนเทศ หรือไอที (IT หรือ Information Technology) โดยเฉพาะระบบโครงข่ายอินเทอร์เน็ต การสื่อสารแบบไร้สายอย่างสมาร์ทโฟน แท็บเล็ต และการเชื่อมต่อสัญญาณอินเทอร์เน็ตผ่านอุปกรณ์ไร้สายอื่น ทำให้มีความสะดวกสบาย มีความคล่องตัวสูง ลดข้อจำกัดในเรื่องของสถานที่ลงไปอย่างมาก สามารถใช้งานได้อย่างต่อเนื่องทุกๆ พื้นที่ การติดต่อสื่อสารมีความสำคัญต่อโลกปัจจุบันอย่างมาก และที่สำคัญ ทุกอย่างเริ่มต้นจากการพัฒนาเทคโนโลยีของอิเล็กทรอนิกส์ให้มีความสามารถที่สูงขึ้น



1.2.3 อิเล็กทรอนิกส์กับอุตสาหกรรม

อุตสาหกรรมทุกประเภทต้องมีการแข่งขัน ไม่ว่าจะเป็นด้านการผลิต คุณภาพ ประสิทธิภาพ ราคา ความทันสมัย ความรวดเร็ว ความประหยัด และมาตรฐานจากสิ่งดังกล่าวนี้ ทำให้เกิดการแข่งขันกันขึ้นในโรงงานอุตสาหกรรม ต้องใช้เทคโนโลยีหลากหลายเข้ามาร่วมในการผลิต ระบบการผลิตอัตโนมัติจึงถูกนำมาใช้ นอกจากนั้นยังต้องนำเทคโนโลยีใหม่ ๆ เข้ามาปรับปรุงในการผลิต อิเล็กทรอนิกส์เป็นสิ่งสำคัญที่มีบทบาทอย่างมากในขบวนการผลิตทางอุตสาหกรรม เพราะให้ผลดีและแน่นอนกว่าการควบคุมการผลิตด้วยวิธีอื่น

หลังจากผ่านขั้นตอนการผลิตอัตโนมัติแล้ว สินค้าจะถูกส่งต่อเพื่อทำการบรรจุหีบห่อ ขั้นตอนการนับจำนวนสินค้าก็ถือได้ว่าเป็นขั้นตอนที่สำคัญ เพราะเป็นการตรวจเช็คจำนวนสินค้าที่ผลิตได้ และเป็นการนับจำนวนที่ต้องการเพื่อส่งลงบรรจุในหีบห่ออย่างถูกต้อง หรือเพื่อการตรวจสอบกระบวนการผลิตว่ามีขั้นตอนใดผิดปกติ หรือหยุดชะงักเนื่องจากการทำงานที่บกพร่องของเครื่องมือ เครื่องจักร การตรวจสอบดังกล่าวสามารถทำได้หลายวิธี เช่น ใช้หลักการของสนามแม่เหล็ก แล้วนำสัญญาณที่ได้จากการวัดไปแสดงผลเป็นตัวเลข



รูปที่ 1.8 ระบบอิเล็กทรอนิกส์ในงานอุตสาหกรรม





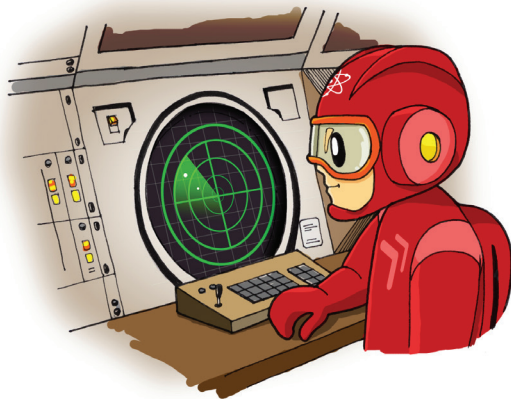
รูปที่ 1.9 เครื่องบินไอพ่นอากาศยาน
ที่ใช้ในกิจการทหาร

1.2.4 อิเล็กทรอนิกส์กับการทหาร

ทหารมีหน้าที่ป้องกันประเทศ ป้องกันภัย ป้องกันฝ่ายข้าศึกเข้าบุกโจมตี ภารกิจของทหารมีความสำคัญ และอิเล็กทรอนิกส์ก็สามารถเข้าไปช่วยในการป้องกันประเทศ ป้องกันภัยได้เช่นเดียวกัน ดูได้จากอุปกรณ์ และอาวุธที่ใช้ในด้านทหารซึ่งทันสมัยและมีการพัฒนาตลอดเวลา เช่น เครื่องบินที่ใช้ในสงครามต้องบินเร็วคล่องตัว และหลบหลีกสิ่งต่าง ๆ ได้ดี อาวุธสงครามไม่ว่าจะเป็นปืนใหญ่ จีปนาอูร์ จรวดนำวิถี

อิเล็กทรอนิกส์ช่วยพัฒนาอาวุธสงคราม และเครื่องมือเครื่องใช้ในกิจการทหารให้มีความก้าวหน้า และทันสมัย อุปกรณ์สงครามสมัยใหม่เกือบทุกชนิดจะต้องเกี่ยวข้องกับอิเล็กทรอนิกส์ การตรวจค้นหาข่าวของฝ่ายตรงข้าม การใช้คลื่นอุลตราโซนิก การใช้แสงอินฟราเรด การใช้แสงเลเซอร์ การทำลายและรบกวนระบบสื่อสารของศัตรู จรวดติดตามเป้าหมายที่เป็นโลหะ จรวดติดตามเป้าหมายที่มีความร้อน การใช้คอมพิวเตอร์เข้ามาควบคุมสั่งการ หรือการทำลายเป้าหมาย

เรดาร์ก็ถือว่าเป็นเครื่องมืออิเล็กทรอนิกส์ที่สำคัญทางด้านทหารอีกชนิดหนึ่ง ทำหน้าที่เป็นตัวคอยตรวจจับวัตถุต่าง ๆ ที่อยู่ในอากาศ เช่น เครื่องบิน จรวด จีปนาอูร์ เพื่อเป็นการป้องกันการรุกรานผ่านฟ้าของแต่ละประเทศ ประเทศไทยใช้เรดาร์ในการให้บริการการควบคุมการจราจรทางอากาศ



รูปที่ 1.10 เรดาร์ตรวจวัตถุในอากาศ



1.2.5 อิเล็กทรอนิกส์กับการแพทย์

การพัฒนาทางด้านอิเล็กทรอนิกส์ส่งผลให้ด้านการแพทย์มีการพัฒนาการมากขึ้น เครื่องมือและอุปกรณ์ต่าง ๆ ที่ใช้งานในวงการแพทย์ จะมีอิเล็กทรอนิกส์เข้ามาเกี่ยวข้องมากขึ้น ช่วยให้แพทย์วินิจฉัยโรคได้แม่นยำขึ้น ตัวอย่างเครื่องมืออิเล็กทรอนิกส์ทางการแพทย์ เช่น เครื่องฉายรังสีเอกซ์เรย์ รังสีเอกซ์สามารถผ่านส่วนต่าง ๆ ของร่างกายได้แตกต่างกัน เช่น ผ่านกล้ามเนื้อได้ดีกว่ากระดูก เมื่อนำฟิล์มมาวางด้านหลังของร่างกายในแนวเดียวกับรังสีเอกซ์จะเกิดภาพขึ้นบนฟิล์ม โดยความเข้มของภาพขึ้นอยู่กับปริมาณของรังสีที่ผ่านอวัยวะต่าง ๆ ของร่างกาย แพทย์จึงสามารถนำฟิล์มมาวิเคราะห์หาความผิดปกติต่าง ๆ ได้

รังสีเอกซ์ถึงแม้จะมีประโยชน์ในด้านการแพทย์ แต่ก็มียันตรายต่อร่างกายหากใช้ในปริมาณไม่ถูกต้อง จึงมีการพัฒนาด้านการวิเคราะห์โรคในร่างกายมนุษย์ด้วยเครื่องอัลตราซาวด์ ซึ่งเป็นคลื่นเสียงความถี่สูงและไม่มีอันตรายต่อร่างกายมนุษย์ โดยนำไปใช้ตรวจสอบที่อาจเกิดอันตรายได้ง่าย เช่น ตรวจเช็คทารกในครรภ์มารดา ตรวจสมอง

นอกจากนี้ยังมีการใช้อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ทำหน้าที่แทนอวัยวะบางส่วนในร่างกายที่พิการ เช่น ใช้ควบคุมแขนเทียม ขาเทียม ใช้เป็นเครื่องกระตุ้นหัวใจ ใช้ช่วยฟังเสียง และใช้ตรวจจับวัตถุเพื่อแทนนัยน์ตา

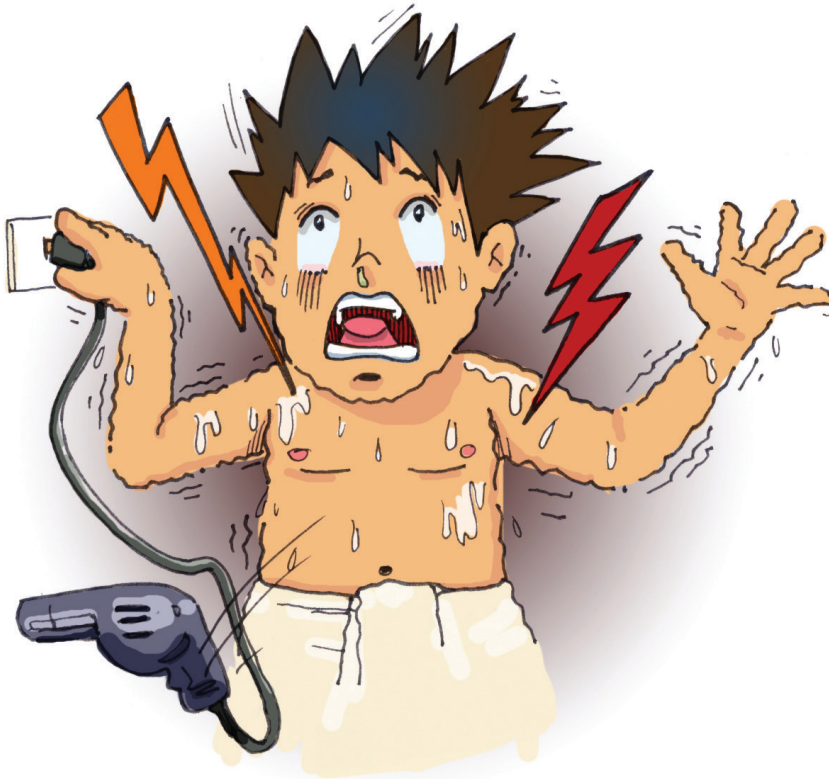


รูปที่ 1.11 เครื่องตรวจเช็คร่างกาย



อันตรายของไฟฟ้าต่อร่างกายมนุษย์

ร่างกายมนุษย์เป็นตัวนำไฟฟ้าเช่นเดียวกับตัวนำต่างๆ ไฟฟ้าสามารถผ่านร่างกายไปได้อย่างสะดวก ดังนั้นจึงควรระมัดระวังไม่ให้ร่างกายทุกส่วนสัมผัสถูกตัวนำไฟฟ้าที่อยู่ต่อกับแหล่งกำเนิดไฟฟ้า หรือขณะที่มีกระแสผ่านตัวนำไฟฟ้าโดยเฉพาะ ขณะที่ส่วนหนึ่งส่วนใดของร่างกายสัมผัสอยู่กับพื้นน้ำ พื้นดิน พื้นปูน หรือโลหะที่ต่อถึงพื้นดินหรือพื้นน้ำ ซึ่งจะทำให้กระแสไฟฟ้าสามารถไหลผ่านร่างกายลงสู่พื้นน้ำหรือพื้นดินได้สะดวก ในกรณีที่ร่างกายสัมผัสถูกสายไฟฟ้าพร้อมกันมากกว่าหนึ่งเส้น ร่างกายมนุษย์จะกลายเป็นโหลด (load) ไฟฟ้าแทนอุปกรณ์ไฟฟ้าทำให้เกิดกระแสไหลผ่านร่างกาย เรียกการเกิดลักษณะนี้ว่า ไฟฟ้าดูด หรือไฟฟ้าช็อต แสดงดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 การเกิดกระแสไฟฟ้าไหลผ่านร่างกายมนุษย์ลงดิน



อันตรายของไฟฟ้าต่อร่างกายมนุษย์คือ อาจทำให้เกิดการบาดเจ็บของอวัยวะต่างๆ หรืออาจถึงขั้นเสียชีวิตได้ อันตรายที่เกิดขึ้นอาจจะมากหรือน้อย ขึ้นอยู่กับขนาดของกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านร่างกายไป กระแสไฟฟ้าปกติมีหน่วยเป็นแอมแปร์ (A) หรือจะหน่วยเล็กลงมาเป็นมิลลิแอมแปร์ (mA) โดยที่แรงดันไฟฟ้าจะเป็นเท่าไรก็ได้ (ปกติแรงดันไฟสลับใช้ตามบ้านเรือนมีค่า 220 โวลต์) กระแสไฟฟ้าปริมาณน้อยเป็นอันตรายน้อย กระแสไฟฟ้าปริมาณมากเป็นอันตรายมาก และระยะเวลาของกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านนานก็จะอันตรายมาก เมื่อมีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านร่างกายมนุษย์จะส่งผลให้เกิดอาการเกร็งของกล้ามเนื้อ ทำให้ไม่สามารถเคลื่อนไหวหรือดิ้นให้หลุดพ้นจากการถูกไฟฟ้าดูดได้ ความสัมพันธ์ของกระแสไฟฟ้า ระยะเวลาที่ถูกไฟฟ้าดูดกับปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นต่อร่างกาย แสดงได้ดังตารางที่ 1.1 และตารางที่ 1.2

ตารางที่ 1.1 ความสัมพันธ์ของกระแสไฟฟ้ากับปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นกับร่างกายมนุษย์

ปริมาณกระแสไฟฟ้าไหลผ่านร่างกายมนุษย์เป็นมิลลิแอมแปร์ (mA)	ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้น
น้อยกว่า 0.5	ไม่เกิดความรู้สึก
0.5-2	เริ่มเกิดความรู้สึก กล้ามเนื้อกระตุกเล็กน้อย
2-10	กล้ามเนื้อหดตัว กระตุกปานกลาง ถึงกระตุกรุนแรง
10-25	เจ็บปวดกล้ามเนื้อ เกร็ง ไม่สามารถขยับเขยื้อนได้
25-50	กล้ามเนื้อกระตุกรุนแรง
50-100	หัวใจเต้นผิดปกติ เต้นถี่เร็ว และอาจเสียชีวิต
มากกว่า 100	หัวใจหยุดเต้น เนื้อหนังไหม้

ตารางที่ 1.2 ความสัมพันธ์ของกระแสไฟฟ้ากับระยะเวลาที่กระแสไฟฟ้าไหลผ่านร่างกายมนุษย์ทำให้เสียชีวิต

ปริมาณกระแสไฟฟ้าเป็นมิลลิแอมแปร์ (mA)	ระยะเวลาเป็นวินาที (s)
100	นานกว่า 3
500	นานกว่า 0.11
10,000	นานกว่า 0.03



ส่วนประกอบอื่น ๆ ที่มีผลต่อความรุนแรงที่เกิดขึ้น คือตำแหน่งที่สัมผัสและสภาพของผิวหนังตรงจุดสัมผัส กล่าวคือถ้ากระแสไฟฟ้าผ่านร่างกายตรงบริเวณอวัยวะที่สำคัญ เช่น บริเวณทรวงอก หรือศีรษะจะได้รับอันตรายจากกระแสไฟฟ้ามากกว่าส่วนอื่น ๆ ของร่างกาย ส่วนของผิวหนังที่สัมผัสกับไฟฟ้าก็จะได้รับความรุนแรงที่แตกต่างกัน ผิวหนังที่แห้งมีความต้านทานต่อกระแสไฟฟ้าสูง กระแสไฟฟ้าไหลผ่านได้น้อยเกิดอันตรายน้อย ผิวหนังที่มีความเปียกชื้นสูง เช่น เปียกน้ำ เปียกเหงื่อ กระแสไฟฟ้าไหลผ่านได้สะดวก เกิดอันตรายมากขึ้น

1. การใช้ไฟฟ้าอย่างมีประสิทธิภาพและปลอดภัย

การใช้ไฟฟ้าอย่างมีประสิทธิภาพ คือ การใช้ไฟฟ้าให้คุ้มค่าเกิดประโยชน์สูงสุดต่ออุปกรณ์ หรือเครื่องใช้ไฟฟ้าและประหยัดค่าใช้จ่ายในการเสียค่าไฟฟ้าได้มากที่สุด การใช้ไฟฟ้าอย่างมีประสิทธิภาพสามารถเริ่มตั้งแต่วิธีการเลือกใช้อุปกรณ์และเครื่องใช้ไฟฟ้าให้เหมาะสมกับการใช้งาน มีความรู้ความเข้าใจในอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้าอย่างถ่องแท้ และใช้อย่างถูกวิธี การใช้ไฟฟ้าอย่างมีประสิทธิภาพนอกจากเป็นการประหยัดพลังงานแล้วยังช่วยในแง่ของการอนุรักษ์ธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมหลักการใช้ไฟฟ้าอย่างมีประสิทธิภาพสามารถพิจารณาได้ดังนี้

1. ควรเลือกและตรวจสอบให้แน่นอนก่อนว่าจ้างห้างร้าน บริษัท หรือช่างที่จะมาดำเนินการออกแบบและเดินสายติดตั้งระบบไฟฟ้าว่าเป็นผู้มีประสบการณ์ ความรู้ และความชำนาญที่เพียงพอ
2. อุปกรณ์ที่ใช้ติดตั้งทางไฟฟ้าต้องเป็นชนิดที่ผลิตและได้รับการรับรองจากมาตรฐานต่างๆ เช่น สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (สมอ.) UL/IEC และ VDE เป็นต้น มาตรฐานต่าง ๆ แสดงดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 มาตรฐานอุปกรณ์ไฟฟ้าประเทศต่าง ๆ

3. การเดินสายไฟและการติดตั้งอุปกรณ์ไฟฟ้า ต้องเป็นไปตามกฎเกณฑ์การเดินสายและการติดตั้งอุปกรณ์ไฟฟ้าของการไฟฟ้านครหลวงฉบับล่าสุด



4. อุปกรณ์ไฟฟ้าและเครื่องใช้ไฟฟ้าที่มีเปลือกหุ้มภายนอกทำด้วยโลหะทุกชนิด หรืออุปกรณ์ไฟฟ้าและเครื่องใช้ไฟฟ้าที่อาจมีไฟฟ้ารั่วมากับน้ำ เช่น ตู้เย็น หม้อหุงข้าว เต้าไมโครเวฟ เตาไรต์ กระทะไฟฟ้า หม้อต้มน้ำร้อน เต้าไฟฟ้า เครื่องทำน้ำอุ่น และเครื่องซักผ้า เป็นต้น ควรต่อสายดินของอุปกรณ์ไฟฟ้าเข้ากับสายดินกับระบบ ดังนั้นจำเป็นจะต้องมีการติดตั้งระบบสายดินที่ถูกต้องและใช้เต้าเสียบเต้ารับชนิดที่มีขั้วสายดินที่เป็นมาตรฐานเดียวกัน
5. ก่อนใช้อุปกรณ์ไฟฟ้าและเครื่องใช้ไฟฟ้า ผู้ใช้ต้องอ่านและศึกษาคู่มือแนะนำการใช้งานให้เข้าใจ และปฏิบัติตามคำแนะนำอย่างเคร่งครัด
6. ควรระมัดระวังการใช้อุปกรณ์ไฟฟ้าและเครื่องใช้ไฟฟ้า โดยเฉพาะอย่างยิ่งผลิตภัณฑ์ราคาถูก ที่ผลิตแบบไม่ได้มาตรฐาน ซึ่งจะมีอายุการใช้งานสั้น ก่อให้เกิดอันตรายจากอุปกรณ์ดังกล่าว
7. ทุกครั้งที่เลิกใช้เครื่องใช้ไฟฟ้าให้ปิดสวิตช์ (OFF) ที่เครื่องใช้ไฟฟ้าก่อน แล้วให้ถอดปลั๊กหรือเต้าเสียบออกจากเต้ารับทุกครั้ง เพื่อไม่ให้เครื่องใช้ไฟฟ้าชำรุดเสียหายง่าย
8. อุปกรณ์ที่ต้องเสียบปลั๊กทิ้งไว้นานๆ โดยไม่มีผู้ดูแล เช่น หม้อแปลงขนาดเล็ก (อะแดปเตอร์) เครื่องชาร์จแบตเตอรี่ขนาดเล็ก หลอดไฟฟ้าศาลเจ้า หรือศาลพระภูมิเจ้าที่ เป็นต้น หากมีความจำเป็นต้องใช้ให้หลีกเลี่ยงการใช้งานในบริเวณที่มีวัสดุติดไฟได้ง่าย
9. เมื่อร่างกายขณะเปียกน้ำหรือเปียกชื้น ห้ามแตะต้องส่วนที่มีไฟฟ้า อุปกรณ์ไฟฟ้า หรือเครื่องใช้ไฟฟ้าโดยเด็ดขาด เพราะขณะที่ผิวหนังเปียกชื้นจะมีค่าความต้านทานต่อไฟฟ้าลดลง ทำให้กระแสไฟฟ้าสามารถไหลผ่านร่างกายได้สะดวก อาจทำให้เสียชีวิตได้โดยง่าย การป้องกันสามารถทำได้โดยการเพิ่มสายดินเข้ากับเครื่องใช้ไฟฟ้า และติดตั้งเครื่องตัดไฟรั่วช่วยป้องกันอีกส่วน
10. หากไม่มีความชำนาญไม่ควรซ่อมแซมเครื่องใช้ไฟฟ้าด้วยตนเอง เพราะเครื่องใช้ไฟฟ้าบางประเภทจำเป็นต้องใช้อุปกรณ์ตรวจสอบความปลอดภัย เช่น เต้าไมโครเวฟ ต้องมีการตรวจสอบการรั่วของคลื่นไมโครเวฟไม่ให้มากเกินไปอัตราที่กำหนด หรือเครื่องใช้ไฟฟ้าที่มีสายดินต้องตรวจสอบความต่อเนื่องและฉนวนของสายดินกับสายนิวทรัล เป็นต้น
11. หลีกเลี่ยงการใช้เครื่องใช้ไฟฟ้าในขณะที่มีฝนตกฟ้าคะนอง โดยเฉพาะอย่างยิ่งอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์และเครื่องใช้อิเล็กทรอนิกส์ เช่น โทรทัศน์ เครื่องเสียง วีดิทัศน์ คอมพิวเตอร์ อุปกรณ์สื่อสาร เป็นต้น เพื่อป้องกันการชำรุดเสียหายที่เกิดจากฟ้าผ่า ในบริเวณใกล้เคียงทางที่ดีควรปิดเครื่องและถอดปลั๊กไฟ รวมทั้งสายอากาศหรือสายโทรทัศน์ออกจากเครื่อง ทุกครั้งที่ฟ้าผ่าขณะฝนตก



12. เครื่องใช้ไฟฟ้าที่ควบคุมด้วยรีโมตคอนโทรล หรือปุ่มสัมผัสอิเล็กทรอนิกส์ เช่น โทรทัศน์ เครื่องเสียง วิทยุหัตถ์ หรือคอมพิวเตอร์ เป็นต้น เครื่องใช้ไฟฟ้าเหล่านี้เมื่อปิดเครื่องแล้วยังมีไฟจ่ายเลี้ยงวงจรควบคุมภายในอยู่ตลอดเวลา จึงมักเกิดปัญหาจากอุปกรณ์ควบคุมภายในอยู่ตลอดเวลาและบางครั้งอาจก่อให้เกิดไฟลุกไหม้ทรัพย์สินเสียหายอยู่เสมอ ดังนั้นทุกครั้งที่เลิกใช้งานควรถอดปลั๊กไฟหรือติดตั้งสวิตช์ตัดวงจรเพิ่มเข้าไปเพื่อตัดไฟออกทุกครั้งที่เลิกใช้งาน
13. หมั่นตรวจสอบอุปกรณ์ติดตั้งทางไฟฟ้าและเครื่องใช้ไฟฟ้าเป็นประจำอย่างน้อยปีละ 1 ครั้ง หรือตามที่กำหนดไว้ของแต่ละอุปกรณ์
14. ฝึกเป็นคนช่างสังเกตสิ่งผิดปกติจากสี กลิ่น เสียง และการสัมผัสอุณหภูมิ รวมทั้งการใช้ อุปกรณ์ตรวจสอบไฟฟ้าที่ทำได้ทั่วไป เช่น ไขควงทดสอบไฟฟ้า เป็นต้น ช่วยในการตรวจสอบไฟฟ้าตามจุดต่างๆ การสังเกตสิ่งผิดปกติ ต่างๆ เช่น สีสายไฟเปลี่ยนไป มีรอยเขม่า มีรอยไหม้ มีกลิ่นไหม้ ไข้มือจับสวิตช์ไฟหรือปลั๊กไฟแล้วรู้สึกอุ่น หรือเกิดความร้อน สิ่งเหล่านี้แสดงให้เห็นว่าเกิดความผิดปกติขึ้นแล้ว สาเหตุอาจเกิดจากจุดต่อต่าง ๆ เช่น ขั้วสกปรกไม่แน่น เต้าเสียบ เต้ารับเสียบหลวมหรือสัมผัสไม่สนิท เป็นต้น
15. อย่าพยายามใช้ไฟฟ้าหรือเปิดสวิตช์ไฟฟ้า เช่น พัดลมระบายอากาศ พัดลม หรือเครื่องเป่าลม เป็นต้น ในบริเวณที่มีไอของสารระเหยหรือแก๊สไวไฟที่ปกคลุมอยู่ในพื้นที่นั้น ๆ

2. การปฏิบัติงานทางด้านไฟฟ้าอิเล็กทรอนิกส์ที่ปลอดภัย

การจับต้องไฟฟ้าถือว่าเป็นอันตรายต่อร่างกายมนุษย์อย่างมาก ดังนั้น การปฏิบัติงานทางด้านไฟฟ้าอิเล็กทรอนิกส์ ต้องมีความระมัดระวังอย่างมาก ต้องมั่นใจว่าเกิดความปลอดภัย ขณะปฏิบัติงานต้องมีอุปกรณ์อำนวยความสะดวก และอุปกรณ์ป้องกันอันตรายอย่างเพียงพอ ต้องปฏิบัติงานให้ถูกขั้นตอนทำงานอย่างเป็นระบบมีความรอบคอบ หลักการปฏิบัติงานทางด้านไฟฟ้าอิเล็กทรอนิกส์ที่ปลอดภัยมีดังนี้

1. ก่อนการปฏิบัติงานเกี่ยวกับไฟฟ้า ต้องถือว่าอุปกรณ์ไฟฟ้าเหล่านี้ มีไฟฟ้าไหลอยู่ต้องตรวจสอบจนแน่ใจว่าไม่มีไฟฟ้าจ่ายให้อุปกรณ์ไฟฟ้าแล้ว
2. จะปฏิบัติงานเกี่ยวกับไฟฟ้าเรื่องใด ต้องมีความรู้ความเข้าใจในเรื่งนั้นก่อนการปฏิบัติงาน หรือถ้าไม่รู้ไม่เข้าใจควรสอบถามผู้เชี่ยวชาญหรือให้ผู้เชี่ยวชาญจัดการ
3. อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการปฏิบัติงาน หากมีส่วนชำรุดหรือไม่สมบูรณ์ไม่ควรนำมาใช้งาน



4. ไม่ควรปฏิบัติงานเมื่อรู้สึกอ่อนเพลีย เหนื่อย หรือรับประทานยาที่อาจจะทำให้ง่วงนอน
5. อย่าปฏิบัติงานในขณะที่มีฝนตกๆ ของร่างกายเปียก หรือยืนอยู่บนพื้นที่เปียกน้ำ
6. การปฏิบัติงานแต่ละครั้ง ควรมีผู้ร่วมปฏิบัติงานด้วยอย่างน้อย 2 คน
7. การปฏิบัติงานเกี่ยวกับไฟฟ้าแรงสูง ควรใช้เครื่องช่วยป้องกันไฟฟ้าให้มากขึ้นกว่าปกติ เช่น ใช้เสื่อยางฉนวน ปูพื้น สวมถุงมือฉนวนและปกแขนฉนวน เป็นต้น ก่อนการปฏิบัติงานทุกครั้ง ดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 การสวมเครื่องป้องกันอันตรายจากไฟฟ้าขณะปฏิบัติงาน

8. ถ้าจำเป็นต้องปฏิบัติงานในที่มืดคนพลุ่งพล่านหรือมีการปฏิบัติงานอื่นๆ ร่วมด้วย ต้องแขวนป้ายหรือเขียนป้ายแสดงการงดใช้ไฟฟ้าไว้ให้มองเห็นชัดเจนทุกครั้งก่อนปฏิบัติงาน
9. ถ้าจะเป็นต้องปฏิบัติงานในที่ๆ ไม่สามารถตัดไฟออกได้ ต้องกั้นบริเวณหรือป้องกันไม่ให้ผู้ที่ไม่เกี่ยวข้องเข้าใกล้ได้
10. การปฏิบัติงาน ถ้ามีการละงานไปชั่วคราว เช่น พักเที่ยง เมื่อกลับมาปฏิบัติงานต่อต้องตรวจสอบสวิตช์ ตัดตอนสะพานไฟ ตลอดจนเครื่องหมายต่างๆ ที่ทำไว้ต้องอยู่ในสภาพเดิมก่อนปฏิบัติงานต่อไป



11. คำนึงถึงกฎแห่งความปลอดภัยขณะทำงานหรือขณะทำการซ่อมบำรุงเครื่องใช้และอุปกรณ์ไฟฟ้าทุกครั้ง
12. ไม่ทำสิ่งใดๆ ด้วยความประมาท

3.การช่วยเหลือผู้ประสบอันตรายจากไฟฟ้า

การช่วยเหลือผู้ประสบอันตรายจากไฟฟ้านับว่าเป็นสิ่งจำเป็นและสำคัญอย่างยิ่งที่ต้องกระทำอย่างถูกวิธีและทำด้วยความรวดเร็ว รอบคอบและระมัดระวัง เพื่อให้ผู้ประสบอันตรายมีโอกาสรอดพ้นจากอันตรายขั้นร้ายแรง และผู้ให้ความช่วยเหลือปลอดภัยไม่เกิดอันตรายตามไปด้วย วิธีที่ถูกต้องในการช่วยเหลือมีดังนี้

1. ไม่ใช่มือเปล่าแตะต้องตัวผู้ที่กำลังติดอยู่กับสายไฟฟ้าหรือตัวนำไฟฟ้าที่มีกระแสไฟฟ้าไหลผ่าน เพื่อป้องกันไม่ให้ผู้ให้ความช่วยเหลือเกิดอันตรายไปอีกคน



รูปที่ 4 การใช้เชือกช่วยเหลือผู้ประสบอันตรายจากไฟฟ้า

2. รีบหาทางตัดทางเดินของไฟฟ้าก่อน โดยถอดปลั๊ก ปลดเบรกเกอร์ หรือเมนสวิตช์ ถ้าทำได้ให้ใช้วัสดุที่ไม่เป็นสื่อไฟฟ้า เช่น ผ้า เชือก สายยาง ไม้แห้ง หรือพลาสติกที่แห้งสนิท เชี่ยวสายไฟฟ้าให้หลุดออกจากตัวผู้ประสบอันตราย หรือใช้ลากตัวผู้ประสบอันตรายให้พ้นจากสิ่งที่มีไฟฟ้า ดังแสดงในรูปที่ 4

3. เมื่อไม่สามารถทำวิธีอื่นใดได้แล้วให้ใช้มิด ขวาน หรือของมีคมที่มีด้ามไม้หรือด้ามที่เป็นฉนวน พันสายไฟฟ้าให้ขาดหลุดออกจากผู้ประสบภัยโดยเร็วที่สุด และต้องแน่ใจว่าสามารถทำได้ด้วยความปลอดภัย
4. ไม่ควรลงไปในน้ำ ในขณะที่มีกระแสไฟฟ้าอยู่ในบริเวณที่มีน้ำขัง ควรหาทางเชี่ยวสายไฟฟ้าออกไปให้พ้นน้ำหรือตัดกระแสไฟฟ้าออกก่อนจะลงไปช่วยเหลือผู้ประสบอันตรายที่อยู่ในบริเวณนั้น
5. หากเป็นสายไฟฟ้าแรงสูงให้พยายามหลีกเลี่ยง การกระทำใดๆ แล้วรีบแจ้งการไฟฟ้าที่รับผิดชอบโดยเร็วที่สุด



4. การปฐมพยาบาลผู้ถูกกระแสไฟฟ้าดูด

ผู้ประสบอันตรายจากกระแสไฟฟ้าดูดถ้าหากหมดสติไม่รู้สีกตัว หัวใจหยุดเต้นและไม่หายใจสังเกตได้จากอาการที่เกิดขึ้นคือ ริมฝีปากเขียว สีหน้าซีดเขียวคล้ำ ทรวงอกเคลื่อนไหวน้อยมากหรือไม่เคลื่อนไหว ชีพจรเต้นช้าและเบามาก หากหัวใจหยุดเต้นจะคลำชีพจรไม่พบ ม่านตาขยายค้างไม่หดเล็กลง การหมดสติต้องรีบให้การปฐมพยาบาลทันที เพื่อไม่ให้ปอดและหัวใจหยุดทำงาน โดยวิธีการผายปอดด้วยการให้ลมทางปากหรือเรียกว่า เป่าปาก ร่วมกับการนวดหัวใจก่อนนำผู้ป่วยส่งแพทย์ การปฏิบัติทำดังนี้

• การผายปอดโดยวิธีให้ลมหายใจทางปาก

1. ให้ผู้ป่วยนอนราบ จัดท่าที่เหมาะสมเพื่อเปิดทางให้อากาศเข้าสู่ปอด โดยผู้ปฐมพยาบาลอยู่ทางด้านขวา หรือด้านซ้ายบริเวณศีรษะของผู้ป่วย ใช้มือข้างหนึ่งค้ำคางผู้ป่วย หรือดันใต้คอพร้อมกับใช้มืออีกข้างหนึ่งดันหน้าผากให้หน้าหงายเป็นวิธีป้องกันไม่ให้ลิ้นตกลงไปอุดปิดทางเดินหายใจ และต้องระมัดระวังไม่ให้นิ้วที่ค้ำคางนั้น กดลึกลงไปในส่วนของเนื้อใต้คาง เพราะจะทำให้อุดตันทางเดินหายใจได้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในเด็กเล็ก สำหรับในเด็กแรกเกิดไม่ควรหายคอบมากเกินไป เพราะอาจทำให้หลอดลมแฟบและอุดตันทางเดินหายใจได้



2. สอดนิ้วหัวแม่มือเข้าไปในปากผู้ป่วย จับขากรรไกรล่างยกขึ้นจนปาก้าออก ดังแสดงในรูปที่ 5
3. ล้วงเอาสิ่งอื่นๆ ที่อาจติดค้างอยู่ในปากและลำคอออกให้หมด เช่น ฟันปลอม เศษอาหาร เป็นต้น เพื่อไม่ให้ขวางทางลม
4. ผู้ปฐมพยาบาลอ้าปากให้กว้างหายใจเข้าปอดให้เต็มที่ มือข้างหนึ่งบีบจมูกผู้ป่วยให้แน่นสนิท ในขณะที่มืออีกข้างหนึ่งยังค้ำคางผู้ป่วยอยู่ แล้วจึงประกบปากผู้ป่วยให้สนิท พร้อมกับเป่าลมเข้าไปเป็นจังหวะๆ ประมาณ 12-15 ครั้ง/นาที ดังแสดงในรูปที่ 6

รูปที่ 5 ใช้นิ้วหัวแม่มือสอดเข้าปากผู้ป่วย และอ้าปากผู้ป่วยออก





รูปที่ 6 การเป่าลมเข้าปากผู้ป่วยช่วยในการผายปอด

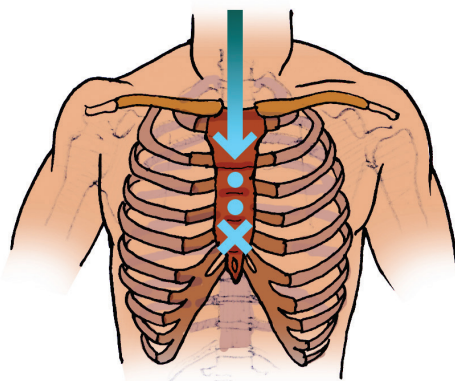
5. ขณะทำการเป่าปาก ต้องต้องเหลือบดูด้วยว่าหน้าอกผู้ป่วยมีการขยายขึ้นลงหรือไม่ หากไม่มีการกระเพื่อมขึ้นลงอาจเป็นเพราะท่านอนไม่ดี หรือมีสิ่งกีดขวางทางเดินหายใจ ต้องรีบแก้ไข จัดท่าใหม่และอย่าให้มีสิ่งกีดขวางทางเดินหายใจ
6. ถ้าไม่สามารถอ้าปากของผู้ป่วยได้ ให้ใช้มือปิดปากผู้ป่วยให้สนิทและเป่าลมเข้าทางจมูกแทนโดยใช้วิธีปฏิบัติทำนองเดียวกับการเป่าปาก

**ขณะนำส่งโรงพยาบาลให้ทำการเป่าปากไปด้วยจนกว่าผู้ป่วยจะฟื้น
หรือได้รับการช่วยเหลือจากแพทย์แล้ว**

• การนวดหัวใจ

เมื่อพบว่าหัวใจผู้ป่วยหยุดเต้น ต้องรีบทำการช่วยให้หัวใจกลับเต้นขึ้นมาใหม่ทันทีด้วยการนวดหัวใจ ซึ่งมีวิธีปฏิบัติดังนี้

1. ผู้ป่วยนอนราบกับพื้นแข็งๆ หรือใช้ไม้กระดานรองที่หลังผู้ป่วย ผู้ปฐมพยาบาลคุกเข่าลงข้างขวาหรือข้างซ้ายบริเวณหน้าอกผู้ป่วย คลำหาส่วนล่างสุดของกระดูกอกที่ติดกับกระดูกซี่โครง โดยใช้นิ้วสัมผัสชายโครงขึ้นมา ถ้าคุกเข่าข้างขวาใช้มือขวา คลำหากระดูกอก หากคุกเข่าข้างซ้ายใช้มือซ้ายคลำหากระดูกอก ตำแหน่งส่วนล่างสุดของกระดูก ดังแสดงในรูปที่ 7



รูปที่ 7 ตำแหน่งส่วนล่างสุดของกระดูก



2. สัมผัสสายโครงแล้ว เลื่อนนิ้วมาตรงกลางจนกระทั่งนิ้วนางสัมผัสปลายกระดูกหน้าอกได้ ให้ปลายนิ้วชี้และนิ้วกลาง วางบนกระดูกหน้าอกต่อจากนิ้วนาง



รูปที่ 8 การวางมือและการกดหน้าอกผู้ป่วย

3. วางมืออีกข้างทับบนหลังมือที่วางในตำแหน่ง ที่ถูกต้องเหยียดนิ้วมือตรงเกี่ยวนิ้วมือ 2 ข้าง เข้าด้วยกัน เหยียดแขนตรงโน้มตัวตั้งฉากกับ หน้าอกผู้ป่วย ทิ้งน้ำหนักลงบนแขนกด หน้าอกผู้ป่วยให้กระดูกลดระดับลงมา 1.5-2 นิ้ว เมื่อกดสุดให้ผ่านมือขึ้นทันที โดยที่ ตำแหน่งมือไม่ต้องเลื่อนจากจุดที่กำหนด ขณะกดหน้าอก นวดหัวใจ ห้ามใช้นิ้วมือกด ลงบนกระดูกซี่โครงผู้ป่วย ลักษณะการกด หน้าอกผู้ป่วย แสดงดังรูปที่ 8

4. ขณะกดหน้าอกแต่ละครั้งต้องนับจำนวนครั้งที่กดดังนี้ หนึ่ง และสอง และสาม และสี่ และห้า... โดยกดหน้าอกทุกครั้งที้นับตัวเลข และปล่อยมือตอนคำว่า “และ” สลับกันไป ให้ ได้อัตราการกดประมาณ 80-100 ครั้ง / นาที
5. ถ้าผู้ปฏิบัติมีคนเดียว ให้นวดหัวใจ 15 ครั้ง สลับกับการเป่าปาก 1 ครั้ง โดยขณะที่ เป่าปากต้องหยุดนวดหัวใจ
6. ถ้ามีผู้ปฏิบัติ 2 คน ให้นวดหัวใจ 5 ครั้ง สลับการเป่าปาก 1 ครั้ง โดยขณะที่เป่าปาก อีกครั้งต้องหยุดนวดหัวใจ
7. ในเด็กอ่อนหรือเด็กแรกเกิด การนวดหัวใจใช้นิ้วเพียง 2 นิ้ว กดบริเวณกึ่งกลางกระดูก หน้าอกให้ได้อัตราการกดประมาณ 100-120 ครั้ง / นาที

การนวดหัวใจต้องทำอย่างระมัดระวังและถูกวิธี มิเช่นนั้นอาจทำให้
กระดูกซี่โครงหัก และม้ามแตกได้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในเด็ก
ต้องใช้ความระมัดระวังเป็นพิเศษ



ระบบอิเล็กทรอนิกส์พื้นฐาน

อ.สุวิทย์ กิระวิทยา
มหาวิทยาลัยบูรพา

2.1 ความเป็นมาของอิเล็กทรอนิกส์

อิเล็กทรอนิกส์ (electronic) เป็นศาสตร์แขนงหนึ่ง ที่พัฒนามาจากศาสตร์ด้านไฟฟ้า (electricity) โดยในแง่ภาษา คำว่า อิเล็กทรอนิกส์ (electronic) มาจากคำว่า อิเล็กตรอน (electron) ที่ใส่ 'ic' ต่อท้าย เพื่อทำให้เป็น คำคุณศัพท์ และ สำหรับคำว่า อิเล็กทรอนิกส์ที่มี 's' ต่อท้าย ก็แปลได้ว่า คือ ศาสตร์ หรือ วิชาความรู้ทางด้านที่เกี่ยวข้องกับอิเล็กตรอนนั่นเอง

หากดูประวัติความเป็นมาของอิเล็กทรอนิกส์ (ดูรูปที่ 2.1) เราอาจจะย้อนไปถึงยุคก่อนประวัติศาสตร์ได้เลยทีเดียว เป็นที่ทราบกันมานานแล้วว่า ไฟฟ้าสามารถเกิดขึ้นได้ ในสิ่งมีชีวิตบางชนิด

เช่น ปลาไหลไฟฟ้า ในยุคกรีกโบราณ (ประมาณ 600 ปี ก่อนคริสตกาล) มีการค้นพบว่า เมื่อนำแท่งอำพันไปถูกับขนสัตว์แล้ว จะเกิดแรงดึงดูดขึ้น โดยในขณะนั้นผู้คนก็ยังไม่ทราบว่าสิ่งที่เกิดขึ้น (ไฟฟ้าในสัตว์ และแรงดึงดูดหลังการขั้วถู) เกิดจากอะไร ราวสองพันปีต่อมา (ค.ศ. 1600) มีผู้ตั้งชื่อปรากฏการณ์นี้ว่า 'เกี่ยวข้องกับไฟฟ้า' หรือ ในภาษาอังกฤษ คือ electrical โดยคำว่า ไฟฟ้า (electricity) มีรากศัพท์มาจากคำว่า electron ซึ่งมาจากภาษากรีกของคำว่าอำพันนั่นเอง



โทมัส อัลวา เอดิสัน (Thomas Alva Edison) เป็นบุคคลแรกที่จดสิทธิบัตรการประดิษฐ์หลอดไฟและริเริ่มการสร้างระบบแจกจ่ายไฟฟ้าจากโรงไฟฟ้าสู่บ้านเรือน ในช่วงปี ค.ศ. 1870-1880 หลังจากที่เอดิสันเผยแพร่หลอดไฟของเขา ผู้คนมากมายก็หันมาสนใจหลอดสุญญากาศ (รวมทั้งเอดิสันด้วย) โดยทั้งนี้ ก็เพื่อที่จะสร้างอุปกรณ์ชนิดใหม่ที่ใช้ตรวจและขยายสัญญาณวิทยุ ในปีค.ศ. 1906 ลี ดี ฟอเรสต์ (Lee De Forest) ประกาศความสำเร็จในการประดิษฐ์หลอดสุญญากาศสามขา (triode) ซึ่งหลอดสุญญากาศชนิดนี้ (ดูรูปที่ 2.2) สามารถควบคุมการไหลของอิเล็กตรอน และขยายสัญญาณได้ ดังนั้น เรากล่าวได้ว่า การประดิษฐ์หลอดสุญญากาศของ ฟอเรสต์ เป็นก้าวสำคัญต่อการพัฒนาศาสตร์ด้านอิเล็กทรอนิกส์ในช่วงศตวรรษที่ 20

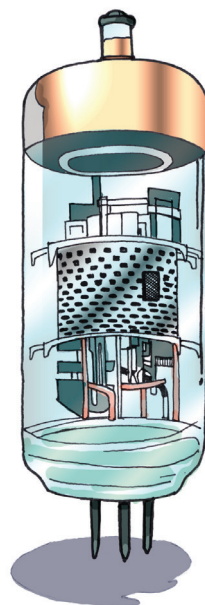


รูปที่ 2.1 จากไฟฟ้า สู่การพัฒนาด้านอิเล็กทรอนิกส์



การพัฒนาหลอดสุญญากาศให้สามารถขยายสัญญาณได้ ทำให้การรับส่งสัญญาณภาพและเสียงดีขึ้นมาก โกลขึ้น และสัญญาณรบกวนน้อยลง และทำให้การรับภาพและเสียงด้วยโทรทัศน์และวิทยุเป็นที่นิยมมากขึ้น ในช่วงปี ค.ศ. 1930-1940 การแพร่ภาพและเสียงก็ถูกขยายขอบเขตให้ครอบคลุมเกือบทั้งประเทศสหรัฐอเมริกา คนจำนวนมากเริ่มมีวิทยุและโทรทัศน์ในบ้านพักอาศัย

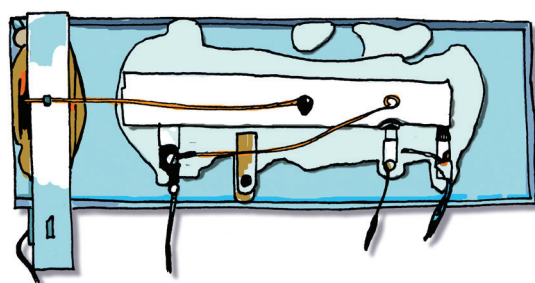
การพัฒนาที่สำคัญในวงการอิเล็กทรอนิกส์ เกิดขึ้นในช่วงปลายปี ค.ศ. 1947 เมื่อ นักวิทยาศาสตร์ 3 คน แห่งห้องปฏิบัติการเบล (Bell Labs) ได้ประดิษฐ์ทรานซิสเตอร์จากสารกึ่งตัวนำได้สำเร็จ ทรานซิสเตอร์ตัวแรกนี้ (รูปที่ 2.3) มีขนาดเพียงไม่กี่มิลลิเมตร และหลังจากนั้นไม่นาน ทรานซิสเตอร์ก็ได้ถูกใช้งานแทนที่หลอดสุญญากาศในวงจรอิเล็กทรอนิกส์ มันจึงทำให้เครื่องใช้ไฟฟ้า/อิเล็กทรอนิกส์มีขนาดเล็กลงและประหยัดพลังงานมากขึ้น นักวิทยาศาสตร์ทั้ง 3 คน ได้แก่ จอห์น บาร์ดีน (John Bardeen) วอลเตอร์ แบทเทน (Walter Brattain) และ วิลเลียม ชอกลีย์ (William Shockley) ได้รับรางวัลโนเบลจากสิ่งประดิษฐ์นี้ในปี ค.ศ. 1965



รูปที่ 2.2 หลอดสุญญากาศ
(vacuum tube)



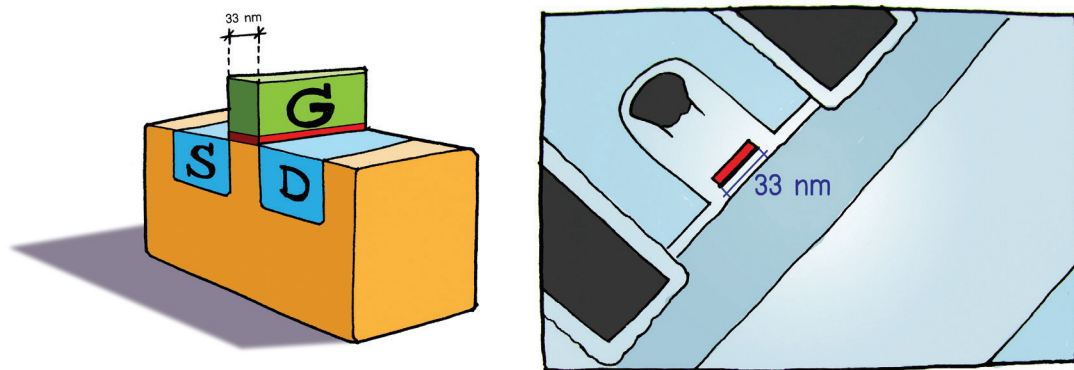
รูปที่ 2.3 ทรานซิสเตอร์ตัวแรกของโลก
(สร้างจากผลึกเจอร์มันเนียม (4) (5))



รูปที่ 2.4 วงจรรวม หรือไอซีตัวแรกของโลก (6)



อิเล็กทรอนิกส์ยังพัฒนาต่อไปไม่หยุดยั้ง หลังจากที่สามารถสร้างสิ่งประดิษฐ์แยกเป็นตัวๆ แล้วก็ได้มีการสร้างสิ่งประดิษฐ์หลายๆ ตัว อยู่บนแผ่นฐานเดียวกัน และย่อขนาดของสิ่งประดิษฐ์แต่ละตัวให้เล็กลง เรียกว่า ไอซี หรือ วงจรรวม (integrated circuit) การทำให้อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์มีขนาดเล็กลงเรื่อยๆ และมีจำนวนต่อวงจรรวมที่มากขึ้น ทำให้เครื่องมือและอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์มีขนาดเล็กลง และมีความสามารถในการทำงานมากขึ้น เช่น การเพิ่มจำนวนของทรานซิสเตอร์ในคอมพิวเตอร์ ไอซีของซีพียูในปัจจุบันมีทรานซิสเตอร์ประมาณหนึ่งพันล้านตัวเป็นส่วนประกอบ โดยทรานซิสเตอร์แต่ละตัวมีขนาดเพียงไม่กี่นาโนเมตร (ดูรูปที่ 2.5)



รูปที่ 2.5 ภาพทรานซิสเตอร์ในปัจจุบัน ที่มีขนาดความยาวเกต 33 นาโนเมตร

เอกสารอ้างอิง

- (1) ประวัติศาสตร์ของอิเล็กทรอนิกส์ <http://www.ieeeeghn.org/wiki/images/8/87/Routray.pdf>
- (2) ประวัติศาสตร์ของอิเล็กทรอนิกส์ (บุคคล) <http://www.eta-i.org/History%20of%20electronics%20%20electricity.pdf>
- (3) ประวัติศาสตร์ของอิเล็กทรอนิกส์ <http://en.wikipedia.org/wiki/Electron> หัวข้อ History
- (4) รูปที่ 2.3 ภาพทรานซิสเตอร์ตัวแรกของโลก จาก <http://1010.co.uk/2008.01.10.html>
- (5) วิดีโออธิบายการทำงานของ ทรานซิสเตอร์ตัวแรกของโลก <http://www.youtube.com/watch?v=RdYHljZi7ys>
- (6) รูปที่ 3 ไอซีตัวแรกของโลก จาก <http://aws.linnbenton.edu/cs271c/hughesc/history.html>



บทที่ 3

อุปกรณ์ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์

อ.ไชยันต์ สุวรรณวชิระศิริ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

อ.บุญเจริญ วงศ์กิตติศึกษา

มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

อ.ธรรธ บุญศรี

มหาวิทยาลัยบูรพา

เนื้อหาของบทนี้จะกล่าวถึงปริมาณทางไฟฟ้า เช่น กระแสไฟฟ้า แรงดันไฟฟ้า ฯลฯ กฎพื้นฐานทางไฟฟ้าที่สำคัญ ได้แก่ กฎของเคอร์ชอฟฟ์และกฎของโอห์ม รวมถึงอุปกรณ์ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ต่างๆ โดยเน้นอุปกรณ์พื้นฐานและอุปกรณ์ที่อยู่รอบๆ ตัวเรา เช่น แบตเตอรี่ ตัวต้านทาน ตัวเก็บประจุ ตัวเหนี่ยวนำ หม้อแปลงไฟฟ้า รีเลย์ มอเตอร์ และเครื่องใช้ไฟฟ้าต่างๆ เนื้อหาของนี้ จะช่วยให้ผู้อ่านเกิดความเข้าใจและสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้อย่างถูกต้อง

3.1 สารและอะตอม

สารทั้งหลายไม่ว่าจะอยู่ในสถานะของแข็ง ของเหลว หรือแก๊ส ประกอบขึ้นด้วยส่วนที่เล็กที่สุด เรียกว่า อะตอม ภายในอะตอมยังประกอบไปด้วย โปรตอน นิวตรอน และอิเล็กตรอน โดยโปรตรอนกับนิวตรอน จะอยู่รวมกันเป็นก้อนที่เรียกว่า นิวเคลียส ส่วนอิเล็กตรอนจะวิ่งกระจายตัวกันอยู่รอบๆ นิวเคลียส ทั้งนี้



โปรตอน มีมวล 1.672×10^{-24} กรัม และมีประจุไฟฟ้าเป็นบวก เท่ากับ $+1.60218 \times 10^{-19}$ คูลอมป์ (C)

นิวตรอน มีมวล 1.672×10^{-24} กรัม แต่ไม่มีประจุไฟฟ้า

อิเล็กตรอน มีมวลเพียง 9.109×10^{-28} กรัม มีประจุไฟฟ้าเป็นลบ เท่ากับ -1.60218×10^{-19} คูลอมป์

โคจรอยู่รอบนิวเคลียส ปกติอะตอมจะมีจำนวนโปรตอนและอิเล็กตรอนเท่ากัน ทำให้อะตอมมีสภาพ

เป็นกลางทางไฟฟ้า อะตอมแต่ละ

ชนิดจะมีจำนวนอิเล็กตรอนไม่เท่ากัน

เช่น ธาตุซิลิคอน 1 อะตอม มีโปรตอน

14 ตัว นั่นจึงจะมีอิเล็กตรอน 14 ตัว

ธาตุเจอร์มาเนียม 1 อะตอม มี

อิเล็กตรอน 32 ตัว อิเล็กตรอนที่วิ่ง

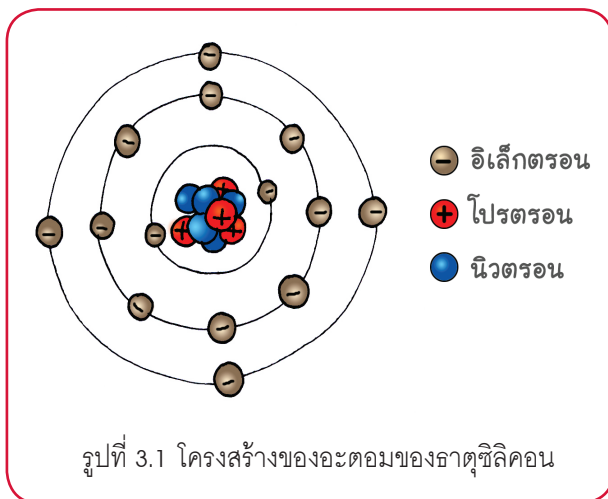
รอบนิวเคลียสนี้จะอยู่เป็นวงโคจร

และอิเล็กตรอนที่อยู่วงนอกสุดเรียกว่า

เวเลนซ์อิเล็กตรอน และมีจำนวนได้

ไม่เกิน 8 ตัว ดังตัวอย่างธาตุซิลิคอน

ในรูปที่ 3.1



เมื่อเวเลนซ์อิเล็กตรอนได้รับพลังงานจากภายนอก เช่น สนามไฟฟ้า สนามแม่เหล็ก แสง ความร้อน ฯลฯ จะทำให้อิเล็กตรอนนี้มีพลังงานมากขึ้น ถ้าพลังงานดังกล่าวมีมากพอ จะทำให้อิเล็กตรอนนั้นหลุดออกจากวงโคจรและมีอิสระในการเคลื่อนที่ไม่ถูกยึดเหนี่ยวด้วยอะตอมเดิมอีกต่อไป จึงเรียก

อิเล็กตรอนที่หลุดออกมาจากอะตอมนี้ว่า อิเล็กตรอนอิสระ เนื่องจากสสารประกอบด้วยอะตอมจำนวนมากมหาศาลทำให้เกิดอิเล็กตรอนอิสระได้จำนวนมาก และถ้าเคลื่อนที่ไปในทิศทางเดียวกันเรียกว่า กระแสไฟฟ้า ดังนั้นกระแสไฟฟ้าก็คือ ปริมาณการเคลื่อนที่ของกลุ่มอิเล็กตรอนหรือประจุไฟฟ้าต่อหน่วยเวลา



รูปที่ 3.2 การเกิดกระแสไฟฟ้า

อิเล็กทรอนิกส์: อนุภาคมหัศจรรย์

คนโบราณรู้มานานแล้วว่าการเสียดสีระหว่างผ้าขนสัตว์ทำให้เกิดเสียงดังแปะๆ ขึ้น ปรากฏการณ์นี้ก็คือ “ไฟฟ้าสถิต” นั่นเอง

