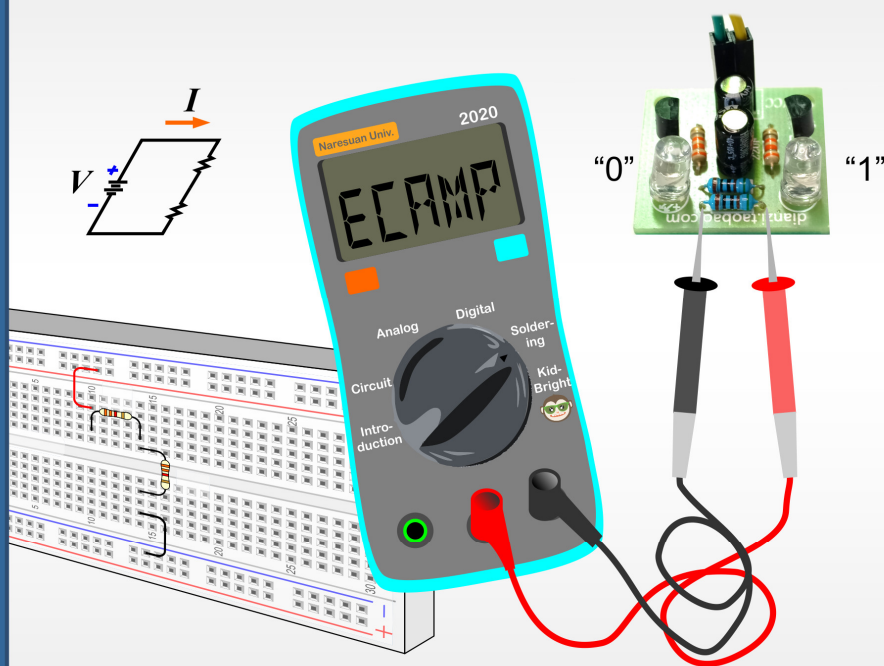


หนังสือประกอบการอบรม โครงการค่ายนักอิเล็กทรอนิกส์รุ่นเยาว์



เปิดโลกอิเล็กทรอนิกส์ ภาคทฤษฎี



สุวิทย์ กิระวิทยา

สนับสนุนโดย



เปิดโลกอิเล็กทรอนิกส์ ภาคทฤษฎี

Electronics for Beginners: Part 1 Theory

สนับสนุนการจัดทำโดย

ศูนย์เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์แห่งชาติ (เนคเทค),
การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย (กฟผ.), คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยนเรศวร และ ชมรมโรบอท ในสังกัดคณะวิศวกรรมศาสตร์



ผู้แต่ง/ผู้เรียบเรียง

สุวิทย์ กิระวิทยา

ชื่อหนังสือ

เปิดโลกอิเล็กทรอนิกส์: ภาควิชา

พิมพ์ครั้งที่ 1 กุมภาพันธ์ 2563

จังหวัดพิษณุโลก

102 หน้า

ราคา - บาท

พิมพ์โดย ผู้แต่ง/ผู้เรียบเรียง

ลิขสิทธิ์ของผู้แต่ง/ผู้จัดทำ

คำนำ

หนังสือเล่มนี้เป็นหนังสือ 1 ใน 2 เล่มที่ใช้สำหรับอ่านประกอบการอบรมตามโครงการค่ายนักอิเล็กทรอนิกส์รุ่นเยาว์ ประจำปี พ.ศ. 2563 หรือ eCamp : Next Gen. 2020 ที่จัดขึ้นที่ ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร จังหวัดพิษณุโลก โดยโครงการนี้เป็นโครงการที่มหาวิทยาลัยนเรศวรร่วมกับศูนย์เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์แห่งชาติ (เนคเทค) ในการจัดงานเป็นประจำทุกปี และมีวัตถุประสงค์เพื่อให้ ผู้เข้าร่วมโครงการได้มีโอกาสพัฒนาความรู้ทางด้านอิเล็กทรอนิกส์ เพื่อนำมาสร้างสรรค์สิ่งประดิษฐ์หรือนวัตกรรมได้ด้วยตนเองในอนาคต