สสารชนิดต่างๆ หลากหลายอยู่รอบตัวพวกเรา โดยปกติสสารต่างๆ เหล่านี้จะไม่แสดงสมบัติทางไฟฟ้าใดๆ ออกมาภายนอก หรือ มีสมบัติทางไฟฟ้าเป็นกลางเพราะภายในสสารนั้นประกอบด้วย ประจุไฟฟ้าที่เป็นบวกและประจุไฟฟ้าที่เป็นลบในปริมาณที่เท่ากัน ซึ่งประจุไฟฟ้าทั้งสองกลุ่มจะหักล้างกันพอดี ทำให้เมื่อดูจากภายนอก สสารนั้นๆ แสดงสมบัติที่เป็นกลางทางไฟฟ้าออกมา

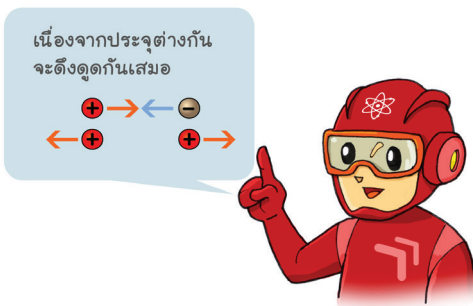
หลายคนอาจนึกว่าไฟฟ้าสถิต ที่เกิดในผ้าขนสัตว์ และไฟฟ้าที่ทำให้หลอดไฟสว่างอาจจะแตกต่างกันโดยสิ้นเชิง แต่ในความเป็นจริงแล้ว ไฟฟ้าทั้งสองชนิดเกิดจากการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนรอบๆ นิวเคลียสที่อยู่ภายในอะตอมเหมือนกัน



รูปที่ 3.3



นิวเคลียสภายในอะตอมก็เปรียบเหมือนดวงอาทิตย์ ส่วนอิเล็กตรอนก็เปรียบเหมือนโลกอนุภาคทั้งสองดึงดูดซึ่งกันและกันด้วยความเป็นประจุบวกของโปรตอนภายในนิวเคลียส และประจุลบของอิเล็กตรอน แต่ก็ไม่สามารถเข้าใกล้โปรตอนได้มากไปกว่าเส้นวงโคจรปกติ ในสภาวะปกติ อิเล็กตรอนจะโคจรรอบนิวเคลียส และ



รูปที่ 3.4

จำนวนโปรตอนในนิวเคลียสจะเท่ากับจำนวนอิเล็กตรอนที่โคจรรอบอยู่รอบ ๆ ทำให้อะตอมมีสภาพเป็นกลางทางไฟฟ้า แต่ถ้าอะตอมได้รับพลังงานจากภายนอก อิเล็กตรอนบางตัวอาจหลุดออกมาจากวงโคจรออกสู่นอกอะตอม ทำให้อะตอมนั้น ๆ กลายเป็นประจุบวกได้ อิเล็กตรอนที่หลุดออกมาจากวงโคจรเหล่านี้เองที่เป็นต้นกำเนิดทั้งไฟฟ้าสถิตและไฟฟ้าที่ทำให้หลอดไฟสว่าง

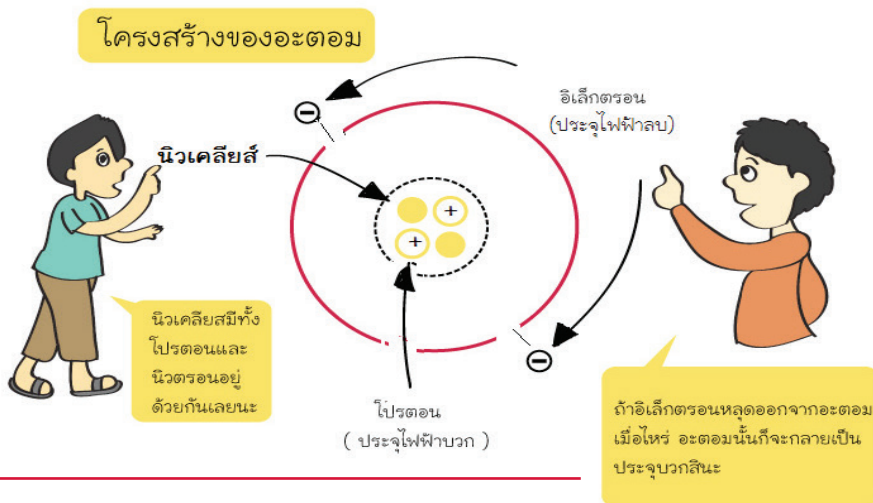
มนุษย์รู้จักอิเล็กตรอนตั้งแต่เมื่อไร

อิเล็กตรอนเป็นอนุภาคที่เล็กที่สุดที่มีประจุไฟฟ้า ถูกค้นพบโดยนักฟิสิกส์ชาวอังกฤษชื่อ เจ.เจ. ทอมสัน ในปี ค.ศ. 1897 โดย ทอมสันค้นพบว่าอิเล็กตรอนมีค่าประจุเป็นลบ และมีวงโคจรที่แน่นอนในอะตอม นอกจากนี้ ทอมสันยังได้พยายามวัดค่ามวลและค่าประจุทางไฟฟ้าของอิเล็กตรอนอีกด้วย โดยในปัจจุบันเป็นที่ยอมรับว่าค่ามวลและค่าประจุทางไฟฟ้าของอิเล็กตรอนมีค่าดังนี้

ค่ามวลเท่ากับ 9.1085×10^{-31} กิโลกรัม (kg)

ค่าประจุไฟฟ้า 1.60207×10^{-19} คูลอมป์ (c)

เนื่องจากกระแสไฟฟ้านั้นเกิดจากการไหลของประจุไฟฟ้า เรากำหนดให้ปริมาณประจุไฟฟ้า 1 คูลอมป์ไหลผ่านใน 1 วินาที คือกระแสไฟฟ้า 1 แอมแปร์

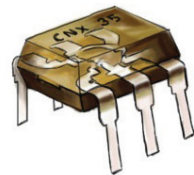


3.2 ตัวนำ ฉนวน และสารกึ่งตัวนำ

ตัวนำ คือ สารที่มีอิเล็กตรอนในวงโคจรวงนอกสุด 1 ถึง 3 ตัว เมื่อได้รับพลังงานภายนอกเพียงเล็กน้อยจะทำให้เกิดอิเล็กตรอนอิสระได้ง่าย เป็นผลให้เกิดกระแสอิเล็กตรอนไหลผ่านได้ดี สารประเภทนี้เรียกว่าเป็นตัวนำไฟฟ้า เช่น พลาสติกต่าง ๆ ได้แก่ ทองแดง ทอง อะลูมิเนียม เป็นต้น ตัวอย่างของเหลวที่นำไฟฟ้าได้ดี เช่น พรอท น้ำเกลือ

ฉนวน คือ สารที่มีอิเล็กตรอนในวงโคจรนอกสุด 5 ถึง 8 ตัว พลังงานภายนอกทำให้อิเล็กตรอนหลุดเป็นอิเล็กตรอนอิสระได้ยาก จึงทำให้เกิดกระแสอิเล็กตรอนไหลผ่านได้น้อยมาก ๆ เช่น แก้ว พลาสติก กระดาษไม้แห้ง

สารกึ่งตัวนำ คือ สารที่มีสมบัติทางไฟฟ้ากึ่งกลางระหว่างตัวนำและฉนวน โดยเมื่อนำเอาไปทำเป็นฉนวน ก็จะเป็นฉนวนที่ไม่ดี หรือนำเอาไปทำเป็นตัวนำก็เป็นตัวนำที่ไม่ดีเช่นกัน ตัวอย่างวัสดุประเภทนี้ เช่น ซิลิคอน และเจอร์มาเนียม และอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่ทำจากวัสดุประเภทนี้ ได้แก่ ไดโอด และทรานซิสเตอร์ เป็นต้น

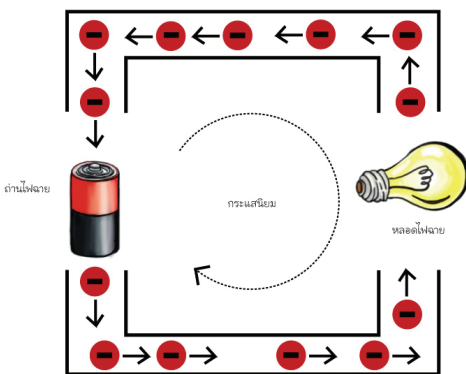


รูปที่ 3.5

3.3 ปริมาณทางไฟฟ้า

กระแสไฟฟ้า

จากหัวข้อสารและอะตอม เราทราบแล้วว่า การเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนในทิศทางเดียวกันจำนวนมากจะทำให้เกิดกระแสไฟฟ้า ตัวอย่างของกระแสไฟฟ้าในตัวนำ เช่น เมื่อต่อถ่านไฟฉายเข้ากับหลอดไฟฉายจะเกิดกระแสไฟฟ้าไหลผ่านหลอดไฟฉายซึ่งทิศทางการไหลดังรูปที่ 3.4 แสดงการไหลของกระแสอิเล็กตรอนที่วิ่งจากขั้วลบไปขั้วบวก ส่วนการไหลของกระแสไฟฟ้าที่มีทิศทางไหลจากขั้วบวกไปยังขั้วลบนั้น เราเรียกระแสไฟฟ้านี้ว่า กระแสสมมติ หรือกระแสนิยม ซึ่งนำมาใช้ในการคำนวณต่างๆ มีหน่วยเป็นแอมแปร์ (A)



รูปที่ 3.6 ทิศทางการไหลของกระแสอิเล็กตรอนและกระแสไฟฟ้าในวงจรถ่านไฟฉายกับหลอดไฟฉาย

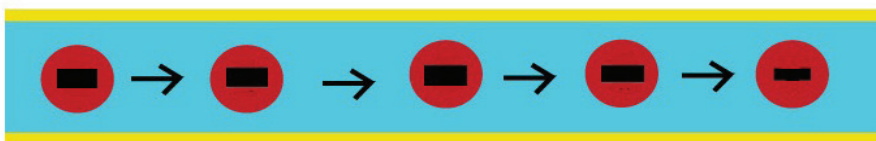


กระแสไฟฟ้ามีอัตราเร็วหรือเปล่า : กระแสไฟฟ้านั้นมีอัตราเร็วเท่ากับแสงจริงหรือไม่

กระแสไฟฟ้าเกิดจากการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนอิสระจากอะตอมหนึ่งไปอีกอะตอมหนึ่ง อัตราเร็วในการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนเหล่านี้ไม่เร็วอย่างที่คิด เมื่อต่อแบตเตอรี่เข้ากับเส้นลวดทองแดง อิเล็กตรอนอิสระจะเริ่มเคลื่อนที่จากขั้วลบไปยังขั้วบวก อิเล็กตรอนอิสระตัวเคลื่อนที่ได้เพียงประมาณหนึ่งมิลลิเมตรในหนึ่งวินาที (ขึ้นอยู่กับแรงดันของแบตเตอรี่และลวดทองแดง) ถึงแม้อิเล็กตรอนแต่ละตัวจะเคลื่อนที่ได้ช้ามาก แต่สัญญาณไฟฟ้าเคลื่อนที่ได้เท่ากับอัตราเร็วของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (เช่น อาจตีความว่าเป็นกระแสไฟฟ้า) ซึ่งมีความเร็วถึง 300,000 กิโลเมตรต่อวินาที อัตราเร็วของแสงที่เรา รู้จักกันดี เราอาจนึกถึงกระบอกฉีดน้ำ เมื่อเราออกแรงให้กับน้ำที่อยู่ต้นกระบอก น้ำที่อยู่ต้นกระบอกจะไม่พุ่งออกทันที แต่น้ำปลายกระบอกต่างหากที่จะพุ่งออกทันทีที่เราออกแรง เราใช้แรงดันของน้ำเป็นตัวกำหนดความแรงของน้ำที่พุ่งออกมา ไม่ใช่ความเร็วในการเคลื่อนตัวของน้ำที่ต้นกระบอก กระแสไฟฟ้าก็เช่นเดียวกัน เราใช้อัตราเร็วของสัญญาณไฟฟ้าเป็นอัตราเร็วของกระแสไฟฟ้า ไม่ใช่อัตราเร็วในการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนอิสระ

กระแสไฟฟ้าแบ่งได้เป็น 2 ประเภท ได้แก่

1. กระแสไฟฟ้าตรง (Direct Current) เป็นกระแสไฟฟ้าที่มีทิศทางการไหลทิศทางเดียว ไม่มีการไหลสลับไปมา เช่น กระแสไฟฟ้าจากถ่านไฟฉาย แบตเตอรี่รถยนต์ และโซล่าเซลล์
2. กระแสไฟฟ้าสลับ (Alternating Current) เป็นกระแสไฟฟ้าที่มีทิศทางการไหลสลับไปมา อยู่ตลอดเวลา เช่น กระแสไฟฟ้าที่ใช้กันตามบ้านเรือน



ไฟฟ้ากระแสตรง



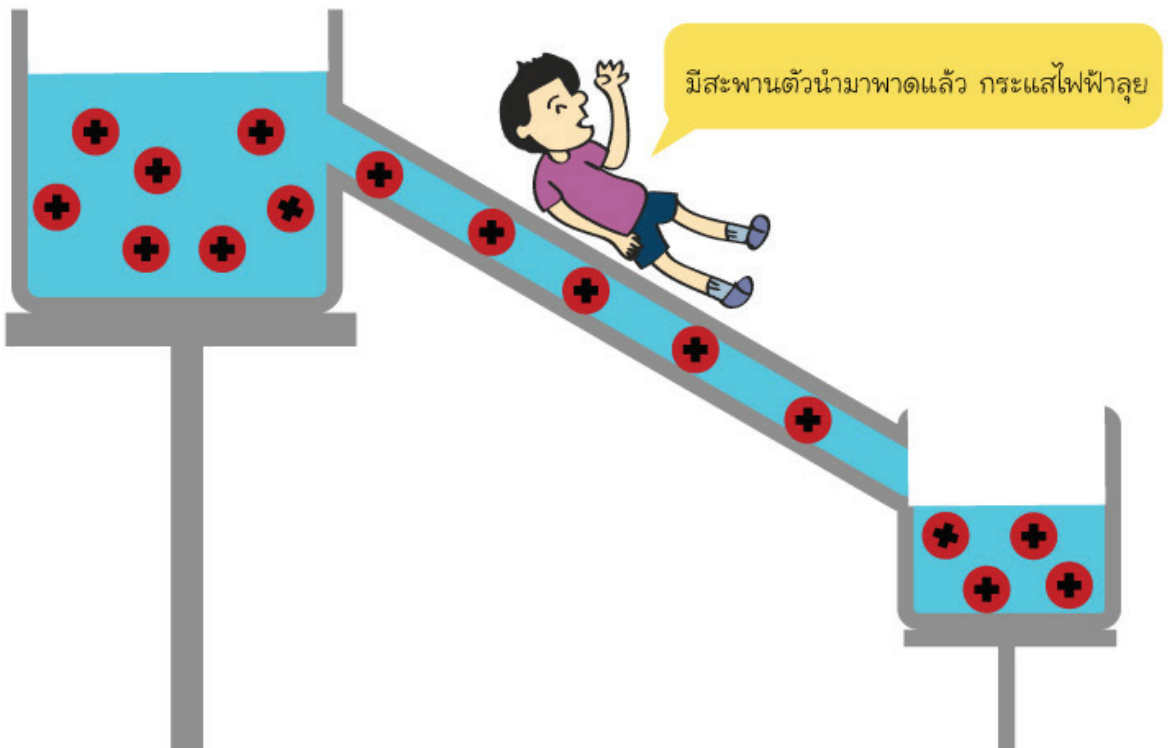
ไฟฟ้ากระแสสลับ

รูปที่ 3.7 กระแสไฟฟ้าตรงและกระแสไฟฟ้าสลับ



ศักย์ไฟฟ้า และแรงดันไฟฟ้า

สสารที่มีจำนวนอิเล็กตรอนมากกว่าโปรตอน จะมีสภาพทางไฟฟ้าเป็นลบ แต่ถ้าสสารมีจำนวนอิเล็กตรอนน้อยกว่าโปรตอน สสารนี้จะมีสภาพทางไฟฟ้าเป็นบวก เมื่อนำสสารที่มีสภาพทางไฟฟ้าที่แตกต่างกันมาต่อเชื่อมกันด้วยลวดตัวนำไฟฟ้า จะทำให้เกิดการเคลื่อนย้ายของอิเล็กตรอน และเกิดกระแสไฟฟ้าไหลผ่านลวดตัวนำที่เชื่อมต่อระหว่างสสารทั้งสอง ปริมาณของกระแสไฟฟ้านี้จะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับความแตกต่างของสภาพทางไฟฟ้า (ความต่างศักย์ไฟฟ้า) ของสสารทั้งสอง กล่าวคือ ถ้าศักย์ไฟฟ้าแตกต่างกันมาก ก็ทำให้เกิดกระแสไฟฟ้ามาก เสมือนเป็นแรงดันให้อิเล็กตรอนเคลื่อนที่นั่นเอง ดังนั้นเราเรียกความต่างศักย์ไฟฟ้าของจุดสองจุดว่า แรงเคลื่อนไฟฟ้าหรือแรงดันไฟฟ้า มีหน่วยเป็น โวลต์ อีกสิ่งหนึ่งที่มีผลต่อปริมาณของกระแสไฟฟ้าก็คือ ลวดตัวนำ โดยถ้าวัดตัวนำยอมให้อิเล็กตรอนไหลผ่านได้สะดวก กระแสไฟฟ้าก็จะไหลได้มาก แต่ถ้าลวดตัวนำยอมให้อิเล็กตรอนไหลผ่านได้ไม่ดี กระแสไฟฟ้าก็จะไหลได้น้อย ลวดตัวนำในกรณีนี้จึงทำหน้าที่เป็นตัวต้านทาน



กำลังงานไฟฟ้า และพลังงานไฟฟ้า

การเคลื่อนที่ของประจุไฟฟ้าในลวดตัวนำโดยมีแรงดันไฟฟ้าเป็นตัวขับเคลื่อน ย่อมต้องอาศัยพลังงานไฟฟ้า ดังนั้น พลังงานไฟฟ้าจึงมีความสัมพันธ์กับประจุไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้า เขียนเป็นสมการได้

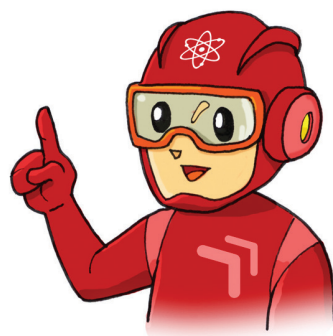
$$\begin{aligned}\text{พลังงานไฟฟ้า} &= \text{แรงดันไฟฟ้า} \times \text{ประจุไฟฟ้า} && \text{มีหน่วยเป็น จูล} \\ \text{ส่วนกำลังงานไฟฟ้า หมายถึง พลังงานไฟฟ้าต่อหน่วยเวลา ดังนั้น} \\ \text{กำลังงานไฟฟ้า} &= \text{พลังงานไฟฟ้า} / \text{เวลา} \\ &= \text{แรงดันไฟฟ้า} \times \text{ประจุไฟฟ้า} / \text{เวลา} \\ &= \text{แรงดันไฟฟ้า} \times \text{กระแสไฟฟ้า} && \text{มีหน่วยเป็น วัตต์}\end{aligned}$$

สรุปสัญลักษณ์ของปริมาณและหน่วยทางไฟฟ้าได้ดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 ปริมาณและหน่วยทางไฟฟ้า

ปริมาณ	สัญลักษณ์ปริมาณ	ชื่อหน่วย	ตัวย่อหน่วย
ประจุไฟฟ้า	Q	คูลอมบ์ (coulomb)	C
กระแสไฟฟ้า	I	แอมแปร์ (ampere)	A
แรงดันไฟฟ้า	V	โวลต์ (volt)	V
พลังงานไฟฟ้า	W	จูล (joule)	J
กำลังงานไฟฟ้า	P	วัตต์ (watt)	W

ในบางครั้งปริมาณเหล่านี้อาจมีค่าใหญ่หรือเล็กมากๆ ก็จะมีการใช้คำอุปสรรคนำหน้าหน่วย ซึ่งจะทำให้นิยามของหน่วยเปลี่ยนไปเป็นจำนวนเท่าของการยกกำลังของ 10 เช่น กระแสไฟฟ้า $0.0015 \text{ A} = 1.5 \times 10^{-3} \text{ A}$ ถ้าใช้คำอุปสรรค มิลลิ นำหน้าแอมแปร์ จะกลายเป็น 1.5 มิลลิแอมแปร์ (mA) หรือแรงดันไฟฟ้า $500000 \text{ V} = 500 \times 10^3 \text{ V}$ ถ้าใช้คำอุปสรรค กิโล นำหน้าโวลต์ จะได้ 500 kV เป็นต้น สัญลักษณ์และค่าที่คูณของคำอุปสรรคแสดงในตารางที่ 3.2



ตารางที่ 3.2 สัญลักษณ์ และค่าที่คูณของคำอุปสรรค

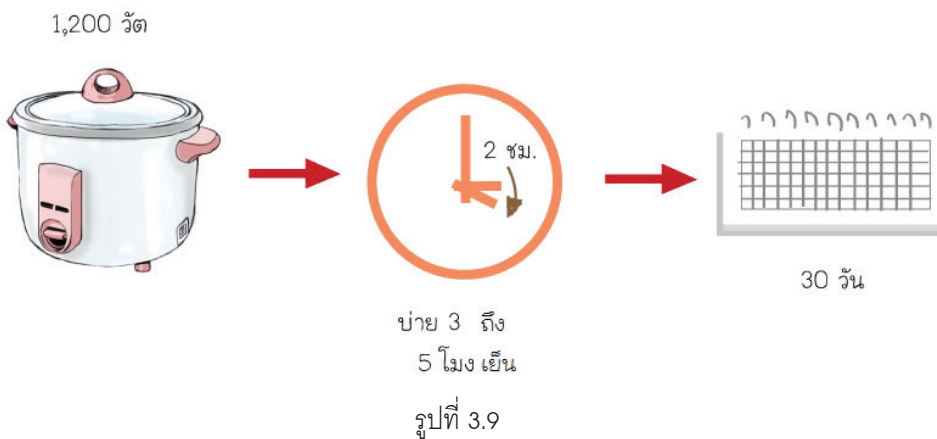
คำอุปสรรค	สัญลักษณ์	ค่าที่คูณ
จิกะ (giga)	G	10^9
เมกะ (mega)	M	10^6
กิโล (kilo)	k	10^3
มิลลิ (milli)	m	10^{-3}
ไมโคร (micro)	μ	10^{-6}
นาโน (nano)	n	10^{-9}
พิโก (pico)	p	10^{-12}

ตัวอย่าง ถ้ามีการใช้หม้อหุงข้าว 1200 วัตต์ วันละ 2 ชั่วโมงทุกวัน ใน 1 เดือน (30 วัน) และค่าไฟฟ้าหน่วยละ 5 บาท (1 หน่วย = 1 kWh) จะต้องเสียค่าไฟฟ้าเดือนละเท่าไร

วิธีทำ

พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ใน 1 เดือน คือ $1200 \times 2 \times 30 = 72000$ วัตต์ชั่วโมง = 72 กิโลวัตต์ชั่วโมง = 72 หน่วย
 ดังนั้นเสียค่าไฟฟ้า = $72 \times 5 = 360$ บาท

72,000 วัตต์ชั่วโมง = 72 หน่วย



ยิ่งดันก็ยิ่งร้อน การค้นพบของวัตต์และจูล

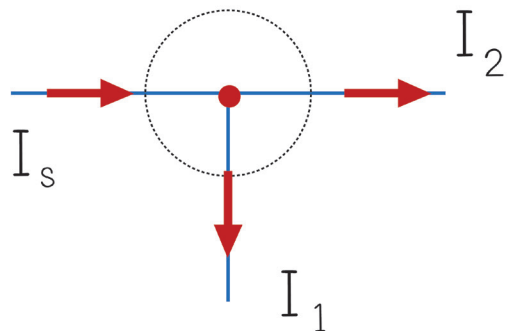
กำลังไฟฟ้าที่เราใช้ในชีวิตประจำวันมีหน่วยเป็นวัตต์ ใช้สัญลักษณ์ W ตามชื่อของวัตต์ ซึ่งเป็นนักประดิษฐ์ชาวอังกฤษ วัตต์นั้นเริ่มต้นการคิดค้นเรื่องพลังงานจากความสงสัยว่าทำไมเวลาน้ำในกาเดือด ไอน้ำจึงทำให้ฝาลอยขึ้น สาเหตุก็คือ น้ำมีการขยายตัวเมื่อเปลี่ยนเป็นไอน้ำ หลักการนี้นำมาใช้ในการทำเครื่องจักรไอน้ำ โดยต้มน้ำให้เดือด และให้ไอน้ำหมุนใบพัดของเครื่องยนต์หรือเครื่องกำเนิดไฟฟ้า แม้แต่โรงไฟฟ้านิวเคลียร์ในปัจจุบันก็ยังใช้หลักการนี้ในการกำเนิดพลังงานไฟฟ้า

กำลังไฟฟ้า เป็นผลคูณของแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้า เช่น หลอดไฟขนาด 100 W ก็คือ หลอดไฟที่ใช้แรงดันไฟฟ้า 200 โวลต์ และมีกระแส 0.5 แอมป์ ไหลผ่านนั่นเอง ส่วนจูลนั้นเป็นหน่วยของพลังงานความร้อนตั้งตามชื่อนักฟิสิกส์ชาวอังกฤษเช่นเดียวกัน เมื่อเราปล่อยกระแสไฟฟ้าให้ไหลผ่านตัวต้านทาน ก็จะเกิดความร้อนขึ้นเสมอ เครื่องใช้ไฟฟ้ารอบตัวเราส่วนใหญ่จะประกอบไปด้วยตัวต้านทานไฟฟ้าหลายรูปแบบเพื่อแปลงพลังงานไฟฟ้าให้เป็นพลังงานรูปแบบที่เราต้องการ เช่น เตาไรต์ หม้อหุงข้าว หรือแม้แต่หลอดไฟก็เปลี่ยนพลังงานเป็นความร้อนและเรืองแสงสีที่เราต้องการออกมา

3.4 กฎของเคอร์ชอฟฟ์

ในปี ค.ศ. 1847 นักฟิสิกส์ชาวเยอรมัน ชื่อ กุสตาฟ โรเบิร์ต เคอร์ชอฟฟ์ (Gustav Robert Kirchhoff) ได้นำเสนอกฎที่สำคัญ 2 ข้อในทางไฟฟ้า ซึ่งต่อมาเป็นที่รู้จักกันในชื่อ กฎกระแสของเคอร์ชอฟฟ์ (Kirchhoff's current law, KCL) และกฎแรงดันของเคอร์ชอฟฟ์ (Kirchhoff's voltage law, KVL)

กฎกระแสของเคอร์ชอฟฟ์ มีพื้นฐานมาจากกฎการอนุรักษ์ประจุ กล่าวคือ ประจุไม่สามารถสร้างขึ้นได้เองหรือทำลายได้ ประกอบกับโนดคือจุดต่อของอุปกรณ์ในวงจรที่ไม่สามารถ



กระแสไฟฟ้า ไหลเข้าเท่ากัน
ผลรวมกระแสไฟฟ้าไหลออก

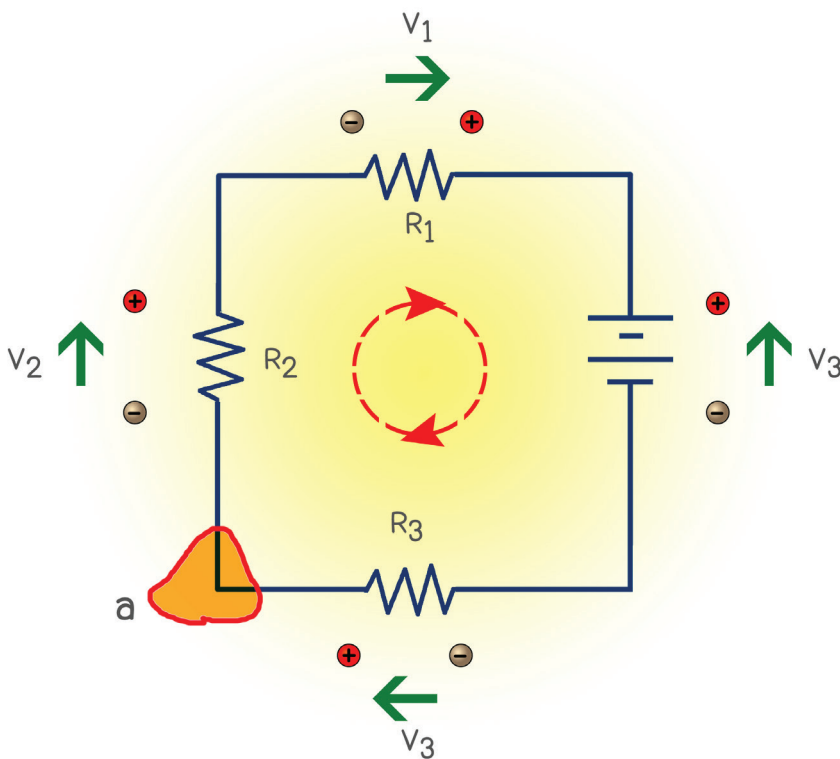


รูปที่ 3.10 กฎกระแสของเคอร์ชอฟฟ์ที่จุดโนด



สะสมประจุไว้ได้ ดังนั้นประจุรวมที่โนดใด ๆ จึงต้องมีค่าเท่ากับศูนย์ และเนื่องจากกระแสเกี่ยวข้องกับ การเคลื่อนที่ของประจุ เพราะฉะนั้นจึงได้กฎกระแสของเคอร์ชอฟฟ์ ว่า “ผลรวมของกระแสที่ไหลเข้าใน โหนดมีค่าเท่ากับผลรวมของกระแสที่ไหลออกจากโนดนั้น” พิจารณาโนดหรือจุดต่อในวงจรในรูปที่ 3.10 ใช้ กฎกระแสของเคอร์ชอฟฟ์เขียนสมการได้ $I_s = I_1 + I_2$

กฎแรงดันของเคอร์ชอฟฟ์ มีพื้นฐานมาจากหลักการอนุรักษ์พลังงาน เนื่องจากแรงดัน คืองานที่ใช้ในการเคลื่อนย้ายประจุ 1 คูลอมบ์จากจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่ง ดังนั้นผลรวมของ แรงดันรอบวงจรใด ๆ จึงหมายถึงงานที่ใช้ในการเคลื่อนย้ายประจุ 1 คูลอมบ์รอบวงรบนั้นซึ่งมี จุดสิ้นสุดเป็นจุดเดียวกับจุดเริ่มต้น ดังนั้นงานที่ใช้จึงต้องเท่ากับศูนย์ เพราะฉะนั้น กฎแรงดัน ของเคอร์ชอฟฟ์ บอกว่า “ผลรวมของแรงดันรอบวงจรใด ๆ มีค่าเท่ากับศูนย์” พิจารณา วงจรในวงจรรูปที่ 3.11 ใช้กฎแรงดันของเคอร์ชอฟฟ์เขียนสมการโดยเริ่มที่โนด a วนรอบใน ทิศทางตามเข็มนาฬิกา ได้ $-V_s + V_1 + V_2 + V_3 = 0$



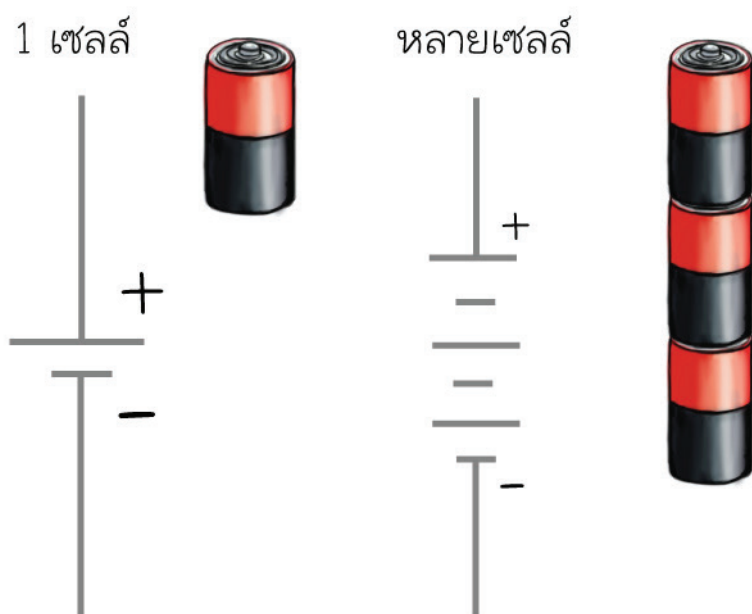
รูปที่ 3.11 กฎแรงดันของเคอร์ชอฟฟ์



3.5 แหล่งกำเนิดแรงดันไฟฟ้า

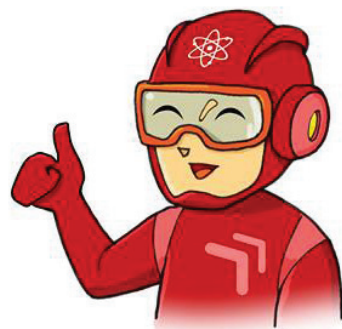
แบตเตอรี่หรือเซลล์ไฟฟ้า

แบตเตอรี่หรือเซลล์ไฟฟ้าเป็นแหล่งกำเนิดพลังงานไฟฟ้า โดยอาศัยผลจากกระบวนการทางเคมี ภายในเซลล์ไฟฟ้าทำให้ขั้วทั้ง 2 ของเซลล์ไฟฟ้ามีศักย์ไฟฟ้าต่างกัน กำหนดให้เป็นขั้วบวก (ศักย์ไฟฟ้าบวก) และขั้วลบ (ศักย์ไฟฟ้านลบ) ถ้านำอุปกรณ์ไฟฟ้ามาต่อที่ขั้วทั้ง 2 ของเซลล์ไฟฟ้า จะทำให้เกิดกระแสไฟฟ้าตรงไหลผ่านอุปกรณ์ ทำให้อุปกรณ์ไฟฟ้านั้นทำงาน เช่น ถ้าเป็นหลอดไฟฟ้า หลอดไฟฟ้าจะสว่าง



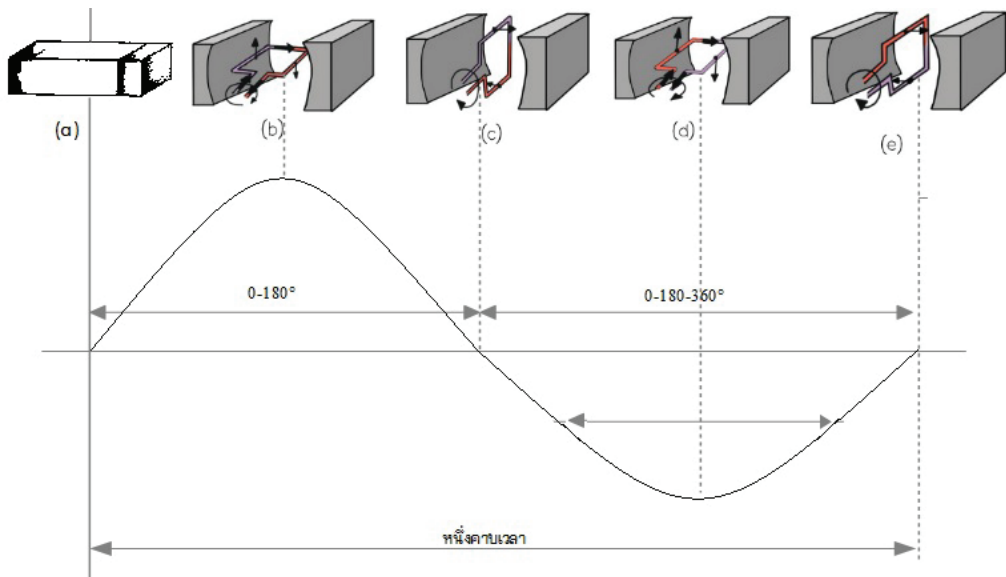
รูปที่ 3.12 แบตเตอรี่และสัญลักษณ์ของแบตเตอรี่ 1 เซลล์ และหลายเซลล์

ตัวอย่างของแบตเตอรี่หรือเซลล์ไฟฟ้า เช่น ถ่านไฟฉายขนาด AA หรือ AAA มีแรงดันไฟฟ้า 1.5 โวลต์ ถ่านไฟฉายชนิดก้อนสี่เหลี่ยมมีแรงดันไฟฟ้า 9 โวลต์ แบตเตอรี่รถยนต์มีแรงดันไฟฟ้า 12 โวลต์ซึ่งเกิดจากเซลล์ไฟฟ้าหลายๆ เซลล์มาเชื่อมต่อกัน



เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ

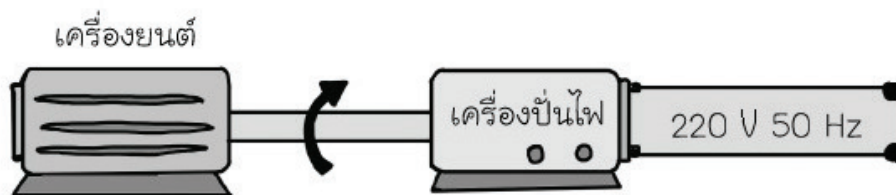
เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ จะใช้หลักการของกฎการเหนี่ยวนำของฟาราเดย์ กล่าวคือ ไมเคิล ฟาราเดย์ ได้ค้นพบความสัมพันธ์ระหว่างแม่เหล็กกับกระแสไฟฟ้าในขดลวดตัวนำ โดยถ้านำขดลวดตัวนำมาตัดผ่านเส้นแรงแม่เหล็ก อำนาจแม่เหล็กจะผลักให้อิเล็กตรอนในขดลวดไหลทิศทางเดียวกันไปออกที่ปลายด้านหนึ่ง ทำให้ปลายทั้งสองของขดลวดมีศักย์ไฟฟ้าต่างกันเราเรียกแรงดันไฟฟ้าที่เกิดขึ้นนี้ว่าแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำ ค่าของแรงดันไฟฟ้าจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับขนาดของสนามแม่เหล็ก และจำนวนรอบของขดลวด รวมทั้งความเร็วตัดผ่านตำแหน่งของระนาบ การตัดผ่านกันระหว่างขดลวดตัวนำกับเส้นแรงแม่เหล็กตามรูปที่ 3.13 แสดงการเกิดรูปคลื่นไฟฟ้ากระแสสลับ เมื่อขดลวดหมุนตัดผ่านสนามแม่เหล็ก 1 รอบ (cycle) หรือ 1 คาบเวลา (period)



รูปที่ 3.13 การเกิดรูปคลื่นไซน์ของไฟฟ้ากระแสสลับ 1 รอบ



เครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ใช้ขดลวดตัดกับสนามแม่เหล็กนี้ เราเรียกว่า ไดนาโม สามารถออกแบบทำให้เกิดเป็นไฟฟ้ากระแสตรง หรือไฟฟ้ากระแสสลับก็ได้ แต่ที่เรานำมาใช้กันเป็นส่วนมากจะเป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ เช่น อุปกรณ์ที่เราเรียกว่า เครื่องปั่นไฟ ซึ่งประกอบด้วย แกนหมุน (rotor) เป็นขดลวดที่หมุนตัดกับส่วนของสนามแม่เหล็กที่เกิดจากขดลวด (stator coil) รอบ ๆ ที่อยู่กับที่ แกนหมุนนี้จะต่อกับแหล่งพลังงานกลต่าง ๆ เช่น เครื่องยนต์ ชูตกังหันน้ำ ฯลฯ ดังนั้นเครื่องกำเนิดไฟฟ้านี้ทำหน้าที่เป็นตัวเปลี่ยนพลังงานกลให้มาเป็นพลังงานไฟฟ้านั่นเอง ในกรณีเครื่องปั่นไฟขนาดเล็ก ดังรูปที่ 3.14 จะเป็นแหล่งกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ 1 เฟส ให้แรงดันไฟฟ้า 220 V_{AC} 50 Hz เหมือนกับแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับที่ใช้กันตามบ้านเรือน

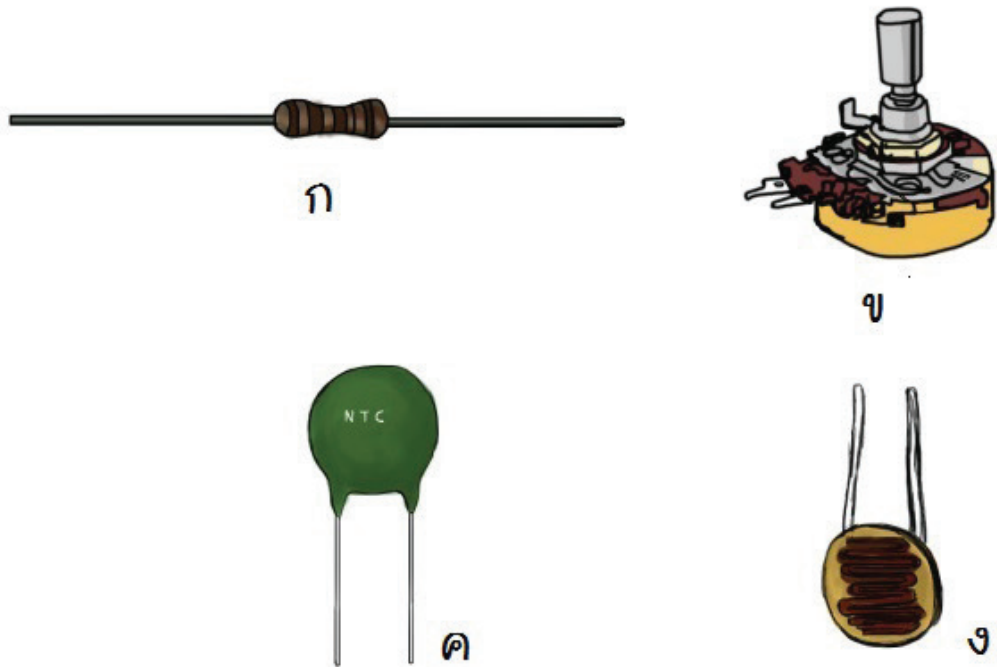


รูปที่ 3.14 เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ 1 เฟส

3.6 ตัวต้านทาน

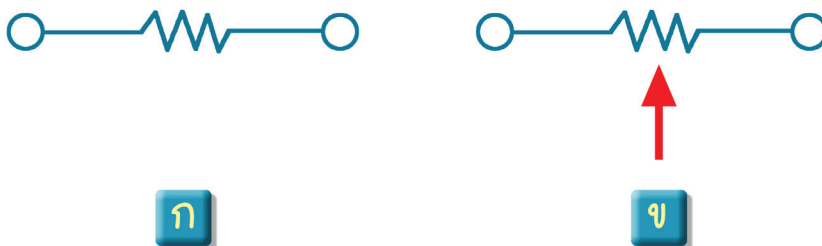
ตัวต้านทาน (resistor) เป็นอุปกรณ์ทำขึ้นจากสารตัวนำที่นำไฟฟ้าไม่ดีนักเช่นคาร์บอน หรือ โลหะผสมต่างๆ ทำหน้าที่จำกัดกระแสไฟฟ้าที่จะไหลผ่านหรือใช้เป็นตัวแบ่งแรงดันไฟฟ้า ตัวต้านทานมีด้วยกันหลายชนิดทั้งชนิดที่เป็นค่าคงที่ เช่น ตัวต้านแบบเส้นลวดพันรอบ ตัวต้านแบบคาร์บอน ตัวต้านทานชนิดเปลี่ยนแปรค่าได้ เช่น โฟเทนซิออมิเตอร์ ทริมพ็อต และตัวต้านทานชนิดพิเศษ เช่น เทอร์มิสเตอร์เป็นตัวต้านทานที่มีค่าความต้านทานเปลี่ยนแปลงได้เมื่ออุณหภูมิมีการเปลี่ยนแปลง, LDR เป็นตัวต้านทานที่มีค่าความต้านทานเปลี่ยนแปลงได้เมื่อความเข้มแสงมีการเปลี่ยนแปลง ค่าของตัวต้านทานจะเรียกว่า ค่าความต้านทาน ใช้สัญลักษณ์ R และมีหน่วยเป็นโอห์ม (Ω)





รูปที่ 3.15 รูปร่างจริงของตัวต้านทานชนิดต่าง ๆ

ก) ตัวต้านทานชนิดค่าคงที่ ข) ตัวต้านทานชนิดเปลี่ยนแปรค่าได้ ค) เทอร์มิสเตอร์ ง) LDR



รูปที่ 3.16 สัญลักษณ์ของตัวต้านทาน

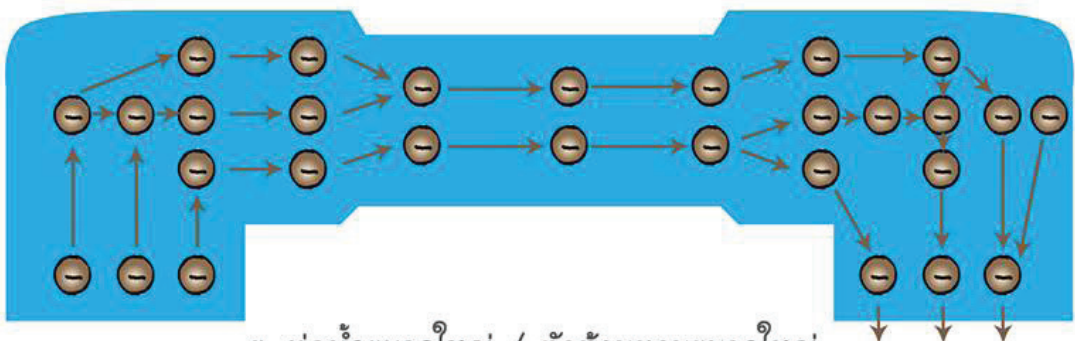
ก) ชนิดค่าคงที่ ข) ชนิดเปลี่ยนแปรค่าได้



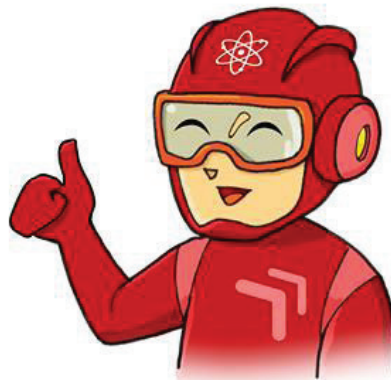
ตัวต้านทานไฟฟ้านั้นเปรียบได้กับท่อน้ำประปา ท่อที่มีขนาดเล็กและยาว น้ำก็จะผ่านได้ยาก ท่อที่มีขนาดใหญ่และสั้น น้ำก็จะไหลผ่านได้ง่าย ตัวต้านทานไฟฟ้าก็เช่นกัน ตัวต้านทานที่มีขนาดเล็ก และยาวก็จะทำให้กระแสไฟฟ้าไหลผ่านได้ยาก ดังรูป 3.17



ก. ท่อน้ำขนาดเล็ก / ตัวต้านทานขนาดเล็ก



ข. ท่อน้ำขนาดใหญ่ / ตัวต้านทานขนาดใหญ่



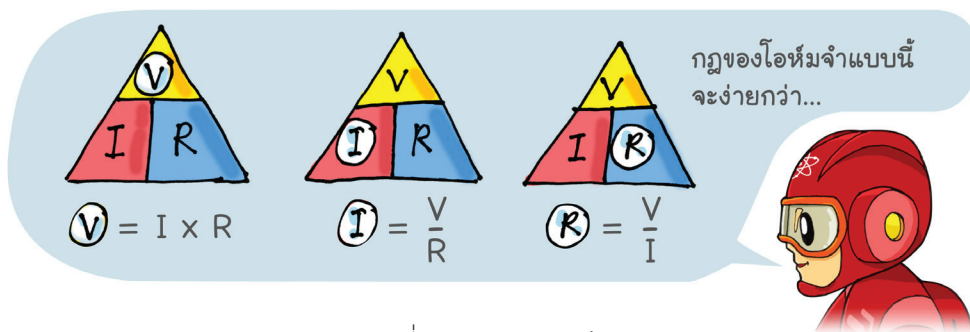
รูปที่ 3.17



กฎของโอห์ม

นักฟิสิกส์ชาวเยอรมันชื่อ จอร์จ ซามอน โอห์ม (George Simon Ohm) ค้นพบความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้า แรงดันไฟฟ้า และค่าความต้านทาน ของตัวต้านทานว่า กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวต้านทานแปรผันตรงกับแรงเคลื่อนไฟฟ้าของแหล่งจ่าย แต่จะแปรผกผันกับค่าความต้านทาน เขียนเป็นสมการได้

$$\text{กระแสไฟฟ้า (I)} = \frac{\text{แรงดันไฟฟ้า (V)}}{\text{ความต้านทาน (R)}}$$

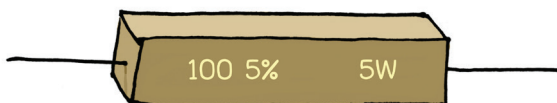


รูปที่ 3.18 กฎของโอห์ม

การอ่านค่าตัวต้านทาน

วิธีบอกค่าความต้านทานจากบนตัวอุปกรณ์อยู่ 2 แบบ คือ

1. พิมพ์ค่าต่าง ๆ ติดอยู่บนตัวต้านทาน เช่นตัวต้านทานดังรูปที่ 3.19 จะเป็นตัวต้านทานที่มีค่าความต้านทาน 100 Ω มีความคลาดเคลื่อน 5% (ดังนั้นค่าความต้านทานสามารถมีค่าจริงอยู่ระหว่าง 95-105 Ω) ทนกำลังไฟฟ้าได้ 5 วัตต์ นอกจากพิมพ์บอกค่าเป็นโอห์มแล้ว อาจมีการพิมพ์ค่าเป็นรหัสดังแสดงในรูปที่ 3.20



รูปที่ 3.19 การระบุค่าความต้านทานด้วยตัวอักษร



รูปที่ 3.20 การระบุค่าความต้านทานด้วยตัวอักษร

ตัวอย่างวิธีคำนวณ

$$500 = 50 \times 10^0 = 50 \Omega$$

$$102 = 10 \times 10^2 = 1 \text{ k} \Omega$$



ตารางที่ 3.3 ค่าของรหัสสีบนตัวด้านทานแบบ 4 แถบสี

รหัสสี	แถบสีที่ 1 (ตัวเลขที่ 1)	แถบสีที่ 2 (ตัวเลขที่ 2)	แถบสีที่ 3 ตัวคูณ (จำนวนศูนย์)	แถบสีที่ 4 (% ค่าความผิดพลาด)
ดำ	0	0	1	-
น้ำตาล	1	1	10	±1%
แดง	2	2	100	-
ส้ม	3	3	1,000	-
เหลือง	4	4	10,000	-
เขียว	5	5	100,000	-
น้ำเงิน	6	6	1,000,000	-
ม่วง	7	7	-	-
เทา	8	8	-	-
ขาว	9	9	-	-
ทอง			0.1	±5%
เงิน			0.01	±10%
ไม่มีสี				±20%



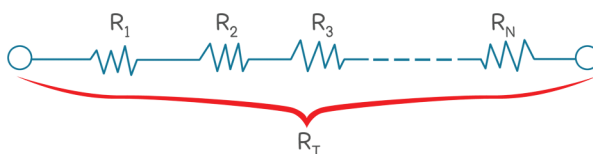


รูปที่ 3.22 ตัวต้านทานแบบคาร์บอนที่ขนาดอัตราการใช้กำลังไฟฟ้าต่าง ๆ กัน

การต่อตัวต้านทาน

บ่อยครั้งในวงจรที่ออกแบบไว้ จำเป็นต้องใช้ค่าความต้านทานที่ไม่ตรงตามค่ามาตรฐาน หรือไม่สามารถหาซื้อได้ หรือเรามีตัวต้านทานที่ทนกำลังไฟฟ้าได้ 1/4 วัตต์ แต่วงจรต้องการใช้ความต้านทานที่ทนกำลังไฟฟ้าได้ 1/2 วัตต์ ในกรณีเช่นนี้ เราสามารถแก้ปัญหาได้โดยนำตัวต้านทานหลายตัวมาต่อร่วมกัน การนำตัวต้านทานหลายตัวมาต่อร่วมกันนี้ ทำให้ค่าความต้านทานรวมเพิ่มขึ้นหรือลดลงได้ และการทนกำลังไฟฟ้าเพิ่มขึ้น การต่อความต้านทานรวมกันนี้สามารถทำได้ 2 แบบหลักคือ

1. การต่อตัวต้านแบบอนุกรม เมื่อนำมาต่อกันความต้านทานรวมจะเพิ่มขึ้น ดังรูปที่ 3.23



รูปที่ 3.23 การต่อตัวต้านทานแบบอนุกรม

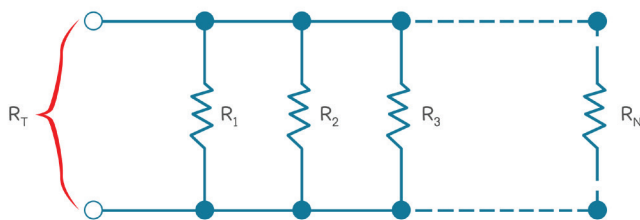
สามารถเขียนความสัมพันธ์ของความต้านทานได้สมการดังนี้

$$R_T = R_1 + R_2 + R_3 + \dots + R_N$$

โดยที่ R_T คือค่าความต้านทานรวมทั้งหมด



2. การต่อตัวต้านทานแบบขนาน จะทำให้ค่าความต้านทานรวมลดลง (โดยค่าความต้านทานรวมจะมีค่าน้อยกว่าค่าความต้านทานตัวที่มีค่าน้อยที่สุดนำมาต่อกัน) ดังรูปที่ 3.24



รูปที่ 3.24 การต่อตัวต้านทานแบบขนาน

สามารถเขียนความสัมพันธ์ของความต้านทานได้สมการดังนี้

$$\frac{1}{R_T} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \dots + \frac{1}{R_N}$$

หรือ

$$R_T = \frac{1}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \dots + \frac{1}{R_N}}$$

โดยที่ R_T คือค่าความต้านทานรวมทั้งหมด

ในกรณีที่มิตัวต้านทานสองตัวต่อขนานกัน จะได้ค่าความต้านทานรวมเท่ากับ

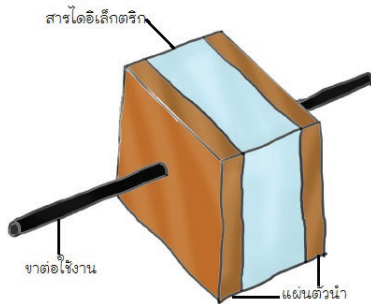
$$R_T = \frac{R_1 \times R_2}{R_1 + R_2}$$

การนำตัวต้านทานไฟฟ้ามาต่อเรียงกันเป็นแถวเรียงเดียว ดังรูปที่ 3.23 เรียกว่าการต่อแบบ “อนุกรม” ถ้ามีหลายแถวก็เรียกกันว่าแบบ “ขนาน” ถ้ามองกลุ่มตัวต้านทานต่างๆ เหล่านี้เป็นเหมือนท่อน้ำ การต่อแบบอนุกรม ก็จะได้ท่อน้ำที่เล็กแคบๆ ทำให้น้ำไหลผ่านยาก หรือ ค่าความต้านทานทางไฟฟ้าจะเพิ่มขึ้นนั่นเอง ในทางกลับกัน การต่อแบบขนานก็จะได้ท่อน้ำที่สั้น และมีขนาดใหญ่ขึ้น ทำให้น้ำไหลผ่านง่าย หรือ ค่าความต้านทานทางไฟฟ้าลดลง



3.7 ตัวเก็บประจุ

ตัวเก็บประจุ (capacitor) เป็นอุปกรณ์อีกชนิดหนึ่งที่ถูกนำมาใช้อย่างกว้างขวางในวงจรอิเล็กทรอนิกส์ ตัวเก็บประจุจัดเป็นอุปกรณ์ที่สามารถสะสมพลังงานไฟฟ้าได้โดยสะสมในรูปของประจุไฟฟ้าเอาไว้ภายในตัวมันแล้วจ่ายให้กับวงจรในเวลาที่ต้องการได้ ค่าความจุของตัวเก็บประจุ ใช้สัญลักษณ์ C มีหน่วยเป็นฟารัด (Farad หรือตัวย่อ F) โดยตั้งชื่อให้เป็นเกียรติแก่นักวิทยาศาสตร์ชาวอังกฤษผู้ค้นพบ ชื่อ ไมเคิล ฟาราเดย์ (Michael Faraday) โดยปกติแล้วขนาดของตัวเก็บประจุที่พบเห็นทั่วๆ ไปจะมีค่าเล็กๆ เช่น $pF = 10^{-12} F$, $nF = 10^{-9} F$ หรือ $\mu F = 10^{-6} F$ เป็นต้น

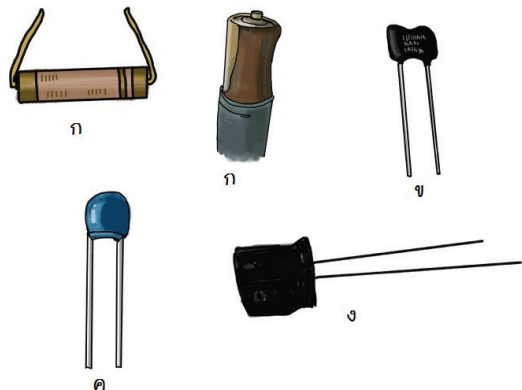


รูปที่ 3.25 โครงสร้างพื้นฐานของตัวเก็บประจุ

โครงสร้างพื้นฐานของตัวเก็บประจุ ประกอบไปด้วยแผ่นตัวนำสองแผ่นที่ถูกคั่นไว้ด้วยสารไดอิเล็กตริกดังแสดงในรูปที่ 3.25 สารไดอิเล็กตริกที่นิยมนำมาใช้ทำตัวเก็บประจุ ได้แก่ อากาศ กระดาษ น้ำมัน เซรามิก ไมก้า (mica) น้ำยาอิเล็กทรอนิกส์ โลตัส พลาสติก หรือเทฟลอน (Teflon)

- ก) ตัวเก็บประจุชนิดกระดาษ
- ข) ตัวเก็บประจุชนิดไมก้า
- ค) ตัวเก็บประจุชนิดเซรามิก
- ง) ตัวเก็บประจุชนิดอิเล็กทรอนิกส์

รูปที่ 3.26 ตัวเก็บประจุชนิดต่างๆ

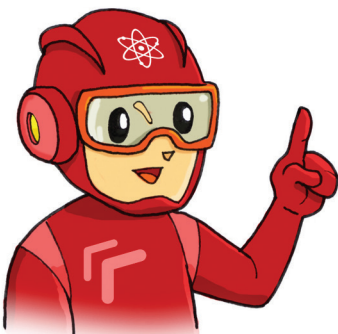


ก) ชนิดมีขั้ว



ข) ชนิดไม่มีขั้ว

รูปที่ 3.27 สัญลักษณ์ของตัวเก็บประจุ



การอ่านค่าความจุของตัวเก็บประจุ

ตัวเก็บประจุชนิดค่าคงที่มีรหัสตัวเลขติดไว้ด้านข้าง หรือรอบตัวเก็บประจุ มีวิธีการอ่านดังนี้

1. การอ่านค่าความจุและการทนแรงดันไฟฟ้าจากค่าที่พิมพ์ติดไว้บนตัวเก็บประจุโดยตรง เช่น 0.001 50 V หมายถึงตัวเก็บประจุมีค่าความจุเท่ากับ 0.001 ไมโครฟารัด ทนแรงดันไฟฟ้า 50 โวลต์ เป็นต้น ตัวเก็บประจุที่ใช้อ่านค่าความจุแบบรหัสตัวเลข ส่วนใหญ่มักจะเป็นตัวเก็บประจุที่มีขนาดใหญ่ ได้แก่ ตัวเก็บประจุชนิดกระดาษ ตัวเก็บประจุชนิดอิเล็กโทรลิติกและแทนทาลัม เป็นต้น

2. การอ่านค่าความจุที่เป็นรหัสตัวเลข ส่วนมากจะเป็นตัวเก็บประจุที่มีค่าความจุน้อยและขนาดเล็ก เช่น ตัวเก็บ ประจุชนิดไมลาร์และตัวเก็บประจุชนิดเซรามิก โดยรหัสตัวเลขของตัวเก็บประจุนี้ ถ้าอ่านเป็นเลขจำนวนเต็ม จะมีหน่วยเป็นพิโคฟารัด และถ้าอ่านเป็นเลขจุดทศนิยม จะมีหน่วยเป็นไมโครฟารัด ส่วนค่าความคลาดเคลื่อนของตัวเก็บประจุจะใช้รหัสเป็นตัวอักษรภาษาอังกฤษ ดังแสดงในตารางที่ 3.4

ตารางที่ 3.4 รหัสอักษรแสดงความคลาดเคลื่อนของค่าความจุ

รหัสอักษร	ความคลาดเคลื่อน
J	$\pm 5\%$
K	$\pm 10\%$
L	$\pm 15\%$
M	$\pm 20\%$

ตัวอย่างเช่น ตัวเก็บประจุที่มีรหัสตัวเลข 103K50 หมายถึงตัวเก็บประจุมีความจุ $10 \times 10^3 = 10,000$ พิโคฟารัด หรือ 0.01 ไมโครฟารัด ค่าความคลาดเคลื่อน $\pm 10\%$ และทนแรงดันไฟฟ้าได้ 50 โวลต์

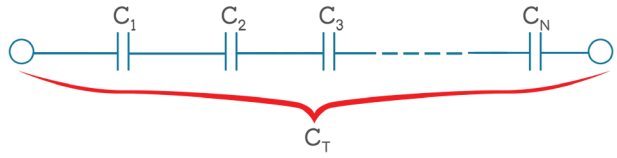
การต่อตัวเก็บประจุ

การต่อกันของตัวเก็บประจุหลาย ๆ ตัว ย่อมจะส่งผลให้มีการเปลี่ยนแปลงทั้งค่าความจุและอัตราทนแรงดันไฟฟ้าโดยรวม ขึ้นอยู่กับลักษณะการต่อกันของตัวเก็บประจุ โดยทั่วไปจะมีการต่อตัวเก็บประจุ 2 แบบ คือ แบบอนุกรม และแบบขนาน



การต่อตัวเก็บประจุแบบอนุกรม

จะทำให้ค่าความจุรวมของตัวเก็บประจุมีค่าลดลงโดยจะมีค่าน้อยกว่าค่าความจุของตัวเก็บประจุที่มีค่าน้อยที่สุด วิธีการต่อแสดงดังรูปที่ 3.28

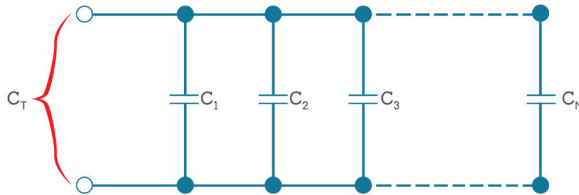


รูปที่ 3.28 การต่อตัวเก็บประจุแบบอนุกรม

สามารถเขียนความสัมพันธ์ของการต่อตัวเก็บประจุแบบอนุกรมได้ดังสมการ

$$C_T = \frac{1}{\frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} + \dots + \frac{1}{C_N}}$$

โดยที่ C_T คือค่าความจุไฟฟ้ารวมทั้งหมด



รูปที่ 3.29 การต่อตัวเก็บประจุแบบขนาน

การต่อตัวเก็บประจุแบบขนาน จะทำให้ค่าความจุรวมของตัวเก็บประจุมีค่ามากขึ้นวิธีการต่อแสดงดังรูปที่ 3.29

สามารถเขียนความสัมพันธ์ของการต่อตัวเก็บประจุแบบขนานได้ดังสมการ

$$C_T = C_1 + C_2 + C_3 + \dots + C_N$$

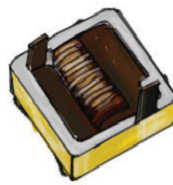
โดยที่ C_T คือค่าความจุไฟฟ้ารวมทั้งหมด

3.8 ตัวเหนี่ยวนำ

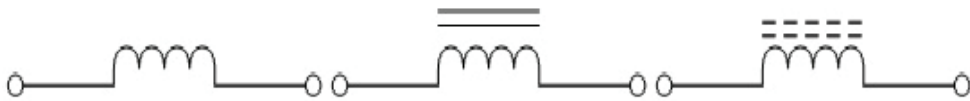
ตัวเหนี่ยวนำ (Inductor) เป็นอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่สำคัญอีกตัวหนึ่งที่มีการใช้งานกับวงจรอิเล็กทรอนิกส์ทั่วไป เช่น ใช้ในเครื่องรับวิทยุเพื่อเลือกช่วงความถี่ที่ต้องการรับฟัง ตัวเหนี่ยวนำจัดเป็นอุปกรณ์สะสมพลังงานไฟฟ้าเช่นเดียวกับตัวเก็บประจุ เพียงแต่จะสะสมในรูปของสนามแม่เหล็ก ตัวเหนี่ยวนำ สร้างขึ้นจากการนำเส้นลวดตัวนำจำพวกทองแดงมาขดเป็นวงเรียงกันหลาย ๆ รอบ เมื่อมีกระแสไฟฟ้าไหลในขดลวด จะทำให้เกิดสนามแม่เหล็กรอบขดลวดแต่ละรอบและมีทิศทางเสริมกันเป็นสนามแม่เหล็กที่มีแรงมากขึ้น โดยขดลวดที่ทำให้เกิดปรากฏการณ์นี้เรียกว่า ตัวเหนี่ยวนำ ดังนั้นถ้าต้องการค่าความเหนี่ยวนำมาก จำนวนรอบที่พันก็มากด้วย นอกจากนี้ค่าความเหนี่ยวน่ายังขึ้นกับวัสดุ



ที่ใช้เป็นแกนของขดลวด เช่น แกนอากาศ แกนเหล็ก แกนเฟอร์ไรต์ ซึ่งแต่ละแบบจะให้ตัวเหนี่ยวนำที่มีสมบัติแตกต่างกัน ค่าความเหนี่ยวนำของขดลวดถูกแทนด้วยสัญลักษณ์ L ในวงจร และมีหน่วยเป็น เฮนรี (Henry หรือตัวย่อ H) ตามชื่อนักวิทยาศาสตร์ผู้ค้นพบ โจเซฟ เฮนรี (Joseph Henry)



รูปที่ 3.30 ตัวเหนี่ยวนำชนิดต่าง ๆ



(ก) ตัวเหนี่ยวนำที่ใช้แกนอากาศ (ข) ตัวเหนี่ยวนำที่ใช้แกนเหล็ก (ค) ตัวเหนี่ยวนำที่ใช้แกนเฟอร์ไรต์

รูปที่ 3.31 สัญลักษณ์ตัวเหนี่ยวนำแบบต่างๆ

การอ่านค่าความเหนี่ยวนำ

ในการอ่านค่าตัวเหนี่ยวนำ บางครั้งผู้ผลิตจะพิมพ์ค่าลงไปในตัวเหนี่ยวนำนั้นโดยใช้ตัวเลข 3 หลักหรือใช้รหัสสีสำหรับค่าความผิดพลาดก็มีทั้งแสดงโดยใช้รหัสตัวอักษรหรือรหัสสี

ในกรณีที่แสดงค่าความเหนี่ยวนำเป็นตัวเลข 3 หลัก ค่าที่อ่านได้จะมีหน่วยเป็นไมโครเฮนรี โดย 2 หลักแรกจะเป็นค่าตัวเลข ส่วนหลักที่ 3 จะเป็นตัวคูณหรือจำนวนเลขศูนย์ เช่น ถ้ามีตัวเลข 472 พิมพ์ไว้บนตัวเหนี่ยวนำ หมายถึง ตัวเหนี่ยวนำมีค่าเท่ากับ 4,700 ไมโครเฮนรี ($4,700 \mu H$) หรือ 4.7 มิลลิเฮนรี (4.7 mH)

ส่วนค่าความผิดพลาดจะใช้รหัสอักษรแทนดังตารางที่ 3.5

ตารางที่ 3.5 รหัสอักษรแสดงค่าความผิดพลาดของตัวเหนี่ยวนำ

รหัสอักษร	ความผิดพลาด
M	$\pm 20\%$
K	$\pm 10\%$
J	$\pm 5\%$

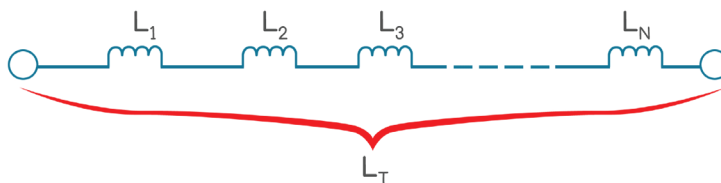


กรณีที่ใช้รหัสสี จะมีลักษณะเช่นเดียวกับการอ่านค่าความต้านทานด้วยรหัสสี แต่ค่าที่อ่านได้ จะมีหน่วยเป็นไมโคร เฮนรี ส่วนรหัสสีของค่าความผิดพลาดจะอยู่ถัดจากรหัสสีของค่าความเหนี่ยวนำ โดยสีเงินแทนค่าความผิดพลาด $\pm 10\%$ และสีทองแทนค่าความผิดพลาด $\pm 5\%$

การต่อตัวเหนี่ยวนำ

เมื่อนำตัวเหนี่ยวนำมาใช้งานในวงจรไฟฟ้า เราสามารถเชื่อมต่อตัวเหนี่ยวนำได้ 2 แบบ คือ แบบอนุกรม และแบบขนาน เพื่อให้ได้ค่าความเหนี่ยวนำตามต้องการ

การต่อตัวเหนี่ยวนำแบบอนุกรม จะทำให้ค่าความเหนี่ยวนำรวมเพิ่มขึ้น วิธีการแสดงดังรูปที่ 3.32



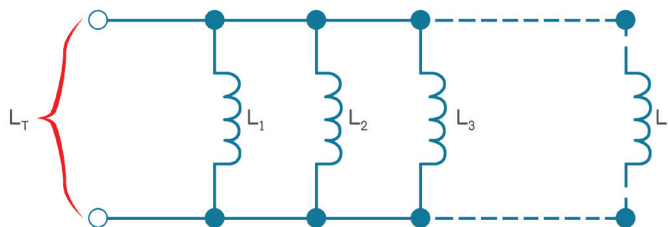
รูปที่ 3.32 การต่อตัวเหนี่ยวนำแบบอนุกรม

เขียนความสัมพันธ์ของความ
เหนี่ยวนำได้สมการ ดังนี้

$$L_T = L_1 + L_2 + L_3 + \dots + L_N$$

โดยที่ L_T คือค่าความเหนี่ยวนำรวมทั้งหมด

การต่อตัวเหนี่ยวนำแบบขนาน จะทำให้ค่าค่าความเหนี่ยวนำรวมของตัวเหนี่ยวนำมีค่าลดลง โดยจะมีค่าน้อยกว่า ค่าความเหนี่ยวนำของตัวเหนี่ยวนำที่มีค่าน้อยที่สุด วิธีการแสดงดังรูปที่ 3.33



รูปที่ 3.33 การต่อตัวเหนี่ยวนำแบบขนาน

สามารถเขียนความสัมพันธ์ของการต่อ
ตัวเหนี่ยวนำแบบขนานได้ดังสมการ

$$L_T = \frac{1}{\frac{1}{L_1} + \frac{1}{L_2} + \frac{1}{L_3} + \dots + \frac{1}{L_N}}$$

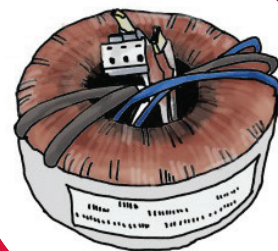
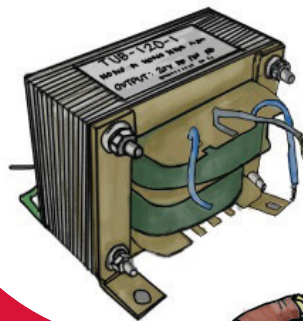
โดยที่ L_T คือค่าความเหนี่ยวนำรวมทั้งหมด



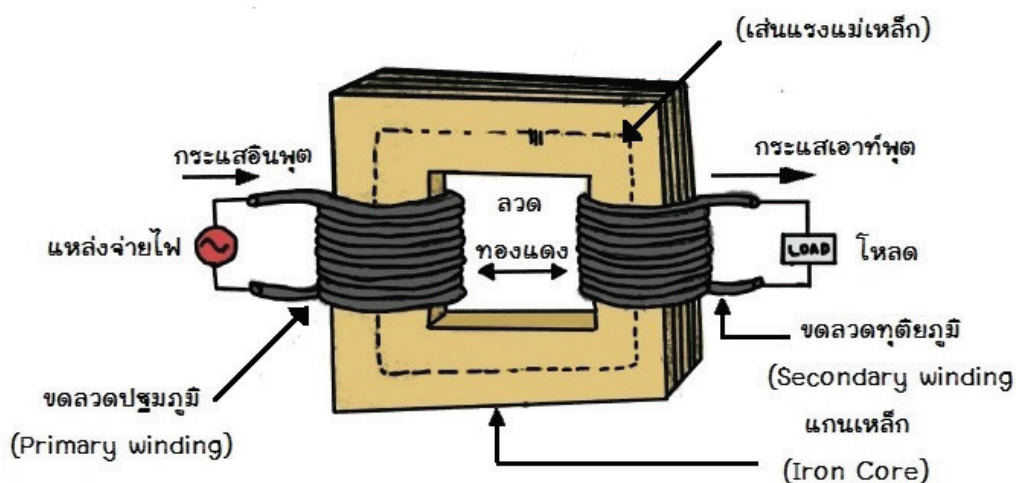
3.9 หม้อแปลงไฟฟ้า

หม้อแปลงไฟฟ้าเป็นอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่ในการเปลี่ยนแปลงระดับสัญญาณ (แรงดัน) โฟสลับให้สูงขึ้น (step up) หรือต่ำลง (step down) ในวงจรต่างแรงดัน หรือในการถ่ายทอดสัญญาณ (coupling) ภายในวงจรขยายสัญญาณ

หม้อแปลงไฟฟ้าสร้างได้จากการนำขดลวดมาพันบนแกนเดียวกัน มากกว่า 1 ขด ปกติจะมี 2 ขด โดยแบ่งเป็นขดทางเข้าหรือขดอินพุต (Input) เรียกว่า ขดปฐมภูมิ (Primary) และขดทางออกหรือขดเอาต์พุต (Output) เรียกว่า ขดทุติยภูมิ (Secondary)



รูปที่ 3.34 หม้อแปลงไฟฟ้าชนิดต่าง ๆ



รูปที่ 3.35 ส่วนประกอบของหม้อแปลงไฟฟ้าแบบมีขดลวด 2 ขด

ความสัมพันธ์ของแรงดันกับจำนวนรอบของขดลวดทั้งสองของหม้อแปลง เป็นดังนี้

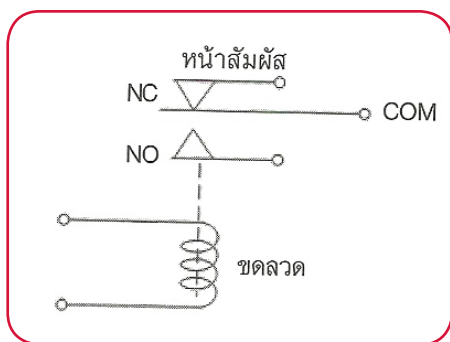
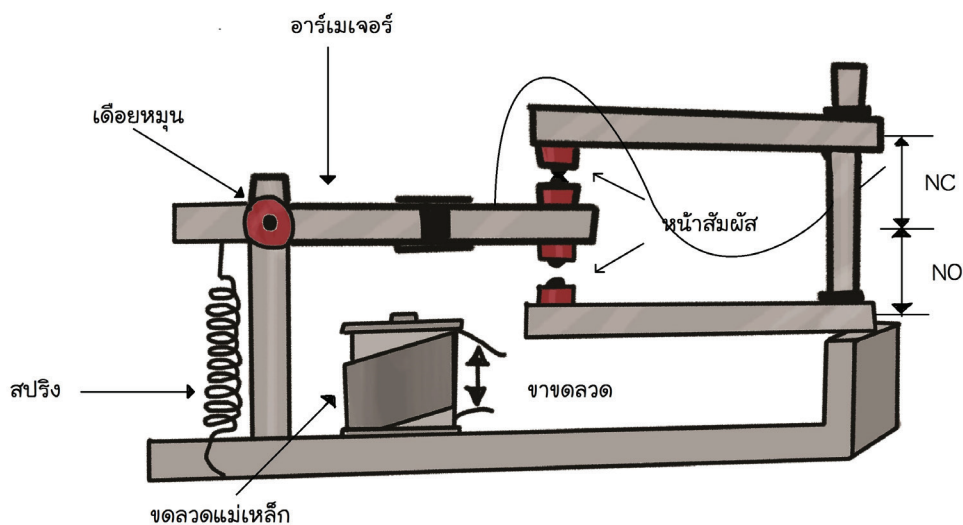
$$\frac{V_p}{V_s} = \frac{N_p}{N_s}$$

เมื่อ V_p และ V_s คือแรงดันปฐมภูมิและแรงดันทุติยภูมิ ตามลำดับ N_p และ N_s คือจำนวนรอบของขดลวดปฐมภูมิและขดลวดทุติยภูมิ ตามลำดับ

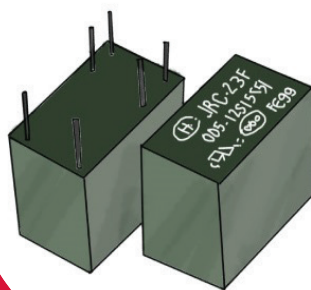


3.10 รีเลย์

รีเลย์เป็นสวิตช์ชนิดหนึ่งแตกต่างไปจากสวิตช์ชนิดธรรมดาตรงที่การควบคุมหน้าสัมผัสสวิตช์ให้ตัดหรือต่อด้วยแม่เหล็กไฟฟ้า จากโครงสร้างส่วนประกอบของรีเลย์ในรูปที่ 3.36 เมื่อมีแรงดันตกคร่อมขดลวดจะทำให้เกิดกระแสไหลผ่าน ขดลวด เกิดแรงจากสนามแม่เหล็กไฟฟ้า ทำให้หน้าสัมผัสของรีเลย์ทำงาน กล่าวคือ หน้าสัมผัสแบบปกติเปิด (normally open contact หรือ NO) ที่เดิมเปิดวงจรอยู่จะปิดหรือต่อดวงจร ส่วนหน้าสัมผัสปกติปิด (normally closed contact หรือ NC) ที่เดิมปิดวงจรอยู่ก็จะเปิดหรือตัดวงจรออก และเมื่อปลดแรงดันที่ขดลวดออก แรงจากสนามแม่เหล็กก็จะหมดลง หน้าสัมผัสก็จะคืนสู่สภาวะปกติ รีเลย์นิยมนำไปใช้ในวงจรป้องกัน วงจรตัดต่อไฟเข้าไปในวงจรและช่องทางการสนทนาในตู้โทรศัพท์หรือใช้เป็นสวิตช์อิเล็กทรอนิกส์ เป็นต้น



รูปที่ 3.36 โครงสร้างและสัญลักษณ์ของรีเลย์

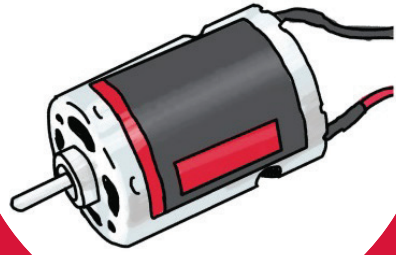


รูปที่ 3.37 รูปร่างภายนอกของรีเลย์



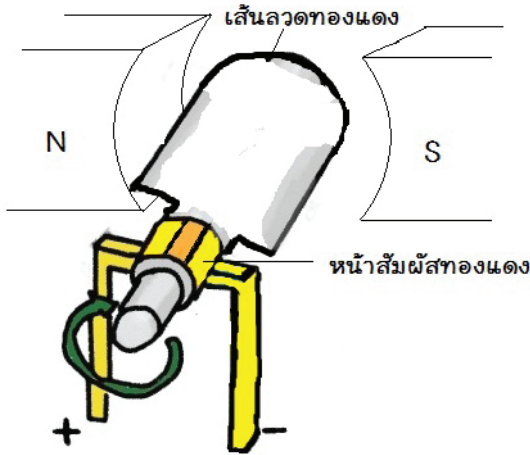
3.11 มอเตอร์

มอเตอร์ไฟฟ้าเป็นอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานกล มีการใช้งานมากในงานที่ต้องการให้เกิดการเคลื่อนที่ เช่น การหมุนของหัวอ่านเครื่องเล่น DVD หรือพัดลมหน้าตาของมอเตอร์ แสดงดังรูป 3.38



รูปที่ 3.38 มอเตอร์

มอเตอร์ไฟฟ้าที่ใช้กันทั่วไปมีอยู่ด้วยกันหลายชนิด แต่ละชนิดมีโครงสร้างแตกต่างกัน หลักการทำงานก็แตกต่างกันอย่างไ้ก็ตาม มอเตอร์ไฟฟ้าทุกชนิดมีองค์ประกอบหลัก ๆ เหมือนกัน คือ ส่วนเคลื่อนที่หมุนรอบแกน เรียกว่า โรเตอร์ (Rotor) และส่วนหยุดนิ่งอยู่กับที่ล้อมรอบโรเตอร์ เรียกว่า สเตเตอร์ (stator) การทำงานของมอเตอร์อาศัยสนามแม่เหล็กกระหว่างสเตเตอร์และโรเตอร์ สนามแม่เหล็กนี้เกิดจากกระแสไฟฟ้าที่ป้อนเข้าไป และอาจมีสนามแม่เหล็กจากแม่เหล็กถาวรร่วมด้วย ขึ้นอยู่กับชนิดของมอเตอร์นั้น ๆ แรงดึงดูดและผลักรันของสนามแม่เหล็กจะทำให้เกิดแรงบิดขึ้นที่โรเตอร์ และทำให้โรเตอร์หมุน



รูปที่ 3.39 โครงสร้างของมอเตอร์

รูปที่ 3.39 แสดงการทำงานของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง โดยมีสเตเตอร์อยู่รอบนอกซึ่งประกอบด้วยแม่เหล็กถาวร 2 ขั้ว คือ ขั้วแม่เหล็กเหนือ (N) และขั้วแม่เหล็กใต้ (S) โรเตอร์มีขดลวดพันอยู่โดยรอบ เมื่อมีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านแปรงถ่านและซี่คอมมิวเตเตอร์มายังขดลวดจะทำให้เกิดสนามแม่เหล็กไฟฟ้าขึ้นที่โรเตอร์ สนามแม่เหล็กไฟฟ้าที่โรเตอร์และสนามแม่เหล็กจากแม่เหล็กถาวรที่สเตเตอร์จะดึงดูดและผลักรัน ในตำแหน่งต่างๆ กันที่จะทำให้เกิดแรงบิดเพื่อหมุนโรเตอร์



3.12 เครื่องใช้ไฟฟ้า

เครื่องใช้ไฟฟ้าเป็นอุปกรณ์ที่เปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าให้เป็นพลังงานในรูปแบบอื่น เช่น แสง เสียง ความร้อนหรือพลังงานกล แล้วนำพลังงานดังกล่าวไปใช้ประโยชน์เพื่ออำนวยความสะดวกสบายในชีวิตประจำวัน ตัวอย่างเครื่องใช้ไฟฟ้าที่พบเห็นได้ทั่วไปจะมีปริมาณกำลังไฟฟ้าสรุป ดังตารางที่ 3.6

ตารางที่ 3.6 ปริมาณกำลังไฟฟ้าของเครื่องใช้ไฟฟ้าต่าง ๆ

เครื่องใช้ไฟฟ้า	กำลังไฟฟ้า (วัตต์)
พัดลมตั้งพื้น	20 - 75
พัดลมเพดาน	70 - 100
โทรทัศน์ขาว-ดำ	28 - 150
โทรทัศน์สี	80 - 180
เครื่องเล่นวิดีโอ	25 - 50
ตู้เย็น 7-10 คิว	70 - 145
หม้อหุงข้าว	450 - 1,500
หม้อหุงต้มไฟฟ้า	200 - 1,500
หม้อชงกาแฟ	200 - 600
เตาไมโครเวฟ	100 - 1,000
เครื่องปั๊มนมบั้ง	800 - 1,000
เครื่องทำน้ำอุ่น/ร้อน	2,500 - 12,000
เครื่องเป่าผม	400 - 1,000
เตารีดไฟฟ้า	750 - 2,000
เครื่องซักผ้าแบบมีเครื่องอบผ้า	3,000
เครื่องปรับอากาศ	1,200 - 3,300
เครื่องดูดฝุ่น	750 - 1,200
มอเตอร์จักรเย็บผ้า	40 - 90

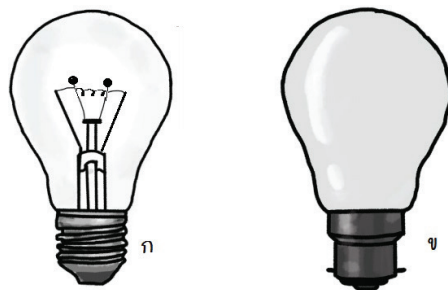
ที่มา : หนังสือ การใช้ไฟฟ้าอย่างมีประสิทธิภาพและปลอดภัย กฟน.



เครื่องใช้ไฟฟ้าที่เปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าให้อยู่ในรูปของแสงสว่าง คือ หลอดไฟฟ้า ซึ่งที่ใช้กันอยู่ทั่วไปมี 2 แบบคือ

1. หลอดอินแคนเดสเซนต์ (หลอดไส้)

มีทั้งหัวหลอดแบบเกลียวและแบบเจี้ยว ทำหน้าที่เป็นตัวนำเพื่อต่อเข้าแหล่งจ่ายไฟฟ้า ตัวหลอดจะทำจากแก้ว มีความใส ภายในบรรจุแก๊สเฉื่อยและมีส่วนของไส้หลอดซึ่งทำด้วยสารตัวนำที่มีความต้านทาน เช่น ทังสเตน เมื่อกระแสไฟฟ้าไหลผ่านก็จะร้อนแดงและเปล่งแสงออกมา หลอดชนิดนี้จะกินไฟมาก มีอายุการใช้งานประมาณ 750 ชั่วโมง



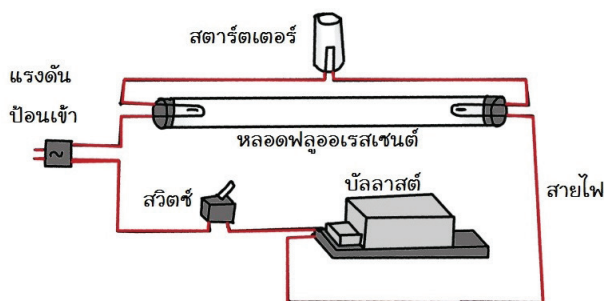
รูปที่ 3.40 ลักษณะของหลอดไฟฟ้าแบบมีไส้

ก. หลอดมีไส้หัวหลอดแบบเกลียว

ข. หลอดมีไส้หัวหลอดแบบเจี้ยว

2. หลอดฟลูออเรสเซนต์ (หลอดนีออน) เป็นหลอดที่นิยมใช้กันมากในปัจจุบัน มีลักษณะทรงกระบอกยาวสีขาว มีขาคู่อยู่ปลายทั้งสองข้างเพื่อต่อขั้วไฟฟ้า ภายในบรรจุแก๊สที่เกิดการเรืองแสงขึ้นเมื่อได้รับพลังงานจากไส้หลอดซึ่งอยู่ปลายขั้ว มีอายุการใช้งานประมาณ 8,000 ชั่วโมง โดยทั่วไปจะมีอุปกรณ์ประกอบอีก 2 ตัว คือ บัลลัสต์ และสตาร์ทเตอร์

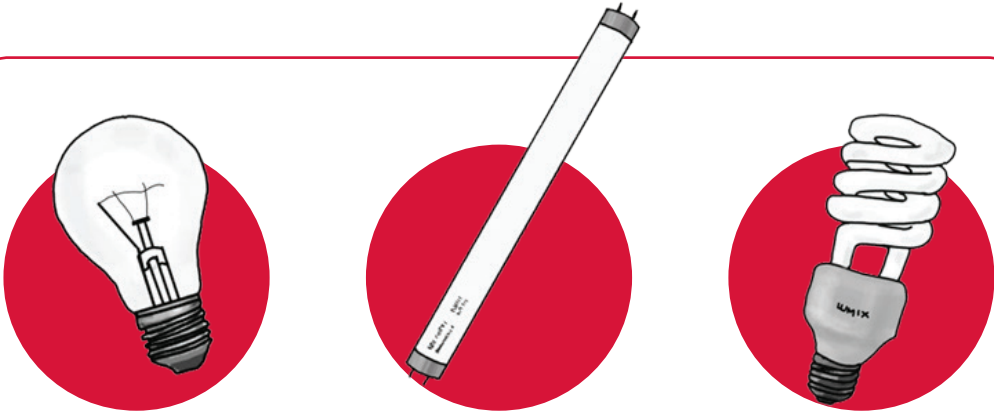
หลอดฟลูออเรสเซนต์ชนิดธรรมดาจะมี 2 ขนาด คือ 40 วัตต์ (หลอดยาว) และ 20 วัตต์ (หลอดสั้น) ปัจจุบันมีหลอด ฟลูออเรสเซนต์ชนิดประหยัดพลังงานหรือหลอดคอม มีขนาด 36 วัตต์ และ 18 วัตต์ สามารถใช้ทดแทนหลอดฟลูออเรสเซนต์ชนิดธรรมดาได้ทันที นอกจากรูปร่างทรงกระบอกแล้ว หลอดฟลูออเรสเซนต์ยังมีรูปร่างวงกลมขนาด 32 วัตต์ ซึ่งมีหลักการทำงานเหมือนกัน นอกจากนี้ ได้มีการพัฒนาระบบการทำงานของหลอดฟลูออเรสเซนต์ โดยใช้ระบบอิเล็กทรอนิกส์เข้ามาใช้ในระบบทำงานแทนแบบเดิม ทำให้ประหยัดพลังงานมากขึ้น และยังมีการออกแบบหลอดฟลูออเรสเซนต์ให้มีรูปร่างและขนาดที่ใช้



รูปที่ 3.41 วงจรและการประกอบวงจรชุดหลอดฟลูออเรสเซนต์

แทนหลอดไส้ ได้แก่ หลอดคอมแพคฟลูออเรสเซนต์ ชนิดบัลลัสต์ภายใน (หลอด SL, PL) จะเป็นแบบขั้วเกลียวสามารถใช้ทดแทนหลอดไส้ได้ทันทีและกินไฟน้อยกว่าหลอดไส้ 4 เท่า มีอายุการใช้งานนานกว่าหลอดไส้ 8 เท่า ตัวอย่างการต่อหลอดฟลูออเรสเซนต์แสดงดังรูป 3.41





รูปที่ 3.42 หลอดไส้ หลอดนีออน หลอดคอมแพคฟลูออเรสเซนต์

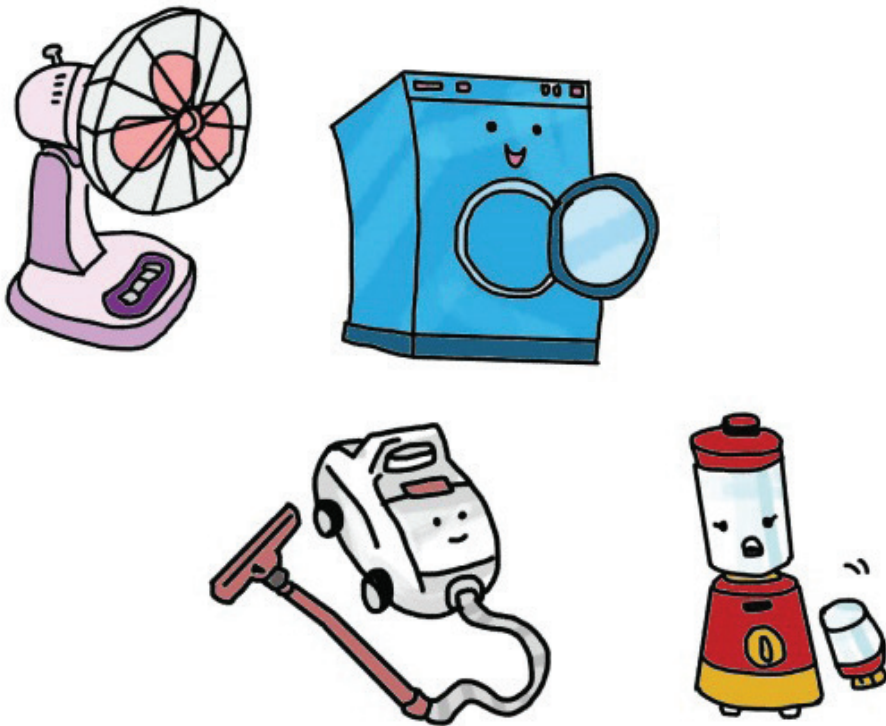
เครื่องใช้ไฟฟ้าที่เปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าให้เป็นพลังงานความร้อน ได้แก่ หม้อหุงข้าวไฟฟ้า กาต้มน้ำไฟฟ้า เครื่องทำน้ำอุ่น เตาหีต เครื่องปิ้งขนมปัง เครื่องเป่าผม ฯลฯ ซึ่งจะมีอุปกรณ์หลักคือ ขดลวดหรือแผ่นให้ความร้อนที่ทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าให้เป็นพลังงานความร้อนเมื่อมีกระแสไฟฟ้าไหลผ่าน และมีระบบควบคุมอุณหภูมิเพื่อให้ได้อุณหภูมิตามที่ต้องการ ซึ่งอุปกรณ์ควบคุมอุณหภูมิอาจเป็นเทอร์มิสตัน ซึ่งจะทำหน้าที่เป็นสวิตช์ตัดกระแสไฟฟ้าเมื่ออุณหภูมิถึงค่าที่กำหนด หรือต่อกระแสไฟฟ้าเมื่ออุณหภูมิต่ำกว่ากำหนด



รูปที่ 3.43 เครื่องใช้ไฟฟ้าที่เปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าให้เป็นพลังงานความร้อน



เครื่องใช้ไฟฟ้าที่เปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าให้เป็นพลังงานกล เช่น พัดลม เครื่องซักผ้า เครื่องดูดฝุ่น เครื่องปั่นผลไม้ ฯลฯ เครื่องใช้ไฟฟ้าเหล่านี้จะมีอุปกรณ์หลัก คือ มอเตอร์ทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าให้เป็นพลังงานกล และมีอุปกรณ์ควบคุมการทำงานของมอเตอร์ เพื่อให้มอเตอร์หมุนเร็วช้า หรือกลับทิศทางหมุน เป็นต้น



รูปที่ 3.44 เครื่องใช้ไฟฟ้าที่เปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าให้เป็นพลังงานกล

เครื่องใช้ไฟฟ้าที่กล่าวข้างต้นเป็นเพียงส่วนหนึ่งเท่านั้น ยังมีเครื่องใช้ไฟฟ้าอีกหลายอย่างที่อยู่รอบ ๆ ตัวเรา เช่น โทรทัศน์ เครื่องปรับอากาศ เครื่องเสียง เครื่องคอมพิวเตอร์ เตาไมโครเวฟ ฯลฯ

เอกสารอ้างอิง

- (1) ก้าวทันโลกอิเล็กทรอนิกส์ NECTEC
- (2) การใช้ไฟฟ้าอย่างมีประสิทธิภาพและปลอดภัย กฟน.



การวัดและเครื่องมือวัด ทางอิเล็กทรอนิกส์

อ.กมล จิรเสรีอมรกุล

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

อ.อมร จิรเสรีอมรกุล

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร

เครื่องมือวัดแบบอิเล็กทรอนิกส์สามารถพบเห็นได้แทบทุกที่รอบตัวเรา ไม่ว่าจะเป็น เครื่องชั่ง น้ำหนักในห้องน้ำ นาฬิกาจับเวลาที่สนามกีฬา ไปจนถึงอุปกรณ์ซับซ้อนอย่างเครื่องวัดความเร็วรถยนต์ของคุณตำรวจจราจร หรือเครื่องมือวัดทางการแพทย์ในโรงพยาบาล เรียกได้ว่าเครื่องมือวัดเป็นส่วนหนึ่งในชีวิตประจำวันเลยทีเดียว หากจะกล่าวถึงเครื่องมือวัดที่นักอิเล็กทรอนิกส์ทุกคนต้องมีไว้ข้างกายเพื่อให้สามารถใช้งานได้ทันทั่วทั้งที่แล้วละก็ คงหนีไม่พ้นมัลติมิเตอร์และออสซิลโลสโคปเป็นแน่ ก่อนจะกล่าวถึงรายละเอียดของเครื่องมือวัดทั้งสอง เรามาเริ่มต้นด้วยการเรียนรู้เกล็ดเล็กเกล็ดน้อยของการวัดและเครื่องมือวัดกันก่อนดีกว่า

4.1 หลักการวัดเบื้องต้น

1. ประวัติย่อของเครื่องมือวัด

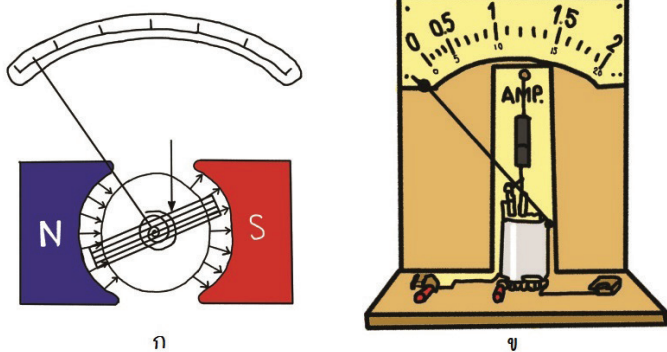
หากจะกล่าวถึงต้นกำเนิดของเครื่องมือวัดที่เราใช้กันอยู่ในทุกวันนี้ คงต้องย้อนเวลากลับไปราว 3,000 ปีก่อนคริสตกาล เมื่อมนุษย์ได้เริ่มรวมตัวกันเป็นกลุ่มอารยธรรมในยุคแรก ๆ และเกิดความต้องการในการสื่อสารและแลกเปลี่ยนกัน โดยในช่วงแรกยังไม่มีเครื่องมือวัดที่เป็นมาตรฐาน จนบางครั้งเกิดปัญหาการสื่อความหมายไม่ตรงกัน ทำให้ต้องมีหน่วยการวัดและเครื่องมือที่ใช้ใน



การวัดที่ชัดเจนเพื่อสื่อความหมายได้ตรงกันมากขึ้น ตัวอย่างเช่น วิวัฒนาการของการวัดความยาวนั้น เริ่มจากการใช้ส่วนต่าง ๆ ของร่างกายเป็นเกณฑ์อ้างอิง เช่น 1 นิ้ว 1 คืบ 1 ศอก 1 วา ซึ่งแม้จะสะดวก แต่ก็ยังไม่สามารถสื่อความหมายได้แม่นยำนัก เนื่องจาก คืบ ศอก วา ของแต่ละคนมีความยาวไม่เท่ากัน จึงต้องมีการตกลงขนาดที่ทุกคนในชุมชนเห็นชอบตรงกัน เกิดเป็นไม้วัดระยะซึ่งถือเป็นเครื่องมือวัดอย่างง่ายที่เป็นมาตรฐาน

การวัดและเครื่องมือวัด มีพัฒนาการควบคู่กับความเจริญก้าวหน้าทางวิทยาศาสตร์เทคโนโลยี และวัฒนธรรมของมนุษยชาติอย่างต่อเนื่อง การวัดเป็นพื้นฐานของวิทยาศาสตร์ เป็นภาษาที่ใช้บอก ขนาด ปริมาณ ตำแหน่ง สภาวะและเวลา เป็นต้น โดยจุดมุ่งหมายสำคัญของการวัด คือ การตัดสิน ปริมาณวัดต่าง ๆ ด้วยความเที่ยงตรง (precision) และแม่นยำ (Accuracy) เพื่อจุดประสงค์หลากหลาย ด้าน เช่น เพื่อความเป็นธรรมเชิงพาณิชย์ ดังจะเห็นได้จากตัวอย่างที่ประเทศต่าง ๆ ในอดีตมีการกำหนด มาตรฐานของการชั่ง ตวง วัด เป็นของตนเองแตกต่างกัน ต่อมาเมื่อการค้าขายระหว่างประเทศแพร่หลาย จึงมีการกำหนดหน่วยวัดที่เป็นมาตรฐานสากลขึ้นใช้ร่วมกัน

สำหรับเครื่องมือวัดทางไฟฟ้า นั้น เพิ่งจะถือกำเนิดขึ้นราวต้นศตวรรษที่ 19 พร้อมอุตสาหกรรม การผลิตกระแสไฟฟ้า เครื่องมือวัดทางไฟฟ้าชิ้นแรก ๆ ที่ถูกประดิษฐ์ขึ้น คือ กัลวานอมิเตอร์ (galvanometer) ดังแสดงโครงสร้างในรูปที่ 4.1 (ก) ซึ่งเป็นอุปกรณ์วัดปริมาณกระแสไฟฟ้าชนิดหนึ่ง ตั้งชื่อ ตาม ลุยจิ แกลวานี (Luigi Galvani) นักฟิสิกส์ชาวอิตาลี ผู้ทำการทดลองพบว่า กระแสไฟฟ้าสามารถ ทำให้ขาของกบซึ่งเสียชีวิตแล้วกระตุกได้ ต่อมา เอ็ดเวิร์ด เวสตัน (Edward Weston) นักเคมีชาวอเมริกัน จึงได้ประดิษฐ์และปรับปรุง เครื่องวัดกระแสไฟตรง (DC ammeter) ดังแสดงตัวอย่างในรูปที่ 4.1 (ข) ซึ่งถือได้ว่าเป็นต้นแบบของเครื่องมือวัดทางไฟฟ้ายุคใหม่ และเมื่อเทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์ก้าวหน้ายิ่งขึ้น เริ่มจากหลอดสุญญากาศ ทรานซิสเตอร์ เรื่อยมาจนถึงเทคโนโลยีวงจรรวม เครื่องมือวัดก็ยังมีขนาด เล็กลง ถูกลง และมีความแม่นยำมากยิ่งขึ้น



รูปที่ 4.1 (ก) โครงสร้างกัลวานอมิเตอร์ (ข) เครื่องวัดกระแสไฟตรง





ลุยจี แกลวานี (1737-1798) เป็นทั้งแพทย์ นักฟิสิกส์และนักปรัชญาชาวอิตาลี เขาได้ค้นพบว่ากล้ามเนื้อของกบที่เสียชีวิตแล้วนั้นเกิดการกระตุกเมื่อมีกระแสไฟฟ้าไหลผ่าน ถือเป็นการบุกเบิกครั้งแรกในศาสตร์ทางไฟฟ้าชีวภาพ ทุกวันนี้สาขาดังกล่าว ยังคงมุ่งศึกษารูปแบบสัญญาณไฟฟ้าในระบบประสาทของสิ่งมีชีวิต



เอ็ดเวิร์ด เวสตัน (1850-1936) นักเคมีชาวอเมริกันเชื้อสายอังกฤษ ได้รับการยกย่องผลงานทางด้านการพัฒนา การขุบโลหะด้วยไฟฟ้า และเซลล์ไฟฟ้าเคมี เขานับได้ว่าเป็นคู่แข่งคนสำคัญของ ธอมัส เอดิสัน ในยุคเริ่มต้นของอุตสาหกรรมไฟฟ้าเลยทีเดียว

2. ปริมาณที่ต้องการวัด

การวัด คือ ความพยายามตรวจสอบว่า มีปริมาณอะไรเกิดขึ้นหรือไม่ หากมีแล้วมีค่าเป็นเท่าไร เช่น การวัดแรงดันไฟฟ้า ก็คือความพยายามหาว่าระหว่างจุดที่เราสนใจ มีแรงดันเกิดขึ้นหรือไม่ หากมีแล้วมีขนาดกี่โวลต์ ดังนั้นจึงเห็นได้ว่า ก่อนที่จะทำการวัด เราจะต้องทราบก่อนว่าต้องการวัดอะไร เมื่อทราบแล้วก็ควรพิจารณาต่อว่า วัดไปเพื่ออะไร นั่นคือ ควรรู้วัตถุประสงค์ของการวัด และยิ่งหากมีค่าที่คาดหวังไว้ด้วย ก็จะทำให้การวัดนั้นมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น หลังจากทราบว่าการวัดอะไรและเพื่ออะไรแล้ว ก็มาถึงการเลือกชนิดของเครื่องมือวัดหรือมิเตอร์ที่เหมาะสม รวมถึงวิธีใช้เครื่องมือเพื่อให้ได้ผลถูกต้องที่สุดด้วย

ดังนั้น เมื่อต้องการวัดปริมาณทางไฟฟ้าก็ต้องเลือกที่จะวัดค่าอะไร เช่น แรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า ความต้านทานไฟฟ้า วัดไปเพื่ออะไร เพื่อพิสูจน์ทฤษฎีทางไฟฟ้า หรือศึกษาปรากฏการณ์ทางไฟฟ้าที่สนใจ เครื่องมือวัดก็ต้องเลือกให้เหมาะสม เช่น โวลต์มิเตอร์ใช้วัดแรงดัน แอมป์มิเตอร์ใช้วัดกระแส โอห์มมิเตอร์ใช้วัดความต้านทาน สุดท้าย ต้องใช้เครื่องมือวัดอย่างถูกต้อง เช่น จะวัดในลักษณะขนานหรืออนุกรม ต้องถอดอุปกรณ์ตัวใดออกก่อนหรือไม่ เหล่านี้คือทักษะที่ต้องค่อย ๆ เรียนรู้ฝึกฝนเพื่อให้สามารถวัดค่าที่ต้องการได้อย่างถูกต้องและมีประสิทธิภาพ



3. ลักษณะที่สำคัญของเครื่องมือวัด

- ความไว (sensitivity) หมายถึง ความสามารถในการตอบสนองของเครื่องมือต่อปริมาณที่ทำการวัด เช่น เครื่องมือวัดที่ใช้ปริมาณกระแสไฟฟ้าเพียงเล็กน้อยเพื่อให้เข็มชี้เต็มสเกล มีความไวสูง ส่วนเครื่องมือวัดที่ใช้ปริมาณกระแสไฟฟ้าจำนวนมากจึงทำให้เข็มชี้เต็มสเกล มีความไวต่ำ
- ความเที่ยงตรง (precision) หมายถึง ความสามารถในการเกิดค่าเดิมซ้ำ ของการวัดปริมาณไฟฟ้าหลาย ๆ ครั้ง หรือกล่าวได้ว่า เครื่องมือวัดที่มีความเที่ยงตรงสูงจะแสดงผลการวัดที่มีค่าใกล้เคียงเดิมทุกครั้งเมื่อทำการวัดปริมาณเดิมซ้ำกันหลาย ๆ ครั้ง
- ความแม่นยำหรือความถูกต้อง (accuracy) หมายถึง ความใกล้เคียงของค่าที่วัดได้กับค่าจริงของปริมาณที่ถูกวัด โดยทั่วไปจะแสดงในรูปเปอร์เซ็นต์ของช่วงวัดสูงสุด เช่น เครื่องมือวัดแรงดันที่ระบุความแม่นยำ $\pm 2\%$ เมื่อตั้งช่วงวัดสูงสุดที่ 10 โวลต์ จะมีโอกาสแสดงค่าผิดพลาดได้เท่ากับ ± 0.2 โวลต์
- ความผิดพลาด (error) หมายถึง ค่าแตกต่างระหว่างค่าที่วัดหรืออ่านได้จากเครื่องมือวัดกับค่าที่แท้จริงของปริมาณที่ทำการวัด ซึ่งจะมากหรือน้อยขึ้นกับเครื่องมือวัด วิธีการวัด สถานการณ์ที่ทำการวัด ความสามารถและประสบการณ์ของผู้วัด รวมถึงปัจจัยอื่น ๆ ด้วย

หัวใจของมัลติมิเตอร์แบบดิจิทัล คือวงจรอิเล็กทรอนิกส์ที่แปลงค่ากระแสไฟฟ้าเป็นรหัสดิจิทัล ร่วมกับส่วนแสดงผลแบบตัวเลข 7 ส่วน ซึ่งหน้าจอนี้ทำจากผลึกเหลว ความละเอียดของมัลติมิเตอร์ดิจิทัลแบบพกพามักมีความละเอียด 3-1/2 หลัก หมายความว่าตัวเลขหลักหน้าสุดสามารถแสดงตัวเลขได้ไม่เกินเลข 3 ดังแสดงในรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.2 ตัวอย่างของมัลติมิเตอร์แบบดิจิทัล

ข้อดีของมัลติมิเตอร์แบบนี้คือ ผู้ใช้สามารถอ่านค่าได้โดยตรง มีความแม่นยำสูง มีการแสดงหน่วยที่ชัดเจน ความต้านทานภายในสำหรับการวัดแรงดันไฟฟ้ามีค่าสูงกว่ามัลติมิเตอร์แบบแอนะล็อกมาก สามารถทนการวัดที่เกินย่านหรือสลับขั้วบวกขั้วลบได้ ทั้งยังมีการปรับย่านการวัดอัตโนมัติอีกด้วย

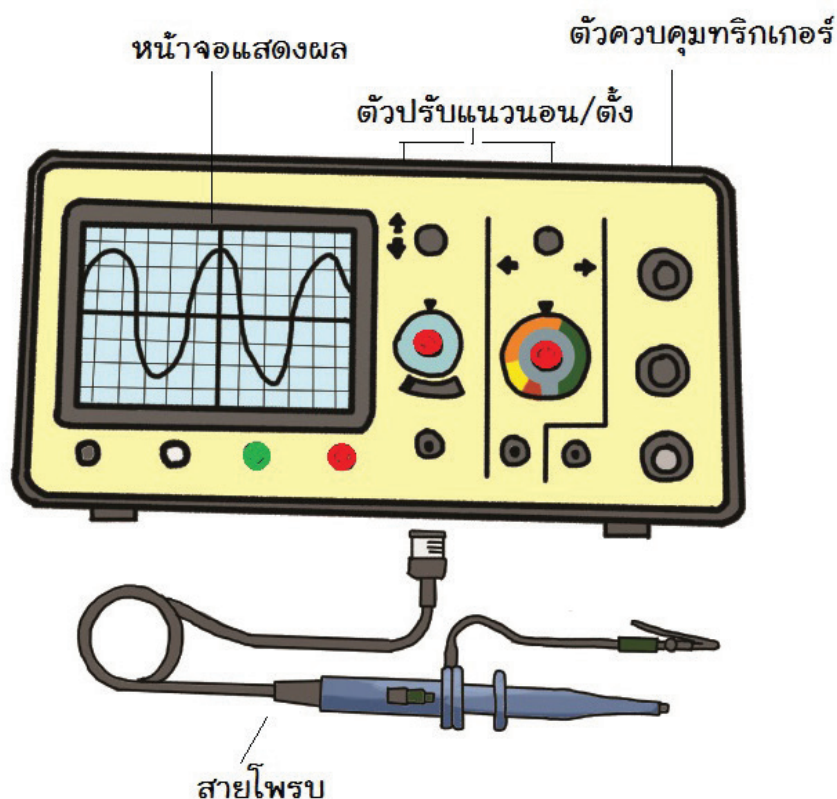
แต่มัลติมิเตอร์แบบดิจิทัลต้องใช้ไฟเลี้ยงจากแบตเตอรี่สำหรับการใช้งานในการวัดทุกชนิด หากแบตเตอรี่อ่อนจะไม่สามารถใช้งานได้ ในการวัดสัญญาณที่มีการเปลี่ยนแปลงไปมา ตัวเลขมักไม่นิ่งทำให้อ่านยาก นอกจากนี้มัลติมิเตอร์ยังไม่เหมาะสำหรับอ่านค่าสูงสุดต่ำสุด หรือการปรับระดับ



4.3 ออสซิลโลสโคป

ออสซิลโลสโคปหรือที่นิยมเรียกสั้น ๆ ว่า สโคป เป็นเครื่องมือวัดสำคัญสำหรับแสดงรูปคลื่นของสัญญาณไฟฟ้าที่มีการเปลี่ยนแปลงค่าตามเวลาให้ปรากฏบนจอภาพ ซึ่งปกติจะไม่สามารถเห็นรูปคลื่นของสัญญาณไฟฟ้าเหล่านั้นได้ด้วยมัลติมิเตอร์ จึงเป็นเครื่องมือที่สำคัญในการตรวจสอบเครื่องใช้ไฟฟ้าต่าง ๆ เช่น วิทยุ โทรทัศน์ เครื่องเสียง

1. หลักการทำงานเบื้องต้นของออสซิลโลสโคป

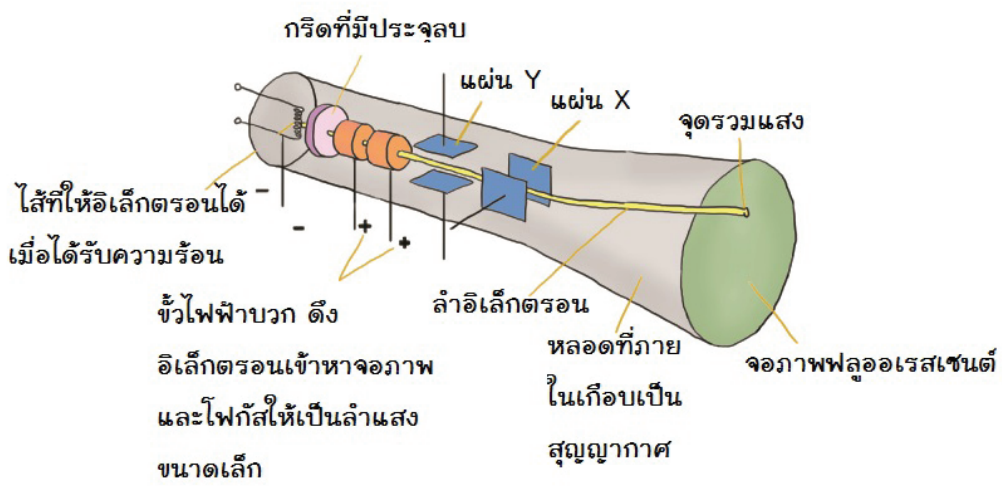


รูปที่ 4.3 ออสซิลโลสโคปพื้นฐาน

รูปที่ 4.3 แสดงส่วนประกอบภายนอกของสโคปโดยทั่วไป ซึ่งประกอบด้วยหน้าจอที่มีการติดตารางและทำเครื่องหมายเป็นขีดเอาไว้ที่เส้นสองที่ใช้ในการแบ่งหน้าจอบน-ล่าง และซ้าย-ขวา ส่วนใหญ่แล้วจะมีจำนวนช่องในแนวตั้ง 8 ช่อง ส่วนในแนวจะน้อยกว่า มี 10 ช่อง

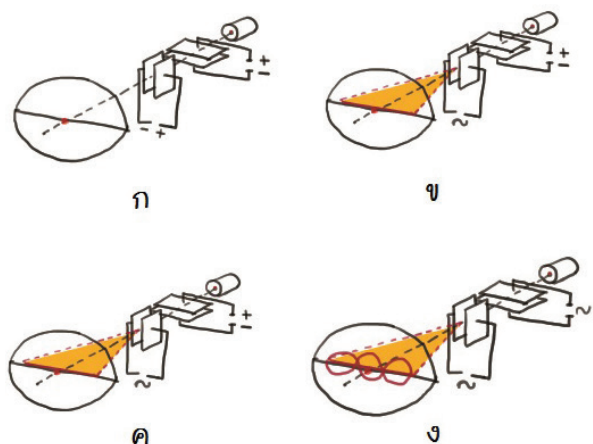


ในสโคป จะใช้หลอดรังสีแคโทดในการแสดงภาพ โดยรูปที่ 4.4 แสดงส่วนประกอบของหลอดรังสีแคโทด หลอดรังสีแคโทดอาศัยการอุ่นไส้หลอดที่สอดไว้ในปลอกโลหะเพื่อกำเนิดอิเล็กตรอน อิเล็กตรอนที่ผิวของแคโทดจะถูกผลักด้วยไฟแรงสูงให้พุ่งชนหน้าจอที่ฉาบสารเรืองแสง เกิดเป็นจุดสว่างบนหน้าจภาพเกิดจากการบังคับลำอิเล็กตรอน รูปที่ 4.5 แสดงตัวอย่างการวาดภาพของสโคปโดยการบังคับลำอิเล็กตรอนด้วยชุดแผ่นเบี่ยงเบนสองชุดแนวตั้งและแนวนอน