หนังสือเล่มนี้แบ่งออกเป็น 6 บท ได้แก่ บทที่ 1 ซึ่งเป็นการแนะนำเบื้องต้น เกี่ยวกับอิเล็กทรอนิกส์ บทที่ 2 กล่าวถึงอุปกรณ์และวงจรไฟฟ้าพื้นฐาน ได้แก่ แหล่งจ่ายไฟ ตัวต้านทาน วงจรตัวต้านทาน วงจรอนุกรมและวงจรขนาน บทที่ 3 นำเสนอเกี่ยวกับ อุปกรณ์และวงจรอิเล็กทรอนิกส์ประเภทแอนะล็อก ซึ่งได้แก่ เซนเซอร์ ไดโอด ทรานซิสเตอร์ วงจรเรียงกระแส วงจรขยายและวงจรออปแอมป์ สำหรับบทที่ 4 จะเป็นการนำเสนอความรู้พื้นฐานด้านวงจรดิจิทัล และลอจิกเกตต่าง ๆ บทที่ 5 กล่าวถึงพื้นฐานการสร้างวงจรอิเล็กทรอนิกส์เพื่อนำไปใช้จริงด้วยการบัดกรี และ บทสุดท้ายนำเสนอแนวคิดพื้นฐานในการประยุกต์ใช้บอร์ด KidBright ร่วมกับการต่อวงจรเพื่อนำมาสร้างเป็นระบบอิเล็กทรอนิกส์อัจฉริยะ

ในการจัดเตรียมเอกสารนี้ ผู้แต่ง/ผู้เรียบเรียงคาดหวังว่าเนื้อหาที่นำเสนอจะเหมาะกับพื้นฐานความรู้ของผู้เข้าร่วมอบรม และก็หวังเป็นอย่างยิ่งว่า ผู้เข้าร่วมอบรมนี้ จะสามารถนำความรู้ด้านอิเล็กทรอนิกส์นี้ไปใช้ประโยชน์ต่อไป

สุวิทย์ ภิระวิทยา
9 กุมภาพันธ์ 2563
จังหวัดพิษณุโลก

สารบัญ

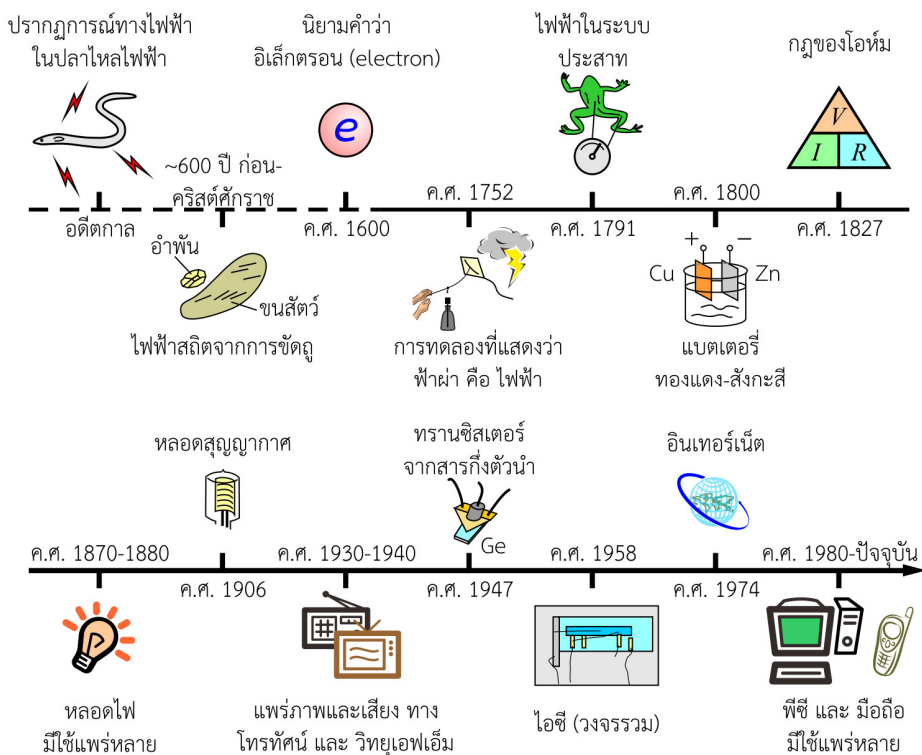
	หน้า
บทที่ 1 ประโยชน์ของอิเล็กทรอนิกส์	1
1.1 ประวัติความเป็นมา	1
1.2 อุปกรณ์อัจฉริยะและอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง	3
1.3 การเริ่มต้นพัฒนานวัตกรรมโดยใช้อิเล็กทรอนิกส์	5
 บทที่ 2 อุปกรณ์และวงจรไฟฟ้าพื้นฐาน	 9
2.1 มัลติมิเตอร์	9
2.2 โปรโตบอร์ดและสายไฟ	12
2.3 แบตเตอรี่และแหล่งจ่ายไฟ	14
2.4 ตัวต้านทาน	17
2.5 วงจรไฟฟ้าอย่างง่าย	20
2.6 วงจรอนุกรมและวงจรขนาน	24
 บทที่ 3 อุปกรณ์และวงจรแอนะล็อก	 29
3.1 เซนเซอร์รับสัญญาณแอนะล็อก	29
3.2 ออสซิลโลสโคป	32
3.3 ตัวเก็บประจุ	34
3.4 ไดโอดและแอลอีดี	36
3.5 วงจรเรียงกระแส	39
3.6 ทรานซิสเตอร์และวงจรสวิตช์ด้วยทรานซิสเตอร์	42
3.7 ออปแอมป์และวงจรออปแอมป์เบื้องต้น	45