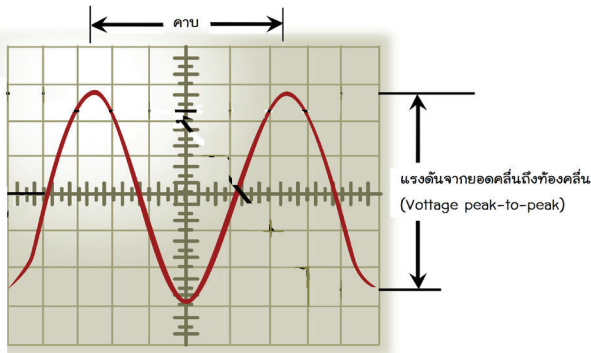
รูปที่ 4.4 หลอดรังสีแคโทด

รูป 4.5 (ก) และรูปที่ 4.5 (ข) แสดงภาพเมื่อชุดเบี่ยงเบนลำอิเล็กตรอนในแนวนอนได้รับแรงดันไฟตรงและไฟสลับตามลำดับ โดยไม่มีป้อนแรงดันให้กับชุดเบี่ยงเบนลำอิเล็กตรอนในแนวตั้งเลย โดยที่รูป 4.5 (ค) และ 4.5 (ง) คือ กรณีของรูป 4.5 (ข) ที่มีการป้อนแรงดันไฟตรงและไฟสลับให้กับชุดเบี่ยงเบนลำอิเล็กตรอนในแนวตั้งตามลำดับ

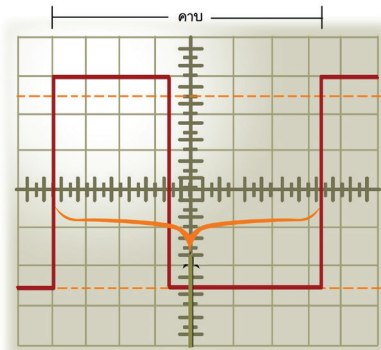


รูปที่ 4.5 ตัวอย่างการสร้างภาพบนจอสโคป





รูปที่ 4.6 ปริมาณต่างของแรงดันไฟฟ้ารูปคลื่นไซน์



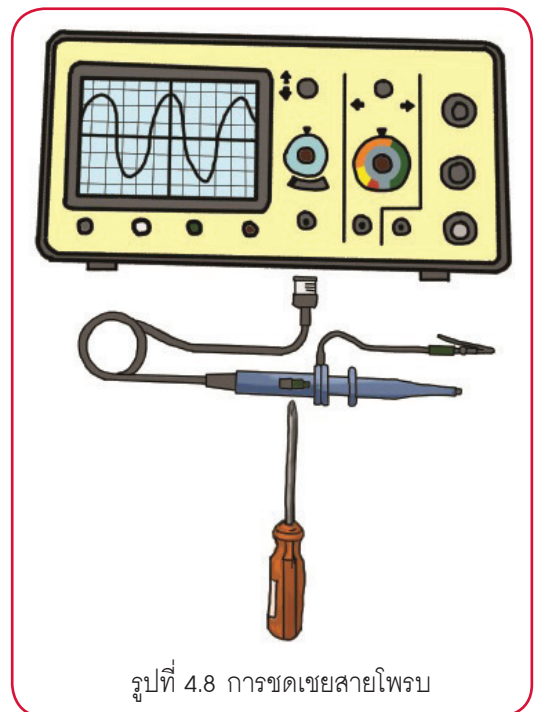
รูปที่ 4.7 การวัดคาบเวลาของรูปคลื่นสี่เหลี่ยม

2. การใช้งานออสซิลโลสโคปอย่างง่าย

การอ่านค่าจากหน้าจอและการปรับย่านการวัดของออสซิลโลสโคป เป็นการใช้งานเบื้องต้นที่มีความสำคัญอย่างมาก เราต้องสังเกตค่าตัวเลขบนลูกบิดที่อยู่ข้างหน้าจอ โดยส่วนใหญ่ สโคปในปัจจุบันมักแสดงสัญญาณได้พร้อมกัน 2 ช่องเป็นอย่างน้อย ดังนั้นเราจะมีปุ่มปรับสัญญาณในแนวตั้งอยู่สองชุด ได้แก่ช่องสัญญาณ 1 และช่องสัญญาณ 2 (ทั้งสองช่องนี้เป็นแกน y) ร่วมกับปุ่มการปรับการแสดงผลทางเวลาอีกหนึ่งชุด (แกน x)

รูปที่ 4.6 เป็นตัวอย่างการแสดงผลภาพสัญญาณแรงดันที่รูปร่างเป็นคลื่นไซน์ โดยแรงดันมีการเปลี่ยนแปลงขนาดตามเวลาที่เปลี่ยนแปลงไป ส่วนรูปที่ 4.7 เป็นตัวอย่างการหาช่วงเวลาที่แรงดันไฟฟ้ารูปคลื่นสี่เหลี่ยมกลับมาซ้ำตำแหน่งเดิม ซึ่งเราเรียกว่าเป็นการซ้ำคาบ

รูปที่ 4.8 แสดงถึงการปรับแต่งสัญญาณคลื่นสี่เหลี่ยม เมื่อใช้สายโพรบคุณสับให้ได้รูปคลื่นใกล้เคียงสี่เหลี่ยมที่สุดจากตัวกำเนิดสัญญาณภายในตัวสโคปเองก่อนนำสายโพรบไปวัดสัญญาณ

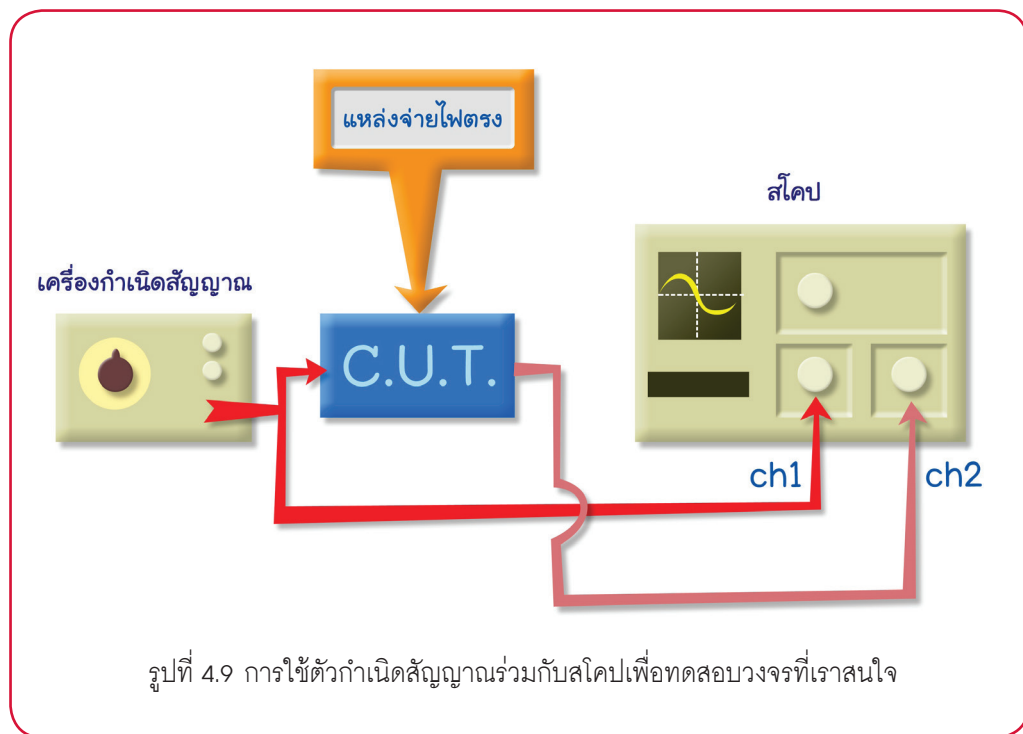


รูปที่ 4.8 การชดเชยสายโพรบ



3. การใช้งานออสซิลโลสโคปร่วมกับเครื่องกำเนิดสัญญาณ

ตัวกำเนิดสัญญาณสร้างสัญญาณที่ช้าคาบเวลาและมีรูปแบบสัญญาณง่าย ๆ 3 แบบ ได้แก่ รูปคลื่นไซน์ รูปสามเหลี่ยม และรูปสี่เหลี่ยม เราสามารถปรับขนาดแรงดันและความถี่ของสัญญาณได้ รูปคลื่นที่ช้าแบบนี้ เมื่อนำมาใช้กับสโคปที่ปรับได้อย่างถูกต้อง เราจะสามารถมองเห็นเหมือนสัญญาณนั้นหยุดนิ่งได้ รูปที่ 4.9 แสดงการใช้ตัวกำเนิดสัญญาณป้อนให้กับวงจรที่เราต้องการทดสอบ (circuit under test หรือ C.U.T.) และเปรียบสัญญาณก่อนและหลังผ่านวงจรด้วยสโคปสองช่อง



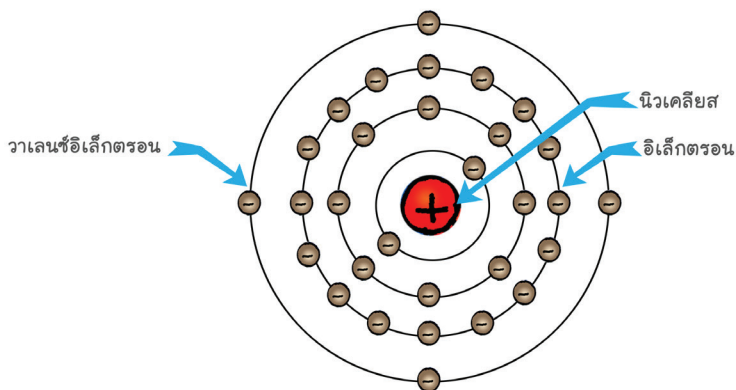
อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์และวงจรรวม

อ.เดชา วิไลรัตน์

มหาวิทยาลัยมหิดล

5.1 ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับสารกึ่งตัวนำ

ธาตุทุกชนิดประกอบด้วยอะตอม ภายในอะตอมของธาตุจะประกอบไปด้วย โปรตอน นิวตรอน และอิเล็กตรอน โปรตอนกับนิวตรอนจะอยู่ร่วมกันเป็นจุดศูนย์กลางของอะตอม เรียกว่า นิวเคลียส และมีอิเล็กตรอนวิ่งอยู่รอบนอก โดยที่อิเล็กตรอนที่อยู่ในวงโคจรใกล้กับนิวเคลียสจะมีระดับพลังงานต่ำ เนื่องจากนิวเคลียสสามารถดึงดูดอิเล็กตรอนเหล่านั้นอยู่ได้ ขณะที่อิเล็กตรอนที่อยู่ห่างออกไปจะมีระดับพลังงานสูง และพร้อมที่จะเคลื่อนที่ได้ง่ายอิสระถ้าได้รับพลังงานจากภายนอก อิเล็กตรอนในวงโคจรนอกสุดของอะตอม เรียกว่า “วาเลนซ์อิเล็กตรอน (valence electron)” ดังแสดงในรูปที่ 5.1



รูปที่ 5.1 แสดงโครงสร้างของอะตอม



ในทางไฟฟ้านั้นเราสามารถจัดประเภทของวัสดุตามลักษณะทางไฟฟ้า เป็นสามกลุ่มใหญ่ คือ

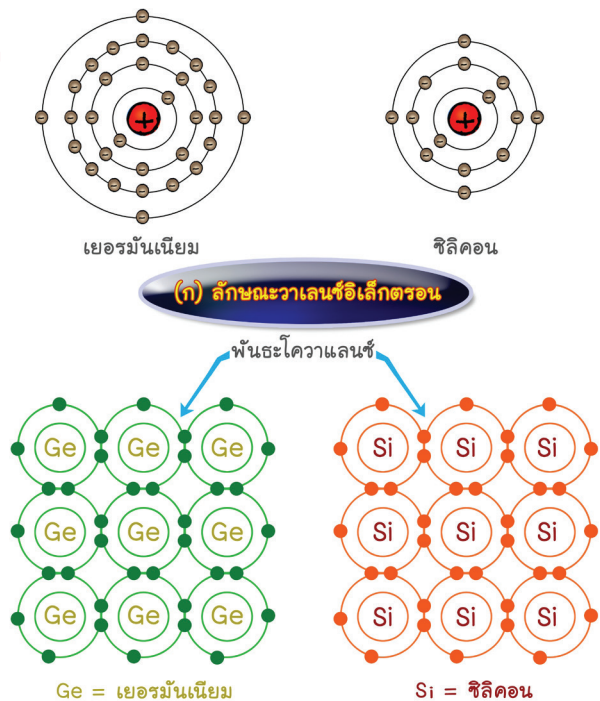
ฉนวน คือ วัสดุที่มีวาเลนซ์อิเล็กตรอนหลุดออกมาจากอะตอมเป็นอิเล็กตรอนอิสระได้ยาก ทำให้ไม่สามารถนำกระแสไฟฟ้าได้ วัสดุประเภทนี้ ได้แก่ พลาสติก กระเบื้องและแก้ว เป็นต้น

ตัวนำ คือ วัสดุที่มีวาเลนซ์อิเล็กตรอนมีความสามารถหลุดออกจากวงโคจรเป็นอิเล็กตรอนอิสระได้ง่าย จึงสามารถนำกระแสไฟฟ้าได้ดี เช่น เงิน ทองแดง เป็นต้น

สารกึ่งตัวนำ เป็นวัสดุที่มีสมบัติกึ่งกลางระหว่างสภาวะความเป็นตัวนำและฉนวน โดยเมื่อนำเอาไปทำเป็นฉนวน ก็จะเป็นฉนวนที่ไม่ดี หรือนำเอาไปทำเป็นตัวนำ ก็เป็นตัวนำที่ไม่ดีเช่นกัน วัสดุประเภทนี้ ได้แก่ ซิลิคอน (Silicon เขียนแทนด้วยสัญลักษณ์ Si) และเจอร์มาเนียม (Germanium เขียนแทนด้วยสัญลักษณ์ Ge) เป็นต้น ในยุคแรกนั้น สารกึ่งตัวนำแทบไม่มีประโยชน์ต่องานทางด้านไฟฟ้าเลย จนกระทั่งได้มีการพัฒนาผ่านกระบวนการได้ปสารกึ่งตัวนำเหล่านี้ ซึ่งจะกล่าวในหัวข้อต่อไป

5.2 การโด๊ปสารกึ่งตัวนำ

ธาตุที่เป็นสารกึ่งตัวนำจะมีวาเลนซ์อิเล็กตรอนจำนวน 4 ตัว เช่น ซิลิคอน และเยอรมันเนียมมีโครงสร้างอะตอม ดังแสดงในรูปที่ 5.2 (ก) เมื่ออะตอมของซิลิคอนและเจอร์มาเนียมอยู่รวมกันเป็นผลึกจะยึดกันด้วยพันธะแบบโควาเลนต์ (covalent bond) ซึ่งอะตอมจะมีเสถียรภาพถ้าจำนวนวาเลนซ์อิเล็กตรอนมีจำนวน 8 ตัว ดังนั้นอะตอมของซิลิคอนและเจอร์มาเนียมจึงจับกลุ่มกันดังแสดงในรูปที่ 5.2 (ข)



(ข) พันธะโควาเลนต์

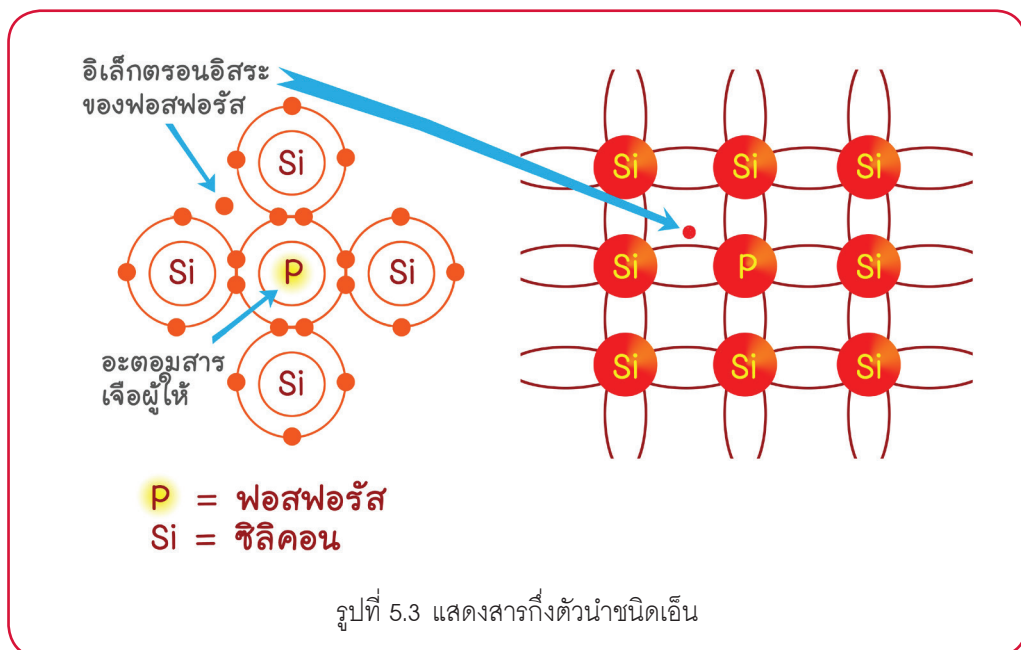
รูปที่ 5.2 อะตอมและพันธะเคมีของสารกึ่งตัวนำ



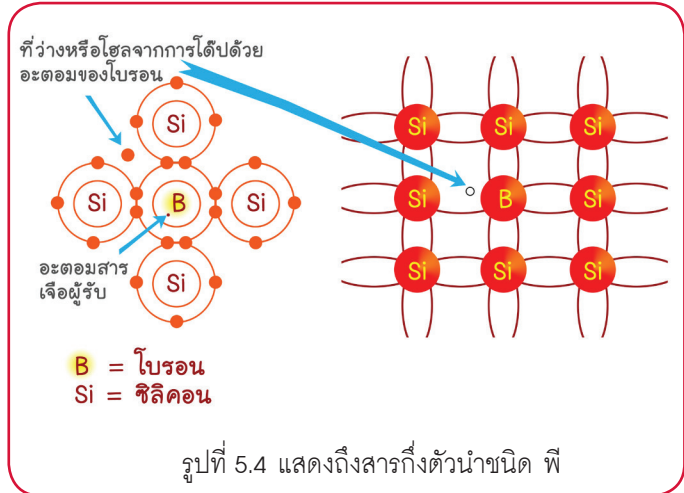
เราเรียกสารกึ่งตัวนำที่ไม่มีอะตอมของสารอื่นเจือปนเลยว่า สารกึ่งตัวนำบริสุทธิ์ (Intrinsic Semiconductor) ซึ่งจะนำไฟฟ้าได้ไม่ดี แต่เมื่อผ่านกระบวนการโด๊ป (Doping) โดยใส่อะตอมสารเจือ (Impurity) เข้าไป ทำให้เป็นสารกึ่งตัวนำไม่บริสุทธิ์ (Extrinsic Semiconductor) ซึ่งจะให้นำไฟฟ้าได้ดี และนำไปประยุกต์ใช้งานในทางไฟฟ้าได้มากขึ้น โดยการทำสารกึ่งตัวนำด้วยการโด๊ปอะตอมสารเจือ ดังกล่าวทำให้ได้สารกึ่งตัวนำสองชนิดคือ

- สารกึ่งตัวนำชนิดเอ็น (N-Type Semiconductor) และ
- สารกึ่งตัวนำชนิดพี (P-Type Semiconductor)

การสร้างสารกึ่งตัวนำชนิดเอ็น ทำได้โดยการเติมอะตอมสารเจือที่มีวาเลนซ์อิเล็กตรอน 5 ตัว ลงไป เช่น ฟอสฟอรัส (Phosphorus เขียนแทนด้วยสัญลักษณ์ P) หรือสารหนู (Arsenic เขียนแทนด้วยสัญลักษณ์ As) ซึ่งเป็นหมู่ 5 ทำให้อะตอมของสารเจือตัวหนึ่งไปยึดเกาะกับอะตอมของสารกึ่งตัวนำข้างเคียงด้วยพันธะโควาเลนต์ เนื่องจากวาเลนซ์อิเล็กตรอนของซิลิคอนมีจำนวน 4 ตัว ดังนั้นเมื่อรวมกับจำนวนวาเลนซ์อิเล็กตรอนของสารเจือแล้วจึงทำให้เกิดอิเล็กตรอนอิสระเพิ่มขึ้นมา 1 ตัว ที่ไม่สามารถเข้ามาจับพันธะโควาเลนต์กับอะตอมของซิลิคอนได้ สารเจือที่นำมาโด๊ปกับสารกึ่งตัวนำบริสุทธิ์นี้จึงเรียกว่าสารเจือผู้ให้ (Donor) อิเล็กตรอนอิสระเหล่านี้พร้อมที่จะนำกระแสไฟฟ้าเมื่อได้รับการป้อนพลังงานไฟฟ้าจากภายนอก เราเรียกสารกึ่งตัวนำที่ผ่านการเติมสารเจือและมีอิเล็กตรอนอิสระพร้อมนำไฟฟ้าว่า สารกึ่งตัวนำชนิดเอ็น (N-type Semiconductor) แสดงดังรูปที่ 5.3

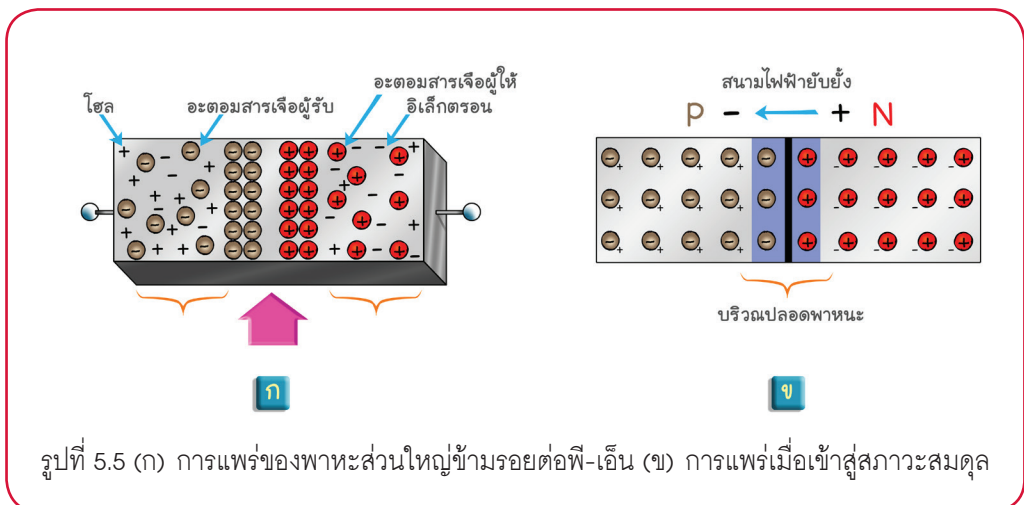


ส่วนสารกึ่งตัวนำชนิดพีนั้น สามารถสร้างได้โดยการเติมอะตอมสารเจือที่มีวาเลนซ์อิเล็กตรอน 3 ตัวลงไป เช่น โบรอน (B : Boron) ซึ่งเป็นธาตุหมู่ 3 ทำให้พันธะโควาเลนต์ที่ยึดอะตอมของผลึกสารกึ่งตัวนำขาดอิเล็กตรอนไป 1 ตัว ต่อ 1 อะตอมของสารเจือ ทำให้เกิดช่องว่างเรียกว่า โฮล (Hole) โฮล ประจุไฟฟ้าเป็นบวกตรงกันข้ามกับประจุไฟฟ้าของอิเล็กตรอน เมื่อมีอิเล็กตรอนจากอะตอมข้างเคียงเข้ามาแทนที่ในช่องว่างดังกล่าว ก็ จะเปรียบเสมือนกับโฮลเคลื่อนที่ไปได้ การใส่อะตอมสารเจือของธาตุหมู่ที่ 3 นี้จะทำให้เกิด โฮล 1 ตัว เราจึงเรียกสารเจือประเภทนี้ว่าสารเจือผู้รับ (Acceptor) และเรียกสารสารกึ่งตัวนำดังกล่าวว่า สารกึ่งตัวนำชนิด พี (P-type Semiconductor) ดังแสดงในรูปที่ 5.4



5.3 รอยต่อ พี-เอ็น (PN Junction)

เมื่อเรานำสารกึ่งตัวนำชนิดพีและชนิดเอ็นมาต่อประกบกันดังแสดงในรูปที่ 5.5 (ก) จะเกิดปรากฏการณ์แลกเปลี่ยนพาหะส่วนใหญ่ซึ่งกันและกัน โดยอิเล็กตรอนซึ่งเป็นพาหะส่วนใหญ่ในฝั่งเอ็นจะเคลื่อนที่ไปยังฝั่งพี ขณะเดียวกันโฮลซึ่งจะเป็นพาหะส่วนใหญ่ในฝั่งพีก็จะเคลื่อนที่ไปยังฝั่งเอ็น

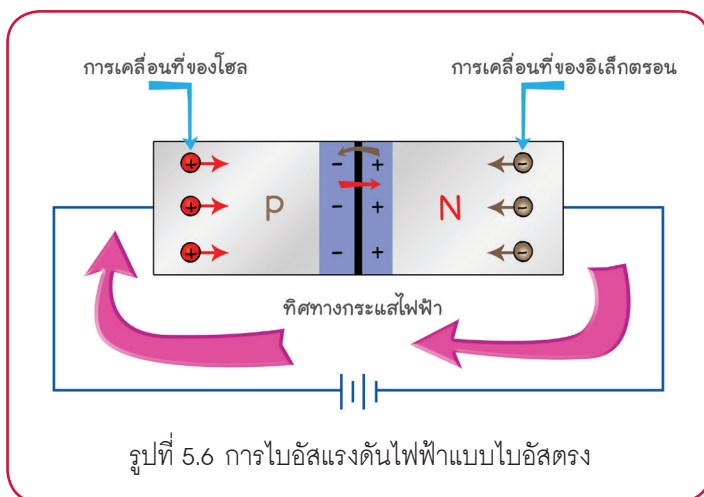


เมื่ออะตอมสารเจือผู้รับในสารกึ่งตัวนำชนิดพีเมื่อสูญเสียโฮลที่เคลื่อนที่ไปยังฝั่งเอ็น ก็จะเปลี่ยนเป็นไอออนลบ ขณะที่อะตอมสารเจือผู้ให้ในสารกึ่งตัวนำชนิดเอ็นที่สูญเสียอิเล็กตรอนที่เคลื่อนที่ไปยังฝั่งพีก็จะเปลี่ยนเป็นไอออนบวก การแพร่ของพาหะทั้งสองฝั่งจะหยุดเมื่อไอออนลบและไอออนบวกที่เกิดขึ้นดังกล่าวได้สร้างสนามไฟฟ้ายับยั้ง (potential barrier) ทำให้พาหะทั้งสองไม่สามารถแพร่ข้ามรอยต่อต่อไปได้อีก และเข้าสู่สภาวะสมดุล (equilibrium state) ดังแสดงในรูปที่ 5.5 (ข) โดยบริเวณตรงกลางของรอยต่อพี-เอ็น จะมีสนามไฟฟ้ายับยั้ง ซึ่งมีความมากพอที่จะหยุดการแพร่ของอิเล็กตรอนและโฮล และบริเวณดังกล่าวไม่มีประจุอิสระอยู่ เราเรียกบริเวณนี้ว่าบริเวณปลอดพาหะ (depletion region)

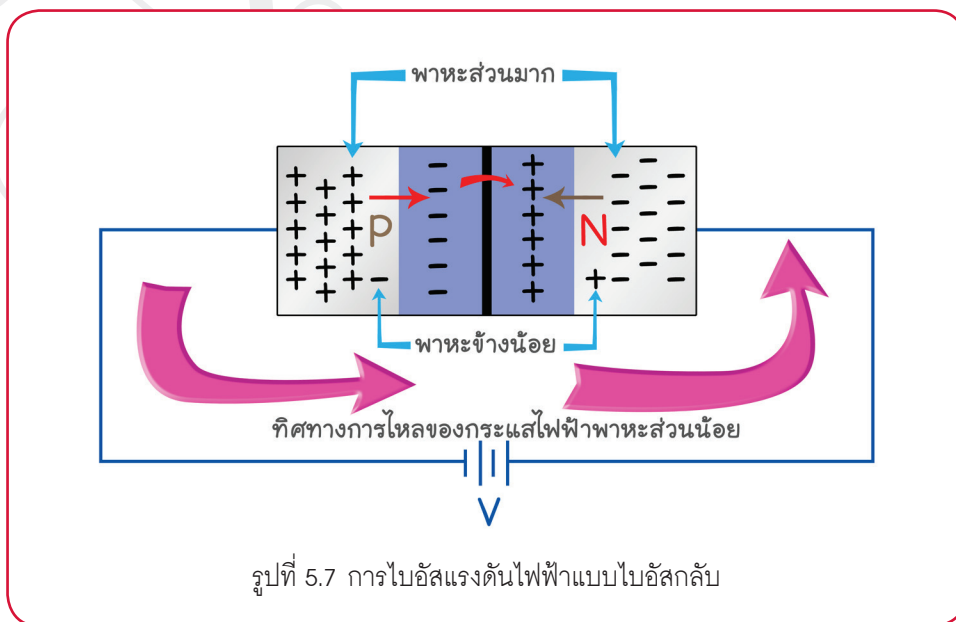
5.4 รอยต่อสารกึ่งตัวนำพี-เอ็น ภายใต้การป้อนแรงดันไฟฟ้า

เมื่อป้อนแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงหรือเรียกว่าการไบอัส (bias) แก่รอยต่อพี-เอ็น ที่สภาวะสมดุล แรงดันไฟฟ้านั้นจะทำให้ทั้งอิเล็กตรอนและโฮลมีการเคลื่อนที่ ก่อให้เกิดกระแสไฟฟ้าไหลผ่านสารกึ่งตัวนำทั้งชนิดพีและเอ็นโดยที่อิเล็กตรอนเคลื่อนที่ตรงข้ามกับทิศทางของสนามไฟฟ้า ขณะที่โฮลเคลื่อนที่ในทิศเดียวกับสนามไฟฟ้า ดังนั้นกระแสที่ไหลในสารกึ่งตัวนำจะมีทั้งกระแสที่เกิดจากการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนและกระแสที่เกิดจากการเคลื่อนที่ของโฮล การไบอัสมีสองแบบ คือ

1. การไบอัสตรง (forward bias) การป้อนแรงดันไฟฟ้าในลักษณะนี้แสดงในรูปที่ 5.6 โดยสารกึ่งตัวนำชนิดพีต่อกับขั้วบวกของแบตเตอรี่ขณะที่ขั้วลบต่อกับสารกึ่งตัวนำชนิดเอ็น การไบอัสตรงดังกล่าวจะมีผลทำให้บริเวณปลอดพาหะแคบลง เพราะแรงดันไฟฟ้าจากแบตเตอรี่จะไปหักล้างกับแรงดันไฟฟ้ายับยั้งที่เกิดขึ้นขณะสภาวะสมดุล ทำให้ทั้งอิเล็กตรอนและโฮลสามารถเคลื่อนที่ข้ามฝั่งไปมาได้สะดวกขึ้น ก่อให้เกิดกระแสไหลผ่านรอยต่อสารกึ่งตัวนำ อันเนื่องมาจากพาหะส่วนมากของทั้งสองฝั่งเคลื่อนที่



2. การไบอัสกลับ (reversed bias) การป้อนแรงดันไฟฟ้าในลักษณะนี้ดังรูปที่ 5.7 ซึ่งมีขั้วแรงดันไฟฟ้าตรงกันข้ามกับการไบอัสแบบตรง กล่าวคือ แรงดันไฟฟ้าขั้วบวกต่อกับสารกึ่งตัวนำชนิดพี ขณะที่แรงดันไฟฟ้าขั้วลบต่อเข้ากับสารกึ่งตัวนำชนิดเอ็น

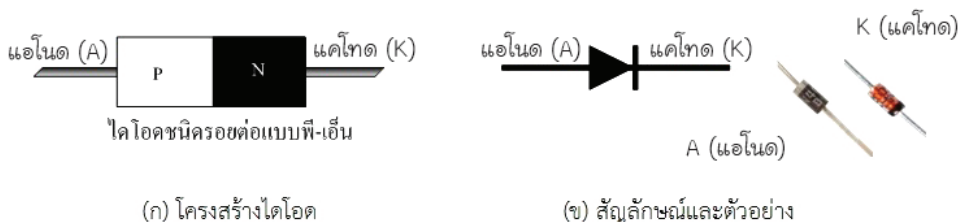


การป้อนไฟฟ้าแบบไบอัสกลับนี้มีผลทำให้บริเวณปลอดพาหะกว้างมากขึ้น เนื่องจากทิศทางของแรงดันไฟฟ้าจากแบตเตอรี่เสริมกับแรงดันไฟฟ้าที่เกิดระหว่างรอยต่อ ทำให้พาหะส่วนใหญ่อันได้แก่อิเล็กตรอนในฝั่งเอ็นและโฮลในฝั่งพีเคลื่อนที่ข้ามฝั่งไปมาได้ยากขึ้น ดังนั้นกระแสไฟฟ้าที่เกิดจากการไบอัสกลับนี้ จึงเป็นกระแสไฟฟ้าที่ได้จากการเคลื่อนที่ของพาหะส่วนน้อย อันได้แก่อิเล็กตรอนในฝั่งเอ็นและโฮลในฝั่งพี ทำให้มีค่ากระแสไหลน้อยมากจนแทบเป็นศูนย์ ดังนั้น เมื่อป้อนแรงดันไฟฟ้าแบบไบอัสกลับแก่สารกึ่งตัวนำแบบรอยต่อพี-เอ็น มันจะทำตัวเหมือนฉนวน และถ้าเราเพิ่มค่าแรงดันไฟฟ้าที่ไบอัสกลับมากจนเกินถึงค่า ๆ หนึ่ง จะทำให้รอยต่อพี-เอ็น พังทลาย (Breakdown) และเกิดการไหลของกระแสแบบฉับพลัน



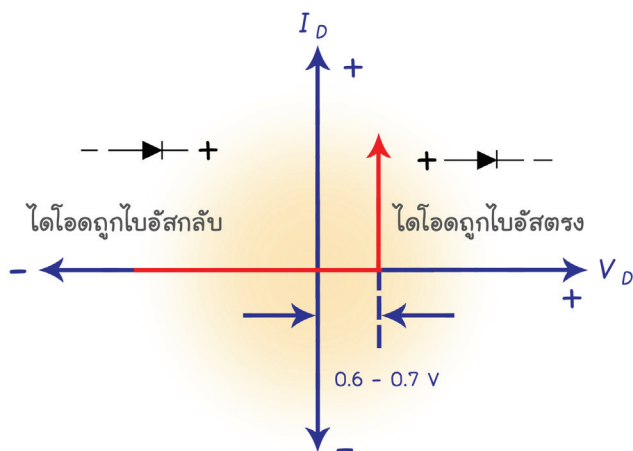
5.5 ไดโอด (Diode)

ไดโอดเป็นอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์พื้นฐานที่สร้างมาจากสารกึ่งตัวนำสองชนิด คือ สารกึ่งตัวนำชนิดพี และสารกึ่งตัวนำชนิดเอ็น โดยนำมาประกบกันดังแสดงในรูปที่ 5.8



รูปที่ 5.8 โครงสร้างและสัญลักษณ์และตัวอย่างของไดโอดโดยส่วนปลายที่อยู่ใกล้แถบสีขาวจะเป็นขาคาโอด

จากรูปจะเห็นว่าไดโอดจะประกอบด้วยสองขา คือ ขาแอนโนด (Anode) และแคโทด (Cathode) ในทางอุดมคติ ไดโอดจะมีสมบัติเหมือนกับสวิตช์ที่ปิดและที่เปิดวงจร เมื่อทำการไบอัสตรงและไบอัสกลับตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 5.1 โดยกราฟในรูปที่ 5.9 แสดงสมบัติระหว่างกระแสไฟฟ้า (I_D) และแรงดันไฟฟ้า (V_D) ของไดโอดจะเป็นดังแสดง ซึ่งพบว่าในทางปฏิบัติมีค่าแรงดันไฟฟ้าตกคร่อมไดโอดขณะไบอัสตรงประมาณ 0.6 ถึง 0.7 โวลต์ (สำหรับไดโอดที่ทำมาจากซิลิคอน) และเมื่อทำการไบอัสตรง กระแสไฟฟ้าสามารถไหลผ่านไดโอดได้ดังแสดงในรูปที่ 5.10 (ก)



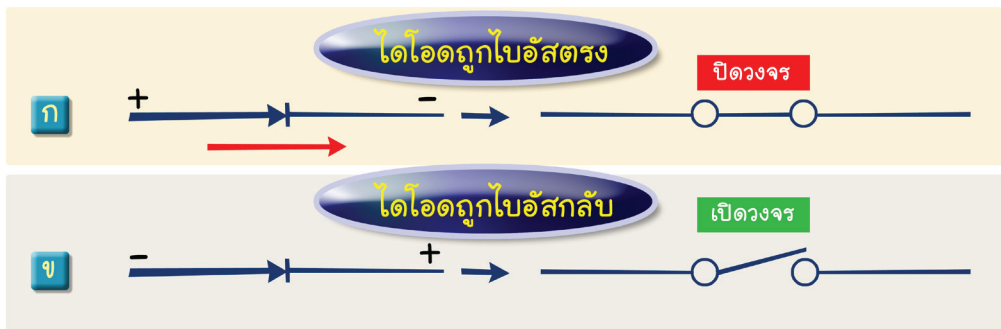
รูปที่ 5.9 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสแรงดันไฟฟ้าของไดโอดในทางปฏิบัติ



ตารางที่ 5.1 แสดงคุณสมบัติของไดโอดเมื่อไบอัสตรงและไบอัสกลับ

ไบอัสตรง	ไบอัสกลับ
1. ไดโอดอยู่ในสภาวะนำกระแส 2. ไดโอดมีค่าความต้านทานต่ำ 3. ไดโอดมีสภาพเหมือนสวิตช์ที่ปิดวงจร	1. ไดโอดอยู่ในสภาวะไม่นำกระแส 2. ไดโอดมีค่าความต้านทานสูงมาก 3. ไดโอดมีสภาพเหมือนสวิตช์ที่เปิดวงจร

สมบัติของไดโอดในอุดมคติ



รูปที่ 5.10 แสดงการทำงานเป็นสวิตช์ของไดโอดในกรณีอุดมคติ

การตรวจสอบไดโอด

เราสามารถใช้มัลติมิเตอร์ตรวจสอบไดโอดได้ว่าดีหรือเสีย โดยตั้งการวัดของมัลติมิเตอร์ให้เป็นโอห์มมิเตอร์ที่ขั้วย่านการวัด $\times 10$ $\times 100$ หรือ $\times 1K$ ก็ได้ จากนั้นนำสายมิเตอร์ขั้วลบมาต่อกับขั้วแคโทด และขั้วบวกมาต่อที่ขั้วแอโนด ถ้าไดโอดใช้ได้หรือไม่เสีย ค่ามัลติมิเตอร์จะแสดงค่าความต้านทานออกมาค่าหนึ่ง การวัดแบบนี้เหมือนกับเป็นการไบอัสตรงแก่ไดโอด เพราะว่าเมื่อเลือกการวัดของมัลติมิเตอร์เป็นโอห์มมิเตอร์ ที่จุดวัดหรือปลายสายของขั้วมิเตอร์จะมีแรงดันไฟฟ้าจากแบตเตอรี่ภายในออกมา โดยสายลบจะมีแรงดันขั้วบวกและสายบวกจะมีแรงดันขั้วลบ แต่มีมิเตอร์บางรุ่นที่สายลบจะมีแรงดันขั้วลบและสายบวกจะมีแรงดันขั้วบวก ดังนั้นก่อนการวัดควรตรวจสอบให้แน่ใจเสียก่อน

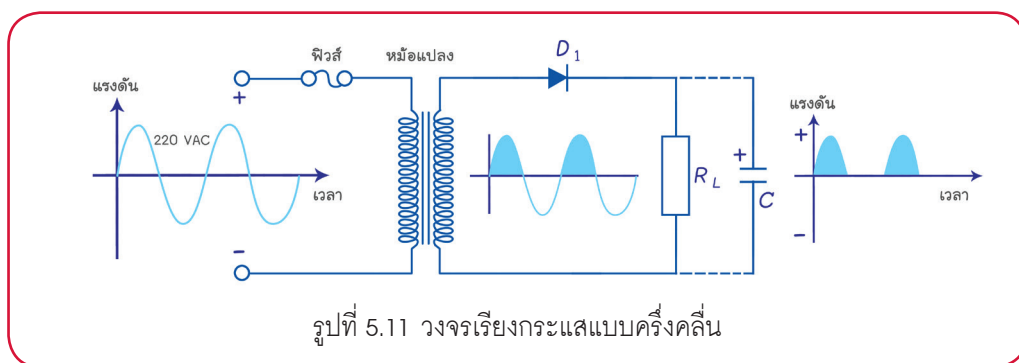


5.6 การประยุกต์ใช้งานไดโอด

ไดโอดเป็นอุปกรณ์ที่มีบทบาทสำคัญในงานทางอิเล็กทรอนิกส์เบื้องต้น เพราะวงจรอิเล็กทรอนิกส์ทุกวงจรต้องมีไฟเลี้ยงซึ่งเป็นไฟฟ้ากระแสตรงเพื่อใช้เลี้ยงอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ต่าง ๆ ในวงจร การที่ไดโอดยอมให้กระแสผ่านทางเดียวเมื่อทำการไบอัสตรง ทำให้มันเป็นอุปกรณ์เหมาะสมที่จะแปลงไฟฟ้ากระแสสลับให้เป็นไฟฟ้ากระแสตรง วงจรที่ทำหน้าที่แปลงสัญญาณไฟฟ้าดังกล่าวนี้เรียกว่า วงจรเรียงกระแส (Rectifier) ซึ่งการนำไดโอดไปใช้ทำเป็นวงจรเรียงกระแสมีพบและใช้กันอยู่สองแบบ คือ

1. วงจรเรียงกระแสแบบครึ่งคลื่น (half-wave rectifier)

เนื่องจากไฟฟ้าที่จ่ายในบ้านเรือนมีแรงดัน 220 โวลต์ ความถี่ 50 เฮิรตซ์ จึงต้องต่อหม้อแปลงเพื่อลดระดับของสัญญาณไฟฟ้ากระแสสลับลงมาก่อนนำไปเข้าวงจรเรียงกระแส โดยวงจรเรียงกระแสแบบครึ่งคลื่น ประกอบไปด้วยไดโอดต่ออนุกรมกับตัวต้านทานดังแสดงในรูปที่ 5.11

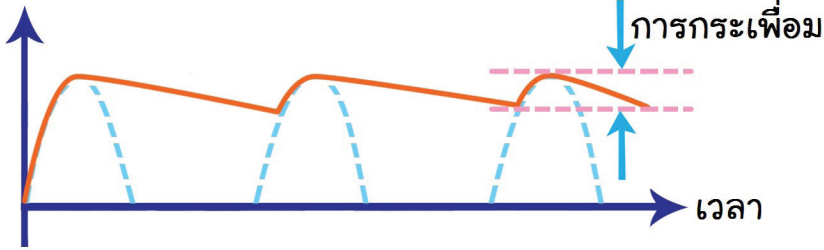


เมื่อไฟฟ้ากระแสสลับถูกป้อนเข้ามาที่ขดลวดปฐมภูมิ (primary) ของหม้อแปลงจะถูกเหนี่ยวนำให้มีขนาดแรงดันลดลงที่ขดลวดทุติยภูมิ (secondary) ในช่วงครึ่งคลื่นแรก (บริเวณแรงาครึ่งคลื่นด้านบวก) จะทำให้แรงดันไฟฟ้าของขาแอโนดเป็นบวกเมื่อเทียบกับขาคาทอด เป็นการไบอัสตรงและนำกระแส ส่งค่าแรงดันเอาต์พุตไปยังตัวต้านทาน R_L ได้ ขณะที่ในครึ่งคลื่นถัดมาแรงดันไฟฟ้าของขาแคโทดจะเป็นบวกเมื่อเทียบกับขาแอโนด เป็นการไบอัสกลับ ทำให้ไดโอดไม่นำกระแส เปรียบเสมือนสวิตช์ที่เปิดวงจร จึงไม่มีแรงดันไฟฟ้าส่งผ่านไปหาเอาต์พุต

สัญญาณของแรงดันไฟฟ้าที่ได้จากรูปที่ 5.11 นั้นยังไม่เป็นไฟฟ้ากระแสตรงที่ดี เพื่อที่จะทำให้แรงดันไฟฟ้าที่ได้มีลักษณะเรียบและคงที่เราต้องใส่ตัวเก็บประจุเพิ่ม เราเรียกตัวเก็บประจุตัวนี้ว่าตัวซี-ฟิลเตอร์ (capacitor filter) โดยตัวเก็บประจุดังกล่าวจะต่อขนานกับตัวต้านทาน R_L ดังแสดงในรูปที่ 5.11 ตามเส้นประ ทำให้ได้แรงดันไฟฟ้าที่เรียบขึ้น แต่ก็ยังคงมีสัญญาณที่กระเพื่อม (ripple) อยู่บ้างแสดงในรูปที่ 5.12 ซึ่งถ้าเราต้องการทำให้แรงดันมีลักษณะเรียบและคงที่มากขึ้นเราต้องใส่ตัวเก็บประจุที่ใหญ่ขึ้น



แรงดัน (V)



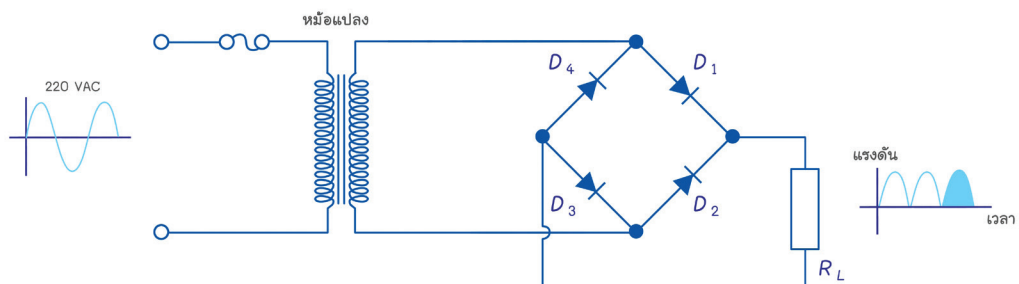
รูปที่ 5.12 แรงดันไฟฟ้าที่มีแรงดันไฟกระเพื่อม

2. วงจรเรียงกระแสแบบเต็มคลื่น (full-wave rectifier)

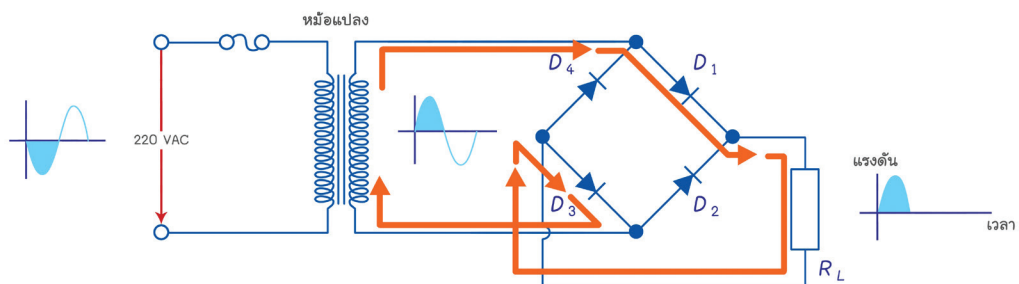
ถึงแม้ว่าวงจรเรียงกระแสแบบครึ่งคลื่น จะเข้าใจง่ายและมีอุปกรณ์ในวงจรน้อย แต่แรงดันไฟฟ้าตรงที่ได้ก็ยังไม่สมบูรณ์เสียทีเดียว เพราะสัญญาณมีการกระเพื่อมอยู่มาก ดังนั้นจึงได้มีวงจรเรียงกระแสอีกแบบที่สามารถจัดเรียงแรงดันไฟสลับให้ได้เป็นแรงดันไฟตรงได้เต็มรูปคลื่น เราเรียกว่าวงจรเรียงกระแสแบบเต็มคลื่น ซึ่งในที่นี้เราจะอธิบาย เรียงกระแสเต็มคลื่นแบบบริดจ์ อันเป็นวงจรที่พบบ่อยในอะแดปเตอร์ที่ใช้ชาร์จไฟตรงให้กับโทรศัพท์มือถือ

วงจรเรียงกระแสแบบเต็มคลื่นแบบบริดจ์ แสดงดังรูป ที่ 5.13 (ก) ซึ่งประกอบด้วยไดโอด 4 ตัว สลับกันทำงานในช่วงนำกระแสเป็นคู่ ๆ กล่าวคือ ในขณะที่ไดโอด D1 และ D3 นำกระแสดังแสดงในรูป (ข) ไดโอด D2 และ D4 ไม่นำกระแส ทำให้แรงดันไฟฟ้าจากขั้วลวดทุติยภูมิของหม้อแปลงส่งค่าแรงดันไฟฟ้าไปยังโหลด R_L มีทิศทางดังรูป ขณะที่ในครึ่งลูกคลื่นถัดมาไดโอด D2 และ D4 นำกระแส และไดโอด D1 และ D3 ไม่นำกระแสดังแสดงในรูป (ค) ก็ยังจะได้แรงดันไฟฟ้าที่โหลด R_L ที่ต่อที่เอาต์พุตมีลักษณะเดียวกับรูป (ข) ทำให้ได้แรงดันไฟฟ้าที่เอาต์พุตเต็มลูกคลื่นทั้งซีกด้านบนบวกและซีกด้านล่างลบ ซึ่งค่าเฉลี่ยของแรงดันเอาต์พุตที่ได้ในทางปฏิบัตินั้นจะต้องหักลบค่าแรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อมไดโอดขณะนำกระแสจำนวนสองตัว หรือประมาณ $2 \times 0.7 = 1.4$ โวลต์ เมื่อนำค่าแรงดันไฟฟ้าที่ได้ไปผ่านตัวเก็บประจุที่ทำหน้าที่กรองแรงดันจะทำให้ได้กราฟของสัญญาณแรงดันไฟฟ้ามีลักษณะเรียบมากขึ้นดังแสดงในรูปที่ 5.13 (ง)

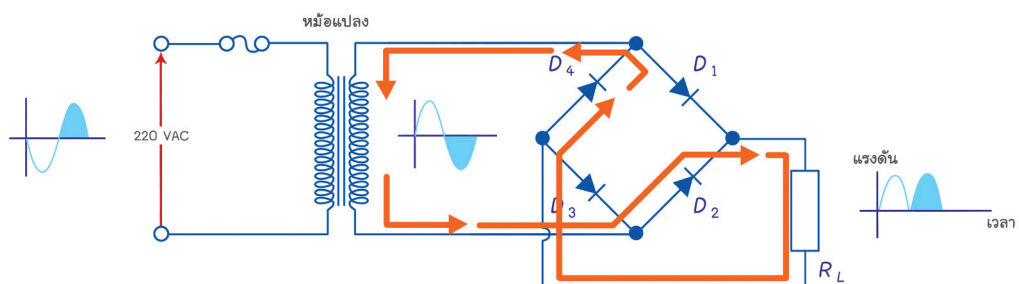




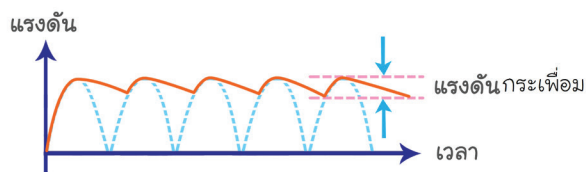
ก



ข



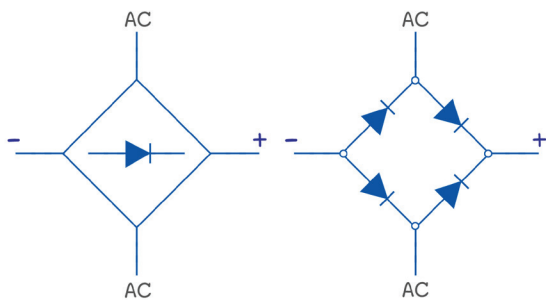
ค



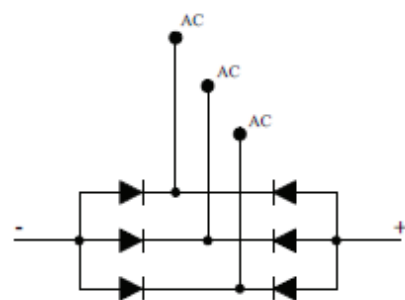
ง

ในรูปที่ 5.13 วงจรเรียงกระแสแบบเต็มคลื่นแบบบริดจ์





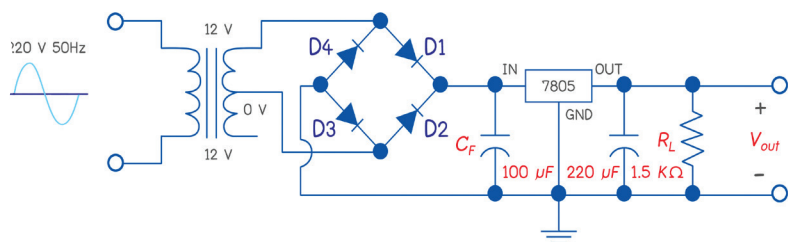
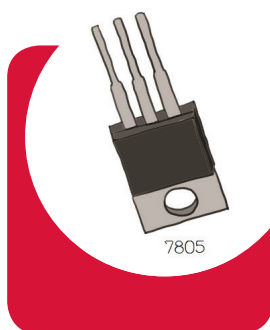
(ก) สัญลักษณ์ไดโอดแบบบริดจ์



(ข) วงจรไดโอดแบบบริดจ์ในท้องตลาด

รูปที่ 5.14 สัญลักษณ์ของไดโอดที่ต่อแบบบริดจ์ในวงจรเรียงกระแส

นอกจากนี้เราสามารถสร้างวงจรเรียงกระแสแบบเต็มคลื่นแบบบริดจ์ให้มีสัญญาณเอาต์พุตที่ค่อนข้างเรียบ ใส่วงจรรวมหรือไอซีที่เรียกว่า ไอซีเรียงกระแส (regulator IC) ดังแสดงในรูปที่ 5.15 โดยไอซีดังกล่าวจะมีอยู่สองแบบคือ แบบให้ค่าไฟบวกและแบบให้ค่าไฟลบ แบบที่ให้ค่าเป็นไฟบวกจะระบุเบอร์ไอซีในลักษณะ 78XX โดยที่ XX หมายถึงค่าไฟบวกที่ ไอซีจ่ายให้ ตัวอย่างเช่น ไอซีเบอร์ 7805 จะให้ค่าไฟบวกขนาด 5 โวลต์ หรือไอซีเบอร์ 7809 จะให้ค่าไฟบวกขนาด 9 โวลต์ ส่วนแบบที่ให้ไฟลบจะระบุเบอร์ไอซีในลักษณะ 79XX ตัวอย่างเช่น ไอซีเบอร์ 7905 จะให้ค่าไฟลบขนาด 5 โวลต์หรือไอซีเบอร์ 7912 จะให้ค่าไฟลบขนาด 12 โวลต์ ทั้งนี้จะต้องใส่ค่าแรงดันไฟฟ้าที่ขาอินพุตของไอซีเรกูเลเตอร์ให้มีค่าสูงกว่าค่าแรงดันเอาต์พุตอย่างน้อย 2 โวลต์ (เช่นต้องการไฟบวก 5 โวลต์จะต้องใส่แรงดันไฟฟ้าเข้าที่ขาอินพุตของเบอร์ 7805 อย่างน้อยมีค่า 7 โวลต์) แต่ต้องไม่เกินค่าที่กำหนดไว้ตามรายละเอียดสมบัติเฉพาะ (specification) ของไอซีแต่ละเบอร์ด้วย



รูปที่ 5.15 ตัวอย่างการต่อไอซีเรกูเลเตอร์กับวงจรบริดจ์

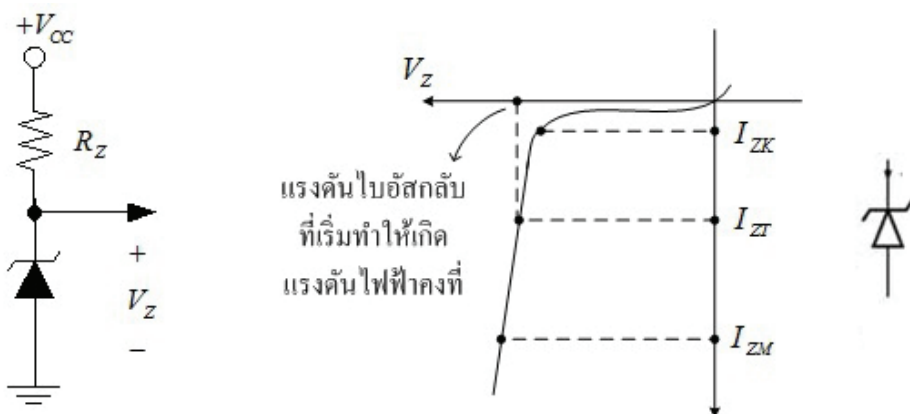


นอกจากไดโอดที่ทำงานแบบเรียงกระแสแล้วยังมีไดโอดอีกหลายชนิดที่ทำงานเฉพาะด้าน ในที่นี้จะยกตัวอย่างไดโอดที่พบบ่อย ๆ ในวงจรอิเล็กทรอนิกส์

1. ซีเนอร์ไดโอด (Zener Diode)

เป็นไดโอดที่สามารถทำงานได้ในช่วงการป้อนไบอัสกลับแล้วจะให้ค่าแรงดันไฟฟ้าคงที่ไว้ แต่ถ้าไบอัสตรง ซีเนอร์ไดโอดก็จะกลายเป็นไดโอดธรรมดาตัวหนึ่ง

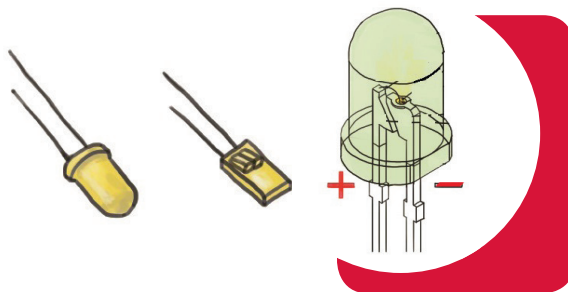
ซีเนอร์ไดโอดมีสัญลักษณ์และวงจรใช้งานเบื้องต้นดังรูปที่ 5.16 เรามักใช้ซีเนอร์ไดโอดเป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการควบคุมแรงดันหรือรักษาระดับของแรงดันไฟฟ้าไฟคงที่ โดยปกติเมื่อใช้งานจะต้องต่อตัวต้านทานเพื่อจำกัดค่าของกระแสที่ไหลผ่านเพราะซีเนอร์ไดโอดทนกระแสไม่มาก



รูปที่ 5.16 วงจรใช้งานพื้นฐานของซีเนอร์ไดโอดและสัญลักษณ์

2. ไดโอดเปล่งแสงหรือ แอลอีดี (Light – Emitting Diode หรือ LED)

เป็นไดโอดที่สามารถเปล่งแสงสว่างออกมาเมื่อได้รับการไบอัสตรง โครงสร้างและย่านความถี่แสง แสดงดังรูปที่ 5.17 เมื่อเราทำการป้อนไฟตรงให้แก่แอลอีดี จะทำให้อิเล็กตรอนที่สารกึ่งตัวนำชนิดเอ็น มีพลังงานสูงขึ้นจนสามารถวิ่งข้ามรอยต่อไปรวมกับโฮลในสารกึ่งตัวนำชนิดพีได้ และจะคายพลังงานในรูปของ “โฟตอน” ซึ่งเป็นอนุภาคของแสงออกมา



รูปที่ 5.17 แสดงโครงสร้างของแอลอีดี
(ขาทียาวกว่าเป็นขาแอนโนด)



ตารางที่ 5.2 แสดงความยาวคลื่นตามสีต่าง ๆ กับวัสดุที่ใช้ทำหลอดแอลอีดี

	ความยาวคลื่น (นาโนเมตร)	เฉดสี	แรงดันไฟฟ้า	วัสดุที่ใช้ทำ LED
	880	อินฟราเรด	1.7	GaAlAs/GaAs - Gallium Aluminum Arsenide/Gallium Arsenide
	635	สีแดงเข้ม	2.0	GaAsP/GaP - Gallium Arsenic Phosphide / Gallium Phosphide
	633	สีแดง	2.2	InGaAlP - Indium Gallium Aluminum Phosphide
	612	สีส้ม	2.2	InGaAlP - Indium Gallium Aluminum Phosphide
	592	เหลืองอ่อน	2.1	InGaAlP - Indium Gallium Aluminum Phosphide
	570	สีเขียวน้ำทะเล	2.0	InGaAlP - Indium Gallium Aluminum Phosphide
	555	สีเขียว	2.1	GaP/GaP - Gallium Phosphide/ Gallium Phosphide
	525	สีฟ้าอมเขียว	3.5	SiC/GaN - Silicon Carbide / Gallium Nitride
	505	สีฟ้าอ่อน	3.5	SiC/GaN - Silicon Carbide / Gallium Nitride
	470	สีน้ำเงินเข้ม	3.6	SiC/GaN - Silicon Carbide / Gallium Nitride

3. เลเซอร์ไดโอด (Laser Diode)

คือไดโอดที่เปล่งแสงเลเซอร์ได้ โดยแสงที่ออกมานั้นเป็นแสงที่มีเฟสตรงกันและมีทิศทางของลำแสงไปในทางเดียวกัน เสมือนเป็นลำแสงขนาน

เลเซอร์ไดโอดถูกสร้างขึ้นมาจากสารกึ่งตัวนำที่เป็นสารประกอบ เช่น GaAs InGaAsP โดยการเลือกใช้สารประกอบเหล่านี้นั้นขึ้นอยู่กับการใช้งาน เนื่องจากวัสดุที่ใช้ทำต่างกัน ตัวอย่างอุปกรณ์ที่ใช้เลเซอร์ไดโอดได้แก่ ตัวชี้แบบเลเซอร์ (Laser Pointer) ดังแสดงในรูปที่ 5.18



รูปที่ 5.18 เลเซอร์ไดโอด และเลเซอร์พอยเตอร์



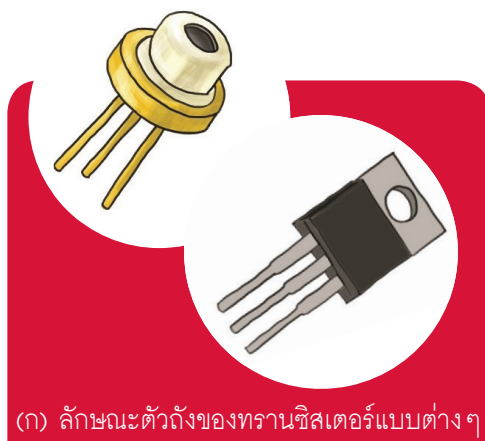
5.7 ทรานซิสเตอร์และการประยุกต์ใช้เบื้องต้น

ทรานซิสเตอร์ เป็นอุปกรณ์พื้นฐานที่พบได้บ่อยที่สุดในวงจรอิเล็กทรอนิกส์ทั่ว ๆ ไป เช่น วงจรในวิทยุ เครื่องขยายเสียง รวมทั้งอุปกรณ์ของเล่นต่าง ๆ นอกจากนี้ ทรานซิสเตอร์ยังเป็นอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่เป็นส่วนประกอบย่อยในวงจรรวมอีกด้วย

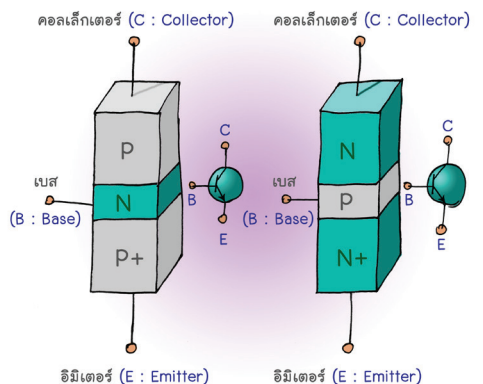
ทรานซิสเตอร์มีหลายชนิด เช่น ทรานซิสเตอร์แบบไบโพลาร์ (Bipolar Junction Transistor หรือBJT) ทรานซิสเตอร์แบบเจเฟ็ต (Junction Field Effect Transistor หรือJFET) ทรานซิสเตอร์แบบมอสเฟ็ต (Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor หรือ MOSFET) ในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงทรานซิสเตอร์แบบไบโพลาร์และแบบมอสเฟ็ตพอสังเขปเท่านั้น

5.8 ทรานซิสเตอร์แบบไบโพลาร์

ทรานซิสเตอร์แบบไบโพลาร์ (ซึ่งต่อไปจะขอเรียกสั้น ๆ ว่า “ทรานซิสเตอร์”) มีโครงสร้างและลักษณะตัวถังแบบต่าง ๆ ดังแสดงในรูปที่ 5.19 (ก) ทรานซิสเตอร์ประกอบด้วยรอยต่อสารกึ่งตัวนำแบบพีและเอ็นต่อชนกัน เปรียบเสมือนกับไดโอดสองตัวต่อชนกันทำให้มีทรานซิสเตอร์เกิดขึ้นสองแบบคือ แบบพีเอ็นพี (PNP) และแบบ เอ็นพีเอ็น (NPN) ดังแสดงในรูปที่ 5.19 (ข) และ 5.19 (ค) ตามลำดับ ทรานซิสเตอร์เป็นอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่มีสามขา (ต่างจากตัวต้านทานและไดโอด) โดยแต่ละขามีชื่อเรียกต่าง ๆ กันไป ขาที่อยู่ตรงกลางซึ่งจะเป็นขั้วนำสารกึ่งตัวนำที่มีความหนาแน่นที่สุดเรียกว่า ขาเบส (Base : B) ส่วนอีกขาที่เหลือจะเรียกว่า คอลเล็กเตอร์ (Collector หรือ C) และอิมิตเตอร์ (Emitter หรือ E) ตามลำดับ



(ก) ลักษณะตัวถังของทรานซิสเตอร์แบบต่างๆ



(ข) แบบพีเอ็นพี

(ค) แบบเอ็นพีเอ็น

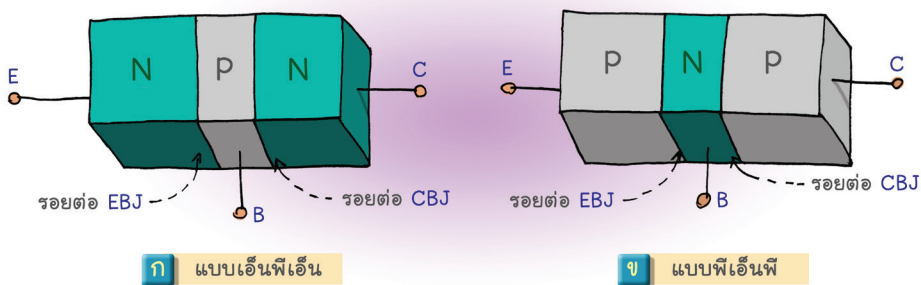
รูปที่ 5.19 โครงสร้างของทรานซิสเตอร์



ถึงแม้ว่าชาคอลเล็กเตอร์และขาอิมิตเตอร์จะเป็นสารกึ่งตัวนำชนิดเดียวกัน ขาอิมิตเตอร์มีการได้ปัสารเจือมากกว่าชาคอลเล็กเตอร์ (เขียนแทนด้วยสัญลักษณ์ “+” ในรูป) สังเกตว่าที่ขาอิมิตเตอร์จะเป็นขาที่แสดงทิศทางของ ลูกศร ซึ่งหมายถึงทิศทางของกระแสที่วิ่งผ่าน อย่างเช่น ในกรณีของทรานซิสเตอร์แบบพีเอ็นพี ในรูปที่ 5.19 (ข) ขาอิมิตเตอร์จะมีทิศทางของ ลูกศรพุ่งเข้าไปในทรานซิสเตอร์นั้นหมายความว่าทิศทางของกระแสจะวิ่งจากขาอิมิตเตอร์ไปสู่ชาคอลเล็กเตอร์ ขณะที่แบบเอ็นพีเอ็นในรูปที่ 5.19 (ค) ขาอิมิตเตอร์จะมีทิศทางของลูกศรที่พุ่งออกจากตัวทรานซิสเตอร์ หมายถึงทิศทางของกระแสจะวิ่งจากชาคอลเล็กเตอร์ไปสู่ขาอิมิตเตอร์ ปริมาณกระแสที่วิ่งผ่านทรานซิสเตอร์ขึ้นอยู่กับกระแสที่ขาเบสซึ่งใช้ในการควบคุมการทำงานของทรานซิสเตอร์

5.9 โหมดการทำงานของทรานซิสเตอร์

ทรานซิสเตอร์ทั้งสองแบบดังกล่าวสามารถทำงานได้สามโหมดหรือสามแบบ ขึ้นอยู่กับการป้อนไฟตรงให้รอยต่อของทรานซิสเตอร์ว่าจะป้อนในลักษณะใด การป้อนไฟตรง (DC) ให้กับทรานซิสเตอร์ดังกล่าวเพื่อกำหนดโหมดในการทำงานเรียกว่า “การไบอัส (bias)” เนื่องจากทรานซิสเตอร์ทั้งสองแบบในรูปที่ 5.19 เปรียบเสมือนไดโอดที่ต่อขนานกัน โดยมีขาเบสเป็นขาร่วมของแอดินด (กรณีแบบเอ็นพีเอ็น) และขาแคโทด(กรณีแบบพีเอ็นพี) ดังแสดงในรูปที่ 5.20 ดังนั้นการไบอัสไฟตรงเพื่อให้ได้โหมดการทำงานที่ต้องการ จึงขึ้นอยู่กับว่าจะป้อนไบอัสแบบตรง หรือไบอัสแบบย้อนกลับแก่รอยต่อของทรานซิสเตอร์ระหว่างขาเบส-คอลเล็กเตอร์ และระหว่างขาเบส-อิมิตเตอร์ว่าจะป้อนในลักษณะใด ดังแสดงในตารางที่ 5.3



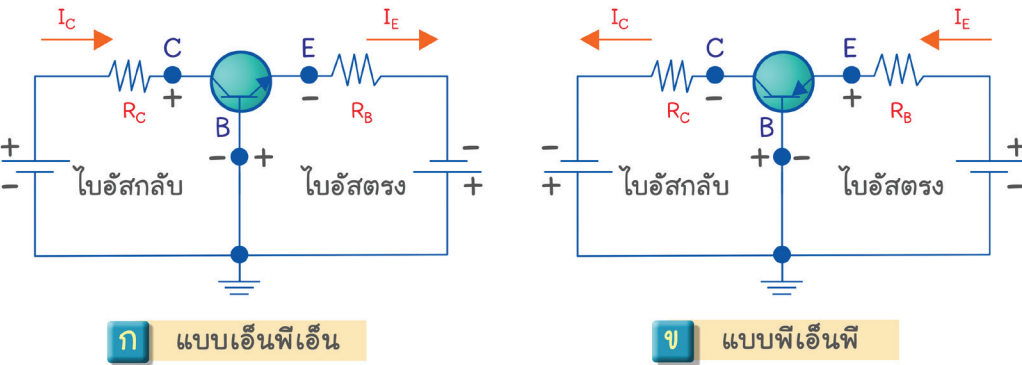
รูปที่ 5.20 ลักษณะอย่างง่ายของทรานซิสเตอร์



ตารางที่ 5.3 แสดงโหมดการทำงานของทรานซิสเตอร์ที่ขึ้นอยู่กับ การไบอัสไฟตรงที่รอยต่อของ ทรานซิสเตอร์

การไบอัส โหมดในการทำงาน	รอยต่ออิมิตเตอร์-เบส (Emitter-Base Junction หรือ EBJ)	รอยต่อคอลเล็กเตอร์-เบส (Collector-Base Junction หรือ CBJ)
1. โหมดในการขยายสัญญาณ (Active mode)	ไบอัสตรง	ไบอัสย้อนกลับ
2. โหมดอิ่มตัว (Saturation mode)	ไบอัสตรง	ไบอัสตรง
3. โหมดคัทออฟ (Cut off mode)	ไบอัสย้อนกลับ	ไบอัสย้อนกลับ

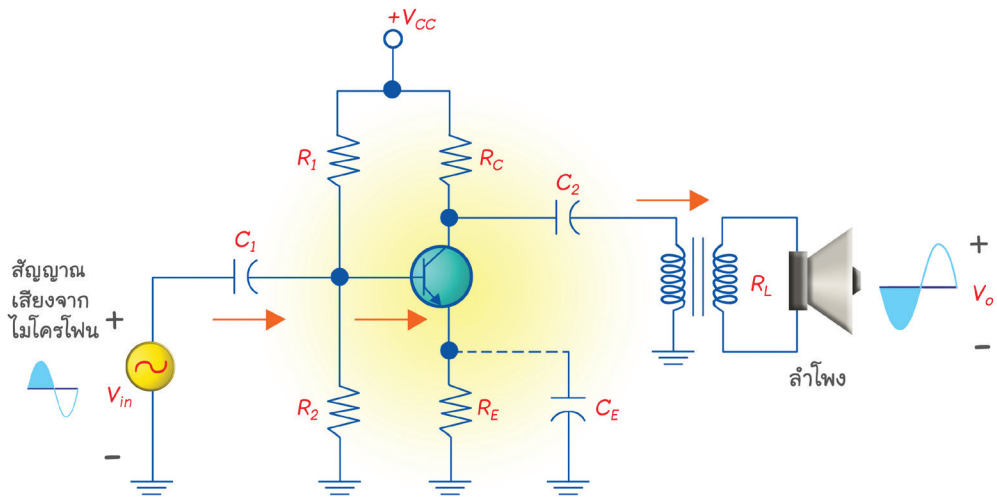
จากตารางที่ 5.3 จะเห็นว่าการทำงานของทรานซิสเตอร์ ขึ้นอยู่กับการไบอัสไฟให้เหมาะสมกับ รอยต่อระหว่างขาอิมิตเตอร์-เบส และระหว่างขาคอลเล็กเตอร์-เบส พิจารณารูปที่ 5.21 ทรานซิสเตอร์ ทำงานในโหมดขยายสัญญาณ ทั้งนี้เพราะที่รอยต่อเบส-อิมิตเตอร์ถูกไบอัสตรง ขณะที่รอยต่อเบส-คอล เล็กเตอร์ถูกไบอัสย้อนกลับ จะเห็นว่าการต่อแบตเตอรี่กับทรานซิสเตอร์ในลักษณะต่าง ๆ เป็นตัวกำหนด โหมดการทำงานของทรานซิสเตอร์ และเพราะรอยต่อเบส-อิมิตเตอร์เป็นแบบเดียวกับรอยต่อพีเอ็นของ ไดโอด ดังนั้น แบตเตอรี่ทางฝั่งรอยต่อเบส-อิมิตเตอร์ควรมีแรงดันอย่างน้อยเท่ากับ 0.7 โวลต์ เพื่อ ทำให้ทรานซิสเตอร์ไบอัสตรง



รูปที่ 5.21 การไบอัสทรานซิสเตอร์ให้ทำงานในโหมดขยายสัญญาณ



วงจรทรานซิสเตอร์ที่ทำงานในโหมดขยายสัญญาณนั้น เรียกว่าเป็น “วงจรแอนะล็อก (Analog Circuit)” ซึ่งพบได้ในวงจรเครื่องขยายเสียงของวิทยุหรือวงจรชุดเครื่องเสียงต่าง ๆ เป็นวงจรที่ขยายสัญญาณที่ต่อเนื่องตลอดเวลา ไม่มีการขาดหายของสัญญาณ แสดงตัวอย่างการต่อทรานซิสเตอร์ทำงานในโหมดขยายสัญญาณ “แบบคอมมอนอีมิเตอร์” จะสังเกตเห็นว่าขนาดของสัญญาณที่เอาต์พุต (v_o) มีขนาดใหญ่กว่าสัญญาณที่ป้อนเข้าทางฝั่งอินพุต (v_{in}) ทั้งนี้เพราะทรานซิสเตอร์ทำงานในโหมดขยายสัญญาณนั่นเอง

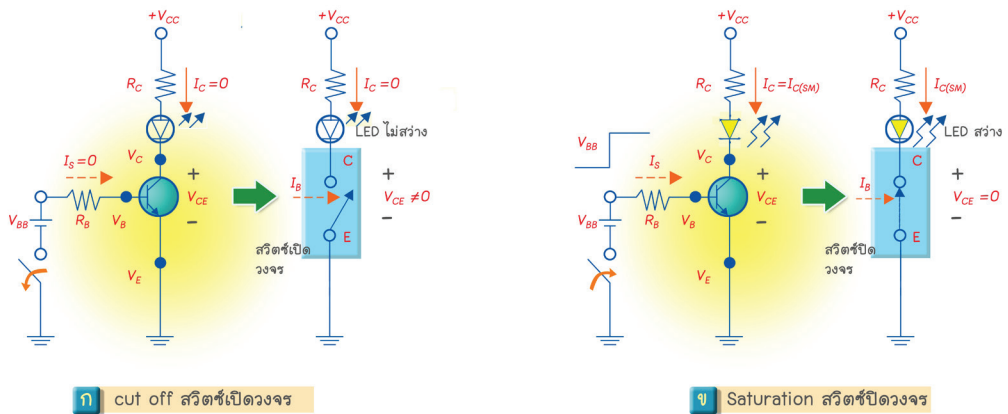


รูปที่ 5.22 วงจรขยายสัญญาณแบบคอมมอนอีมิเตอร์

5.10 การทำงานเป็นสวิตช์ของทรานซิสเตอร์

ทรานซิสเตอร์นอกจากจะทำงานในโหมดขยายสัญญาณดังในหัวข้อที่ 5.22 แล้ว ยังสามารถทำหน้าที่เหมือนสวิตช์ปิด-เปิดวงจรได้ด้วย เราเรียกว่า “วงจรดิจิทัล (digital circuit)” โดยการทำงานแบบวงจรดิจิทัลนี้ทรานซิสเตอร์จะทำงานกับสัญญาณที่ไม่ต่อเนื่อง เช่น สัญญาณไฟฟ้าที่มีแค่สองช่วงระดับไฟเท่านั้นคือ จาก 0 ถึง 0.6 โวลต์ (ระดับไฟต่ำหรือลอจิกต่ำ หรือ logic low) และจาก 3 ถึง 5 โวลต์ (ระดับไฟสูงหรือลอจิกสูง หรือ logic high) โดยอาศัยการทำงานของทรานซิสเตอร์ในโหมดอิ่มตัว (saturation mode) และโหมดคัตออฟ (cutoff mode) ตามตารางที่ 5.3 ดังแสดงในรูปที่ 5.23





รูปที่ 5.23 วงจรทรานซิสเตอร์ที่ทำงานเป็นสวิตช์

รูปที่ 5.23 (ก) แสดงการทำงานในสภาวะสวิตช์ที่เปิดวงจร (open circuit) เพราะแรงดันไฟฟ้าที่รอยต่อเบส - อิมิตเตอร์ (V_{BE}) น้อยกว่า 0.7 โวลต์ เป็นผลให้ทรานซิสเตอร์ทำงานในโหมดคัตออฟ ทำให้วงจรเป็นเสมือนสวิตช์ที่เปิดวงจรตามเส้นทางต่อระหว่างขาคอลเล็กเตอร์ไปยังอิมิตเตอร์ และ $I_C \approx 0$ เป็นผลให้หลอดไฟแอลอีดีไม่สว่าง โดยที่แรงดันไฟฟ้าระหว่างขาคอลเล็กเตอร์และขา อิมิตเตอร์ อันเปรียบเสมือนหน้าสัมผัสของสวิตช์จะมีค่าเป็น $V_{CE} \approx V_{CC}$ ซึ่งจะประมาณเท่ากับไฟเลี้ยงวงจรทรานซิสเตอร์ ทำให้เอาท์พุตที่วัดจากขาคอลเล็กเตอร์เทียบกับกราวด์อยู่ในสถานะลอจิกสูง ส่วนในรูปที่ 5.23 (ข) เมื่อเราสลับสวิตช์ทางฝั่งขาเบสจะเป็นการป้อนสัญญาณอินพุต V_{BB} ที่จะทำให้กระแสเบส I_B มีค่ามากพอจนได้ค่าเท่ากับกระแสอิ่มตัวที่ขาคอลเล็กเตอร์ ($I_C = I_{C(sat)}$) จะทำให้ทรานซิสเตอร์จะเข้าสู่โหมดการทำงานแบบอิ่มตัว (saturation mode) และวงจรจะเป็นเสมือนสวิตช์ที่ปิดวงจรตามเส้นทางต่อระหว่างขาคอลเล็กเตอร์ไปยังอิมิตเตอร์ โดยที่แรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อมขาคอลเล็กเตอร์และอิมิตเตอร์จะมีค่าประมาณ $V_{CE} = 0$ เอาท์พุตอยู่ในสถานะลอจิกต่ำ ทำให้มีกระแส I_C ไหลผ่านตัวทรานซิสเตอร์ไปได้และเป็นผลให้หลอดไฟแอลอีดีสว่าง การไบอัสให้ทรานซิสเตอร์ทำงานในโหมดการเป็นสวิตช์เปิด-ปิด หรือแบบวงจรดิจิทัลนั้นถือเป็นพื้นฐานที่สำคัญมากของวงจรฮาร์ดแวร์ของเครื่องคอมพิวเตอร์ การที่เครื่องคอมพิวเตอร์มีซีพียูหรือหน่วยประมวลผลกลางดีแคเอนั้นก็ขึ้นอยู่กับว่าในซีพียูของเครื่องคอมพิวเตอร์นั้นมีจำนวนทรานซิสเตอร์ที่ทำหน้าที่เป็นสวิตช์เปิด-ปิดวงจรไฟฟ้าที่ตัว

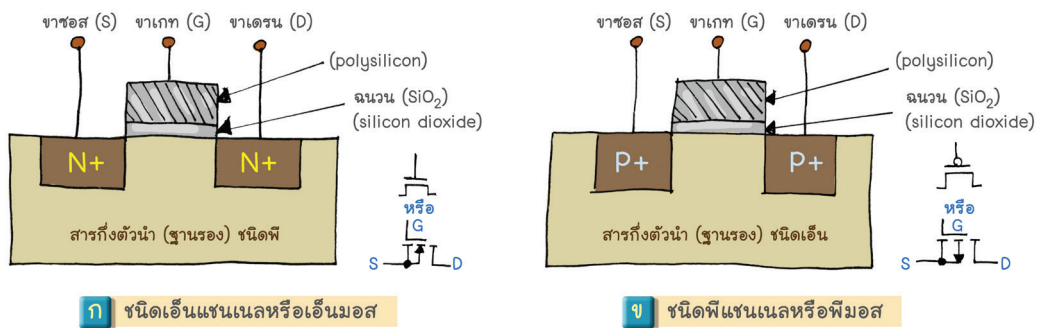


5.11 ทรานซิสเตอร์แบบมอสเฟต (MOSFET Transistor)

ทรานซิสเตอร์ชนิดนี้ประกอบไปด้วยสารสามชนิดคือ

1. โลหะ (Metal) ส่วนใหญ่เป็นโพลีซิลิคอน (polysilicon)
2. ฉนวน (Insulator) ส่วนใหญ่ทำมาจากสารพวกออกไซด์ (oxide) เช่น ซิลิคอนไดออกไซด์ (SiO_2)
3. สารกึ่งตัวนำ (Semiconductor) ซึ่งมีทั้งแบบเอ็นและแบบพี

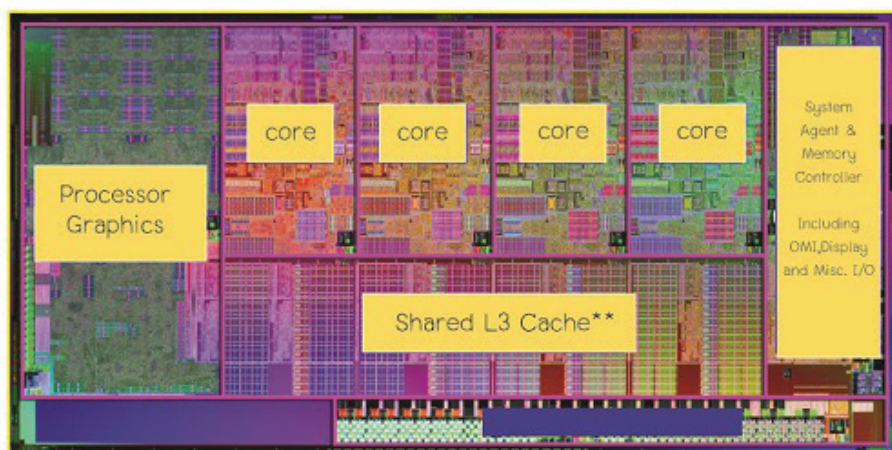
ทรานซิสเตอร์แบบมอสเฟต (หรือเรียกย่อ ๆ ว่าแบบมอส) แสดงดังรูปที่ 5.24 โดยมีสองแบบย่อย คือ ชนิดเอ็นแชนแนล (รูป ก) และชนิดพีแชนแนล (รูป ข) ตามลำดับ



รูปที่ 5.24 ทรานซิสเตอร์แบบมอสเฟต

ทรานซิสเตอร์แบบมอสนี้จะมีสามขาเช่นเดียวกับทรานซิสเตอร์แบบไบโพลาร์ โดยขาที่ต่อกับโลหะหรือโพลีซิลิคอนด้านบนเรียกว่าขาเกต (gate หรือ G) ส่วนอีกสองขาจะต่อกับสารกึ่งตัวนำซึ่งมีลักษณะเหมือนกันคือ ขาซอส (source หรือ S) กับขาเดรน (drain หรือ D) บริเวณที่อยู่ใต้ขาเกตนั้นเราเรียกว่า “แชนแนล (channel)” ซึ่งเราจะใช้สนามไฟฟ้าที่ขาเกตควบคุมพาหะที่กำลังเคลื่อนที่ผ่านบริเวณแชนแนลนี้ ข้อเด่นของทรานซิสเตอร์แบบมอสที่เหนือกว่าทรานซิสเตอร์แบบไบโพลาร์ก็คือทรานซิสเตอร์แบบมอสจะกินพลังงานต่ำกว่ามาก และเมื่อทำการสร้างบนแผ่นวงจรรวมจะมีขนาดเล็ก สามารถสร้างได้จำนวนมากเพราะกินเนื้อที่ขีปไม่มาก จึงเหมาะกับการนำทรานซิสเตอร์แบบมอสนี้มาทำวงจรรวมหรือชิป เช่น วงจรรวมในของซีพียูของเครื่องคอมพิวเตอร์หรือโน้ตบุ๊ก ดังแสดงในรูปที่ 5.25 เป็นวงจรรวมของซีพียูตระกูลอินเทลรุ่น i7 ซึ่งสีแต่ละสีจะหมายถึงวัสดุต่าง ๆ เช่น สีเขียวหมายถึงสารกึ่งตัวนำแบบเอ็น สีแดงหมายถึงโพลีซิลิคอน





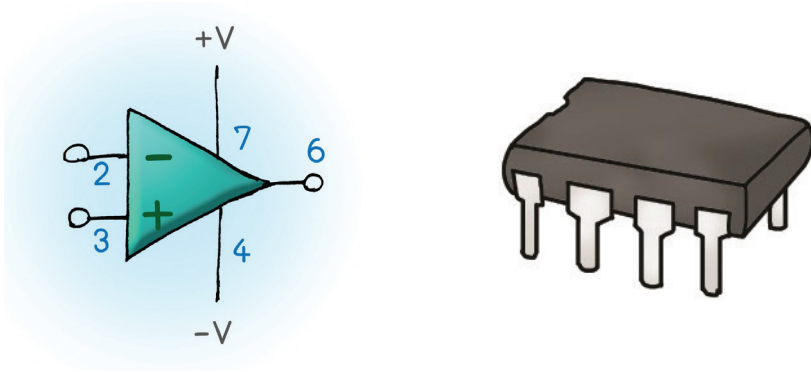
รูปที่ 5.25 วงจรภายในของซีพียูตระกูลอินเทลรุ่น i7

การทำงานของทรานซิสเตอร์แบบมอสสามารถทำงานได้เช่นเดียวกับทรานซิสเตอร์แบบไบโพลาร์ คือสามารถทำงานในโหมดขยายสัญญาณและทำงานเป็นสวิตช์ เปิด-ปิด ได้เช่นกัน แต่วิการควบคุมการทำงานนี้จะแตกต่างจากแบบไบโพลาร์

5.12 ออปแอมป์ (Op – Amp)

ออปแอมป์มีชื่อเต็มเรียกว่า Operational Amplifier (Op-Amp) เป็นวงจรรขยายแรงดันที่ทำขึ้นมาอยู่ในรูปของวงจรรวม (Integrated circuit : IC) ความจริงออปแอมป์ได้ถูกประดิษฐ์ขึ้นมานานแล้ว ตั้งแต่สมัยหลอดสุญญากาศ จุดมุ่งหมายเดิมก็คือเพื่อใช้ในคอมพิวเตอร์แบบอะแนลล็อก คำว่า Operational Amplifier นั้นก็คือวงจรรขยายที่สามารถทำงานเชิงคณิตศาสตร์ได้ เช่น บวก ลบ อินทิเกรต เป็นต้น มาในยุคปัจจุบันเนื่องจากเทคโนโลยีเจริญก้าวหน้าไปมาก ทำให้ราคาของออปแอมป์ถูกลง อีกทั้งสมรรถนะของออปแอมป์ก็ดีขึ้นมาก ดังนั้นออปแอมป์จึงกลายเป็นวงจรรขยายที่ใช้งานได้เอนกประสงค์ และมีการใช้งานกันอย่างแพร่หลาย โดยมากเรามักนำออปแอมป์มาใช้กับวงจรรขยายสัญญาณแบบแอนะลล็อก หากต้องการวงจรรขยายเราจะนึกถึงการใช้ไอซีออปแอมป์มากกว่าการนำทรานซิสเตอร์เป็นตัวมาต่อเข้าด้วยกัน เพราะการออกแบบวงจรรขยายโดยใช้ออปแอมป์นั้นง่ายต่อการเข้าใจมาก สัญลักษณ์ของออปแอมป์จะเป็นดังแสดงในรูปที่ 5.29 ซึ่งวงจรรภายในของออปแอมป์นั้นจะประกอบไปด้วยทรานซิสเตอร์จำนวนมากกว่า 10 ตัวขึ้นไปต่อกับตัวต้านทานและตัวเก็บประจุ ในลักษณะเฉพาะตามความสามารถของออปแอมป์แต่ละเบอร์ สิ่งที่สำคัญคือผู้ใช้ออปแอมป์ไม่จำเป็นต้องสนใจการไบอัสทรานซิสเตอร์ที่อยู่ภายในวงจรให้ยุ่งยาก เพียงแค่ต่อตัวต้านทานภายนอกก็จะได้อัตราการขยายตามที่ต้องการแล้ว ทำให้การออกแบบค่อนข้างง่ายดังจะกล่าวต่อไป





รูปที่ 5.26 สัญลักษณ์และลักษณะตัวถังไอซีของออปแอมป์เบอร์ 741

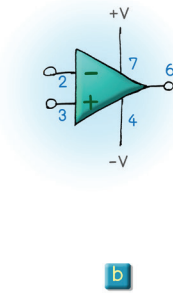
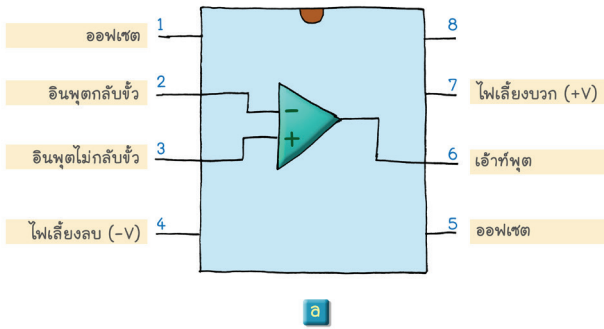
จากรูปที่ 5.26 จะเห็นได้ว่าออปแอมป์กินไฟเลี้ยงทั้งไฟบวกและไฟลบ (บางเบอร์กินไฟเลี้ยงบวกกับกราวด์ก็ทำงานได้ ประกอบไปด้วยขาดังนี้

- ขา 2 เรียกว่า ขาอินพุตแบบกลับขั้วหรือขาลบ (Inverting input)
- ขา 3 เรียกว่า ขาอินพุตแบบไม่กลับขั้วหรือขาบวก (Non-inverting input)
- ขา 6 เรียกว่าขาเอาต์พุต
- ขา 7 เป็นขาไฟเลี้ยงบวก
- ขา 4 เป็นขาไฟเลี้ยงลบ

ทั้งนี้เลขเบอร์ขาต่าง ๆ ที่กำหนดดังกล่าวอาจจะไม่ตรงกัน ขึ้นอยู่กับออปแอมป์แต่ละตัว โดยทั่วไปแล้วออปแอมป์มีคุณสมบัติดังนี้

	อุดมคติ	ปฏิบัติ
1. อัตราการขยายแรงดันสูงมาก ขณะไม่มีสัญญาณป้อนกลับ (A_{OL})	อนันต์	100,000 — 200,000 เท่า
2. ความต้านทานขาเข้า (R_{in}) สูงมาก)	อนันต์	$10^5 - 10^{10}$ โอห์ม
3. ความต้านทานขาออก (R_o) ต่ำมาก)	ศูนย์	50 - 100 โอห์ม
4. ช่วงความถี่ใช้งาน (Bandwidth) กว้างมาก	อนันต์	1 - 5 MHz
5. มีความสามารถจัดสัญญาณรบกวน ที่เกิดร่วมกันทางอินพุต (CMRR)	อนันต์	90 dB





รูปที่ 5.27 แสดงโครงสร้างและสัญลักษณ์ของออปแอมป์เบอร์ 741 สังเกตตำแหน่งของขา 1 จะอยู่มุมซ้ายบนของรอยบากครึ่งวงกลม (หรืออาจมีสัญลักษณ์รูปวงกลมที่มุมของขา 1) และให้ขาอื่น ๆ ในลักษณะทวนเข็มนาฬิกาตามลำดับ

จากรูปที่ 5.27 สัญญาณขาเข้าหรือสัญญาณอินพุตจะต่อเข้ากับอินพุตกลับขั้ว (ขา 2) หรือไม่กลับขั้ว (ขา 3) ก็ได้ แล้วแต่ความต้องการและการประยุกต์ใช้งานในแต่ละแบบ ส่วนสัญญาณขาออกหรือสัญญาณเอาต์พุตซึ่งนำไปใช้งานจะต่อออกจากขา 6 ขณะที่ขา 1 และ ขา 5 นั้นใช้สำหรับปรับแต่งให้สัญญาณเอาต์พุตเป็นศูนย์เมื่ออินพุตเป็นศูนย์ (ไม่ได้ป้อนสัญญาณที่อินพุต) ซึ่งมักเรียกกันว่า ขาปรับออฟเซต (Null offset) ส่วนขา 8 เป็นค่าที่ไม่ได้ต่ออะไรกับวงจรภายในไอซีจึงปล่อยลอยได้ เนื่องจากค่าความต้านทานขาเข้า (R_{in}) ของออปแอมป์มีค่าสูงมาก ทำให้เราอาจกล่าวได้ว่าไม่มีกระแสไฟฟ้าไหลเข้าที่ขาอินพุตกลับขั้ว (ขา 2) หรือไม่กลับขั้ว (ขา 3) เลย ดังนั้นแรงดันที่ขาบวก (ขา 3) เมื่อเทียบกับกราวด์จึงมีค่าเท่ากับแรงดันที่ขาลบ (ขา 2) เมื่อมีการนำออปแอมป์ไปใช้งานในวงจรขยาย คุณสมบัติในเรื่องของกระแสและแรงดันไฟฟ้างกล่าวนี้จะเป็นพื้นฐานที่สำคัญ นำไปใช้ในวงจรประยุกต์ต่าง ๆ ของออปแอมป์มากมายดังจะกล่าวในหัวข้อถัดไป

5.12 การนำออปแอมป์มาใช้งาน

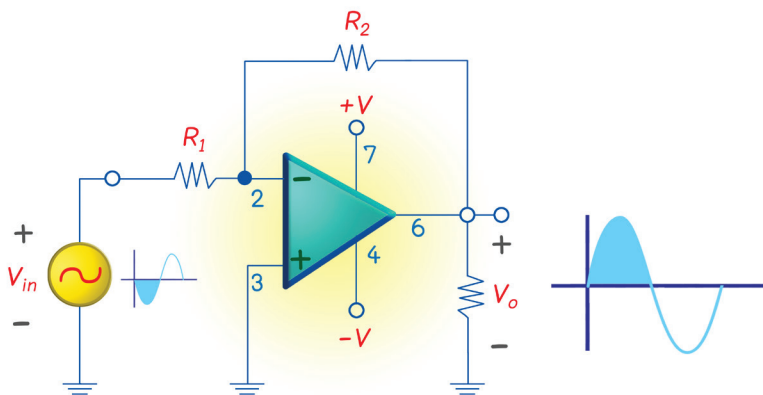
ออปแอมป์ได้ถูกนำมาใช้งานกันอย่างแพร่หลาย สามารถใช้งานในวงจรที่เป็นเชิงเส้น (Linear) และไม่เป็นเชิงเส้น (Nonlinear) แต่อย่างไรการใช้งานในระดับเบื้องต้น จะพอสรุปได้ดังนี้

1. วงจรขยายแบบกลับขั้ว (Inverting Amplifier)
2. วงจรขยายแบบไม่กลับขั้ว (Non inverting Amplifier)
3. วงจรขยายผลรวมแบบกลับขั้ว (Inverting Summer Amplifier)
4. วงจรขยายความแตกต่าง (Differential Amplifier)
5. วงจรเปรียบเทียบแรงดันแบบกลับขั้ว (Inverting comparator)



1. วงจรขยายแบบกลับขั้ว (Inverting Amplier)

เป็นวงจขยายที่นิยมใช้มากที่สุดแบบหนึ่ง เป็นวงจรที่สร้างขึ้นได้ง่ายโดยใช้ออปแอมป์หนึ่งตัว ต่อร่วมกับตัวต้านทานเพียงสองตัว ก็จะได้วงจขยายแบบกลับขั้วขึ้นมาแล้ว ซึ่งการต่อวงจขยายแบบกลับขั้วแสดงไว้ในรูปที่ 5.28

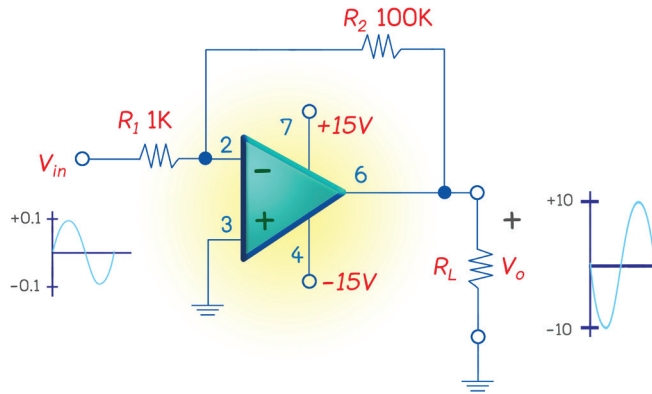


รูปที่ 5.28 วงจขยายแบบกลับขั้ว

อัตราขยายแรงดัน (voltage gain : A_v) :
$$A_v = \frac{V_o}{V_{in}} = -\frac{R_2}{R_1}$$

จะเห็นได้ว่าการออกแบบวงจรอัตราขยายแรงดัน จะทำได้โดยหาจากอัตราส่วนของความต้านทาน R_2 และ R_1 ส่วนเครื่องหมายลบที่ปรากฏแสดงถึงการกลับขั้วของสัญญาณขาออก เช่นถ้าเราป้อนสัญญาณสลับด้านซีกลบเข้าที่อินพุตจะได้สัญญาณสลับด้านซีกบวกที่เอาต์พุต ในทางเทคนิคเราเรียกสัญญาณเอาต์พุตแบบนี้ว่ากลับเฟส 180 องศา กับสัญญาณอินพุต โดยปกติแล้วการเลือกใช้ค่า และจะอยู่ในย่านกิโลโอห์มและอัตราขยายแบบกลับขั้วควรอยู่ในช่วง 10 — 1000 เท่า แต่อย่างไรก็ตามค่าอัตราขยายแรงดันนี้จะขึ้นอยู่กับความถี่ของสัญญาณอินพุตด้วย กล่าวคือถ้าสัญญาณมีความถี่ไม่สูงมากนัก เช่นไม่เกิน 100 กิโลเฮิรตซ์ก็ใช้อัตราส่วนค่าตัวต้านทานออกแบบวงจรขยายได้ ในกรณีที่สัญญาณอินพุตมีความถี่สูงกว่านี้และต้องการขยายสัญญาณจะต้องใช้ออปแอมป์ที่มีราคาและคุณสมบัติเฉพาะที่สูงขึ้น

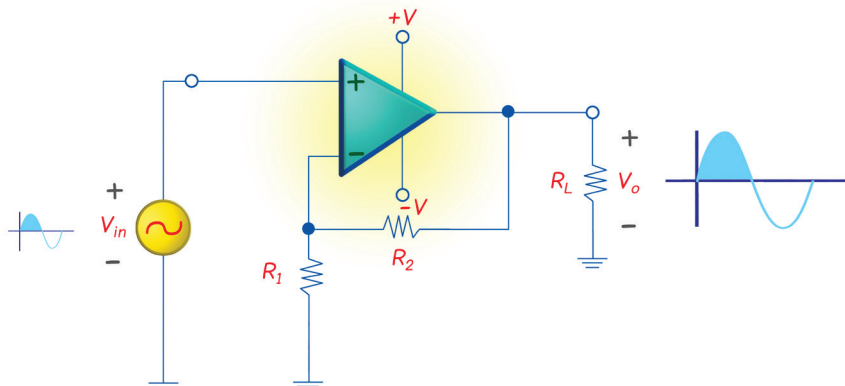




ตัวอย่างที่ 5.1 จงออกแบบวงจรขยายแบบกลับขั้ว ที่มีอัตราขยายแรงดัน = - 100 เท่า

2. วงจรขยายแบบไม่กลับขั้ว (Noninverting Amplifier)

เป็นวงจรขยายแบบไม่มีการกลับขั้วหรือกลับเฟสของสัญญาณขาออก สัญญาณขาเข้าเป็นอย่างไร สัญญาณขาออกก็เป็นอย่างนั้น เพียงแต่ว่าแรงดันขาออกจะมีขนาดสูงกว่า วงจรขยายแบบไม่กลับขั้วจะคล้ายกับวงจรแบบกลับขั้ว การต่อวงจรขยายสัญญาณแบบไม่กลับขั้วแสดงไว้ในรูปที่ 5.29

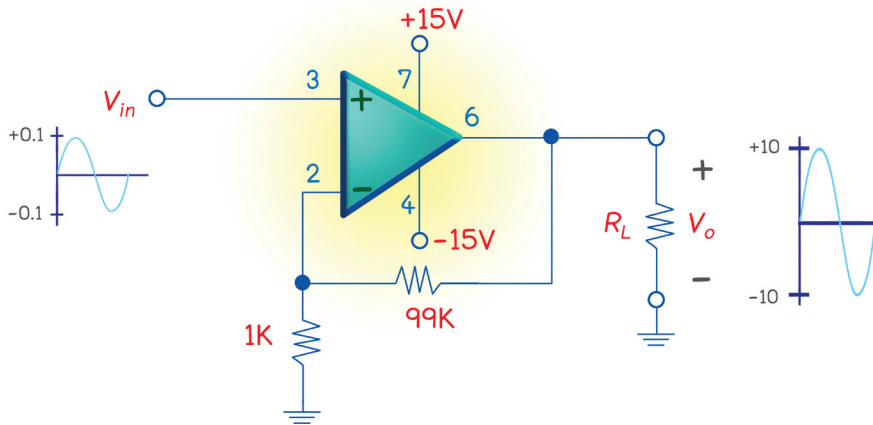


รูปที่ 5.29 วงจรขยายสัญญาณแบบไม่กลับขั้ว

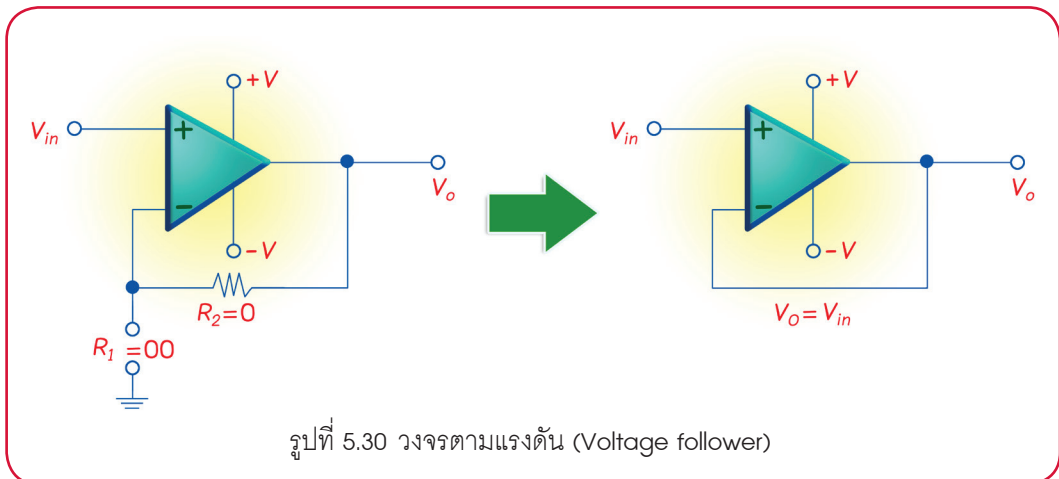
อัตราขยายแรงดัน (voltage gain : A_v) :
$$A_v = \frac{V_o}{V_{in}} = 1 + \frac{R_2}{R_1}$$



ตัวอย่างที่ 5.2 จงออกแบบวงจรขยายสัญญาณแบบไม่กลับขั้ว ที่มีอัตราขยายแรงดัน = 100 เท่า



วงจรขยายแบบไม่กลับขั้วหากกำหนดให้ $R_1 = \infty$ จะทำให้วงจรขยายมีอัตราขยายแรงดัน (A_v) มีค่าเป็น $1 + \frac{R_2}{\infty} = 1$ แสดงว่าถ้า $R_1 = \infty$ แล้ว R_2 จะเป็นค่าใดก็ได้ (ยกเว้น) ∞ อัตราการขยายแรงดันของวงจรจะเป็น 1 เสมอ ในทางปฏิบัติจะใช้ $R_2 = 0$ เราจะได้วงจรขยายแบบไม่กลับขั้วที่มีอัตราขยายแรงดันเท่ากับหนึ่ง ซึ่งมักเรียกววงจรนี้ว่าวงจรตามแรงดัน (Voltage follower) หรือวงจรขยายที่มีอัตราขยายเป็นหนึ่ง (Unity Gain Amplifier) ดังแสดงในรูปที่ 5.30

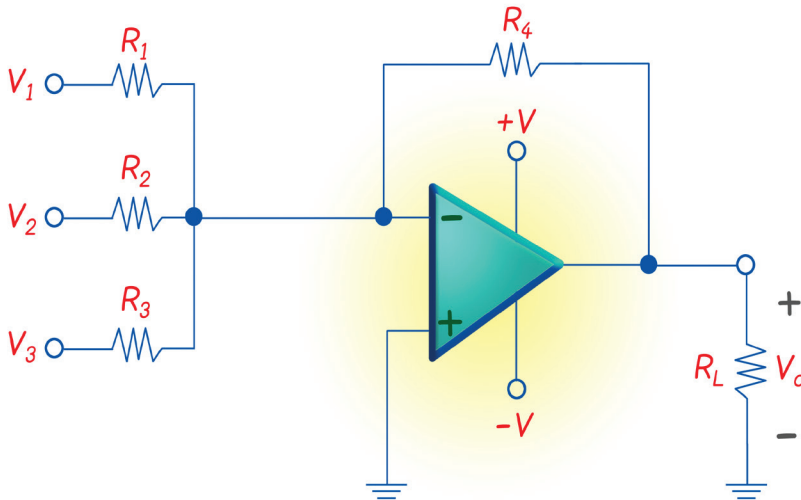


ถึงแม้ว่าวงจรตามแรงดัน จะมีอัตราขยายแรงดันเท่ากับหนึ่งก็ตาม แต่วงจรก็มีลักษณะที่เด่นอย่างหนึ่ง คือ วงจรมีความต้านทานขาเข้าสูงมาก จึงเหมาะที่จะใช้เป็นวงจรกันชนหรือที่เรียกว่า วงจรบัฟเฟอร์ (Buffer Circuit)



3. วงจรขยายผลรวมแบบกลับขั้ว (Inverting Summer Amplifier)

เป็นวงจรขยายที่สามารถขยายผลรวมของสัญญาณขาเข้าตั้งแต่สองสัญญาณขึ้นไป โดยสัญญาณขาออกจะมีการกลับขั้วกับผลรวมของสัญญาณขาเข้า วงจรขยายผลรวมแบบกลับขั้วแสดงไว้ในรูปที่ 5.31



รูปที่ 5.31 วงจรขยายผลรวมแบบกลับขั้ว

แรงดันขาออก
$$V_o = - \left[\frac{R_4}{R_1} V_1 + \frac{R_4}{R_2} V_2 + \frac{R_4}{R_3} V_3 \right]$$

ในทางปฏิบัติอาจเลือกให้ $R_1 = R_2 = R_3 = R$

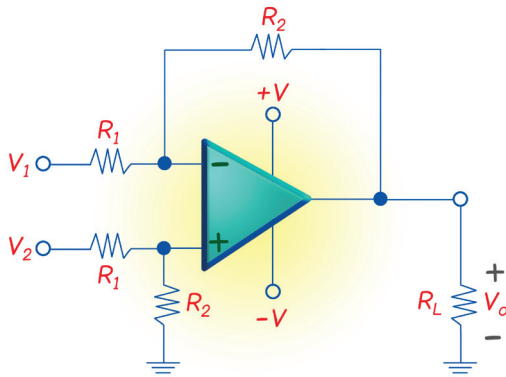
ดังนั้นแรงดันขาออก
$$V_o = - \frac{R_4}{R} [V_1 + V_2 + V_3]$$

= อัตราการขยายแรงดัน $\times$ ผลรวมของแรงดันขาเข้า

4. วงจรขยายความแตกต่าง (Differential Amplifier)

เป็นวงจรขยายความแตกต่างของศักย์ไฟฟ้าสองจุด หากมีความต่างของศักย์ไฟฟ้าเกิดขึ้น แรงดันขาออกจึงจะปรากฏ วงจรขยายแบบนี้จะใช้ในการขยายแรงดันที่ได้จากทรานส์ดิวเซอร์ (transducer) ซึ่งเป็นตัวเปลี่ยนพลังงานรูปอื่นให้เป็นพลังงานไฟฟ้า มีใช้มากในงานอุตสาหกรรม การต่อวงจรขยายความแตกต่าง แสดงไว้ในรูปที่ 5.32





รูปที่ 5.32 วงจรขยายความแตกต่าง

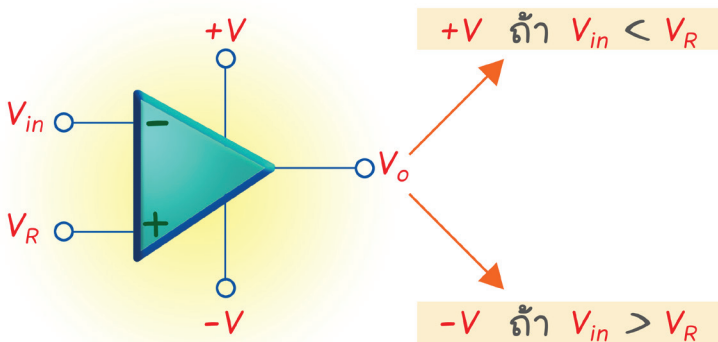
แรงดันขาออก

$$V_o = -\frac{R_2}{R_1}[V_1 - V_2]$$

= อัตราขยายแรงดัน $\times$ ความแตกต่างของศักย์ไฟฟ้า

5. วงจรเปรียบเทียบแรงดันแบบกลับขั้ว (Inverting Voltage Comparator)

เป็นวงจรที่ใช้ในการเปรียบเทียบแรงดันว่าแรงดันขาเข้า (V_{in}) สูงกว่าหรือต่ำกว่าที่ค่าแรงดันที่กำหนดเป็นแรงดันอ้างอิง (V_R) หากสูงกว่าจะได้แรงดันขาออก (V_o) ออกมาเป็นค่าลบเท่ากับค่าไฟเลี้ยงลบ ($-V$) แต่หากตรงกันข้ามจะได้แรงดันขาออกมาเป็นค่าบวกเท่ากับค่าไฟเลี้ยงบวก ($+V$) โดยมีลักษณะวงจรอย่างง่ายแสดงไว้ในรูปที่ 5.33



รูปที่ 5.33 วงจรเปรียบเทียบแรงดันแบบกลับขั้ว



วงจรเปรียบเทียบแรงดัน มีประโยชน์มากโดยเฉพาะในงานควบคุม เราสามารถใช้แรงดันขาออกที่ได้จากวงจร เป็นคำสั่งแทนการตัดสินใจของมนุษย์ได้ และหากต้องการวงจรเปรียบเทียบแบบไม่กลับขั้วก็สามารถทำได้โดยย้ายแรงดันขาเข้า (V_{in}) มาเข้าอินพุตไม่กลับขั้วหรือขาบวกแทน

ดังที่ได้กล่าวมาในตอนต้นแล้วว่าออปแอมป์นั้นเป็นอุปกรณ์ที่ใช้อย่างง่าย ออกแบบไม่ต้องใช้ความรู้มาก แต่มราคาก็ไม่แพง ดังนั้นเราจึงเห็นวงจรอิเล็กทรอนิกส์ส่วนมากจะมีทรานซิสเตอร์หรือออปแอมป์อยู่บ่อยครั้ง สำหรับวงจรประยุกต์อื่น ๆ ผู้อ่านสามารถหาความรู้เพิ่มเติมได้ในหนังสือชุดคิทหรืออิเล็กทรอนิกส์ทั่วไป



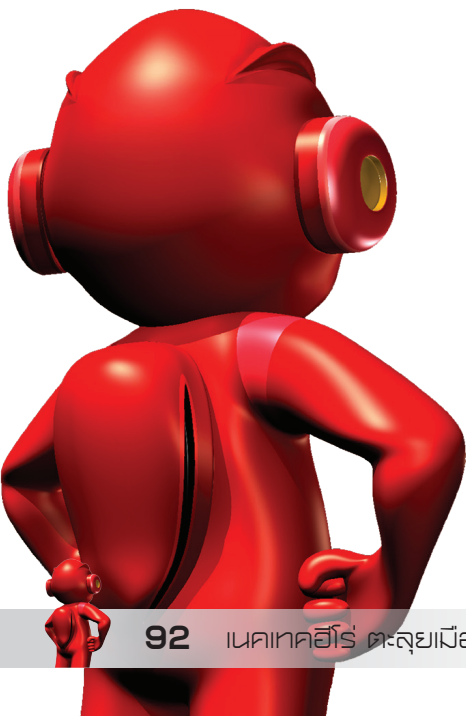
พื้นฐานดิจิทัลอิเล็กทรอนิกส์

อ.อุสิต ธนเพทาย

มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

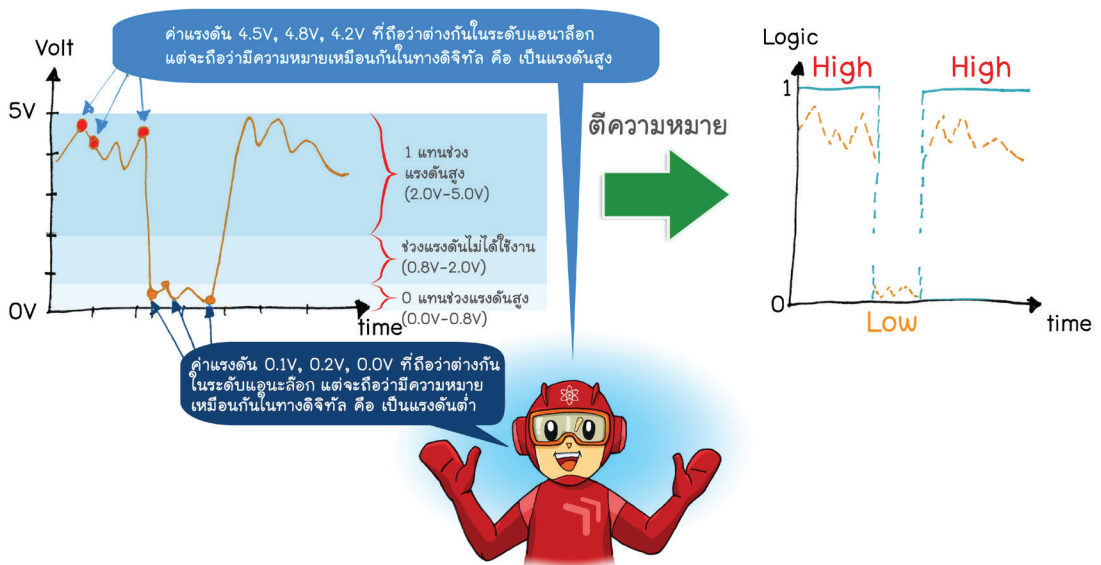
วงจรอิเล็กทรอนิกส์โดยทั่วไปประกอบด้วย ตัววงจร และสัญญาณไฟฟ้า ซึ่งในการวิเคราะห์หรือการออกแบบวงจรที่ซับซ้อนนั้น จำเป็นต้องใช้ความรู้ทางคณิตศาสตร์มาเป็นเครื่องมือช่วยในการหาความสัมพันธ์ของสัญญาณ ณ จุดต่าง ๆ ในวงจร ซึ่งอาจอยู่ในรูปของตัวแปรทางคณิตศาสตร์เพื่อใช้แทนค่าที่อาจเป็นไปได้ของสัญญาณ ณ จุดนั้น ๆ ทั้งนี้สัญญาณที่ป้อนเข้ามาจากภายนอก เช่น จากกดปุ่มของผู้ใช้งาน หรือจากวงจรอื่นที่ใช้งานร่วมกัน จะเรียกว่าสัญญาณขาเข้าหรือสัญญาณอินพุต (input signal) และเรียกตัวแปรที่แทนค่าสัญญาณอินพุตว่า ตัวแปรอินพุต (input variable) ส่วนสัญญาณที่เป็นผลลัพธ์ออกมาจากวงจร เรียกว่าสัญญาณขาออก หรือ สัญญาณเอาต์พุต (output signal) และเรียกตัวแปรที่แทนค่าสัญญาณเอาต์พุตว่า ตัวแปรเอาต์พุต (output variable)

วงจรอิเล็กทรอนิกส์โดยทั่วไปแล้วสามารถแบ่งได้เป็นสองประเภทใหญ่ๆ คือ แบบแอนะล็อก (analog) กับแบบดิจิทัล (digital) โดยสัญญาณในวงจรแบบแอนะล็อกสามารถมีสัญญาณไฟฟ้าได้หลายค่าที่ต่อเนื่องกัน เช่น ค่าแรงดัน 4.5 V, 4.8 V, 4.2 V หรือ 0.1 V, 0.2 V แต่ในระบบดิจิทัลนั้นจะมีค่าที่ไม่ต่อเนื่องกันได้เพียงสองค่า ได้แก่ ค่าแรงดันสูง และค่าแรงดันต่ำ โดยค่าแรงดันสูงนั้นอาจกำหนดให้เป็นค่าแรงดันใด ๆ ก็ได้ที่อยู่ในช่วง 2.0 V - 5.0 V กล่าวคือ ไม่ว่าจะเป็นแรงดัน 4.5 V, 4.8 V หรือ 4.2 V ซึ่งถือว่าเป็นค่าที่แตกต่างกันในระบบแอนะล็อก แต่ในระบบดิจิทัลแล้วจะถือว่ามีความหมายเหมือนกัน คือเป็นค่าแรงดันสูงเหมือนกัน ในทำนองเดียวกัน ค่าแรงดันต่ำอาจกำหนดให้เป็นค่าแรงดันใด ๆ



ที่อยู่ในช่วง 0.0 V - 0.8 V กล่าวคือ ไม่ว่าจะเป็นแรงดัน 0.1 V หรือ 0.2 V ก็ถือว่าเป็นค่าแรงดันต่ำเหมือนกัน ทั้งนี้ช่วงแรงดัน 0.8-2.0 V เป็นช่วงแรงดันที่ไม่ใช้งาน ฉะนั้นวงจรอิเล็กทรอนิกส์ของระบบดิจิทัลจะถูกออกแบบมาให้สัญญาณไฟฟ้าในวงจรมีการเปลี่ยนสถานะจากแรงดันสูงไปต่ำ หรือจากแรงดันต่ำไปสูง อย่างรวดเร็ว เพื่อให้ค่าของสัญญาณผ่านช่วงแรงดันที่ไม่ใช้งานด้วยช่วงเวลาสั้นที่สุด

ในการเขียนค่าตัวแปรหรือสัญญาณในวงจรหรือระบบดิจิทัลนั้น นิยมใช้ เลข 1 แทนค่าแรงดันสูง (นิยมเรียกว่า ค่าลอจิก 1 หรือ ลอจิกสูง (logic high)) และใช้เลข 0 แทนค่าแรงดันต่ำ (นิยมเรียกว่า ค่าลอจิก 0 หรือ ลอจิกต่ำ (logic low))



รูปที่ 6.1

การที่ระบบดิจิทัลกำหนดค่าของสัญญาณด้วยช่วงกว้างๆ ของแรงดันนั้น ทำให้ระบบดิจิทัลมีความถูกต้องในการทำงานสูงกว่าระบบแอนะล็อก ตัวอย่างเช่น ถ้ามีอะไรบางอย่างรบกวนวงจรทำให้สัญญาณที่มีแรงดัน 4.5 V เปลี่ยนไปเป็น 4.8 V หรือ 4.2 V ถ้าเป็นระบบแอนะล็อกจะถือว่าค่าของสัญญาณมีความคลาดเคลื่อนผิดไป แต่สำหรับระบบดิจิทัลแล้วยังถือว่าค่าของสัญญาณถูกต้องเหมือนเดิม เพราะยังคงเป็นค่าแรงดันสูงอยู่



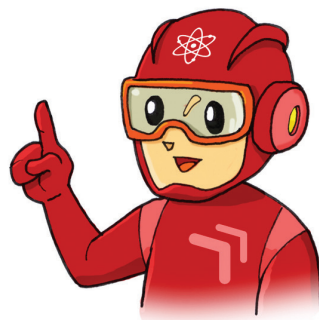
นอกจากนี้ ระบบดิจิทัลยังมีข้อดีอีกหลายอย่าง เช่น ความสามารถในการตรวจสอบและแก้ไขค่าความถูกต้องของสัญญาณ คุณภาพความถูกต้องในการคัดลอกข้อมูล ความง่ายในการออกแบบแก้ไขวงจร สามารถโปรแกรมได้ มีความยืดหยุ่นในการใช้งานสูง มีฟังก์ชันการทำงานที่หลากหลาย

อย่างไรก็ตามเนื่องจากค่าของสัญญาณในวงจรดิจิทัลมีเพียงแค่สองระดับ การใช้ค่าของสัญญาณดิจิทัลเพื่อสื่อความหมายแทนสิ่งต่าง ๆ ที่มนุษย์ต้องการใช้งาน เช่น การแทนตัวอักษร ชื่อคน หรือค่าตัวเลขต่าง ๆ ที่เราใช้กันนั้น จึงต้องแปลงให้อยู่ในรูปแบบที่สามารถแทนด้วยระดับแรงดันสูง (เลข 1) และระดับแรงดันต่ำ (เลข 0) ของวงจรดิจิทัลด้วย ซึ่งจะเกี่ยวข้องกับความรู้ทางคณิตศาสตร์ที่ว่าด้วยระบบเลขฐานสอง และพีชคณิตบูลีน ดังที่จะได้กล่าวต่อไป

เลขฐาน

เลขฐานสิบ เป็นระบบตัวเลขที่มีการเขียนตัวเลขเรียงติดกันหลาย ๆ หลัก โดยตัวเลขในแต่ละหลักจะมีตัวเลขใส่ได้เพียงตัวเดียวจากตัวเลขที่สามารถใช้ได้สิบตัว คือ เลข 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 โดยค่าประจำหลักของค่าของเลขจำนวนในระบบเลขฐานสิบนี้มีค่าเท่ากับผลรวมของผลคูณระหว่างตัวเลขในแต่ละหลักกับค่าประจำหลักนั้น โดยค่าประจำหลักของหลักหน่วย (หลักทางขวาสุดของเลขจำนวนเต็ม) จะเท่ากับ 1 เสมอ และหลักถัด ๆ ไปทางซ้าย จะมีค่าเพิ่มขึ้นทีละ 10 เท่า

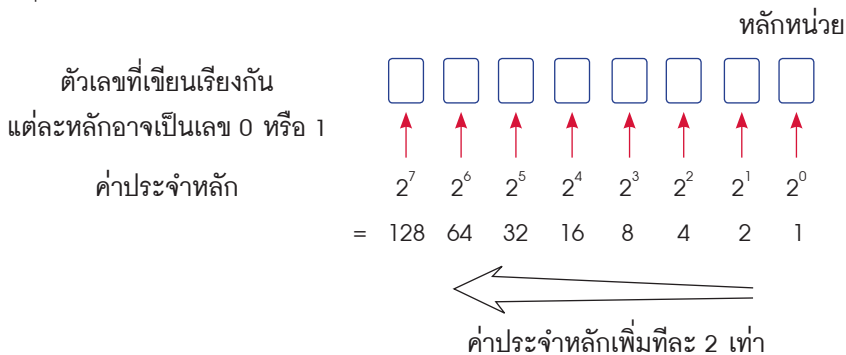
	หลักหน่วย			
ตัวเลขที่เขียนเรียงกัน				
ค่าประจำหลัก	10^3	10^2	10^1	10^0
	= 1000	100	10	1



ตัวอย่าง 2517 มีค่าเท่ากับ $2 \times 10^3 + 5 \times 10^2 + 1 \times 10^1 + 7 \times 10^0 = 2 \times 1000 + 5 \times 100 + 1 \times 10 + 7 \times 1$



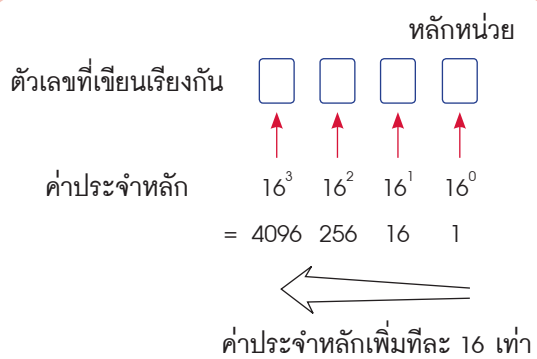
เลขฐานสอง เป็นระบบตัวเลขที่มีการเขียนตัวเลขเรียงติดกันหลาย ๆ หลักของตัวเลขในแต่ละหลักจะมีตัวเลขใส่ได้เพียงตัวเดียวจากตัวเลขที่สามารถใช้ได้สองตัว คือ เลข 0 กับ 1 โดยค่าของเลขจำนวนในระบบเลขฐานสองนี้มีค่าเท่ากับผลรวมของผลคูณระหว่างตัวเลขในแต่ละหลักกับค่าประจำหลักนั้น โดยค่าประจำหลักของหลักหน่วย (หลักทางขวาสุดของเลขจำนวนเต็ม) จะเท่ากับ 1 เสมอ และหลักถัด ๆ ไปทางซ้าย จะมีค่าเพิ่มขึ้นทีละ 2 เท่า



ตัวอย่างเช่น เลขฐานสอง 1101 มีค่าเท่ากับ $1 \times 2^3 + 1 \times 2^2 + 0 \times 2^1 + 1 \times 2^0 = 1 \times 8 + 1 \times 4 + 0 \times 2 + 1 = 13$ ในฐานสิบ

แต่ละหลักของเลขฐานสองเรียกว่า บิต ซึ่งมาจากการย่อคำว่า binary digit เป็น bit โดยบิตที่มีค่าประจำหลักสูงสุดเรียกว่า MSB มาจากคำว่า Most Significant Bit และบิตที่มีค่าประจำหลักต่ำสุดเรียกว่า LSB ซึ่งมาจากคำว่า Least Significant Bit

เลขฐานสิบหก เป็นระบบตัวเลขที่มีการเขียนตัวเลขเรียงติดกันหลาย ๆ หลัก โดยตัวเลขในแต่ละหลักจะมีตัวเลขใส่ได้เพียงตัวเดียวจากตัวเลขที่สามารถใช้ได้สิบหกตัว คือ เลข 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15 โดยค่าประจำหลักค่าของเลขจำนวนในระบบเลขฐานสิบหกนี้มีค่าเท่ากับผลรวมของผลคูณระหว่างตัวเลขในแต่ละหลักกับค่าประจำหลักนั้น โดยหลักหน่วย (หลักทางขวาสุดของเลขจำนวนเต็ม) จะมีค่าเป็น 1 เสมอ และหลักถัด ๆ ไปทางซ้าย จะมีค่าเพิ่มขึ้นทีละ 16 เท่า



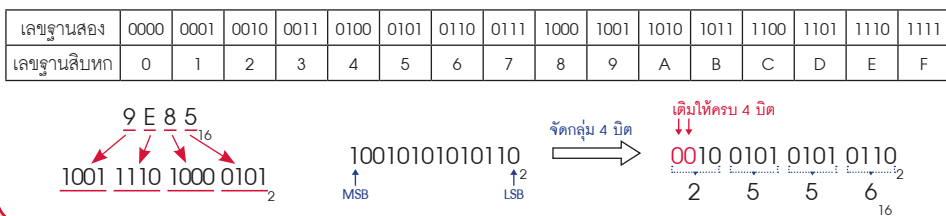
(หมายเหตุ เพื่อป้องกันการสับสนกรณีที่มีการเขียนเลข 10, 11, 12, 13, 14, 15 ลงในแต่ละหลัก จึงนิยมเขียน A แทนเลข 10, B แทน 11, C แทน 12, D แทน 13, E แทน 14, F แทน 15)

ตัวอย่าง เลขฐานสิบหก 0A5F มีค่าเท่ากับ $0 \times 16^3 + 10 \times 16^2 + 5 \times 16^1 + 15 \times 16^0 = 2655$ ในฐานสิบ

เนื่องจากการทำงานของวงจรดิจิทัลจะอ้างอิงกับระดับแรงดัน 2 ระดับ ค่าสัญญาณต่าง ๆ ในวงจรจึงนิยมเขียนอยู่ในรูปเลขฐานสอง เช่น ค่า 173 ในฐานสิบ จะเขียนเป็น 10101101 ในฐานสอง อย่างไรก็ตาม หากเป็นเลขฐานสองที่มีหลาย ๆ หลัก จะนิยมเขียนให้อยู่ในรูปของเลขฐานสิบหก เช่น เขียนเป็น AD เพื่อความสะดวกในการเขียนมากยิ่งขึ้น ทั้งนี้เพราะตัวเลขที่สามารถมีได้ในแต่ละหลักของเลขฐานสิบหกมีค่าพอดิบกับค่าที่เป็นไปได้ทั้งหมดของเลขฐานสองจำนวน 4 บิต ดังนั้นเราจึงสามารถแปลงค่าไปมาระหว่างเลขฐานสองกับฐานสิบหกได้โดยตรง ดังนี้

วิธีการแปลงเลขฐานสิบหกเป็นฐานสอง ให้เปลี่ยนเลขในแต่ละหลักของเลขฐานสิบหกเป็น 4 บิตของเลขฐานสอง เช่น $9E85_{16} = 1001\ 1110\ 1000\ 0101_2$

วิธีการแปลงเลขฐานสองเป็นฐานสิบหก ให้จับกลุ่มตัวเลขจากขวาสุด (LSB) ไปทางซ้ายทีละ 4 บิต โดยสามารถเติมศูนย์เพิ่มทางซ้ายมือต่อจาก MSB (เพราะไม่ทำให้ค่าเปลี่ยน) เพื่อจัดเป็นกลุ่มให้ครบ 4 บิตได้ แล้วเปลี่ยนเป็นเลขฐานสิบหกทีละ 4 บิต เช่น $10010101010110_2 = 0010\ 0101\ 0101\ 0110_{16} = 2556_{16}$



นอกจากเลขจำนวนแล้ว เรายังสามารถใช้รหัสที่เขียนอยู่ในรูปของเลขฐานสองแทนสิ่งต่าง ๆ ได้ เช่น แทนตัวอักษร แทนสถานะ แทนการกระทำ โดยรหัสที่เขียนอยู่ในรูปของเลขฐานสองนี้ เรียกว่า รหัสดิจิทัล (digital code) โดยปกติแล้ว ในระบบหนึ่ง ๆ จะกำหนดให้ใช้รหัส 1 รูปแบบแทนสิ่งที่อยู่ ในระบบนั้นเพียง 1 อย่างเท่านั้น กล่าวคือ จะไม่ใช้รหัส 1 รูปแบบแทนของมากกว่า 1 อย่าง เพราะจะทำให้เกิดความสับสนว่า รหัสนั้นหมายถึงของสิ่งใดกันแน่



รหัสแอสกี (ASCII ย่อมาจาก American Standard Code for Information Interchange) เป็นรหัสขนาด 7 บิตใช้แทนอักขระต่าง ๆ (อักขระ ได้แก่ ตัวอักษร ตัวเลข เครื่องหมาย สัญลักษณ์) ได้ $2^7 = 128$ แบบ ดังแสดงตัวอย่างในตารางที่ 1 ตารางตัวอย่างรหัสแอสกี

ตารางที่ 1

รหัส ASCII	อักขระ	รหัส ASCII	อักขระ	รหัส ASCII	อักขระ	รหัส ASCII	อักขระ
010 0000	space	011 0000	0	100 0001	A	110 0001	a
010 0010	"	011 0001	1	100 0010	B	110 0010	b
010 1000	(	011 0010	2	100 0011	C	110 0011	c
010 1001	)	011 0011	3	100 0100	D	110 0100	d
010 1100	'	011 0100	4	100 0101	E	110 0101	e
010 1110	.	011 0101	5	100 0110	F	110 0110	f
010 1111	,	011 0110	6	100 0111	G	110 0111	g
011 1010	:	011 0111	7	100 1000	H	110 1000	h
011 1011	;	011 1000	8	100 1001	I	110 1001	i
011 1111	?	011 1001	9	100 1010	J	110 1010	j

เช่น คำว่า Digital แทนด้วยรหัส 1000100 1101001 1100111 1110100 1100001 1101100

รหัส BCD (Binary-Coded Decimal) เป็นรหัสที่ใช้เขียนเลขฐานสิบแต่ละหลัก (เลข 0~9) ให้อยู่ในรูปของรหัสตัวเลขฐานสองขนาด 4 บิต (0000~1001) เช่น 2013 เขียนแทนด้วยรหัส BCD จะได้ 0010 0000 0001 0011

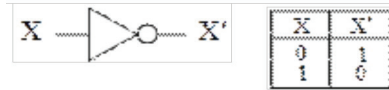
เลขฐานสิบ
รหัส BCD 2013
 0010 0000 0001 0011

พีชคณิตบูลีน (Boolean Algebra) เป็นคณิตศาสตร์แขนงหนึ่งที่เริ่มต้นพัฒนาขึ้นโดยนักคณิตศาสตร์ชาวอังกฤษ ชื่อ จอร์จ บูล (George Boole) ว่าด้วยระบบพีชคณิตของตัวแปรที่มีค่าเพียงสองค่า คือ 1 กับ 0 อันอาจหมายถึง จริง กับ เท็จ หรือ เปิด กับ ปิด หรือ สูง กับ ต่ำ เป็นต้น ต่อมาได้ถูกพัฒนาขึ้นจนเป็นเครื่องมือทางคณิตศาสตร์ที่สำคัญที่สามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการออกแบบวงจรดิจิทัลได้ โดยมีข้อกำหนดพื้นฐานที่สำคัญดังนี้

- ข้อกำหนดที่ 1 ตัวแปรใด ๆ หรือ สัญญาณ ณ จุดใด ๆ ของวงจรดิจิทัล ณ ขณะใดขณะหนึ่ง จะต้องมีค่าเสมอ จะไม่มีค่าอะไรเลยไม่ได้ และมีได้เพียงค่าเดียว คือ 1 หรือ 0 เท่านั้น จะเป็นค่าอื่นนอกเหนือจากนี้ไม่ได้ จะเป็น 1 และ 0 พร้อมกันก็ไม่ได้
- ข้อกำหนดที่ 2 ค่าตรงข้ามของ 1 คือ 0 ค่าตรงข้ามของ 0 คือ 1 ค่าตรงข้ามของตัวแปรใด ๆ เรียกว่า นิเสธของตัวแปรนั้น สัญลักษณ์ทางพีชคณิตที่ใช้ คือ x' (อ่านว่า เอกซ์ ไพร์ม) หรือ $\bar{x}$ (อ่านว่า เอกซ์บาร์) โดย x เป็นตัวแปรของสัญญาณ ณ จุดใด ๆ ในวงจร ซึ่งถ้า $\bar{x} = 0$ แล้ว $x = 1$ หรือถ้า $x' = 1$ แล้ว $x = 0$



นิเสธของนิเสธของค่าใด ๆ จะเท่ากับค่าเดิมของค่า นั้น ๆ กล่าวคือ $(0')=0$ หรือ $(1')=1$ นั่นคือ $(X')'=X$
 อุปกรณ์ที่ใช้ในการนิเสธของวงจรดิจิทัล คือ NOT gate (อ่านว่า นอตเกต) ซึ่งมีสัญลักษณ์ทางไฟฟ้าดังรูปที่ 6.2



รูปที่ 6.2

- ข้อกำหนดที่ 3 การ AND (อ่านว่า แอนด์ แปลว่า และ) ของค่าสองค่า (สัญลักษณ์ทางคณิตศาสตร์ที่ใช้ คือ “ $\cdot$ ” คั่นกลางระหว่างค่าทั้งสอง) จะให้ผลลัพธ์ดังนี้

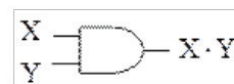
$0 \cdot 0 = 0$ (อ่านว่า ศูนย์ แอนด์ ศูนย์ เท่ากับ ศูนย์)

$0 \cdot 1 = 0$ (อ่านว่า ศูนย์ แอนด์ หนึ่ง เท่ากับ ศูนย์)

$1 \cdot 0 = 0$ (อ่านว่า หนึ่ง แอนด์ ศูนย์ เท่ากับ ศูนย์)

$1 \cdot 1 = 1$ (อ่านว่า หนึ่ง แอนด์ หนึ่ง เท่ากับ หนึ่ง)

อุปกรณ์ที่ใช้ในการ AND ของวงจรดิจิทัล คือ AND gate (อ่านว่า แอนด์เกต) ซึ่งมีสัญลักษณ์ทางไฟฟ้าดังรูปที่ 6.3



X	Y	X · Y
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1

รูปที่ 6.3

- ข้อกำหนดที่ 4 การ OR (อ่านว่า ออร์ แปลว่า หรือ) ของค่าสองค่า (สัญลักษณ์ทางคณิตศาสตร์ที่ใช้ คือ “ $+$ ” คั่นกลางระหว่างค่าทั้งสอง) จะให้ผลลัพธ์ดังนี้

$0+0 = 0$ (อ่านว่า ศูนย์ ออร์ ศูนย์ เท่ากับ ศูนย์)

$0+1 = 1$ (อ่านว่า ศูนย์ ออร์ หนึ่ง เท่ากับ หนึ่ง)

$1+0 = 1$ (อ่านว่า หนึ่ง ออร์ ศูนย์ เท่ากับ หนึ่ง)

$1+1 = 1$ (อ่านว่า หนึ่ง ออร์ หนึ่ง เท่ากับ หนึ่ง)

อุปกรณ์ที่ใช้ในการ OR ของวงจรดิจิทัล คือ OR gate (อ่านว่า ออร์เกต) ซึ่งมีสัญลักษณ์ทางไฟฟ้าดังรูปที่ 6.4



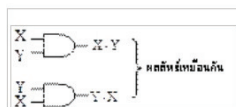
X	Y	X + Y
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	1

รูปที่ 6.4



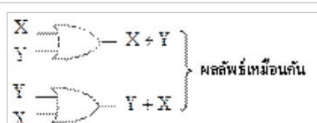
จากข้อกำหนดพื้นฐานทั้ง 3 ข้อ จะได้สมบัติทางพีชคณิตเพิ่มเติมที่มีประโยชน์สำหรับการออกแบบวงจรดิจิทัลหลายประการ ดังนี้

1. สมบัติการสลับที่ การสลับที่ตัวแปรที่นำมา AND กัน ไม่มีผลต่อผลลัพธ์ที่ได้ นั่นคือ $X \cdot Y = Y \cdot X$ หมายความว่า ถึงแม้จะป้อนสัญญาณอินพุตของ AND gate สลับกัน ก็ไม่ทำให้ค่าของเอาต์พุตเปลี่ยนไป ดังตัวอย่างในรูปที่ 6.5 (ก)



รูปที่ 6.5 (ก)

XY	$X \cdot Y$	$Y \cdot X$
0 0	0·0=0	0·0=0
0 1	0·1=0	1·0=0
1 0	1·0=0	0·1=0
1 1	1·1=1	1·1=1

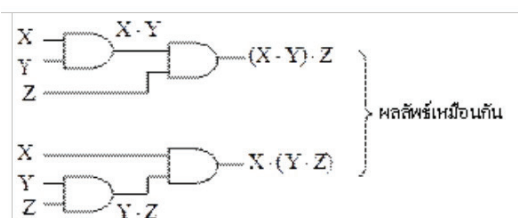


รูปที่ 6.5 (ข)

XY	$X + Y$	$Y + X$
0 0	0+0=0	0+0=0
0 1	0+1=1	1+0=1
1 0	1+0=1	0+1=1
1 1	1+1=1	1+1=1

ในทำนองเดียวกัน การ OR กัน ก็มีสมบัติการสลับที่ กล่าวคือ $X+Y=Y+X$ ในการแสดงค่าที่เป็นไปได้ทั้งหมดนั้น โดยทั่วไปนิยมเขียนแจกแจงในรูปแบบของตารางที่เรียกว่า ตารางความจริง (truth table) ดังตัวอย่างในรูปที่ 6.5 (ข)

2. สมบัติการเปลี่ยนกลุ่ม การเปลี่ยนลำดับการ AND กัน ไม่มีผลต่อผลลัพธ์ที่ได้ นั่นคือ $(X \cdot Y) \cdot Z = X \cdot (Y \cdot Z)$ หมายความว่า การนำสัญญาณ X และ Y มาทำการ AND กันก่อน แล้วนำผลที่ได้ไปทำการ AND กับสัญญาณ Z อีกที ก็ให้ผลลัพธ์เท่ากับกรณีที่น่าสัญญาณ Y และ Z มาทำการ AND กันก่อน แล้วนำผลที่ได้ ไปทำการ AND กับสัญญาณ X อีกที



X Y Z	$(X \cdot Y) \cdot Z$	$X \cdot (Y \cdot Z)$
0 0 0	(0·0)·0 = (0)·0 = 0	0·(0·0) = 0·(0) = 0
0 0 1	(0·0)·1 = (0)·1 = 0	0·(0·1) = 0·(0) = 0
0 1 0	(0·1)·0 = (0)·0 = 0	0·(1·0) = 0·(0) = 0
0 1 1	(0·1)·1 = (0)·1 = 0	0·(1·1) = 0·(1) = 0
1 0 0	(1·0)·0 = (0)·0 = 0	1·(0·0) = 1·(0) = 0
1 0 1	(1·0)·1 = (0)·1 = 0	1·(0·1) = 1·(0) = 0
1 1 0	(1·1)·0 = (1)·0 = 0	1·(1·0) = 1·(0) = 0
1 1 1	(1·1)·1 = (1)·1 = 1	1·(1·1) = 1·(1) = 1

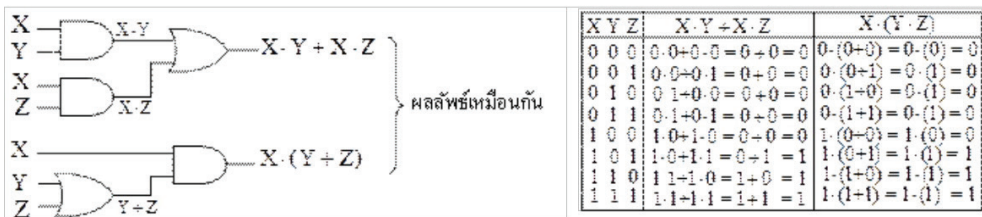
รูปที่ 6.6

ในทำนองเดียวกัน การ OR กัน ก็มีสมบัติการเปลี่ยนกลุ่ม กล่าวคือ $(X + Y) + Z = X + (Y + Z)$



3. สมบัติการดึงตัวร่วมและสมบัติการกระจาย การ OR กันของการ AND กันที่มีตัวแปรร่วมเดียวกัน เราสามารถดึงตัวแปรส่วนนั้นมาทำการ AND หลังจากทำการ OR กันของตัวแปรที่เหลือได้ กล่าวคือ $X \cdot Y + X \cdot Z = X \cdot (Y + Z)$ เมื่อ X เป็นตัวแปรร่วม

การดึงตัวร่วมช่วยให้ประหยัดการใช้อุปกรณ์ในวงจรดิจิทัล กล่าวคือ $X \cdot Y + X \cdot Z$ จะมีการใช้ AND gate จำนวน 2 ตัว กับ OR gate 1 ตัว แต่หลังจากดึงตัวร่วมเป็น $X \cdot (Y + Z)$ จะใช้ AND gate จำนวน 1 ตัว กับ OR gate 1 ตัว ลดการใช้ AND gate ได้ 1 ตัว การต่อวงจรแสดงดังรูปที่ 6.7



รูปที่ 6.7

ในทางตรงข้าม ถ้าเรามี $X \cdot (Y + Z)$ เราสามารถกระจายตัวแปร X ที่ AND อยู่บนวงเล็บเข้าไปในวงเล็บเพื่อ AND กับตัวแปรอื่น ๆ ที่ OR กันได้ กลายเป็น $X \cdot Y + X \cdot Z$ นั่นคือ $X \cdot (Y + Z) = X \cdot Y + X \cdot Z$

ในทำนองเดียวกัน การ AND กันของการ OR ที่มีตัวแปรร่วมเดียวกัน ก็มีสมบัติการดึงตัวร่วมและสมบัติการกระจายเช่นกัน กล่าวคือ $(X + Y) \cdot (X + Z) = X + (Y \cdot Z)$ เมื่อ X เป็นตัวแปรร่วม

ข้อสังเกต หากมีการกระทำทั้งการ AND และการ OR เราสามารถกำหนดลำดับก่อนหลังได้โดยให้วงเล็บในส่วนที่ต้องการทำก่อน แต่ถ้าไม่มีการใส่วงเล็บให้ทำการ AND ก่อน แล้วจึงนำผลการ AND มา OR กันทีหลัง



4. สมบัติการครอบคลุม หรือ สมบัติการดูดกลืน เป็นกรณีเฉพาะของสมบัติการดึงดูดร่วม ซึ่งจะมีตัวแปรร่วมตัวหนึ่ง แต่แทนที่จะมีตัวแปรสองตัวมา AND ด้วย จะเหลือเพียงแค่ตัวเดียว กล่าวคือ

$$X + X \cdot Y = X \cdot 1 + X \cdot Y = X \cdot (1+Y)$$

$$= X \cdot 1$$

$$= X$$

นั่นคือ สรุปได้ว่า $X + X \cdot Y = X$ หรือเหลือเพียงแค่ตัวแปรร่วมเพียงตัวเดียวเท่านั้น ซึ่งช่วยประหยัดอุปกรณ์อย่างมาก



รูป 6.8

จากตารางความจริงของรูป 6.8 จะเห็นว่าค่าของอินพุตที่ทำให้ $X = 1$ จะครอบคลุมค่าของอินพุตที่ทำให้ $X \cdot Y = 1$ ทุกกรณี ด้วยเหตุนี้จึงกล่าวได้ว่าเมื่อนำ X ซึ่งครอบคลุม $X \cdot Y$ มารวมกัน พจน์ X จึงดูดกลืนพจน์ $X \cdot Y$ ให้หายไป

ในทำนองเดียวกัน $X \cdot (X+Y) = X$ ก็มีสมบัติการดูดกลืน

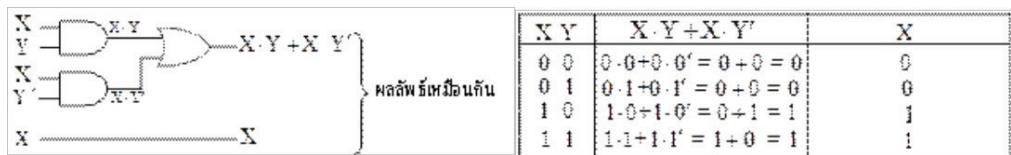
5. สมบัติการควมรวม (เพิ่มรูปตารางความจริงประกอบ) เป็นกรณีเฉพาะของสมบัติการดึงดูดร่วมอีกเช่นกัน กล่าวคือจะมีตัวแปรร่วมตัวหนึ่ง แต่ตัวแปรที่มา AND ด้วยนั้น จะมีค่าตรงข้ามกัน กล่าวคือ $X \cdot Y + X \cdot Y' = X \cdot (Y+Y')$

$$= X \cdot 1$$

$$= X$$

นั่นคือ สรุปได้ว่า $X \cdot Y + X \cdot Y' = X$ หรือเหลือเพียงแค่ตัวแปรร่วมเพียงตัวเดียวเท่านั้น ส่วนตัวแปรที่มีค่าตรงข้ามกันที่มา AND ด้วยจะหายไป





รูปที่ 6.9

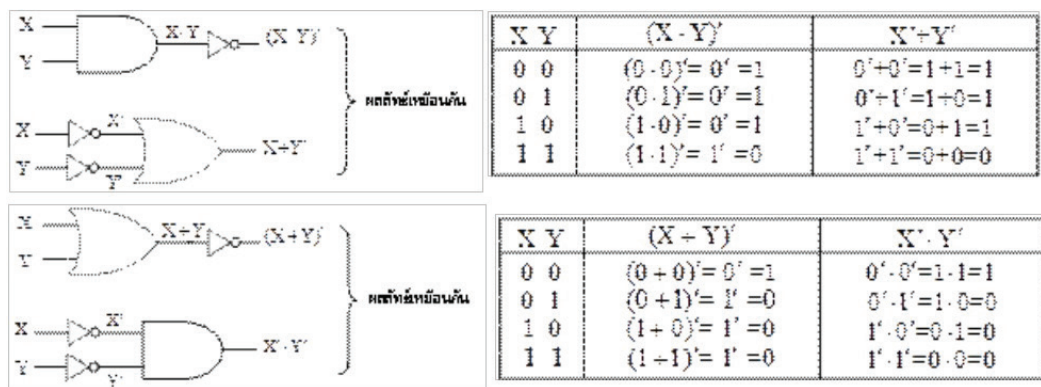
จากตารางความจริงของรูป 6.9 จะเห็นว่าไม่มีอินพุตใดที่ทำให้พจน์ของ $X \cdot Y$ กับ $X \cdot Y'$ เป็น 1 พร้อมกัน และเมื่อรวม กรณีอินพุตที่ทำให้ $X \cdot Y = 1$ กับกรณีอินพุตที่ทำให้ $X \cdot Y' = 1$ เข้าด้วยกัน จะพอดีเป็นอินพุตที่ทำให้ $X=1$ ทุกกรณี

ในทำนองเดียวกัน $(X+Y) \cdot (X+Y') = X$ ก็มีสมบัติการควมรวม

6. สมบัติตามทฤษฎีบทเดอมอร์แกน

นิเสธของการ AND กัน มีค่าเท่ากับ การ OR กันของค่านิเสธ กล่าวคือ $(X \cdot Y)' = X' + Y'$

นิเสธของการ OR กัน มีค่าเท่ากับ การ AND กันของค่านิเสธ กล่าวคือ $(X + Y)' = X' \cdot Y'$



รูปที่ 6.10

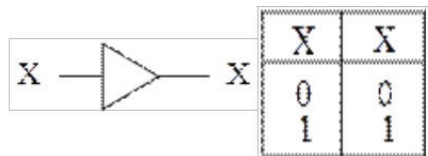


การออกแบบวงจรดิจิทัล

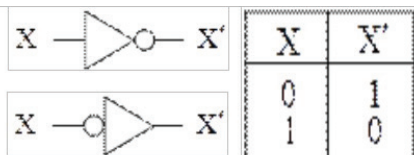
อุปกรณ์ที่ใช้สร้างวงจรดิจิทัลได้แก่ลอจิกเกตชนิดต่าง ๆ ดังนี้

1. Buffer gate (อ่านว่า บัฟเฟอร์เกต) เป็น

ลอจิกเกตที่ให้ค่าทางลอจิกของเอาต์พุตเหมือนกับอินพุต กล่าวคือ เมื่ออินพุตเป็นลอจิก 0 เอาต์พุตก็จะเป็นลอจิก 0 ด้วย และเมื่ออินพุตเป็นลอจิก 1 เอาต์พุตก็จะเป็นลอจิก 1 ด้วย เราใช้ buffer gate เพื่อเพิ่มความแรงของสัญญาณ เช่น ลอจิก 1 ของทางอินพุตอาจมีแรงดัน 3 โวลต์ แต่ลอจิก 1 ของเอาต์พุตจะมีแรงดันประมาณ 5 โวลต์ มีสัญลักษณ์ทางไฟฟ้าแสดงดังรูปที่ 6.11



รูปที่ 6.11



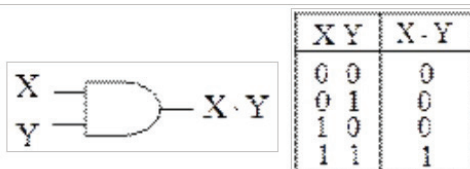
รูปที่ 6.12

2. NOT gate (อ่านว่า น็อทเกต) เป็นลอจิก

เกตที่ให้ค่าทางลอจิกของเอาต์พุตตรงข้ามกับอินพุต กล่าวคือ เมื่ออินพุตเป็นลอจิก 0 จะให้เอาต์พุตเป็นลอจิก 1 และเมื่ออินพุตเป็นลอจิก 1 จะให้เอาต์พุตเป็นลอจิก 0 สำหรับสัญลักษณ์ทางไฟฟ้านั้นจะคล้ายกับ บัฟเฟอร์เกต แต่จะมีสัญลักษณ์วงกลมซึ่งแทนการนิเสธ เขียนเพิ่มเข้าไปที่ขาเอาต์พุตหรืออินพุตดังรูปที่ 6.12

3. AND gate (อ่านว่า แอนด์เกต) เป็น

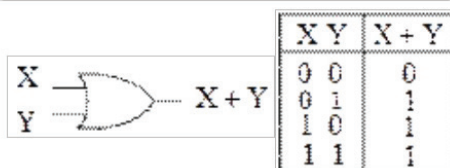
ลอจิกเกตที่ให้ค่าเอาต์พุตเท่ากับผลการ AND กันของอินพุต และมีสัญลักษณ์ดังรูปที่ 6.13



รูปที่ 6.13

4. OR gate (อ่านว่า ออร์เกต) เป็น

ลอจิกเกตที่ให้ค่าเอาต์พุตเท่ากับผลการ OR กันของอินพุต และมีสัญลักษณ์ ดังรูปที่ 6.14

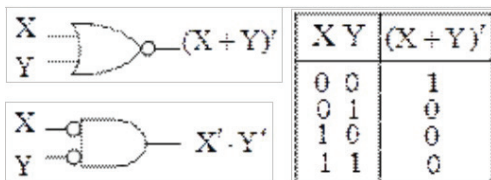


รูปที่ 6.14

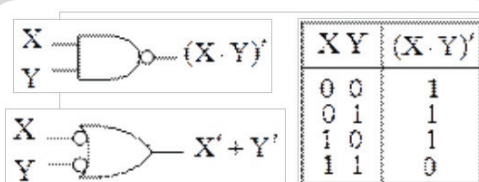


5. NAND gate (อ่านว่า แนนด์เกต)

ซึ่งย่อมาจาก Not AND) เป็นลอจิกเกตที่ให้ผลลัพธ์ตรงข้ามกับ AND gate กล่าวคือ หากมีอินพุตเป็น X กับ Y แล้วจะให้เอาต์พุตเป็น $(X \cdot Y)'$ หรือเท่ากับ $X' + Y'$ (จากสมบัติเดอมอร์แกน) ทำให้สามารถเขียนสัญลักษณ์ทางไฟฟ้าได้ดังรูปที่ 6.15 โดยสัญลักษณ์วงกลมที่ขาอินพุตหรือเอาต์พุตแทนการนิเสธ



รูปที่ 6.15



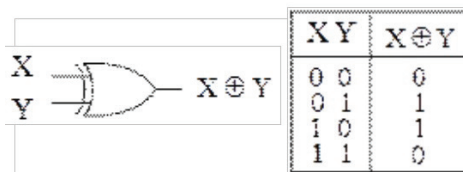
รูปที่ 6.16

6. NOR gate (อ่านว่า นอร์เกต ซึ่ง

ย่อมาจาก Not OR) เป็นลอจิกเกตที่ให้ผลลัพธ์ตรงข้ามกับ OR gate กล่าวคือ หากมีอินพุตเป็น X กับ Y แล้วจะให้เอาต์พุตเป็น $(X+Y)'$ หรือเท่ากับ $X' + Y'$ (จากสมบัติเดอมอร์แกน) ทำให้สามารถเขียนสัญลักษณ์ทางไฟฟ้าได้ดังรูปที่ 6.16 โดยสัญลักษณ์วงกลมที่ขาอินพุตหรือเอาต์พุตแทนการนิเสธ

7. XOR gate (อ่านว่า เอกซ์ออร์เกต

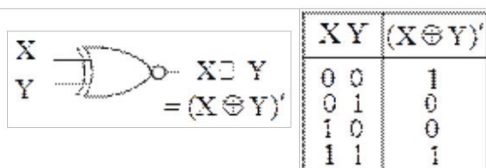
ซึ่งย่อมาจาก Exclusive OR) เป็นลอจิกเกตที่ให้เอาต์พุตเป็น 1 เมื่ออินพุตมีค่าต่างกัน และเอาต์พุตเป็น 0 เมื่ออินพุตมีค่าเหมือนกัน ซึ่งมีลักษณะทางคณิตศาสตร์เป็นเครื่องหมายและมีสัญลักษณ์ทางไฟฟ้า ดังรูปที่ 6.17



รูปที่ 6.17

8. XNOR gate (อ่านว่า เอกซ์นอร์เกต

ซึ่งย่อมาจาก Exclusive NOR) เป็นลอจิกเกตที่ให้เอาต์พุตตรงข้ามกับ XOR gate กล่าวคือ จะให้เอาต์พุตเป็น 1 เมื่ออินพุตมีค่าเหมือนกัน และเอาต์พุตเป็น 0 เมื่ออินพุตมีค่าต่างกัน ซึ่งมีสัญลักษณ์ทางคณิตศาสตร์เป็นเครื่องหมาย และมีสัญลักษณ์ทางไฟฟ้างดรูปที่ 6.18

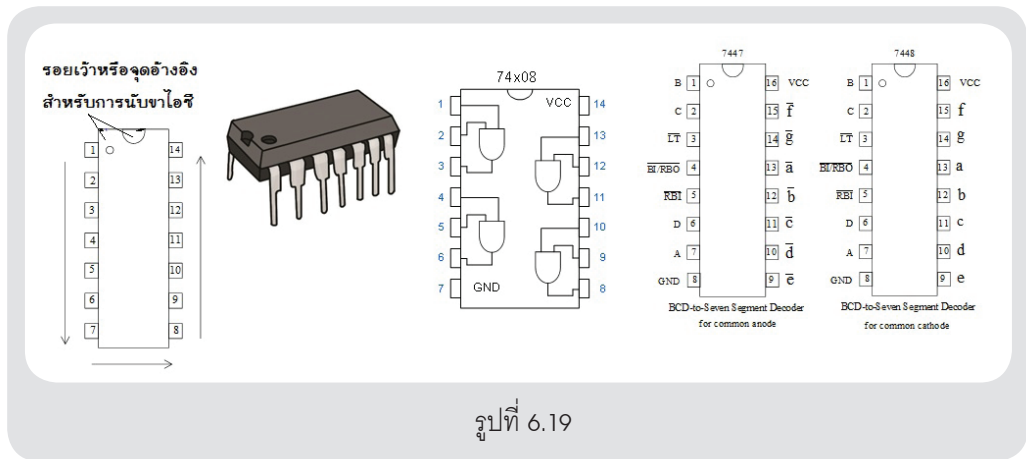


รูปที่ 6.18



การสร้างวงจรในทางปฏิบัติ

ในทางปฏิบัติ ลอจิกเกตแต่ละชนิดจะถูกสร้างขึ้นจากทรานซิสเตอร์หลายสิบตัวต่อกันเป็นวงจรรวม (Integrated Circuit) หรือที่นิยมเรียกสั้น ๆ ว่า ไอซี (IC) โดยจะมีตัวถังที่มีขาเรียงกันสองแถวที่เรียกว่า DIP ซึ่งย่อมาจาก Dual In Line Package ดังแสดงในรูป วิธีการนับขาของไอซีนั้น สังเกตได้จากรอยเว้าที่มีลักษณะเป็นรูปครึ่งวงกลม หรือจุดวงกลม ดังรูป เมื่อมองจากด้านบน จะเห็นขาที่ 1 จะอยู่ด้านซ้ายของรอยเว้า ส่วนขาลำดับถัด ๆ มาจะนับเรียงวนในทิศทวนเข็มนาฬิกา ดังรูปที่ 6.19

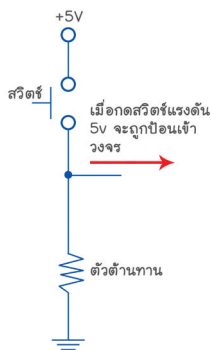


ไอซีดิจิทัลที่มีการใช้กันอย่างแพร่หลาย ได้แก่ ไอซีตระกูล TTL กับ ตระกูล CMOS ตระกูล TTL (Transistor-Transistor Logic) จะทำงานได้ ต้องต่อกับแหล่งจ่ายไฟตรง 5 V เลี้ยงวงจรเอาไว้ตลอดเวลา โดยการขั้วที่มีศักย์ไฟฟ้า 5 V เข้าที่ขา VCC และขั้วที่มีศักย์ไฟฟ้า 0 V เข้าที่ขา GND (ดูรูปประกอบ) ซึ่งจะมีค่าลอจิก 1 อยู่ในช่วงแรงดัน 2-5 V และค่าลอจิก 0 อยู่ในช่วงแรงดัน 0-0.8 V เบอร์ของไอซีตระกูล TTL นี้ อาจขึ้นต้นด้วย 74..., 74LS... หรือ 74ALS... เป็นต้น แล้วตามด้วยหมายเลขชนิดของวงจร เช่น ไอซีเบอร์ 7408, 74LS08, 74ALS08 จะเป็นไอซีที่บรรจุ AND gate 4 ตัวเหมือนกัน แต่จะแตกต่างกันในเรื่องของพลังงานที่ใช้และความเร็วในการทำงาน

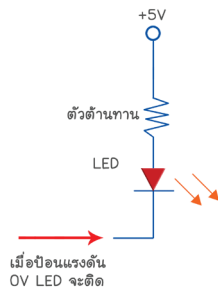
ไอซีตระกูล CMOS (Complementary Metal — Oxide — Semiconductor) จะทำงานได้ ต้องต่อกับแหล่งจ่ายไฟตรงเลี้ยงวงจรเอาไว้ตลอดเวลาเช่นกัน โดยระดับแรงดันไฟเลี้ยงสามารถมีได้หลายระดับ เช่น 3.3 V, 5 V ในกรณีที่ใช้ระดับไฟเลี้ยง 5 V ค่าลอจิก 1 จะอยู่ในช่วงแรงดัน 3.5 V-5 V และค่าลอจิก 0 จะอยู่ในช่วงแรงดัน 0 V-1.5 V ซึ่งแตกต่างไปจากช่วงแรงดันของไอซีตระกูล TTL ฉะนั้นจึงต้องระมัดระวังการที่จะนำไอซีของ 2 ตระกูลนี้มาต่อวงจรรวมกัน เบอร์ของไอซีตระกูล CMOS นี้ อาจขึ้นต้นด้วย 74HC..., 74HCT... หรือ 40..., 40H... เป็นต้น



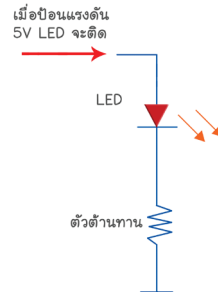
ในการต่อนำไอซีมาต่อใช้งานเป็นวงจรดิจิทัล โดยปกติแล้วจะต้องมีสวิตช์สำหรับให้ผู้ใช้กดเพื่อป้อนสัญญาณอินพุตเข้าวงจร และต้องมีการแสดงผลการทำงานของการทำงานให้ผู้ใช้ทราบได้ สำหรับการต่อสวิตช์ใช้งานอาจต่อดังรูปที่ 6.20-6.23



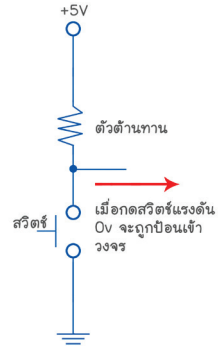
รูปที่ 6.20



รูปที่ 6.21



รูปที่ 6.22



รูปที่ 6.23

ในรูปที่ 6.20 เมื่อยังไม่กดสวิตช์ แรงดันที่ถูกป้อนเข้าวงจรจะเป็น 0 V แต่เมื่อกดสวิตช์ แรงดันที่ถูกป้อนเข้าวงจรจะเป็น 5 V ในรูปที่ 6.21 เมื่อยังไม่กดสวิตช์ แรงดันที่ถูกป้อนเข้าวงจรจะเป็น 5 V แต่เมื่อกดสวิตช์ แรงดันที่ถูกป้อนเข้าวงจรจะเป็น 0 V ด้วยเหตุที่การต่อสวิตช์ตามรูปที่ 6.20 เมื่อกดสวิตช์แล้วทำให้เกิดแรงดัน 5 V จึงเรียกการต่อวงจรแบบนี้ว่า active high ส่วนการต่อสวิตช์ตามรูปที่ 6.21 จะเป็นแบบ active low เนื่องจากเมื่อกระทำการกดสวิตช์จะได้แรงดัน 0 V

ในรูปที่ 6.22-6.23 เป็นการต่อ LED เพื่อใช้ในการแสดงผล โดย LED ในรูปที่ 6.25 จะติดสว่างก็ต่อเมื่อมีแรงดัน 5V ป้อนเข้ามา จึงเรียกการต่อแบบนี้ว่า active high ส่วนการต่อ LED ตามรูปที่ 6.23 จะเป็นแบบ active low เนื่องจาก LED จะติดสว่างเมื่อแรงดันที่ป้อนเข้ามาเป็น 0V

นอกจากนี้ ในบางการใช้งานอาจต้องการแสดงผลเป็นตัวเลขให้ผู้ใช้งานเห็น จึงมีการประดิษฐ์ตัวแสดงผลแบบเจ็ดส่วน (seven-segment display) ประกอบด้วย LED ที่มีลักษณะเป็นเส้นยาว ๆ เจ็ดท่อนเรียงกันเป็นรูปเลข 8 ดังรูปที่ 6.27 คือ ท่อน a, b, c, d, e, f และ g และอาจมี LED สำหรับแสดงจุดทศนิยมด้วย หาก LED ท่อน a, b, c สว่าง ก็จะเป็นตัวเลข 7 หรือหากท่อน b, c, f, g สว่าง ก็จะเป็นตัวเลข 4 เป็นต้น



ตัวแสดงผลแบบเจ็ดส่วนสามารถแบ่งได้เป็น 2 ชนิดใหญ่ ๆ คือ

1. ชนิดคอมมอนแคโทด (Common Cathode) ชนิดนี้จะมีการเชื่อมต่อขาแคโทดของ LED ร่วมกัน และในการใช้งานจะต่อขาแคโทดที่มีการต่อร่วมกันนี้กับแรงดัน 0 V ส่วนขาแอนโนดจะเป็นขาอินพุตสำหรับกำหนดว่าจะให้ LED ท่อนใดติดบ้าง โดยหากต้องการให้ LED ท่อนใดติดสว่าง ก็จะมีแรงดัน 5 V เข้าที่ขาอินพุตของ LED ท่อนนั้น

2. ชนิดคอมมอนแอนโนด (Common Anode) ชนิดนี้จะมีการเชื่อมต่อขาแอนโนดของ LED ร่วมกัน และในการใช้งานจะต่อขาแอนโนดนี้กับแรงดัน 5 V และจะมีแรงดัน 0 V เข้าที่ขาอินพุตซึ่งเป็นขาแคโทดของ LED ท่อนที่ต้องการให้ติดสว่าง

Common Cathode

Common Anode

Truth Table of BCD to Seven Segment Decoder																						
INPUTS									OUTPUTS for 7447							OUTPUTS for 7448						
BI	LT	RBI	D	C	B	A			a	b	c	d	e	f	g	a	b	c	d	e	f	g
0	x	x	x	x	x	x			1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0
1	0	x	x	x	x	x			0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1
1	1	0	0	0	0	0			1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0
1	1	1	0	0	0	0			0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	0
1	1	1	0	0	0	1			0	0	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0
1	1	1	0	0	1	0			0	0	0	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0	1
1	1	1	0	0	1	1			0	0	0	0	0	1	1	0	1	1	0	0	0	1
1	1	1	0	1	0	0			1	0	0	1	1	0	0	0	1	1	0	0	0	1
1	1	1	0	1	0	1			0	1	0	0	1	0	0	1	0	1	1	0	0	1
1	1	1	0	1	1	0			1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1
1	1	1	0	1	1	1			0	0	0	0	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0
1	1	1	1	0	0	0			0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1
1	1	1	1	0	0	1			0	0	0	1	1	0	0	1	1	1	0	0	1	1

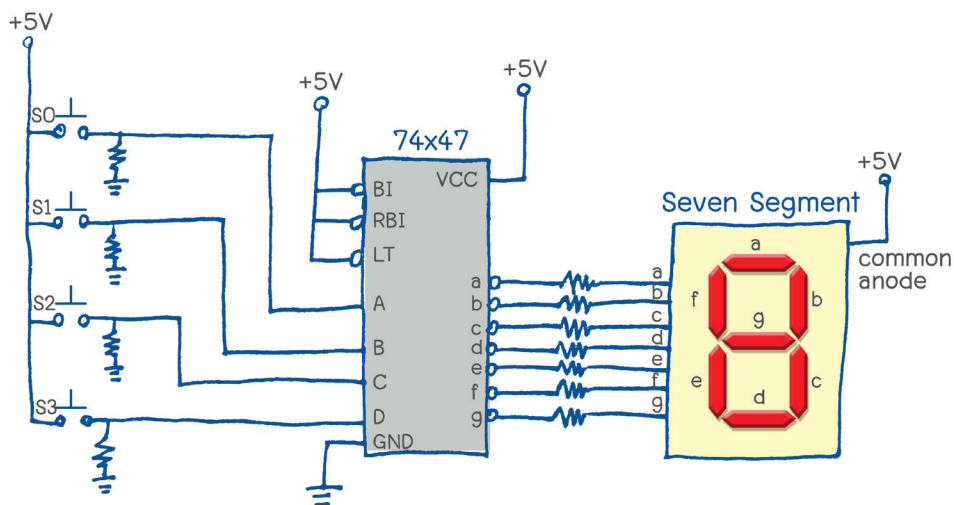
รูปที่ 6.24

เนื่องจากการทำงานของวงจรดิจิทัลจะอิงอยู่กับเลขฐานสอง ฉะนั้นในการนำค่าไปแสดงผล ออกทางตัวแสดงผลแบบเจ็ดส่วนจำเป็นต้องทำการแปลงค่าตัวเลขที่อยู่ในรูปแบบรหัสเลขฐานสองให้เป็น สัญญาณขนาด 7 บิตเพื่อไปต่อเข้ากับขา a, b, c, d, e, f, g ตัวอย่าง ไอซีเบอร์ 7447 กับไอซีเบอร์ 7448 ซึ่งมีไวลด์รหัสเลขฐานสองที่มีค่า 0000 - 1001 ให้เป็นสัญญาณขนาด 7 บิตที่ทำให้ตัวแสดงผลแบบ เจ็ดส่วนแสดงผลเป็นตัวเลข 0-9 โดยไอซีเบอร์ 7447 จะให้กับเซเว่นเซกเมนต์แบบคอมมอนแอนโนด ส่วน เบอร์ 7448 จะใช้กับแบบคอมมอนแคโทด

ชื่อขาไอซีที่มีขีด (bar อ่านว่า บาร์) อยู่ข้างบน เช่น BI, RBI, LT จะทำงานที่สภาวะแรงดันต่ำ (active low) ตัวอย่างเช่น หากต้องการบังคับให้ LED ดับทุกดวงก็จะป้อนแรงดันที่ขา BI ให้เป็น 0 V หากต้องการบังคับให้ LED ของเซเว่นเซกเมนต์ติดทุกดวงก็จะป้อนแรงดันที่ขา BI = 5 V (เพื่อให้ขา BI ไม่ทำงาน และ ให้ LT = 0 V (ให้ขา LT ทำงาน)



ตัวอย่างการต่อวงจรโดยใช้ไอซีเบอร์ 7447 ต่อเข้ากับตัวแสดงผลแบบเจ็ดส่วนชนิดคอมมอนแอโนดดังรูปที่ 6.25

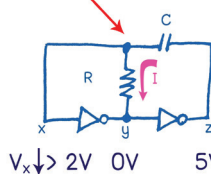


รูปที่ 6.25

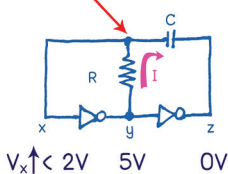
วงจรกำเนิดสัญญาณนาฬิกา

สัญญาณนาฬิกา เป็นสัญญาณแรงดันไฟฟ้าที่มีค่าแรงดันสองระดับสูงต่ำสลับกันไป ดังแสดงในรูปที่ 6.26 ซึ่งใช้ทำหน้าที่กำหนดจังหวะการเปลี่ยนสถานะการทำงานของวงจรที่มีการใช้งานอุปกรณ์ประเภทฟลิปฟล็อปอยู่ด้วย

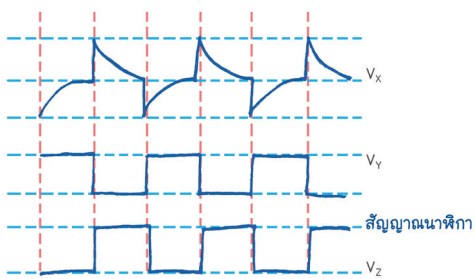
ศักย์ไฟฟ้าจุดนี้ค่อย ๆ สูงขึ้น



ศักย์ไฟฟ้าจุดนี้ค่อย ๆ ลดลง



รูปที่ 6.26 (ก)



รูปที่ 6.26 (ข)



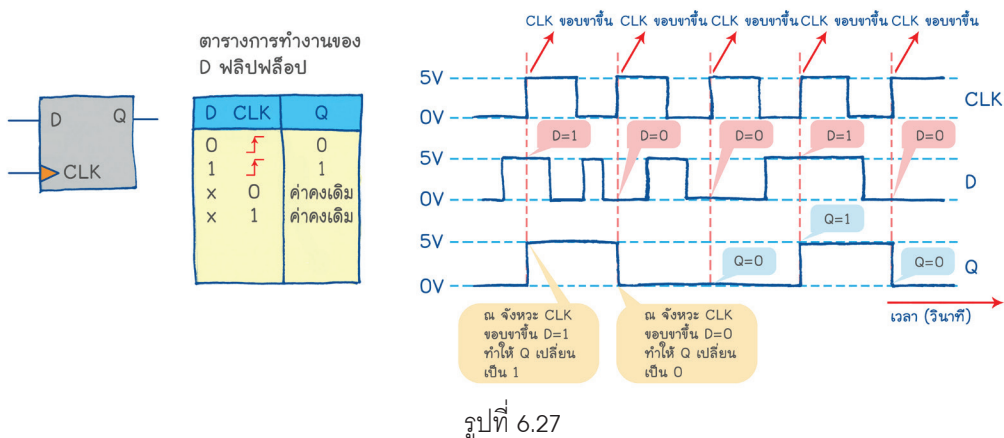
หลักการการทำงานของวงจรกำเนิดสัญญาณนาฬิกาในรูป สามารถอธิบายได้ดังนี้

สมมุติให้นอตเกิดให้เอาต์พุตเป็น 5 V เมื่อแรงดันอินพุตต่ำกว่า 2V และให้เอาต์พุตเป็น 0V เมื่ออินพุตสูงกว่า 2V เมื่อแรงดัน $V_x < 2$ V (เช่น 0 V) ทำให้ $V_y = 5$ V, $V_z = 0$ V รูปที่ 6.26 (ก) และเนื่องจาก V_y มากกว่า V_z ทำให้มีการอัดประจุเข้าตัวเก็บประจุ ซึ่งส่งผลให้ศักย์ไฟฟ้า V_x มีค่าสูงขึ้นเรื่อย ๆ จนกระทั่งเมื่อ V_x เริ่มมากกว่า 2 V ก็จะทำให้ $V_y = 0$ V และ $V_z = 5$ V ดังรูปที่ 6.26 (ข) และด้วยสมบัติของตัวเก็บประจุที่พยายามรักษาระงับแรงดันตกคร่อมตัวมันให้คงที่ ทำให้ทันทีที่ V_z เปลี่ยนจาก 0V เป็น 5 V V_x ก็จะเปลี่ยนค่าจาก 2 V เป็น 7 V และต่อมาเนื่องจากสภาวะวงจรขณะนี้ V_y น้อยกว่า V_z ทำให้ตัวเก็บประจุคายประจุย้อนออกมา ซึ่งส่งผลให้ศักย์ไฟฟ้า V_x มีค่าลดลงเรื่อย ๆ จะกระทั่งเมื่อ V_x เริ่มต่ำกว่า 2 V ก็จะทำให้ $V_y = 5$ V และ $V_z = 0$ V และเกิดเหตุการณ์เช่นนี้ไปเรื่อย ๆ สัญญาณที่มีค่าแรงดันสูงต่ำสลับกันดังเช่น V_z เรียกว่าคลื่นสี่เหลี่ยม ซึ่งจะนำมาใช้เป็นสัญญาณนาฬิกาของวงจรต่อไป

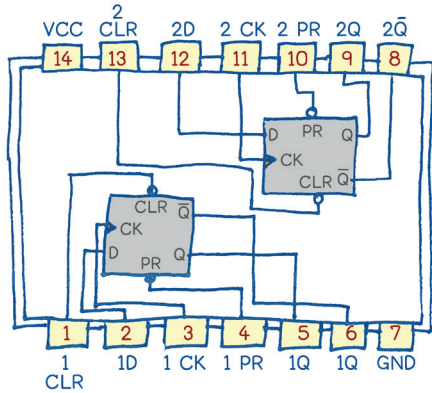
(หมายเหตุ หากค่านิ่งถึงปริมาณกระแสที่ขาอินพุตของนอตเกิดด้วย ผลการทำงานจะแตกต่างไปจากนี้บ้าง)

D-ฟลิปฟล็อป (D-Flip Flop อ่านว่า ดี ฟลิปฟล็อป)

D ฟลิปฟล็อปมีสัญลักษณ์ดังรูป เป็นวงจรที่มีอินพุตเข้าทางขา D และเอาต์พุตออกทางขา Q โดย การเปลี่ยนสถานะของเอาต์พุต Q นั้นจะเป็นไปตามจังหวะสัญญาณนาฬิกาที่ป้อนเข้ามาทางขา CLK กล่าวคือ ทุกครั้งเวลาที่สัญญาณนาฬิกา CLK เปลี่ยนค่าลอจิกจาก 0 เป็น 1 หรือที่เรียกว่าขอบขาขึ้น (↑) ฟลิปฟล็อปจะเปลี่ยนสถานะของเอาต์พุต Q ให้เป็นค่าของอินพุต D ที่อ่านได้ ณ เวลาที่เกิดขอบขาขึ้นนั้น นั่นคือขณะที่สัญญาณ CLK มีค่าเป็น 1 คงที่ หรือ เป็น 0 คงที่ หรือมีการเปลี่ยนค่าจาก 1 เป็น 0 หรือที่เรียกว่าขอบขาลง (↓) เอาต์พุต Q ก็จะไม่มีการเปลี่ยนแปลงใด ๆ ดังสังเกตได้จากตัวอย่างของสัญญาณของวงจรที่ทำงานตามแผนภาพเวลา (Timing diagram) ในรูปที่ 6.27



7474



รูปที่ 6.28

ไอซีเบอร์ 7474 เป็นไอซีที่มี D ฟลิปฟล็อป ภายใน 2 ตัว ดังรูปที่ 6.28 โดยแต่ละตัวจะมีเอาต์พุต 2 แบบ คือ แบบ active high (Q) กับแบบ active low ($\bar{Q}$) ซึ่งจะมีค่าตรงข้ามกันเสมอ นอกจากนี้ ยังมีขา preset (PR) กับขา clear (CLR) ซึ่งเมื่อขา PR = 0 จะเป็นการบังคับให้ เอาต์พุต Q = 1 ทันทีโดยไม่ต้องรอจังหวะจากสัญญาณนาฬิกา และเมื่อ ขา CLR = 0 ก็จะบังคับให้เอาต์พุต Q = 0 ทันที ซึ่งในการใช้งาน D ฟลิปฟล็อป ตามปกติแล้วจะต้องวงจรให้ขา PR = 1 และ CLR = 1 ทั้งคู่

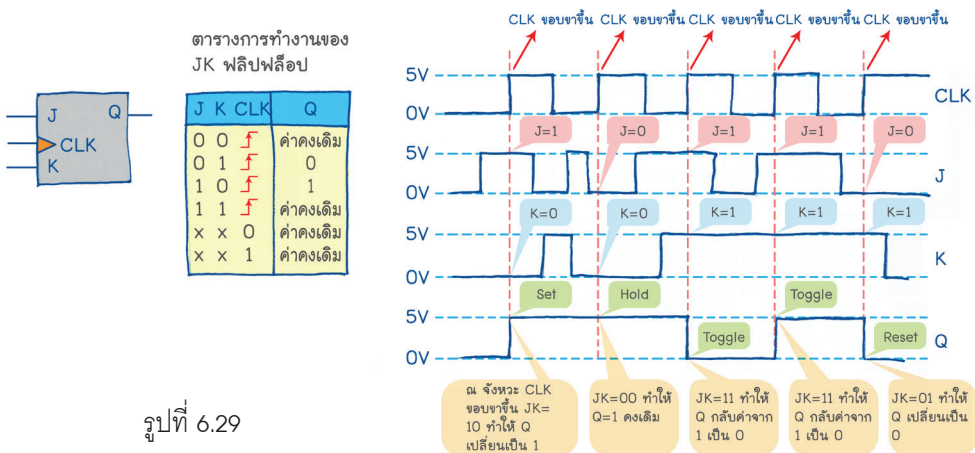
JK ฟลิปฟล็อป (JK-Flip Flop อ่านว่า เจเค ฟลิปฟล็อป)

JK ฟลิปฟล็อปมีสัญลักษณ์ดังรูปที่ 6.32 เป็นวงจรที่มีอินพุตเข้าทางขา J กับขา K และเอาต์พุตออกทางขา Q โดยเมื่อเกิดขอบขาขึ้นของสัญญาณนาฬิกา CLK ($\uparrow$) เอาต์พุต Q จะมีค่าเป็นไปตามเงื่อนไขของค่าอินพุต ดังต่อไปนี้

ถ้าอินพุต J และ K มีค่าเป็น J = 0, K = 0 เอาต์พุต Q จะมีค่าคงเดิม ซึ่งเรียกว่า การ hold
ถ้าอินพุต J และ K มีค่าเป็น J = 1, K = 1 เอาต์พุต Q จะกลับสถานะเป็นค่าตรงข้าม ซึ่งเรียกว่าการ toggle

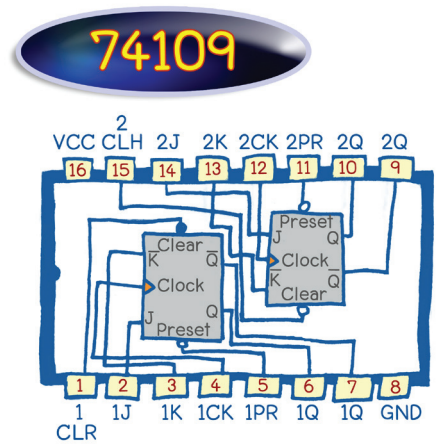
ถ้าอินพุต J และ K มีค่าเป็น J = 1, K = 0 เอาต์พุต Q จะมีค่าเป็น 1 ซึ่งเรียกว่า การ set

ถ้าอินพุต J และ K มีค่าเป็น J = 0, K = 1 เอาต์พุต Q จะมีค่าเป็น 0 ซึ่งเรียกว่า การ reset



รูปที่ 6.29

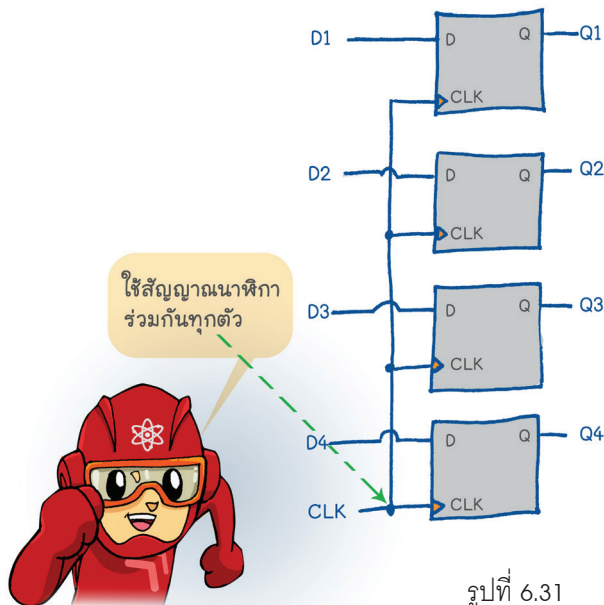
ไอซีเบอร์ 74109 เป็นไอซีที่มี JK ฟลิปฟล็อปภายใน 2 ตัว ดังรูปที่ 6.33 โดยขาอินพุต J เป็นแบบ active high ขาอินพุต K เป็นแบบ active low นั่นคือ หากต้องการ hold ต้องให้ J และ K ไม่ active ทั้งคู่ กล่าวคือ $J = 0, K = 1$ หากต้องการ toggle ต้องให้ J และ K active ทั้งคู่ กล่าวคือ $J = 1, K = 0$ หากต้องการ set ต้องให้ J active ตัวเดียว ส่วน K ไม่ active กล่าวคือ $J = 1, K = 1$ หากต้องการ reset ต้องให้ J ไม่ active และ K active กล่าวคือ $J = 0, K = 0$ ส่วนขา preset, ขา clear หรือขาเอาต์พุต Q และ $\bar{Q}$ มีการใช้งานเช่นเดียวกับ D ฟลิปฟล็อป



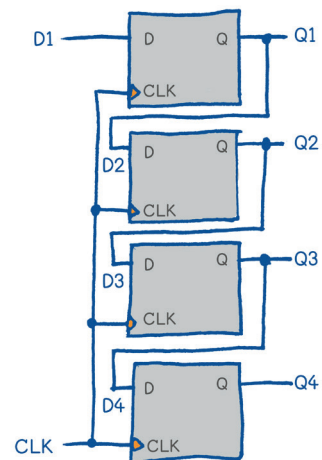
รูปที่ 6.30

วงจรเรจิสเตอร์ (Register)

เป็นวงจรที่มีการใช้ D ฟลิปฟล็อปหลาย ๆ ตัวช่วยในการเก็บข้อมูลขนาดหลายบิต โดย D ฟลิปฟล็อปทุกตัวจะใช้สัญญาณนาฬิกาเดียวกันเพื่อให้มีจังหวะในการเก็บข้อมูลของฟลิปฟล็อปแต่ละตัวพร้อมเพรียงกัน

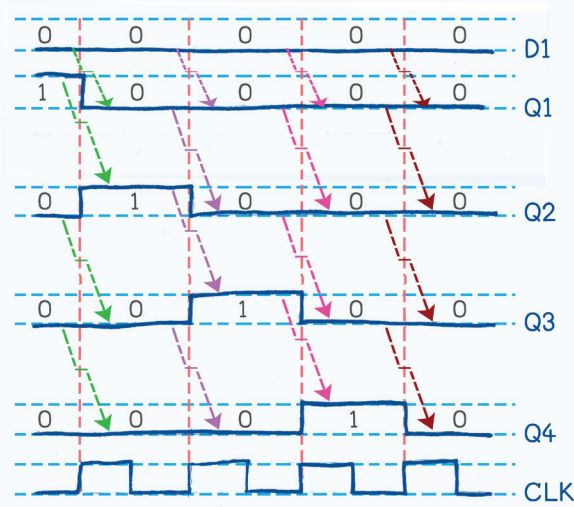


รูปที่ 6.31



รูปที่ 6.32





รูปที่ 6.33

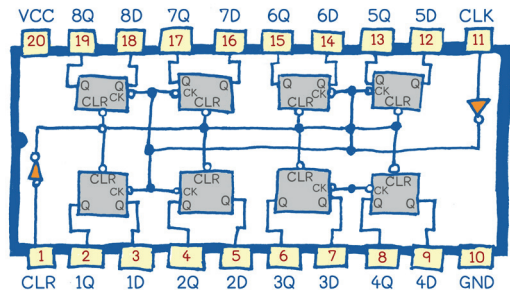
ข้อสังเกตถ้านำเอาต์พุต Q1 ไปต่อเข้ากับอินพุต D2, ต่อ Q2 เข้ากับ D3, ต่อ Q2 เข้ากับ D3, ต่อ Q3 เข้ากับ D4 และต่อ Q4 เข้ากับ D1 ดังแสดงในรูปที่ 6.34 ก็จะได้วงจรเรจิสเตอร์แบบเลื่อนข้อมูล (shift register) กล่าวคือ ทุก ๆ ครั้งที่เกิดขอบขาขึ้นของสัญญาณนาฬิกา CLK ก็จะมีการถ่ายโอนข้อมูลให้เลื่อนจาก Q1 ไป Q2, จาก Q2 ไป Q3 และจาก Q3 ไป Q4 ตามลำดับ ดังตัวอย่างการทำงานที่แสดงในแผนภาพเวลาของรูปที่ 6.35 ดังนี้ เริ่มต้นสมมุติให้ $Q_4Q_3Q_2Q_1=0001$ และให้ $D_1 = 0$ ตลอดเวลา นั่นคือจากลักษณะการต่อวงจรจะได้ $D_4 = Q_3$, $D_3 = Q_2$, $D_2 = Q_1$, $D_1 = 0$ ฉะนั้นในตอนเริ่มต้น $D_4D_3D_2D_1 = 0010$ ทำให้เมื่อเกิดสัญญาณขอบขาขึ้นของ CLK ครั้งแรก เอาต์พุตจึงเปลี่ยนค่าเป็น $Q_4Q_3Q_2Q_1 = 0010$ ซึ่งส่งผลให้อินพุตเปลี่ยนค่าเป็น $D_4D_3D_2D_1 = 0100$ จากนั้นเมื่อเกิดขอบขาขึ้นของ CLK ครั้งที่ 2 เอาต์พุตจะเปลี่ยนค่าเป็น $Q_4Q_3Q_2Q_1 = 0100$ ซึ่งส่งผลให้อินพุตเปลี่ยนค่าเป็น $D_4D_3D_2D_1 = 1000$ จากนั้นเมื่อเกิดขอบขาขึ้นของ CLK ครั้งที่ 3 เอาต์พุตจะเปลี่ยนค่าเป็น $Q_4Q_3Q_2Q_1 = 1000$ ซึ่งส่งผลให้อินพุตเปลี่ยนค่าเป็น $D_4D_3D_2D_1 = 0000$ จากนั้นเมื่อเกิดขอบขาขึ้นของ CLK ครั้งที่ 4 เอาต์พุตจะเปลี่ยนค่าเป็น $Q_4Q_3Q_2Q_1 = 0000$ ซึ่งส่งผลให้อินพุตเปลี่ยนค่าเป็น $D_4D_3D_2D_1 = 0000$ หลังจากนั้นถ้า D1 ยังคงเป็น 0 เอาต์พุตของวงจรก็จะมีค่าเป็น $Q_4Q_3Q_2Q_1 = 0000$ ไปเรื่อย ๆ

จากผลการทำงานของวงจรจะเห็นว่าเอาต์พุตจะลำดับการเปลี่ยนแปลงค่าดังนี้ $Q_4Q_3Q_2Q_1 = 0001 \rightarrow 0010 \rightarrow 0100 \rightarrow 1000 \rightarrow 0000$ ซึ่งเกิดการเลื่อนข้อมูลไปทางซ้ายทีละ 1 บิตตามจังหวะสัญญาณนาฬิกา



74273

ไอซีเบอร์ 74273 เป็นไอซีที่มีเรจิสเตอร์ขนาด 8 บิต หรือ 1 ไบต์ (1 byte = 8 bit) กล่าวคือ ภายในจะมี D ฟลิปฟล็อปจำนวน 8 ตัว ที่มีขา CLK เชื่อมต่อร่วมกัน และมีขา CLR ซึ่งเมื่อขา CLR active หรือ CLR = 0 ก็จะทำให้การเคลียร์ค่าให้ข้อมูลของฟลิปฟล็อปเป็น 0 กล่าวคือ เป็นการรีเซ็ตให้ขาเอาต์พุตให้ Q=0 ทุกตัว



รูปที่ 6.34

ไอซีเบอร์ 74194 เป็นไอซีที่มีการทำงานของเรจิสเตอร์แบบเลื่อนข้อมูลขนาด 4 บิตอยู่ภายใน โดยมีขา SISO ควบคุมการทำงานใน 4 รูปแบบดังนี้ (หมายเหตุ QA* QB* QC* QD* เป็นค่าเอาต์พุตหลังจากมีขอบขาขึ้นของ CLK เกิดขึ้น)

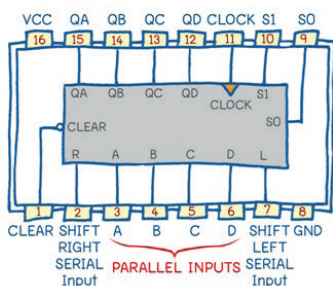
เมื่อ SISO = 00 จะทำการคงค่าเดิม (hold) กล่าวคือเอาต์พุต QAQBQCQD จะมีค่าคงเดิม

เมื่อ SISO = 01 จะเลื่อนข้อมูลไปทางขวา (shift right) กล่าวคือเอาต์พุต QA* QB* QC* QD* = RIN QA QB QC

เมื่อ SISO = 10 จะเลื่อนข้อมูลไปทางซ้าย (shift left) กล่าวคือเอาต์พุต QA* QB* QC* QD* = QA QB QC LIN

เมื่อ SISO = 11 จะรับข้อมูลจากอินพุตภายนอกพร้อมกัน (load) กล่าวคือเอาต์พุต QA* QB* QC* QD* = A B C D

74194



Function table for the 74x194 4-bit universal shift register

Function	Inputs		Next state			
	S1	S0	QA*	QB*	QC*	QD*
Hold	0	0	QA	QB	QC	QD
Shift right	0	1	RIN	QA	QB	QC
Shift left	1	0	QB	QC	QD	LIN
Load	1	1	A	B	C	D

รูปที่ 6.35



วงจรรนับ (Counter)

เป็นวงจรที่มีลำดับการเปลี่ยนสถานะไล่เรียงกันไปเรื่อย ๆ จนเมื่อถึงสถานะสุดท้ายก็จะกลับมาเริ่มต้นสถานะแรกอีก เช่น วงจรรนับเลขฐานสองขนาด 4 บิต ที่มีการนำ JK ฟลิปฟล็อปมาต่อวงจรดังรูป 6.36 โดยให้ขาอินพุตมีค่า $J = 1$ และ $K = 1$ ตลอดเวลา เพื่อให้ทุกครั้งที่เกิดสัญญาณขอบขาขึ้น (↑) ที่ขา CLK ของฟลิปฟล็อปตัวใด เอาต์พุตของฟลิปฟล็อปตัวนั้นก็จะกลับสถานะเป็นค่าตรงข้าม (toggle) กล่าวคือ

ฟลิปฟล็อปตัวที่ 1 ที่มีเอาต์พุตเป็น Q_1 จะกลับสถานะทุกครั้งที่เกิดขอบขาขึ้นของสัญญาณนาฬิกาจากภายนอก

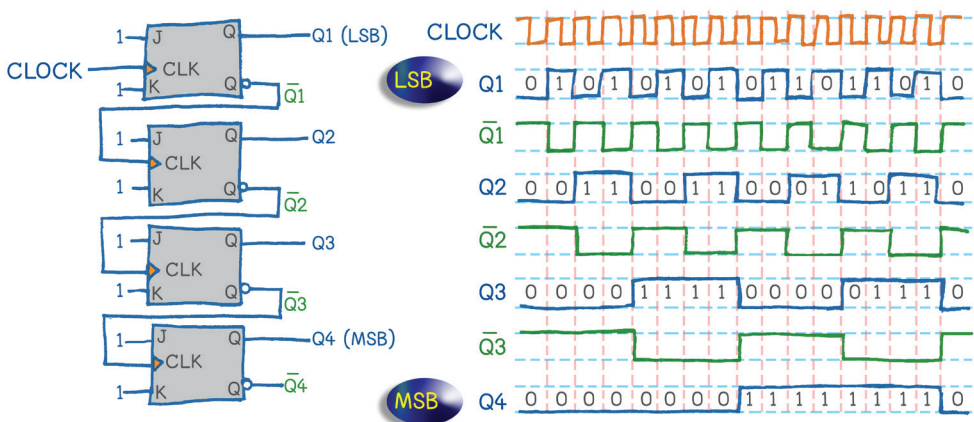
ฟลิปฟล็อปตัวที่ 2 ที่มีเอาต์พุตเป็น Q_2 จะกลับสถานะทุกครั้งที่เกิดขอบขาขึ้นของสัญญาณจาก $\bar{Q}_1$

ฟลิปฟล็อปตัวที่ 3 ที่มีเอาต์พุตเป็น Q_3 จะกลับสถานะทุกครั้งที่เกิดขอบขาขึ้นของสัญญาณจาก $\bar{Q}_2$

ฟลิปฟล็อปตัวที่ 4 ที่มีเอาต์พุตเป็น Q_4 จะกลับสถานะทุกครั้งที่เกิดขอบขาขึ้นของสัญญาณจาก $\bar{Q}_3$

นั่นคือ ถ้าเริ่มต้นให้เอาต์พุตมีสถานะเป็น $Q_4Q_3Q_2Q_1 = 0000$ เมื่อสัญญาณนาฬิกาเกิดขอบขาขึ้นในแต่ละครั้ง จะทำให้เอาต์พุต $Q_4Q_3Q_2Q_1$ มีการเปลี่ยนแปลงสถานะดังแสดงในรูป กล่าวคือ เอาต์พุตจะมีการเพิ่มค่าทีละ 1 ทุก ๆ ครั้งที่เกิดขอบขาขึ้นของสัญญาณ CLOCK ตามลำดับดังนี้ $Q_4Q_3Q_2Q_1 = 0000 \rightarrow 0001 \rightarrow 0010 \rightarrow \dots 1111 \rightarrow 0000$ ซึ่งเป็นการนับเลขฐานสองวนไปเรื่อย ๆ ตามจังหวะสัญญาณนาฬิกา

ข้อสังเกต เนื่องจาก $\bar{Q}_i$ มีค่าตรงข้ามกับ Q_i เสมอ ดังนั้น เมื่อ Q_i เปลี่ยนค่าจาก 1 เป็น 0 ซึ่งเป็นขอบขาลง (↓) ก็จะส่งผลให้ $\bar{Q}_i$ มีค่าเปลี่ยนจาก 0 เป็น 1 หรือเป็นขอบขาขึ้น (↑) นั่นเอง



รูปที่ 6.36



บทที่ 7

เทคนิคการบัดกรี

อ.ผดุงศักดิ์ วงศ์เขียวแก้ว

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา ภาคพายัพ เชียงใหม่

อ.นักรบ จินาพร

มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

1) การออกแบบและสร้างลายทองแดงบนแผ่นวงจรพิมพ์

แผ่นวงจรพิมพ์ (Print Circuit Board) หรือแผ่นปริ้นท์ ที่เรียกกันย่อ ๆ ว่า PCB เป็นส่วนประกอบที่สำคัญในงานอิเล็กทรอนิกส์ ใช้ทำหน้าที่เชื่อมต่อทางไฟฟ้า และ ยึดตัวอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์บนแผ่นฉนวน โดยบัดกรีขาอุปกรณ์กับเส้นลายทองแดงให้เชื่อมต่อถึงกันทางไฟฟ้า วัสดุที่นำมาใช้ทำแผ่น PCB จะมีลักษณะเป็นแผ่นฉนวนทางไฟฟ้าบาง มีความแข็งแรง ทนความร้อนได้สูง ไม่แตกหักง่าย อีกด้านหนึ่งเคลือบหรือติดด้วยแผ่นทองแดง โดยความหนาของฉนวน จำนวนชั้นของทองแดง ขึ้นอยู่กับการนำไปใช้งาน

1.1 โครงสร้างของแผ่นวงจรพิมพ์

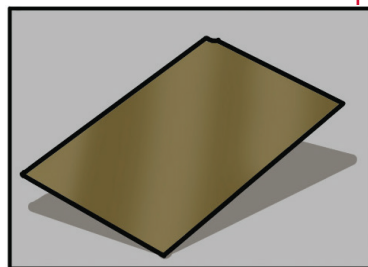
วัสดุที่นิยมนำมาใช้ทำแผ่น PCB มีอยู่ 3 ชนิด คือ

- เซลลูโลสฟิโนลิกเรซิน (Phenotic Cellulose Paper)

ลักษณะจะเป็นเนื้อเดียวกันหมด ราคาถูก เนื้อแผ่นเป็นสีน้ำตาลเข้ม

ข้อดี คือ ราคาถูก การตัดทำได้ง่าย และมีน้ำหนักเบา

ข้อจำกัด คือ หักง่าย เปราะบาง จะเกิดสัญญาณรบกวนที่ความถี่สูงได้ง่าย



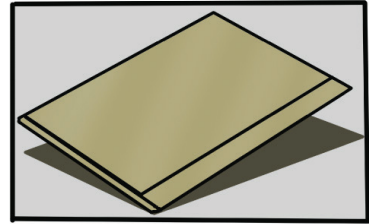
รูปที่ 7.1 แผ่นวงจรพิมพ์แบบเซลลูโลสฟิโนลิกเรซิน



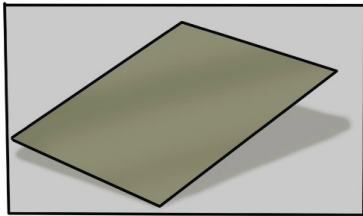
- แบบเซลลูโลสอีพอกไซด์เรซิน (Epoxies Cellulose Paper) และมีลักษณะคล้ายกับแบบแรก แต่จะแบ่งออกเป็นสามชั้น แล้วทำการบีบอัดให้เป็นเนื้อเดียวกัน ทำให้มีความแข็งแรงกว่า เนื้อแผ่นจะมีสีน้ำตาลอ่อน หรือเขียวอ่อน

ข้อดี คือ มีความแข็งแรง ทนความร้อน

ข้อจำกัด คือ ตัวฉนวนมีความเหนียวทำให้ตัดยาก



รูปที่ 7.2 แผ่นวงจรพิมพ์แบบเซลลูโลสอีพอกไซด์เรซิน



รูปที่ 7.3 แผ่นวงจรพิมพ์แบบอีพอกไซด์เรซิน

- แบบอีพอกไซด์เรซิน (Epoxies Woven Glass Fabric) มีลักษณะดักแบบตาราง จึงมีความแข็งแรงมากที่สุด มีเนื้อแผ่นเป็นสีขาวขุ่นโปร่งแสง หรือเขียวอ่อน ๆ เมื่อกัดลายทองแดงออกแล้ว สามารถมองเห็นลายทองแดงจากด้านบนได้ ราคาจะสูงกว่าแบบอื่น

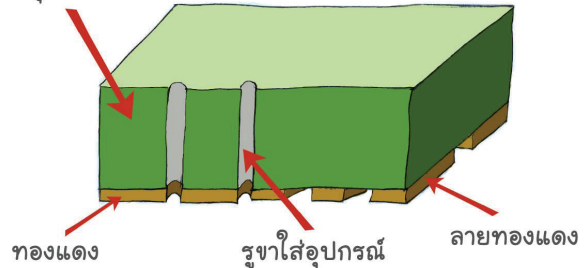
ข้อดี คือ มีความแข็งแรง ทนต่ออุณหภูมิสูง เหมาะกับการสัญญาณความถี่สูง

ข้อจำกัด คือ ราคาแพง การตัดทำได้ยากเนื่องจากมีความเหนียว ต้องใช้เครื่องมือเฉพาะ

1.2 การยึดติดแผ่นทองแดงบนแผ่นวงจรพิมพ์ มีอยู่ 4 แบบคือ

- แบบหน้าเดียว (Single side) เป็นแผ่นวงจรพิมพ์ที่มีลายทองแดงอยู่เพียงด้านเดียว

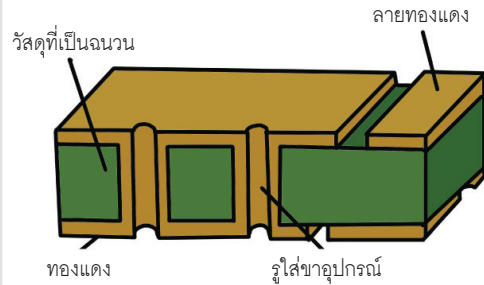
วัสดุที่เป็นฉนวน



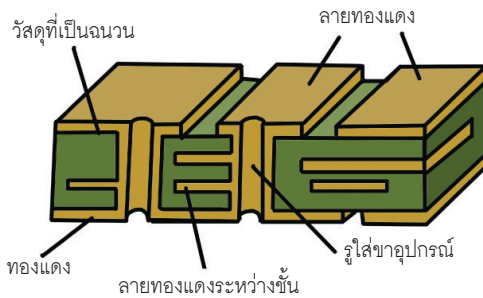
รูปที่ 7.4 แผ่นวงจรพิมพ์แบบหน้าเดียว



- แบบสองหน้า (Double side) เป็นแผ่นวงจรพิมพ์ที่มีลายทองแดงอยู่ทั้งสองด้านโดยอุปกรณ์จะวางอยู่ด้านใด ด้านหนึ่งตามที่เราได้ออกแบบไว้ เนื้อแผ่นจะเป็นอีพอกไซด์เรซินเท่านั้น ส่วนการเชื่อมต่อแผ่นทองแดงระหว่างด้าน บนกับด้านล่าง จะใช้วิธีการเจาะรูแล้วทำให้ภายในรูนั้นมีสภาพความนำเรียกว่า Plated Through Hole (PTH) โดยมีกรรมวิธีการผลิตที่ซับซ้อนกว่าแบบแรก



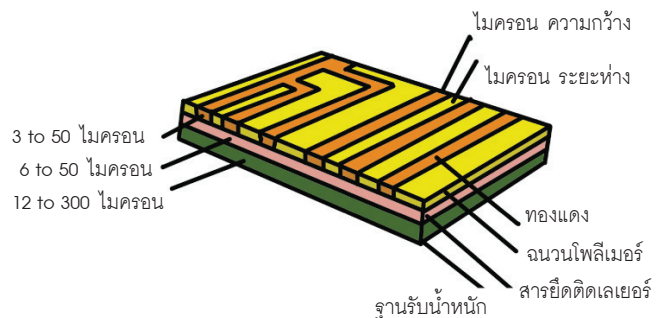
รูปที่ 7.5 แผ่นวงจรพิมพ์แบบสองหน้า



รูปที่ 7.6 แผ่นวงจรพิมพ์แบบหลายชั้น

- แบบหลายชั้น (Multi layers) เป็นแผ่นวงจรพิมพ์หลาย ๆ แผ่นมาวางซ้อนกัน แล้วทำการบีบอัดให้ยึดติดกันเป็นแผ่นเดียว โดยที่ลายทองแดงของแผ่นวงจรพิมพ์แต่ละแผ่นอาจถูกเชื่อมต่อให้ถึงกันโดยผ่านรูที่เป็นตัวนำ ซึ่งภายในรูนั้นจะถูกเคลือบด้วยทองแดง เพื่อให้การนำไฟฟ้าต่อเนื่องกัน ในปัจจุบันสามารถผลิตให้มีจำนวนชั้นได้มากกว่าสิบชั้น

- แบบยืดหยุ่น (Flexible Circuit) เป็นแผ่นวงจรพิมพ์ที่สามารถ บิด โค้งงอและยืดหยุ่นได้ โดยไม่กระทบการทำงานของวงจร เนื้อวัสดุที่นำมาผลิตจะเป็นยางโพลีเมอร์ ซึ่งมีความยืดหยุ่นและบาง มีความประมาณ 300 ไมครอน



รูปที่ 7.7 แผ่นวงจรพิมพ์แบบยืดหยุ่น



2) การออกแบบและการสร้างลายทองแดงบนแผ่นวงจรพิมพ์

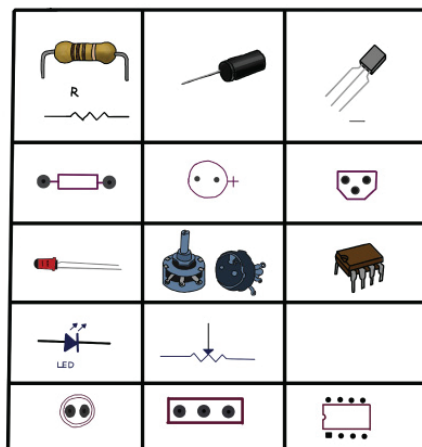
ทำได้หลายวิธีทั้งเขียนด้วยมือ หรือใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ออกแบบ แล้วใช้เครื่องกัด แต่สำหรับผู้เริ่มต้น แนะนำให้ใช้วิธีการเขียนด้วยมือก่อน เพื่อเป็นการฝึกพื้นฐานการออกแบบลายวงจรพิมพ์

2.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการออกแบบลายวงจรพิมพ์โดยใช้กระดาษไข มีดังนี้

1. กระดาษขนาด A4
2. กระดาษไข A4
3. ดินสอ
4. ยางลบดินสอ
5. ไม้บรรทัด
6. สติกเกอร์ PVC ที่นิยมนำมาแกะเป็นตัวอักษรที่ติดรถยนต์ทั่วไป
7. แผ่นปรินท์ ตัดตามขนาดของลายวงจรที่ออกแบบไว้
8. กรดกัดปรินท์ ใช้แบบเป็นน้ำหรือเป็นก้อนก็ได้
9. สว่านและดอกสว่าน 1 มิลลิเมตร
10. ปากกาเขียนซีดีหรือสีเมจิก
11. น้ำยาเคลือบแผ่นปรินท์หรือยางสน
12. มีดคัตเตอร์แบบปลาย 30° หรือมีดสำหรับงานแกะสติกเกอร์ก็ได้
13. กาวลาเท็กซ์
14. กะละมัง (พลาสติก)
15. สก๊อตไบร์
16. น้ำยาล้างจาน
17. เข็ม

2.2 การทำฟุตปริ้นท์

ฟุตปริ้นท์ คือ รูปร่าง ขนาด ระยะห่าง และตำแหน่งการวางของขาอุปกรณ์จริงที่ใช้ในการเชื่อมต่อกับอุปกรณ์ตัวอื่น ๆ ในวงจร จะใช้การมองจากด้านบนลงมาด้านล่าง (Top view) เพื่อใช้เป็นตำแหน่งในการวางอุปกรณ์จริงบนแผ่นวงจรพิมพ์ ตัวอย่างฟุตปริ้นท์ของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ แสดงดังรูป 7.8

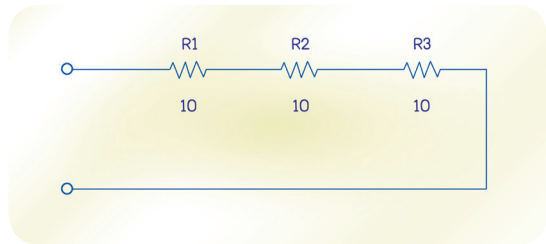


รูปที่ 7.8 ตัวอย่างฟุตปริ้นท์

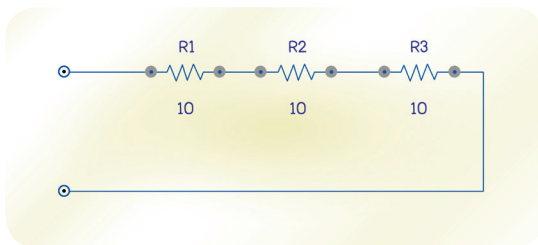


2.3 ขั้นตอนการออกแบบลายวงจรบนกระดาดไซ

1. เขียนวงจรลงบนกระดาดไซ โดยให้มีขนาดและระยะห่างเท่ากับของจริง โดยการนำอุปกรณ์ของจริงมาวางทาบตรงตำแหน่งสัญลักษณ์ของอุปกรณ์บนกระดาดไซ กำหนดระยะห่าง และตำแหน่งของขาต่อใช้งานให้ถูกต้อง โดยเฉพาะอุปกรณ์ที่มีมากกว่า 2 ขา เช่น ทรานซิสเตอร์

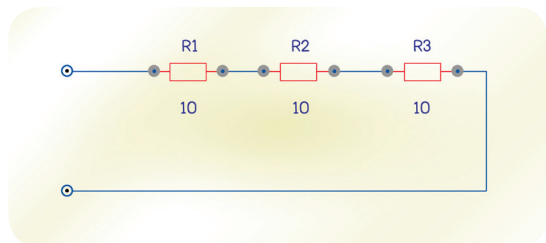


รูปที่ 7.9 รูปวงจร

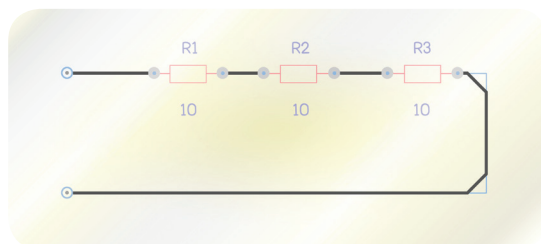


รูปที่ 7.10

2. ใส่จุดวงกลมตรงปลายขาอุปกรณ์ เขียนเป็นกรอบแสดงขนาดของอุปกรณ์แทน



รูปที่ 7.11



รูปที่ 7.12

3. นำกระดาดไซมาวางทับ แล้วใช้ดินสอเขียนตำแหน่งของขา และลากเส้นเชื่อมต่อระหว่างขาของอุปกรณ์แต่ละตัว



การเชื่อมต่อขาอุปกรณ์แต่ละขาให้ต่อกันด้วยการเดินเส้นลายทองแดง เราลากเส้นไม่ให้ตัดกัน ยกเว้นเส้นที่เชื่อมต่อกัน สำหรับการหักโค้งจะมี 3 ลักษณะดังนี้



รูปที่ 7.13

ข้อกำหนดในการลากเส้น

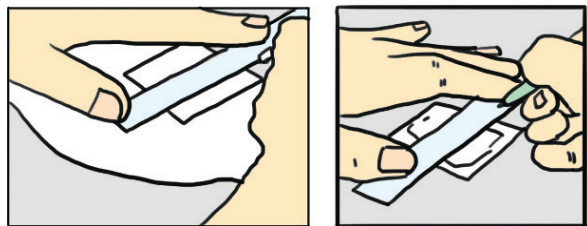
- ขนาดของเส้นลายทองแดง ขึ้นอยู่กับกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่าน หากต้องการให้กระแสไหลผ่านได้ปริมาณมาก ๆ ควรลากเส้นให้มีขนาดใหญ่
- รัศมีครีวงการเดินเส้นลายทองแดง ต้องไม่ให้สัมผัสกับเส้นลายทองแดงเส้นอื่น
- การเดินเส้นลายทองแดงสามารถลากเส้นลอดใต้ตัวอุปกรณ์ได้
- ให้เว้นตำแหน่งที่จะต้องเจาะรูใส่น็อตสำหรับไว้ยึดแผ่นวงจรพิมพ์ ไว้ในตำแหน่งที่สามารถเดินเส้นทองแดงได้โดยไม่ทับกัน



รูปที่ 7.14

5. นำกระดาษที่มีรูปร่างจรวดออก ก็จะเสร็จขั้นตอนของการออกแบบลายเส้นทองแดงบนกระดาษไข

6. เขียนกรอบแสดงขนาดของแผ่นวงจรพิมพ์ให้ครอบคลุมลายวงจรทั้งหมด ตีเส้นกรอบครอบลายวงจรทั้งหมด พร้อมทั้งกำหนดตำแหน่งเจาะรูใส่น็อต สำหรับยึดแผ่นวงจร



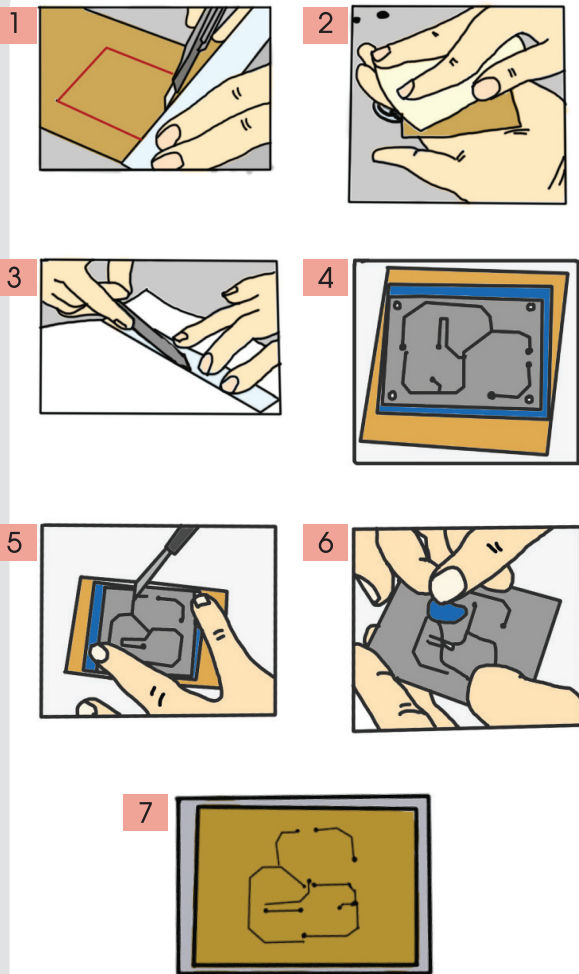
รูปที่ 7.15

7. ตรวจสอบความถูกต้องของการเดินลายเส้นทองแดง



2.4 การทำแผ่นวงจรพิมพ์ด้วยการแกะสติ๊กเกอร์

นำกระดาษไขที่ได้ออกแบบแผ่นวงจรพิมพ์เรียบร้อยแล้ว ทากาวด้านบนของกระดาษไขที่เขียนลายวงจร นำไปติดบนแผ่นสติ๊กเกอร์ (จะเป็นการพลิกแผ่นกระดาษไข) แล้วแกะสติ๊กเกอร์ให้เหลือเฉพาะลายเส้นทองแดงไว้บนแผ่นวงจรพิมพ์ มีขั้นตอนการทำดังนี้



1. ตัดแผ่น PCB ตามขนาดที่ออกแบบ โดยใช้คัตเตอร์กรีดด้านที่เป็นทองแดง แล้วนำวางพาดให้แนวที่ตัดอยู่ขอบโต๊ะ และหักพับกับขอบโต๊ะ

2. ทำความสะอาดแผ่นปรินท์ด้วยน้ำยาล้างจาน

3. ตัดสติ๊กเกอร์ตามขนาดของแผ่นปรินท์ และนำไปติดกับแผ่นปรินท์ด้านแผ่นทองแดง รีดให้อากาศออก หากมีอากาศเป็นจุดให้ใช้เข็มจิ้มเป็นรู แล้วรีดให้เรียบ

4. นำกระดาษไขที่ตัดแล้ว มาทากาวด้านบน นำไปติดทับบนสติ๊กเกอร์ที่ติดอยู่บนแผ่นปรินท์

5. ใช้มีดคัตเตอร์แกะตามลายเส้นทองแดงบนกระดาษไข

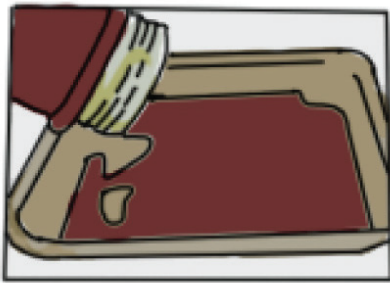
6. ลอกสติ๊กเกอร์ส่วนที่ไม่ใช่ออก และทำความสะอาดคราบาวสติ๊กเกอร์

7. นำแผ่นวงจรพิมพ์ที่แกะสติ๊กเกอร์เรียบร้อยแล้วไปทำการกัดลายทองแดงกับน้ำยากัดปรินท์

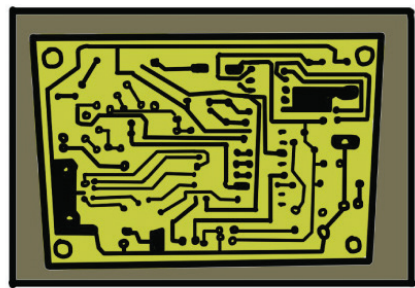
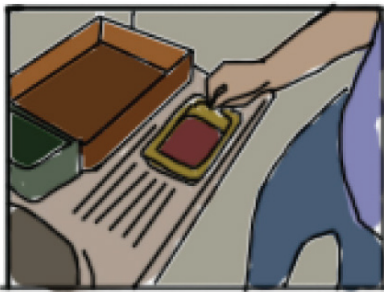


2.5 ขั้นตอนการกัดลายทองแดงของแผ่นวงจรพิมพ์

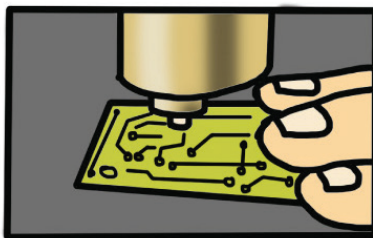
การกัดลายทองแดงที่ไม่ต้องการออก จะใช้กรดกัดปรอท ซึ่งมีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า เหล็ก Ferric chloride โดยการนำ Nitric acid และ Dutch mordant มาใช้กัดทองแดง มีขั้นตอนดังนี้



- 1 นำกรดกัดปรอทมาทาบให้เป็นก้อนเล็กๆ (เพื่อให้ละลายได้เร็ว)
- 2 นำไปใส่ในภาชนะ
- 3 เติมน้ำร้อนลงไป (จะทำให้กรดละลายเร็วขึ้น)
- 4 เมื่อกรดกัดปรอทละลายเป็นน้ำ ให้นำแผ่นปรอทที่เกาะสติกเกอร์เรียบร้อยแล้ว จุ่มลงไปโดยคว่ำด้านลายทองแดงลงไป (เพื่อให้ทองแดงที่ถูกกัดแล้วตกตะกอน)



- 5 เขย่าหรือเขี่ยภาชนะไปมาให้กรดกัดปรอท มีการเคลื่อนที่ผ่านแผ่นทองแดงตลอดเวลา เพื่อแรงให้เกิดการกัดกร่อนเร็วขึ้น ขั้นตอนนี้ใช้เวลาประมาณ 5 - 10 นาที
- 6 นำแผ่นปรอทที่ถูกกัดลายทองแดงเฉพาะส่วนที่ไม่ต้องการออกจนหมด ไปล้างด้วยน้ำสะอาด



- 7 ลอกสติกเกอร์ออก ล้างน้ำเปล่า นำไปเจาะรู ล้างทำความสะอาดด้วยทินเนอร์ แล้วเคลือบด้วยน้ำยาเคลือบแผ่นปรอทหรือยางสน นำไปตากแดดหรือใช้ที่เป่าลมเป่าให้แห้ง เราก็จะได้แผ่นลายทองแดงตามที่ต้องการ



ข้อควรระวังเกี่ยวกับการใช้กรดกัดปรินท์

1. อย่าให้กรดถูกแผล หรือ ตา แต่ถ้าสัมผัสแล้วให้รีบล้างออกโดยเร็ว
2. กรดกัดปรินท์เมื่อสัมผัสกับเสื้อผ้าจะทำให้เกิดคราบสีเหลืองและซักล้างไม่ออก
3. ภาชนะที่ใช้ใส่กรดกัดปรินท์ ควรทำจากพลาสติก หรือ แก้ว
4. กรดกัดปรินท์ที่ใช้แล้วให้นำไปใส่ในขวดหรือถังเก็บไว้ให้ตกตะกอน สามารถนำส่วนที่ใสมาใช้งานได้

เทคนิคความรู้เกี่ยวกับกรดกัดปรินท์

1. วิธีการทดสอบว่ากรดกัดปรินท์ยังสามารถใช้งานได้ ให้นำเอาอลูมิเนียม (Ae) จุ่มลงในกรดกัดปรินท์ แล้วรอดูปฏิกิริยา ถ้าเกิดไอควัน รอยไหม้และมีความร้อนที่เกิดขึ้นแสดงว่ากรดยังมีประสิทธิภาพดีอยู่
ข้อควรระวัง ก๊าซ $Ae\ Ce_3$ ระคายเคืองผิวหนัง ตา ระบบหายใจ
2. การเลือกซื้อกรดกัดปรินท์ควรเลือกที่เป็นก้อนจะดีกว่าแบบที่เป็นน้ำ เพราะเก็บรักษาได้นานและสะดวกกว่า

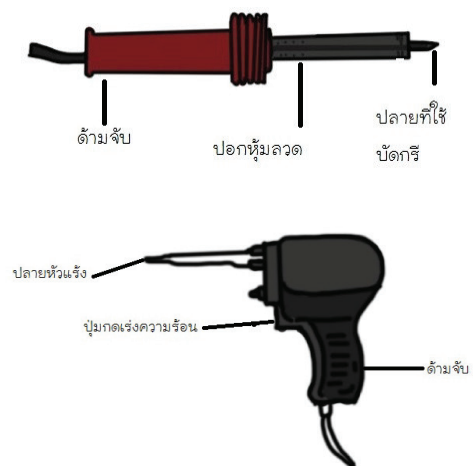
3) การบัดกรีแผ่นวงจรพิมพ์

การสร้างโครงงานขึ้นมาสักชิ้นหนึ่ง ให้ความสวยงาม สามารถใช้งานได้ดี จำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องให้เครื่องมือที่มีคุณภาพ และมีความถูกต้องเหมาะสมในการประกอบโครงงานนั้น ๆ เครื่องมือในงานอิเล็กทรอนิกส์ เช่น หัวแร้งไฟฟ้า คีม ไชควง เป็นส่วนสำคัญและจำเป็น นอกจากการมีเครื่องมือที่ดีแล้ว เทคนิคในการใช้เครื่องมือต่าง ๆ อย่างถูกต้อง ก็เป็นสิ่งที่ไม่ควรมองข้ามเช่นกัน

1. หัวแร้งไฟฟ้า

ในการบัดกรีอุปกรณ์เข้ากับแผ่นวงจร หรือ บัดกรีอุปกรณ์ต่าง ๆ เข้าด้วยกัน จะใช้เครื่องมือที่เรียกว่า “หัวแร้งไฟฟ้า” โดยหัวแร้งไฟฟ้าจะเป็นตัวให้ความร้อนแก่ชิ้นงาน มีตะกั่วเป็นตัวประสานยึดระหว่างตัวชิ้นงานกับลายทองแดง

หากปลายหัวแร้งที่ใช้ทำงานเกิดคราบสกปรก ซึ่งเป็นสาเหตุให้การบัดกรีไม่ดีเท่าที่ควร ให้ใช้ผ้าหนา ๆ ชุบน้ำหมาด ๆ หรือฟองน้ำทนความร้อน เช็ดทำความสะอาด และควรทำความสะอาดหัวแร้งทุกครั้งหลังเลิกใช้งาน

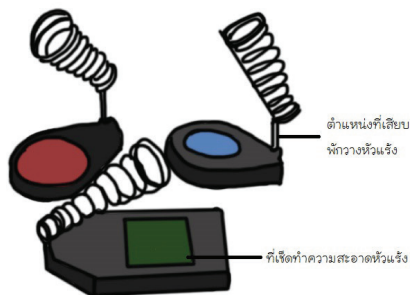


รูปที่ 7.27 หัวแร้งไฟฟ้า

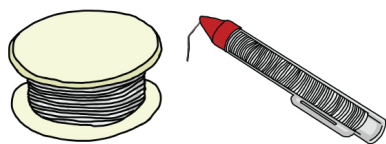


2. แทนวางหัวแร่

แทนวางหัวแร่ใช้ตั้งวางหัวแร่ระหว่างการใช้งาน เนื่องจาก หัวแร่เป็นเครื่องมือที่มีความร้อน ในขณะที่ใช้งานจึงต้องมีที่วางหัวแร่ บางแทนวางจะมีที่ยึดแผ่นวงจรขณะบัดกรีขาอุปกรณ์ พร้อมด้วยที่ใส่ตะกั่ว และที่เข็ดทำความสะอาดหัวแร่เพิ่มเข้ามา



รูปที่ 7.28 แทนวางหัวแร่



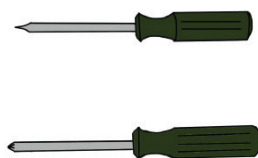
รูปที่ 7.29 ตะกั่วบัดกรี

3. ตะกั่วบัดกรี

ตะกั่วบัดกรีสำหรับงานอิเล็กทรอนิกส์ คือ ตะกั่วบัดกรีที่มีอัตราส่วนผสมของดีบุกต่อตะกั่ว ในอัตราส่วน 60 ต่อ 40 เปอร์เซนต์ หรือเรียกว่าตะกั่ว 60/40 โดยภายในตะกั่วที่เป็นเส้นลวดนั้นจะมียาประสานหรือฟลักซ์ อยู่ภายในเพื่อช่วยในการบัดกรีให้ดีขึ้น

4. ไส้ทอง

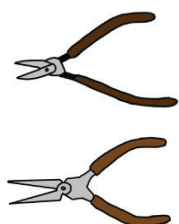
ไส้ทองมีรูปร่างลักษณะเป็นแท่งเหล็ก พร้อมด้ามจับพลาสติกหรือวัสดุที่เป็นฉนวนไฟฟ้า ไส้ทองที่นิยมใช้บ่อยมีอยู่ 2 แบบ คือ แบบปลายแบน และแบบปลายแฉก โดยเลือกใช้ใช้งานตามลักษณะของหัวสกรูสำหรับขันสกรูเข้า หรือคลายตัวสกรูออก



รูปที่ 7.30 ไส้ทอง

5. คีม

คีมเป็นอุปกรณ์อีกชิ้นที่จำเป็นอย่างยิ่งในการประกอบวงจรอิเล็กทรอนิกส์ คีมตัด และคีมปลายแหลมปากยาว (หรือที่เรียกว่าคีมปากจิ้งจก) เป็นคีมที่นิยมใช้ในงานพื้นฐาน



รูปที่ 7.31 คีมแบบต่าง ๆ

คีมตัด ลักษณะบริเวณปากจะมีคมมีดทั้งสองด้าน คล้ายกรรไกร ใช้ในการตัดสายไฟให้ขาดออกจากกัน หรือตัดขาอุปกรณ์ส่วนเกินหลังจากบัดกรีลงแผ่นวงจรแล้ว และบางแบบจะสามารถใช้ปอกสายไฟได้ด้วย

คีมปากยาว มีลักษณะที่ปากจับจะยาวออกมา ทำให้สามารถจับชิ้นส่วนที่อยู่ในซอกแคบ ๆ ได้บริเวณปากจับจะมีฟันเล็ก ๆ ช่วยจับยึดชิ้นที่มีขนาดเล็ก ๆ และยังสามารถใช้สำหรับตัดขาอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ได้

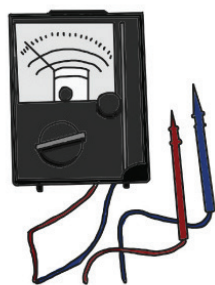


6. มีดคัตเตอร์

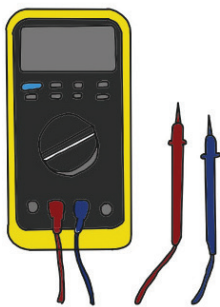
ใช้สำหรับปอกสายไฟเส้นเล็ก ๆ และใช้ขูดสารเคลือบที่ตัวขาของอุปกรณ์ก่อนทำการบัดกรี เพื่อให้ง่ายต่อการบัดกรี



รูปที่ 7.32 มีดคัตเตอร์



มิเตอร์แบบแอนะล็อก



มิเตอร์แบบดิจิทัล

รูปที่ 7.33 มัลติมิเตอร์

7. มัลติมิเตอร์

ใช้สำหรับการตรวจวัดวิเคราะห์การทำงาน และตรวจเช็คอุปกรณ์ในวงจร สามารถใช้ในการตรวจสอบแผงวงจรได้

4) เทคนิคการบัดกรี

การบัดกรีคือการเชื่อมต่อโลหะเข้าด้วยกันโดยการใช่วัสดุตัวกลางเป็นตัวเชื่อมประสาน เช่น โลหะผสมของดีบุกและตะกั่ว เพื่อให้มีการเชื่อมต่อกันทางไฟฟ้า โดยนิยมใช้ในการเชื่อมอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์

การบัดกรีเป็นทักษะที่สามารถพัฒนาโดยการฝึกปฏิบัติด้วยตนเอง และมีความสำคัญอย่างยิ่งต่อการทำงานของวงจร เนื่องจากการบัดกรีที่ไม่ถูกต้อง จุดบัดกรีติดกันไม่สนิท สกปรกหรือปริมาณตะกั่วบัดกรีน้อยเกินไปอาจเป็นสาเหตุทำให้การทำงานของวงจรผิดพลาด

โลหะที่บัดกรีได้	โลหะที่บัดกรีไม่ได้
เหล็ก	อะลูมิเนียม
สังกะสี	สแตนเลส
ทองเหลือง	เหล็กหล่อ
ทองแดง	เหล็กชุบโครเมียม
เงิน	



ในการบัดกรีให้จับหัวแร้งเหมือนจับปากกา เขียนหนังสือ จีปลายหัวแร้งไปยังจุดที่ต้องการบัดกรี แช่ทิ้งไว้ประมาณ 2 วินาที เพื่อให้ความร้อนกระจายไปทั่วชิ้นงาน จากนั้นให้ป้อนตะกั่วเข้าไปในปริมาณที่พอเหมาะ ไม่เยิ้มหรือเลอะไปจุดข้างเคียง แล้วยกหัวแร้ง และตะกั่วออกพร้อม ๆ กัน การฝึกบัดกรีบ่อย ๆ จะทำให้บัดกรีได้สวยงามขึ้น



รูปที่ 7.34 การจับหัวแร้ง

คำแนะนำในการใช้หัวแร้ง

การบัดกรีที่ดีจะทำให้การเชื่อมต่ออุปกรณ์ต่าง ๆ ต่อเชื่อมถึงกันอย่างสมบูรณ์แข็งแรง หลักสำคัญในการบัดกรีให้ประสบความสำเร็จ ควรปฏิบัติดังนี้

1. ควรใช้หัวแร้งกำลังต่ำ 20-30 วัตต์
2. ใช้ตะกั่วบัดกรีที่มีน้ำยาประสานในตัว อย่าใช้ตะกั่วบัดกรีที่มีน้ำยาประสานเป็นกรด เพราะจะทำให้สายไฟหรือชิ้นส่วนที่บัดกรีแล้วเกิดสนิมได้
3. ตะกั่วบัดกรีจะไม่เกาะติดกับสี จาระบี น้ำมัน ไข หรือสนิม ให้ทำความสะอาดชิ้นงานโดยการขัดด้วยกระดาษทรายเบอร์ละเอียดหรือใช้คัตเตอร์ขูดออกให้สะอาดก่อน และอย่าลืมทำความสะอาดแผ่นวงจรก่อนบัดกรีด้วย
4. การลงมือบัดกรีต้องนำหัวแร้งไปจี้ที่จุดบัดกรีหรือชิ้นงานก่อน ประมาณ 2-3 วินาที แล้วจึงป้อนตะกั่วตามไป
5. ให้ตะกั่วไหลวิ่งไปรอบ ๆ จุดบัดกรีจนทั่ว ก่อนยกหัวแร้งออก และอย่าใช้ตะกั่วมากเกินไป
6. รักษาปลายหัวแร้งให้สะอาดอยู่เสมอ โดยการเช็ดปลายหัวแร้งด้วยผ้า ชุบน้ำหมาด ๆ หรือเช็ดด้วยฟองน้ำทนความร้อน ในขณะที่หัวแร้งร้อนไม่ควรเคาะหัวแร้งเพราะจะทำให้ขดลวดความร้อนขาดได้

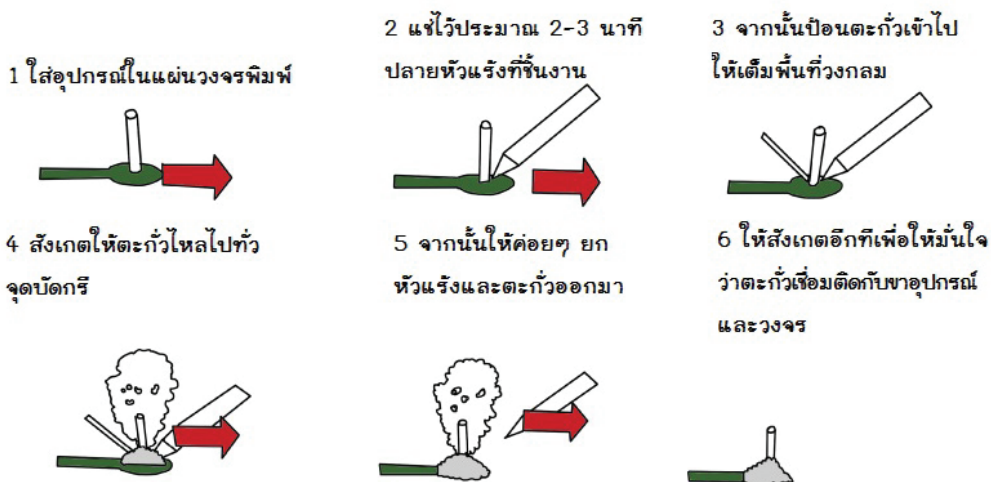
ข้อควรระวังในการใช้หัวแร้ง

1. ระวังระวางร่างกายไม่ให้สัมผัสปลายหัวแร้งขณะทำงาน
2. ถอดปลั๊กหัวแร้งทุกครั้งเมื่อเลิกใช้งาน
3. ตรวจสอบสายไฟของหัวแร้ง ไม่ให้สัมผัสกับปลายหัวแร้ง



วิธีการบัดกรีอุปกรณ์บนแผ่นวงจรพิมพ์

1. ในการบัดกรีให้จับหัวแร้งเหมือนกับจับดินสอเขียนหนังสือ
2. เตรียมชิ้นงานที่จะบัดกรีให้พร้อม ใส่อุปกรณ์ลงบนแผ่นวงจรพิมพ์โดยให้พบบางอุปกรณ์เล็กน้อย เพื่อไม่ให้อุปกรณ์หลุดจากแผ่นวงจรพิมพ์
3. จีปลายหัวแร้งไปยังจุดที่ต้องการบัดกรีแช่ไว้ประมาณ 2-3 วินาที เพื่อให้ความร้อนกระจายไปทั่วชิ้นงาน จากนั้นให้ป้อนตะกั่วเข้าไปในปริมาณที่พอเหมาะ ไม่เอี่ยมไปรอยต่อต้านข้างแล้วค่อย ๆ ยกหัวแร้งและตะกั่วบัดกรีออกพร้อม ๆ กัน
4. ตัดขาอุปกรณ์ส่วนเกินที่ไม่ได้ใช้งานออกไปและเก็บไว้ เพราะขาอุปกรณ์ยังมีประโยชน์สามารถนำมาทำเป็นจุดต่อ (jumper) ในวงจรได้



รูปที่ 7.35 ขั้นตอนการบัดกรีอุปกรณ์ลงบนแผ่นวงจรพิมพ์

ลักษณะของจุดบัดกรีที่ดีและไม่ดี



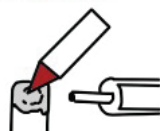
1 ทำความสะอาด
อุปกรณ์และสายไฟ



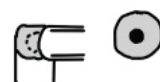
2 สไลด์ตะกั่ว
เข้ากับขั้วต่อ



3 แฉหัวแร่ 3-4
วินาทีแล้วนำสายไฟ
เข้ากับขั้วต่อ



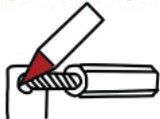
4 รอ 2-3 วินาทีดูว่า
ตะกั่วได้ซึมติดกับ
สายไฟแล้วให้ยกออก



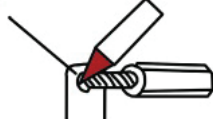
5 ทำความสะอาดตัว
อุปกรณ์และสายไฟ



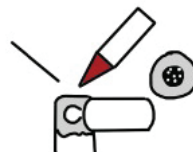
6 นำสายไฟเข้า
กับขั้วต่อ แล้วแฉ
หัวแร่ 3-4 วินาที



7 ป้อนตะกั่วเข้าไป

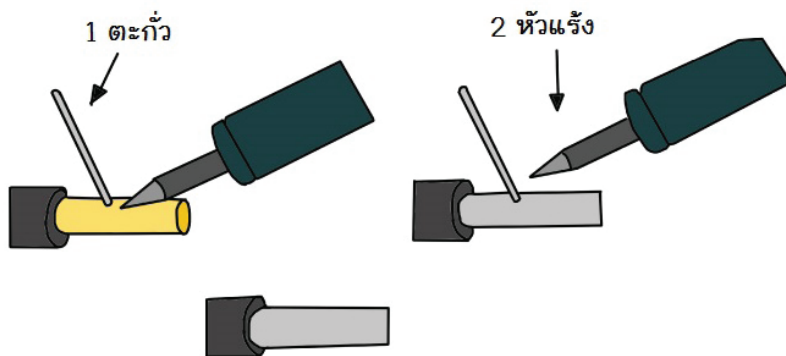


8 รอ 2-3 วินาทีแล้ว
ค่อยยกหัวแร่ออก



รูปที่ 7.36 การบัดกรีสายไฟกับขั้วต่อ

เทคนิคการไล้ตะกั่วบนสายไฟ



ให้สัมผัสตะกั่วกับหัวแร่ไปพร้อมกันบนสายไฟ



การประยุกต์เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์

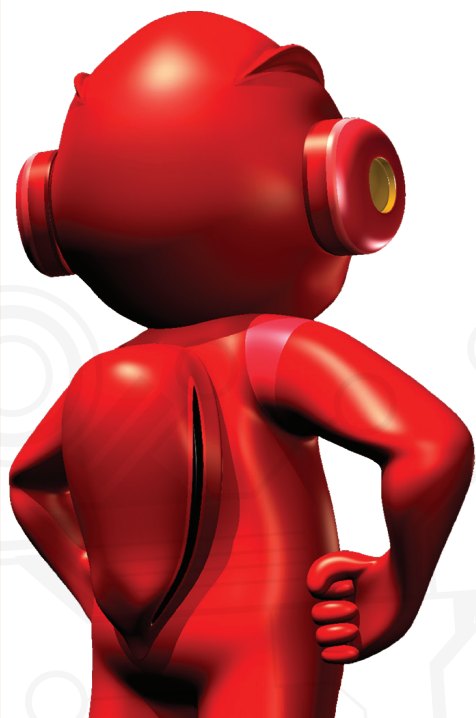
วิศรวัศ จันทวิสมบุญ

ศูนย์เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์แห่งชาติ

จุดเริ่มต้นของการประยุกต์เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์

พลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานสารพัดประโยชน์ เนื่องจากพลังงานไฟฟ้าสามารถแปรเปลี่ยนเป็นพลังงานรูปแบบอื่น ๆ ได้ เช่น พลังงานความร้อน พลังงานกล พลังงานแสง และพลังงานเสียง ตามความต้องการ ด้วยความต้องการที่จะนำพลังงานไฟฟ้ามาใช้ประโยชน์ มนุษย์จึงคิดสร้างอุปกรณ์ไฟฟ้าและพัฒนาเรื่อยมาเป็นอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ เราสามารถเห็นอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ได้แทบทุกที่ในชีวิตประจำวัน ตั้งแต่เครื่องใช้ส่วนตัว เช่น อุปกรณ์ส่องสว่างภายในบ้าน เครื่องเสียง เครื่องปรับอากาศ เครื่องทำน้ำอุ่นไฟฟ้า นาฬิกาดิจิทัล โทรศัพท์มือถือ ไปจนถึงอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่คนทั่วไปแทบจะ

ไม่มีโอกาสได้สัมผัส เช่น เครื่องมือวัดที่มีความละเอียดสูงในห้องปฏิบัติการ หุ่นยนต์ในโรงงานอุตสาหกรรม เครื่องมือแพทย์ในโรงพยาบาล ดาวเทียมสื่อสาร ยานอวกาศ ฯลฯ อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ถูกสร้างขึ้นมาเพื่อให้อำนวยความสะดวกแก่มนุษย์ เพื่อความบันเทิง เพื่อช่วยเหลือในสิ่งที่มีมนุษย์ไม่สามารถกระทำได้ด้วยมือเปล่า และเพื่อปรับปรุงคุณภาพชีวิตของมนุษย์ เป็นต้น ทุกวันนี้ เราแทบจะไม่สามารถอาศัยอยู่ได้โดยปราศจากอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์หรือไม่ใช้อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ในการดำรงชีวิตเลย



ผลิตภัณฑ์อิเล็กทรอนิกส์สำหรับผู้บริโภค

ผลิตภัณฑ์อิเล็กทรอนิกส์สำหรับผู้บริโภคคืออุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์สำหรับใช้ในชีวิตประจำวันทั่วไป เพื่อความบันเทิง การติดต่อสื่อสาร หรือใช้ทำงานเป็นอุปกรณ์ในสำนักงาน ตลอดระยะเวลาที่ผ่านมา อุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์มีต้นทุนในการผลิตชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ต่ำลงเรื่อย ๆ เนื่องจากประสิทธิภาพในกระบวนการผลิตที่สูงขึ้น มีระบบอัตโนมัติเข้ามาช่วยในกระบวนการผลิตมากขึ้น ความก้าวหน้าด้านวัสดุและสารกึ่งตัวนำ และการพัฒนาด้านการออกแบบวงจร กอปรกับภาคการผลิตของอุตสาหกรรมเองที่สามารถกระจายส่วนการผลิตไปยังประเทศต่าง ๆ ที่มีต้นทุนแรงงานต่ำกว่า ด้วยปัจจัยด้านต้นทุนนี้ ทำให้อุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์สำหรับผู้บริโภคเติบโตอย่างรวดเร็ว

ปัจจุบันผลิตภัณฑ์อิเล็กทรอนิกส์ได้รับการออกแบบและพัฒนาให้สามารถทำงานได้หลากหลายมากขึ้น การออกแบบสำหรับผลิตภัณฑ์สมัยใหม่นิยมออกแบบโดยรวมสมบัติการทำงานของผลิตภัณฑ์หลายชนิดเข้าไว้ด้วยกัน นอกจากนี้ด้วยความก้าวหน้าทางเทคโนโลยีดิจิทัล อุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์มีแนวโน้มที่จะรวมเข้ากับอุตสาหกรรมคอมพิวเตอร์ ส่งผลให้เกิดผลิตภัณฑ์อิเล็กทรอนิกส์ที่มีเทคโนโลยีสารสนเทศเข้ามาเกี่ยวข้องมากขึ้น

ผลิตภัณฑ์อิเล็กทรอนิกส์สำหรับผู้บริโภคมีอยู่มากมาย สามารถพบเห็นได้ทั่วไป ยกตัวอย่างเช่น

เครื่องรับโทรทัศน์

เป็นเครื่องใช้ไฟฟ้าที่มีวงจรอิเล็กทรอนิกส์ภายใน ประกอบด้วยวงจรภาครับสัญญาณ ซึ่งทำหน้าที่รับสัญญาณโทรทัศน์ (คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าส่งมาจากสถานีส่งสัญญาณผ่านทางอากาศ) ตามความถี่ (ช่องรายการโทรทัศน์) ที่ต้องการ วงจรแสดงภาพ ซึ่งทำหน้าที่แปลงสัญญาณภาพและแสดงผลบนหน้าจอ และวงจรเสียง ซึ่งทำหน้าที่ในการแปลงสัญญาณเสียงให้กลายเป็นเสียงออกทางลำโพง เครื่องรับโทรทัศน์เป็นผลิตภัณฑ์อิเล็กทรอนิกส์ที่ได้รับความนิยมสูงและมีการพัฒนาเรื่อยมา เริ่มตั้งแต่ เครื่องรับโทรทัศน์แบบ



ใช้หลอดสูญญากาศและหลอดภาพรังสีแคโทด ที่ต้องอาศัยเสาอากาศแอนะล็อกในการรับสัญญาณ จนถึงเครื่องรับโทรทัศน์แบบหน้าจอแบนและบาง เครื่องรับโทรทัศน์สมัยใหม่ใช้เทคโนโลยีหน้าจอและการแสดงผลแตกต่างกันไป และมีชื่อเรียกตามชนิดของเทคโนโลยีการแสดงผล เช่น เครื่องรับโทรทัศน์จอพลาสมา จอ LCD หรือจอ LED นอกจากนี้ เครื่องรับโทรทัศน์รุ่นใหม่ ๆ ในปัจจุบันยังใช้วงจรอิเล็กทรอนิกส์สมองกลฝังตัวที่สามารถประมวลผลได้มาควบคุมการทำงาน เพื่อให้ผู้ใช้สามารถใช้งานได้สะดวกขึ้นด้วยปุ่มสัมผัส กล้องจับภาพและระบบจัดการเคลื่อนไหวของผู้ใช้ ผู้ใช้ยังสามารถเลือกแหล่งของภาพและเสียงได้หลากหลาย เช่น ปรับให้เครื่องรับโทรทัศน์รับภาพและเสียงจากเสาอากาศแอนะล็อกทั่วไป รับภาพและเสียงจากสายสัญญาณดาวเทียมดิจิทัล รับภาพและเสียงจากเครื่องเล่นสื่อบันทึก DVD หรือรับภาพและเสียงจากเครื่องเล่นวิดีโอเกม การพัฒนาอีกขั้นของเครื่องรับโทรทัศน์คือ การทำให้เครื่องรับโทรทัศน์สามารถเชื่อมต่อกับระบบเครือข่ายคอมพิวเตอร์ได้ สามารถรับข้อมูลจากอินเทอร์เน็ตและแสดงผลข้อมูลนั้นโดยโปรแกรมที่ทำงานอยู่ภายในตัวเครื่องรับโทรทัศน์เอง



เครื่องเล่นวิดีโอเกม

เป็นผลิตภัณฑ์อิเล็กทรอนิกส์เพื่อความบันเทิงที่สามารถติดต่อกับผู้ใช้และแสดงผลภาพเคลื่อนไหวของเกมผ่านหน้าจอโทรทัศน์หรือมอนิเตอร์ เครื่องเล่นวิดีโอเกมมีการพัฒนามาอย่างต่อเนื่องมากกว่าสามสิบปี เครื่องเล่นวิดีโอเกมในยุคแรก ๆ ที่เชื่อมต่อกับเครื่องรับโทรทัศน์ใช้ตลับเกมซึ่งภายในบรรจุวงจรและหน่วยความจำอิเล็กทรอนิกส์ไว้เพื่อเก็บข้อมูลเกม ผู้

เล่นจึงสามารถเปลี่ยนเกมได้โดยเพียงหาซื้อตลับเกมใหม่มาเสียบเข้ากับเครื่องเล่นแทนที่ตลับเกมเดิม เครื่องเล่นเริ่มการทำงานโดยอ่านข้อมูลเกมจากตลับและพร้อมรับคำสั่งจากผู้เล่น ระหว่างการทำงาน เครื่องเล่นจะรับคำสั่งจากผู้เล่นผ่านสวิตช์และปุ่มกดต่างๆ จากนั้นนำไปประมวลผลกับข้อมูลเกม แล้วแสดงผลด้วยภาพทางหน้าจอ ต่อมาวงจรอิเล็กทรอนิกส์ภายในเครื่องเล่นวิดีโอเกมได้รับการพัฒนาด้านการแสดงผลและประมวลผล ทำให้เครื่องเล่นวิดีโอเกมสามารถแสดงภาพของตัวละครได้สวยงามเป็นธรรมชาติมากขึ้น และด้วยความสามารถด้านการแสดงผลและประมวลผลเกมที่มากขึ้น ให้เครื่องเล่นต้องการข้อมูลเกมที่มีขนาดใหญ่ขึ้น ผู้ผลิตเครื่องเล่นวิดีโอเกมหันมาใช้แผ่น CD เป็นสื่อบันทึกข้อมูลเกมแทนตลับเกม เพราะแผ่น CD มีความจุข้อมูลมากกว่า อีกทั้งแผ่น CD ยังมีต้นทุนในการผลิตต่ำกว่าตลับเกม เนื่องจากแผ่น CD ไม่มีวงจรและหน่วยความจำอิเล็กทรอนิกส์ภายในเพื่อบันทึกข้อมูลเกม แต่อาศัยวงจรอิเล็กทรอนิกส์ในเครื่องเล่นเพื่ออ่านข้อมูลที่บันทึกอยู่บนแผ่น CD แทน



ในยุคต่อมา วงจรีเล็กทรอนิกส์ภายในเครื่องเล่นถูกออกแบบให้มีการทำงานคล้ายกับสถาปัตยกรรมคอมพิวเตอร์มากขึ้น มีหน่วยประมวลผลหลัก หน่วยความจำอิเล็กทรอนิกส์ และหน่วยความจำแฟลชหรือฮาร์ดไดรฟ์ในการเก็บข้อมูลเกม สำหรับเทคโนโลยีด้านสื่อบันทึกข้อมูล จากแผ่น CD ก็ถูกพัฒนาไปเป็นแผ่น DVD ซึ่งสามารถบันทึกข้อมูลได้มากกว่าแผ่น CD หกถึงสิบสามเท่า ผู้ผลิตเกมจึงสามารถสร้างเกมที่มีเนื้อหายาวมากขึ้น มีภาพเคลื่อนไหวและเสียงที่มีมิติสมจริงมากขึ้น ในยุคของการพัฒนาเครื่องเล่นนี้ ผู้ผลิตยังออกแบบและพัฒนาให้เครื่องเล่นสามารถเชื่อมต่อกับเครือข่ายคอมพิวเตอร์สู่โลกออนไลน์ได้ เป็นการขยายขอบเขตข้อจำกัดด้านจำนวนผู้เล่นที่สามารถเล่นได้พร้อมกัน ทำให้ผู้เล่นสามารถติดต่อและแลกเปลี่ยนประสบการณ์ระหว่างกันมากขึ้น เนื้อหาเกมหลากหลายมีที่ว่างสำหรับผู้สร้างเกมให้สามารถปรับปรุงเกมขึ้นไปเรื่อยๆ และผู้เล่นสามารถบันทึกข้อมูลตัวละครและฉากในเกมไว้ส่วนตัวหรือเพื่อไว้แลกเปลี่ยนระหว่างกันบนโลกออนไลน์ได้

ต่อมา เมื่อเทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์ด้านอุปกรณ์ตรวจจับสัญญาณและปริมาณทางฟิสิกส์ (เซ็นเซอร์) และอุปกรณ์ควบคุมแบบไร้สาย (เช่น ไข้คลื่นวิทยุ) ได้รับการพัฒนา ผู้ผลิตจึงได้นำกล้องสำหรับตรวจจับการเคลื่อนไหวของผู้เล่น อุปกรณ์ระบุตำแหน่งโดยใช้แสงอินฟราเรด และอุปกรณ์ควบคุมไร้สายมาใช้ในเครื่องเล่นวิดีโอเกม ทำให้ผู้เล่นสามารถเล่นเกมได้โดยอาศัยการเคลื่อนไหวของร่างกาย นอกเหนือจากการกดปุ่ม ซึ่งเป็นวิธีการใหม่ของการควบคุมตัวละครในเกม

การพัฒนาเทคโนโลยีสื่อบันทึกก็ได้ก้าวไปอีกขั้น โดยผู้ผลิตมีการเปลี่ยนไปใช้สื่อบันทึกแบบใหม่ที่สามารถจุข้อมูลได้มากกว่าแผ่น DVD หลายเท่าและมีความเร็วในการถ่ายโอนข้อมูลเร็วขึ้นอีกเรียกว่าแผ่นบลูเรย์ (Blu-ray Disc หรือBD) ทำให้ภาพวิดีโอของเกมมีความละเอียดสูงดูสมจริงขึ้นไปอีก เครื่องเล่นที่ใช้สื่อบันทึก DVD เองก็ได้รับการปรับปรุงให้มีความสามารถมากขึ้น เช่น สามารถใช้เป็นเครื่องเล่นภาพยนตร์จากแผ่น DVD ได้ด้วย

กล้องถ่ายภาพ

เป็นอุปกรณ์บันทึกภาพและจัดเก็บภาพในตัวอุปกรณ์เองหรือส่งภาพออกไปยังอุปกรณ์อื่น กล้องถ่ายภาพมีการพัฒนาเริ่มจากกล้องที่ใช้กลไกเชิงกลล้วน ๆ ไม่มีวงจรีเล็กทรอนิกส์ในการทำงาน จนกลายเป็นกล้องถ่ายภาพดิจิทัลที่การทำงานภายในเกือบทั้งหมดเป็นระบบอิเล็กทรอนิกส์ ตัวอย่างของส่วนประกอบต่าง ๆ ของกล้องถ่ายภาพที่ใช้เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์ ได้แก่



• อุปกรณ์จับภาพและบันทึกภาพ

ในยุคที่กล้องถ่ายภาพดิจิทัลจะถูกระบุขึ้น ฟิล์มเป็นอุปกรณ์จับภาพและสื่อบันทึกภาพสำหรับกล้องที่ใช้ฟิล์มโกเชกกล มีหลักการทำงาน คือ เมื่อมีแสงตกกระทบบนแผ่นฟิล์ม สารเคมีบนแผ่นฟิล์มจะมีการเปลี่ยนแปลงทำให้เกิดเป็นภาพขึ้นบนแผ่นฟิล์ม การจับภาพและบันทึกภาพเกิดขึ้นในเวลาเดียวกันบนแผ่นฟิล์มนั้น

เมื่อก่อนถ่ายภาพดิจิทัลถูกระบุขึ้น ฟิล์มเคมีก็ได้รับความนิยมลดลง เนื่องจากกล้องถ่ายภาพดิจิทัลใช้เซ็นเซอร์แสงอิเล็กทรอนิกส์ในการจับภาพแทน จุดรับแสงขนาดเล็กจำนวนมากสว่างเรียงอย่างหนาแน่นและเป็นระเบียบบนเซ็นเซอร์แสงเป็นสารกึ่งตัวนำที่ทำหน้าที่แปลงพลังงานแสงที่ตกกระทบบนจุดรับแสงให้กลายเป็นประจุไฟฟ้าสะสมในจุดรับแสงนั้นและปล่อยออกมาเป็นกระแสไฟฟ้า กระแสไฟฟ้านี้จะถูกประมวลผลต่อโดยสมองกลอิเล็กทรอนิกส์จนกลายเป็นข้อมูลภาพที่จะถูกบันทึกลงในหน่วยความจำอิเล็กทรอนิกส์อีกต่อหนึ่ง หน่วยความจำอิเล็กทรอนิกส์สำหรับกล้องถ่ายภาพดิจิทัลมีหลายประเภท เช่น CompactFlash, Memory Stick, Multimedia Card, Secure Digital Card หน่วยความจำเหล่านี้สามารถถอดออกจากกล้องไปต่อกับคอมพิวเตอร์เพื่อดึงข้อมูลภาพออกมา และสามารถนำกลับมาใช้บันทึกข้อมูลใหม่ได้นับครั้งไม่ถ้วน

• เลนส์

เลนส์ถือเป็นส่วนประกอบสำคัญของกล้องถ่ายภาพที่มีผลต่อคุณภาพและมุมมองของภาพ การออกแบบและผลิตเลนส์สำหรับกล้องถ่ายภาพดิจิทัลมีการนำวงจรอิเล็กทรอนิกส์มาประกอบรวมกับชิ้นเลนส์แก้วเพื่อให้เลนส์มีความสามารถพิเศษบางประการ เช่น ระบบปรับระยะโฟกัสอัตโนมัติโดยอาศัยมอเตอร์ขับเคลื่อนเลนส์ในทิศทางตามยาวของกระบอกเลนส์ ระบบลดปัญหาภาพไม่ชัดจากการสั่นของตัวกล้องขณะผู้ใช้งานกำลังถือกล้องด้วยมือเปล่าถ่ายภาพโดยอาศัยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในการขับเคลื่อนเลนส์ในทิศทางตามขวางของกระบอกเลนส์ และระบบปรับความกว้างของรูรับแสงภายในเลนส์เพื่อควบคุมปริมาณแสงที่จะเข้าสู่กล้องและตกกระทบบนเซ็นเซอร์แสงให้เหมาะสมแบบอัตโนมัติ

• ม่านแสง

ม่านแสงภายในตัวกล้องจะอยู่หน้าเซ็นเซอร์แสงทำหน้าที่ปิดบังเซ็นเซอร์แสงเพื่อควบคุมระยะเวลาที่แสงจะตกกระทบบนเซ็นเซอร์ กล้องถ่ายภาพดิจิทัลมีวงจรอิเล็กทรอนิกส์สำหรับปรับระยะเวลาในการเปิดปิดม่านแสงขณะถ่ายภาพได้อัตโนมัติเพื่อให้ได้ปริมาณแสงตกกระทบบนเซ็นเซอร์แสงเพียงพอตามสภาพแวดล้อมขณะถ่ายภาพ

กล้องถ่ายภาพดิจิทัลบางชนิดไม่มีม่านแสงแต่อาศัยการทำงานทางอิเล็กทรอนิกส์ในการเปิดปิดการทำงานของเซ็นเซอร์รับแสงแทน



• หน่วยประมวลผลภาพ

บนแผงวงจรของกล้องถ่ายภาพดิจิทัลมีสมองกลอิเล็กทรอนิกส์ทำหน้าที่ประมวลผลสัญญาณไฟฟ้าจากเซ็นเซอร์แสงให้กลายเป็นข้อมูลภาพที่จะจัดเก็บภายในหน่วยความจำอิเล็กทรอนิกส์ การประมวลผลนี้อาจมีการกระทำหลายขั้นตอนขึ้นอยู่กับกระบวนการออกแบบของผู้ผลิต อาจมีการแต่งภาพให้แลดูคมชัดขึ้น เติมสีสันทัดให้ดูสดขึ้น หรือมีลูกเล่นในการปรับแสงสีต่างๆ ที่ผู้ใช้กล้องสามารถเลือกได้ และก่อนบันทึกข้อมูลภาพลงในหน่วยความจำ หน่วยประมวลผลจะบีบอัดข้อมูลภาพเพื่อประหยัดเนื้อที่จัดเก็บ ผู้ใช้จะต้องเลือกปรับระดับของการบีบอัดข้อมูลตามความเหมาะสม

• ช่องมองภาพ

กล้องบางชนิดใช้กระจกเงาภายในกล้องสะท้อนแสงที่ผ่านเข้ามาทางเลนส์ไปยังช่องมองภาพโดยตรง แต่กล้องบางชนิดใช้ช่องมองภาพอิเล็กทรอนิกส์ซึ่งเป็นจอ LCD ขนาดเล็ก ฉายภาพที่ผ่านการประมวลผลสัญญาณภาพจากเซ็นเซอร์แสงแทน หรือกล้องบางชนิดอาจไม่มีช่องมองภาพเลย แต่ใช้จอ LCD ขนาดใหญ่ขึ้น อยู่ด้านหลังกล้องทำหน้าที่ฉายภาพให้ผู้มองเห็นขณะถ่ายภาพแทน

โทรศัพท์มือถือ

เป็นอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์สำหรับการสื่อสารผ่านคลื่นวิทยุ โดยผู้ใช้สามารถเคลื่อนที่หรืออยู่ในตำแหน่งทางภูมิศาสตร์บริเวณกว้าง วงจรอิเล็กทรอนิกส์ภายในจะทำหน้าที่รับส่งคลื่นวิทยุเพื่อเชื่อมต่อกับเครือข่ายโทรศัพท์สาธารณะผ่านเครือข่ายโทรศัพท์ของผู้ให้บริการเครือข่ายโทรศัพท์มือถือ เมื่อการเชื่อมต่อสำเร็จ ผู้ใช้จึงสามารถติดต่อสื่อสารกับผู้อื่น (ที่กำลังใช้โทรศัพท์บนเครือข่ายโทรศัพท์สาธารณะเช่นกัน) ได้ นอกจากการสื่อสารด้วยเสียงแล้ว โทรศัพท์มือถือยังรองรับการสื่อสารด้วยข้อความตัวอักษร พร้อมกับภาพและเสียงด้วย



ด้วยมาตรฐานการติดต่อสื่อสารผ่านโทรศัพท์มือถือที่ถูกกำหนดขึ้นเพื่อผู้ผลิตโทรศัพท์มือถือทุกยี่ห้อ ในทุกประเทศ ทำให้โทรศัพท์มือถือทุกรุ่นทุกยี่ห้อสามารถทำงานบางอย่างเหมือนกันและสามารถใช้งานร่วมกันได้ โดยการทำงานพื้นฐานที่โทรศัพท์มือถือควรต้องรองรับคือ สามารถเชื่อมต่อกับเครือข่ายโทรศัพท์ GSM และรองรับบริการพื้นฐานของเครือข่าย ด้วยเหตุนี้ ไม่ว่าเราจะใช้โทรศัพท์ยี่ห้อไหน เครือข่ายอะไร และอยู่ที่ไหน เราก็สามารถติดต่อสื่อสารด้วยกันได้ ผู้ผลิตโทรศัพท์มือถือเองมีความต้องการ



ที่จะดึงดูดลูกค้าให้ซื้อผลิตภัณฑ์ของตน จึงต้องพยายามพัฒนาผลิตภัณฑ์ให้มีความแตกต่างและดีกว่าผู้ผลิตรายอื่น ด้วยการเพิ่มการทำงานบางอย่าง หรือรองรับเทคโนโลยีใหม่ ๆ จากการทำงานพื้นฐานตามมาตรฐาน เป็นเวลามากกว่าสิบปีที่เทคโนโลยีด้านอิเล็กทรอนิกส์ใหม่ ๆ ได้รับการพัฒนาเข้ามาพร้อมกับโทรศัพท์มือถือ เช่น การติดต่อสื่อสารไร้สายระยะสั้น (อินฟราเรด บลูทูธ ฯลฯ) กล้องถ่ายรูป กล้องวิดีโอ ระบบชี้ตำแหน่งบนโลก (GPS) รวมถึงการประมวลผลแบบเครื่องคอมพิวเตอร์ ซึ่งทำให้โปรแกรมใช้งานต่าง ๆ บนโทรศัพท์มือถือถูกสร้างสรรค์ขึ้น เช่น นาฬิกา นาฬิกาปลุก ปฏิทิน เครื่องคิดเลข และเกม

โทรศัพท์มือถือประกอบด้วยวงจรและชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์หลาย ๆ ส่วนเข้าด้วยกัน เริ่มตั้งแต่แหล่งพลังงานหรือแบตเตอรี่ที่จ่ายพลังงานส่วนประกอบอิเล็กทรอนิกส์อื่น ๆ แบตเตอรี่ต้องอาศัยวงจรอิเล็กทรอนิกส์มาคอยควบคุมการประจุพลังงานและการใช้พลังงานจากแบตเตอรี่ วงจรวัดระดับพลังงานในแบตเตอรี่แท้จริงแล้วก็ใช้วิธีการง่าย ๆ คือ การวัดค่าความต่างศักย์ระหว่างขั้วของแบตเตอรี่ แบตเตอรี่ขณะมีประจุไฟเต็มจะมีความต่างศักย์ระหว่างขั้วสูงกว่าแบตเตอรี่ขณะหมดประจุไฟอยู่ค่าหนึ่ง เมื่อแบตเตอรี่เต็ม วงจรอิเล็กทรอนิกส์จะทำหน้าที่คล้ายสวิตช์ตัดกระแสไฟฟ้าที่จะไหลเข้าแบตเตอรี่ เพื่อป้องกันไม่ให้แบตเตอรี่เสียหายจากการประจุไฟมากเกินไป ในทางกลับกัน เมื่อแบตเตอรี่ถูกใช้งานระดับพลังงานเหลือน้อยใกล้หมด วงจรอิเล็กทรอนิกส์จะทำหน้าที่ตัดการจ่ายกระแสไฟจากแบตเตอรี่ เพื่อป้องกันไม่ให้แบตเตอรี่เสียหายเช่นกัน

ชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ชิ้นหนึ่งที่ไม่ได้อยู่บนแผงวงจรหลักของโทรศัพท์มือถือแต่มีความสำคัญต่อการทำงานและสำหรับผู้ให้บริการเครือข่ายที่ช่วยให้สามารถระบุผู้ใช้บริการได้ (หมายเลขโทรศัพท์) ก็คือ ชิมการ์ด (SIM card) แผ่นพลาสติกที่บรรจุวงจรอิเล็กทรอนิกส์ขนาดเล็ก แต่สามารถเก็บข้อมูลเกี่ยวกับเครือข่ายและของตัวผู้ใช้เครือข่ายได้มากมาย ได้แก่ ญูแตรหัสเข้าใช้บริการเครือข่าย หมายเลขประจำตัวที่ไม่ซ้ำกันทั่วโลก ข้อมูลด้านความปลอดภัย รหัสผ่าน PIN และ PUK ข้อมูลชั่วคราวเกี่ยวกับเครือข่ายท้องถิ่น และรายการบริการที่ผู้ใช้สามารถเข้าถึงได้ เป็นต้น เนื่องจากชิมการ์ดสามารถถอดแยกออกจากเครื่องโทรศัพท์มือถือได้ ทำให้ผู้ใช้สามารถเปลี่ยนโทรศัพท์มือถือเครื่องใหม่โดยที่ยังคงเบอร์โทรศัพท์และสิทธิในบริการของเครือข่ายได้อย่างสะดวก

ตัวอย่างส่วนประกอบอิเล็กทรอนิกส์อื่น ๆ โดยเฉพาะที่พบเห็นได้ในโทรศัพท์มือถือสมัยใหม่ เช่น หน้าจอสัมผัสขนาดใหญ่ที่มีความละเอียดสูง หน่วยประมวลผลกลางที่มีสถาปัตยกรรมคล้ายหน่วยประมวลผลกลางของคอมพิวเตอร์ แต่หน่วยประมวลผลกลางในโทรศัพท์มือถือจะถูกออกแบบให้เหมาะกับสภาพแวดล้อมที่มีพื้นที่จำกัดและต้องใช้พลังงานต่ำ วงจรและมอเตอร์ขนาดเล็กสำหรับระบบสั่น หน่วยความจำแฟลช วงจรการสื่อสารผ่าน USB และวงจรการสื่อสารไร้สาย WIFI



แนวโน้มของการออกแบบผลิตภัณฑ์อิเล็กทรอนิกส์ให้รองรับเทคโนโลยีสารสนเทศส่งผลให้โทรศัพท์มือถือในปัจจุบันรองรับการใช้งานอินเทอร์เน็ตได้ โดยมีโปรแกรมสำหรับท่องเว็บและติดต่อกับสังคมออนไลน์ โทรศัพท์มือถือมีความสามารถใกล้เคียงคอมพิวเตอร์มากขึ้นเรื่อย ๆ อาจเป็นรองเพียงข้อจำกัดทางกายภาพ ที่ต้องมีหน้าจอขนาดเล็กกว่า ไม่มีแป้นพิมพ์ขนาดใหญ่ มีความสามารถในการประมวลต่ำกว่าและช้ากว่าเพราะต้องใช้พลังงานต่ำกว่า โทรศัพท์มือถืออัจฉริยะที่มีความสามารถในการประมวลผลแบบคอมพิวเตอร์นี้ เรียกว่า smartphone เป็นโทรศัพท์มือถือที่ใช้ประโยชน์ได้หลากหลาย นอกเหนือจากความเป็นเพียงโทรศัพท์ เช่น เครื่องช่วยงานส่วนบุคคลแบบพกพา อุปกรณ์เพื่อความบันเทิงทั้งภาพและเสียง กล้องถ่ายภาพและวิดีโอ เครื่องระบุตำแหน่ง และเข็มทิศอิเล็กทรอนิกส์ สิ่งหนึ่งที่ทำให้โทรศัพท์มือถืออัจฉริยะกำลังได้รับความนิยมอย่างสูง คือ ความสามารถในการรองรับโปรแกรมใช้งานหลากหลายและเปิดกว้างให้ผู้ใดก็ได้สามารถสรรค์สร้างโปรแกรมขึ้นมาใช้งานเอง

เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์สู่ออนาคต

อิเล็กทรอนิกส์ถูกนำมาใช้ในผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ มากมาย การพัฒนาผลิตภัณฑ์หลายชนิดประสบความสำเร็จทางเทคโนโลยีและการตลาดได้ด้วยการนำระบบอิเล็กทรอนิกส์เข้ามาช่วยในการทำงาน ในกระบวนการออกแบบทางวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์ วิศวกรผู้ออกแบบจะนำเอาสมบัติทางแม่เหล็กไฟฟ้าของชิ้นส่วนประกอบอิเล็กทรอนิกส์ต่าง ๆ เช่น ตัวต้านทาน ตัวเก็บประจุ ตัวเหนี่ยวนำ ไดโอด และทรานซิสเตอร์ มาคำนวณและออกแบบวงจร ทำการทดลองสร้างวงจรขึ้นมา เพื่อทดสอบ ทำการปรับปรุงวงจรตามความเหมาะสม จากนั้นจึงนำการออกแบบมาสร้างวงจรเข้ากับส่วนประกอบอื่น ๆ จนเป็นอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่สมบูรณ์ การออกแบบและพัฒนางจรอิเล็กทรอนิกส์ต้องอาศัยองค์ความรู้ทางวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์ ต้องบูรณาการกับองค์ความรู้ในหลายสาขาย่อยเข้าด้วยกัน ในที่นี้จะขอยกตัวอย่างองค์ความรู้ทางเทคโนโลยีในวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์เพียงบางส่วน

การประมวลผลสัญญาณ

คือการศึกษาวิเคราะห์และจัดการสัญญาณ หรือการวัดปริมาณทางฟิสิกส์ สัญญาณในที่นี้อาจหมายถึง เสียง แสง สัญญาณไฟฟ้าจากเซ็นเซอร์ สัญญาณชีพจร สัญญาณแม่เหล็กไฟฟ้าจากเครื่องเอกซเรย์ เป็นต้น การประมวลผลสัญญาณแบ่งออกเป็น

- **การประมวลผลสัญญาณแอนะล็อก** เช่น วงจรอิเล็กทรอนิกส์ในเครื่องเสียงที่ทำหน้าที่ขยายและกรองสัญญาณเสียง วงจรอิเล็กทรอนิกส์ในโทรศัพท์มือถือที่ทำหน้าที่กรองสัญญาณโทรศัพท์จากคลื่นรบกวนและแปลงรูปร่างของสัญญาณที่ได้รับจากสถานีส่งสัญญาณ



• **การประมวลผลสัญญาณดิจิทัล** เช่น วงจรอิเล็กทรอนิกส์ในจอภาพมอนิเตอร์ที่ทำหน้าที่แปลงสัญญาณภาพจากคอมพิวเตอร์ให้เป็นจุดแสงและสีต่าง ๆ จำนวนมหาศาลบนหน้าจอ วงจรอิเล็กทรอนิกส์ในเครื่องพิมพ์ที่ทำหน้าที่แปลงสัญญาณข้อมูลจากคอมพิวเตอร์เป็นตัวอักษรปรากฏลงบนกระดาษ วงจรอิเล็กทรอนิกส์ในกล้องถ่ายภาพดิจิทัลที่ทำหน้าที่บีบอัดข้อมูลภาพจากเซนเซอร์แสงก่อนบันทึกข้อมูลภาพนั้นลงในหน่วยความจำ

สารสนเทศและการสื่อสาร

เกี่ยวข้องกับการรับส่งข้อมูลโดยอาศัยการส่งคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าผ่านที่ว่างสุญญากาศหรือผ่านตัวกลางต่าง ๆ เช่น อากาศ สายสัญญาณลวดตัวนำ สายสัญญาณแสง หน้าที่หลักของวงจรอิเล็กทรอนิกส์ในอุปกรณ์รับส่งสัญญาณข้อมูลคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า คือ การรับและส่งข้อมูลผ่านคลื่นพาหะที่มีช่วงความถี่เหมาะสมกับตัวกลาง โดยสมบัติของคลื่นพาหะ เช่น ความถี่ เฟส และขนาดของคลื่นจะเปลี่ยนแปลงตามข้อมูลที่อยู่บนคลื่นพาหะ วิศวกรผู้ออกแบบวงจรจะต้องเลือกความถี่คลื่นพาหะและเทคนิคการใส่ข้อมูลในคลื่นพาหะให้เหมาะสม โดยมีวัตถุประสงค์ให้สามารถส่งข้อมูลได้รวดเร็วโดยใช้ต้นทุนสำหรับการผลิตวงจรและจัดการคลื่นที่ยอมรับได้ นอกจากนี้ยังจะต้องเลือกระดับความแรงของสัญญาณที่เหมาะสมตามกฎข้อบังคับการใช้คลื่นสาธารณะ กฎข้อบังคับด้านความปลอดภัย และเพื่อการประหยัดพลังงานของอุปกรณ์

ระบบควบคุม

เป็นเทคโนโลยีที่ใช้ในการออกแบบระบบใด ๆ ให้มีผลลัพธ์ของการทำงานตามที่ผู้ออกแบบหรือผู้ใช้ต้องการ มีเสถียรภาพในการทำงานเมื่อเผชิญกับสิ่งรบกวนภายนอกได้ในระดับหนึ่ง และมีการตอบสนองต่อค่าหรือคำสั่งที่รับเข้ามาภายในระยะเวลาที่เหมาะสม ระบบควบคุมอิเล็กทรอนิกส์ถูกนำไปใช้ประโยชน์หลากหลาย เช่น เป็นส่วนหนึ่งของผลิตภัณฑ์สำหรับผู้บริโภค การควบคุมสภาพแวดล้อมทางการเกษตร ระบบอัตโนมัติในอุตสาหกรรมการผลิต ระบบเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์ และระบบขับเคลื่อนของจรวดและยานอวกาศ ตัวอย่างระบบควบคุมอิเล็กทรอนิกส์ เช่น ระบบควบคุมอัตราเร็วคงที่ (cruise control) ในรถยนต์ ซึ่งทำหน้าที่ควบคุมให้รถวิ่งด้วยอัตราเร็วคงที่โดยไม่ต้องเหยียบคันเร่ง ระบบช่วยบินอัตโนมัติ (autopilot) ในเครื่องบินโดยสาร ที่ช่วยให้เครื่องบินบินไปยังจุดหมายด้วยระดับความสูงและความเร็วที่ต้องการ โดยไม่ต้องการการบังคับจากนักบิน หลักการทำงานของระบบควบคุมอิเล็กทรอนิกส์ คือ การใช้เซ็นเซอร์อิเล็กทรอนิกส์วัดค่าผลลัพธ์ของระบบที่ต้องการควบคุม แล้วนำค่าที่วัดได้จริงกลับมาประมวลผลเทียบกับค่าผลลัพธ์ที่ควรจะเป็น จากนั้นสั่งให้ระบบปรับการทำงานอย่างเหมาะสม

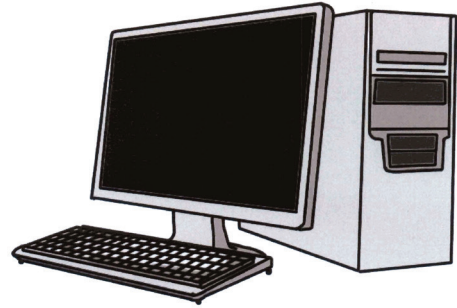


อุปกรณ์และเครื่องมืออิเล็กทรอนิกส์

เกี่ยวข้องกับการออกแบบเครื่องมือวัดทางฟิสิกส์ เช่น อุณหภูมิ ความชื้น ความดัน อัตราการไหล การนำไฟฟ้า ฯลฯ การออกแบบเครื่องมือวัดเหล่านี้ต้องอาศัยความก้าวหน้าทางด้านวัสดุ เพื่อสร้างเครื่องมือวัดที่มีความละเอียดแม่นยำมากขึ้น เครื่องมือวัดที่มีความละเอียดแม่นยำสูงมีประโยชน์อย่างมากต่อการออกแบบผลิตภัณฑ์และการพัฒนาเทคโนโลยีด้านอื่น ๆ

คอมพิวเตอร์

คือการออกแบบและพัฒนาสถาปัตยกรรมและระบบเครือข่ายคอมพิวเตอร์ ซึ่งครอบคลุมถึงอุปกรณ์ฮาร์ดแวร์ในเครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล อุปกรณ์ฮาร์ดแวร์ในโรงงาน อุปกรณ์ฮาร์ดแวร์ในระบบสมองกลฝังตัว และซอฟต์แวร์สำหรับอุปกรณ์ฮาร์ดแวร์เหล่านั้น



นาโนเทคโนโลยีสำหรับเทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์ในอนาคต

เมื่อปี ค.ศ. 1965 กอร์ดอน มัวร์ หนึ่งในผู้ร่วมก่อตั้งบริษัทอินเทลกล่าวไว้ในบทความของเขาว่า “จำนวนทรานซิสเตอร์ซึ่งบรรจุอยู่ในวงจรรวมเพิ่มขึ้นเป็นสองเท่าทุกปี นับตั้งแต่มีการประดิษฐ์คิดค้นวงจรรวมขึ้นในปี ค.ศ. 1958 จนถึง ปี ค.ศ. 1965 และจะเป็นเช่นนี้เรื่อยไปในอีกประมาณสิบปีข้างหน้า” ข้อคาดการณ์ของกอร์ดอน มัวร์มีความแม่นยำอย่างไม่น่าเชื่อ จนได้รับการยอมรับในวงการวิทยาศาสตร์คอมพิวเตอร์และเทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์อย่างกว้างขวาง ส่วนหนึ่งอาจจะเป็นเพราะในอุตสาหกรรมสารกึ่งตัวนำและอิเล็กทรอนิกส์เองได้ใช้การคาดการณ์ของกอร์ดอน มัวร์นี้มาเป็นแนวทางในการวางแผนและเป้าหมายในการค้นคว้าและพัฒนา จนทำให้คำกล่าวนี้ถูกขนานนามว่า “กฎของมัวร์”

ในปี ค.ศ. 1975 มีการคาดการณ์ใหม่ว่า จำนวนทรานซิสเตอร์ซึ่งบรรจุอยู่ในวงจรรวมจะเพิ่มขึ้นเป็นสองเท่าทุก ๆ 18 เดือน และในปี ค.ศ. 2010 ในเอกสาร International Technology Roadmap for Semiconductors ได้กล่าวไว้ว่าอัตราการเพิ่มจำนวนของทรานซิสเตอร์ในวงจรรวมลดช้าลง และหลังจากถึงสิ้นปี ค.ศ. 2013 อัตราการเพิ่มจะเป็นสองเท่าในทุก ๆ 3 ปี จากการคาดการณ์และสถิติดังกล่าวแสดงให้เห็นว่ามีอุปสรรคบางประการต่อพัฒนาเทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์โดยการเพิ่มจำนวนทรานซิสเตอร์ในวงจรรวม



วิธีการเพิ่มจำนวนทรานซิสเตอร์ในวงจรรวมวิธีหนึ่ง คือ การย่อขนาดของทรานซิสเตอร์ให้เล็กลง ณ ขณะนี้เรามีทรานซิสเตอร์ขนาดเล็กกว่า 1 ไมโครเมตร และกำลังถูกย่อให้เล็กลงไปอีกถึงประมาณ 0.02 ไมโครเมตร มีการคาดการณ์ไว้ว่า ในอนาคตอันใกล้เราจะไม่สามารถย่อขนาดทรานซิสเตอร์ลงไปได้อีกเนื่องจากทรานซิสเตอร์มีขนาดเข้าใกล้ขนาดของอะตอมแล้ว เมื่อทรานซิสเตอร์มีขนาดเล็กระดับอะตอม source กับ drain ของทรานซิสเตอร์จะอยู่ใกล้กันมากขึ้น อิเล็กตรอนจะสามารถวิ่งผ่านได้ง่ายขึ้น และสนามไฟฟ้าที่ใช้ควบคุมการไหลของอิเล็กตรอนจาก source ไป drain จะต้องมีความลดลง แต่ในขณะเดียวกัน สนามไฟฟ้านี้ก็จะต้องมีความมากพอที่จะไม่ถูกรบกวนจากคลื่นรบกวนภายนอกที่มีอยู่ตามธรรมชาติและจากตัวอะตอมเอง อีกประการหนึ่ง เมื่อจำนวนทรานซิสเตอร์เพิ่มมากขึ้นบนพื้นที่จำกัด จะทำให้ทรานซิสเตอร์เข้ามาอยู่ใกล้กันมากขึ้น จนอิเล็กตรอนในทรานซิสเตอร์ตัวหนึ่งมีโอกาสที่จะเล็ดลอดออกไปรบกวนการทำงานของทรานซิสเตอร์ตัว อื่น ๆ ได้มากขึ้น

จากปัญหาดังกล่าว จึงเกิดเทคโนโลยีใหม่ที่เรียกว่า “นาโนเทคโนโลยี” ซึ่งปฏิวัติวงการอิเล็กทรอนิกส์และนำไปสู่การสร้างวงจรอิเล็กทรอนิกส์ด้วยโมเลกุล การทำงานของทรานซิสเตอร์จะไม่อาศัยการเคลื่อนที่ของกลุ่มอิเล็กตรอนจำนวนมากแต่จะใช้อิเล็กตรอนเดี่ยวและผลทางควอนตัมแทน การสร้างวงจรอิเล็กทรอนิกส์ด้วยโมเลกุลทำให้สามารถสร้างตัวนำนาโนและทรานซิสเตอร์จำนวนมากบนพื้นที่จำกัด นอกจากนี้ยังมีการคิดค้นวิจัย “ท่อนาโน” (nanotube) ซึ่งประกอบด้วยอะตอมคาร์บอนก่อรูปเป็นโครงสร้างสมมาตรลักษณะคล้ายท่อ สามารถนำมาใช้นำกระแสอิเล็กตรอนได้อย่างดีเยี่ยม และนำมาเป็นโครงสร้างยึดเหนี่ยวในโครงสร้างระดับนาโนอื่น ๆ

นาโนเทคโนโลยีจึงเป็นเทคโนโลยีใหม่และทางออกสำหรับปัญหาด้านข้อจำกัดของไมโครอิเล็กทรอนิกส์ ปัจจุบันมีการทำวิจัยต่าง ๆ เกี่ยวกับนาโนเทคโนโลยีเพื่อค้นหาวิสัยและวิธีการสร้างวงจรอิเล็กทรอนิกส์ระดับโมเลกุล และต่อยอดขึ้นไปเป็นคอมพิวเตอร์ขนาดจิ๋วที่มีสมบัติพิเศษของวัสดุนาโน