	หน้า
บทที่ 4 อุปกรณ์และวงจรดิจิทัล	49
4.1 สัญญาณดิจิทัล	49
4.2 สวิตช์และการรับค่าดิจิทัล	52
4.3 เอาต์พุตแบบดิจิทัล	54
4.4 ลอจิกเกตพื้นฐาน	58
4.5 ไอซีลอจิกเกต	62
4.6 วงจรคอมบินเนชัน	64
 บทที่ 5 การสร้างวงจรบนแผ่นวงจรพิมพ์	 67
5.1 แผ่นวงจรพิมพ์	67
5.2 อุปกรณ์สำหรับการประกอบวงจร	69
5.3 เทคนิคการบัดกรี	72
 บทที่ 6 อิเล็กทรอนิกส์อัจฉริยะด้วยบอร์ด KidBright	 77
6.1 แนะนำบอร์ด KidBright V 1.3	77
6.2 การเขียนโปรแกรมเพื่อควบคุม	79
6.3 การเชื่อมต่อกับอุปกรณ์ภายนอก	81
6.4 ตัวอย่างโครงงานนวัตกรรม	85
 ภาคผนวก สัญลักษณ์เติมหน้ามาตรฐาน	 89
ดัชนี	91
บรรณานุกรม	95

บทที่ 1 ประโยชน์ของอิเล็กทรอนิกส์

1.1 ประวัติความเป็นมา

อิเล็กทรอนิกส์ (Electronics) เป็นความรู้หรือศาสตร์แขนงหนึ่ง que พัฒนามาจากศาสตร์ด้านไฟฟ้า โดยองค์ความรู้ด้านอิเล็กทรอนิกส์นี้ถูกพัฒนาอย่างต่อเนื่องและเป็นไปอย่างรวดเร็ว อิเล็กทรอนิกส์เป็นที่รู้จักกันอย่างแพร่หลายหลังจากที่มีการคิดค้นทรานซิสเตอร์ในปี ค.ศ. 1947 และไอซีในปี ค.ศ. 1958 (ดูรูปที่ 1-1) ปัจจุบันเราทุกคนน่าจะเคยได้ยินคำว่า “อิเล็กทรอนิกส์” ในคำที่หมายถึงสิ่งต่าง ๆ ในลักษณะที่สื่อว่า อิเล็กทรอนิกส์ หมายถึง การประยุกต์ใช้สัญญาณทางไฟฟ้าในการประมวลและเก็บข้อมูลอย่างเป็นระบบ



รูปที่ 1-1 เหตุการณ์สำคัญที่เกี่ยวกับการพัฒนาการด้านไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์

หากสังเกตรอบ ๆ ตัวเรา ณ ตอนนี้ เราจะพบว่า เครื่องใช้ในชีวิตประจำวันส่วนหนึ่งจะเป็นเครื่องใช้ไฟฟ้าและอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ โดยอุปกรณ์เครื่องใช้เหล่านี้ มีแนวโน้มที่จะเพิ่มมากขึ้น และมีความสำคัญต่อการดำเนินชีวิตมากขึ้นทุกวัน (ดูรูปที่ 1-2) ปัจจุบันมีคนจำนวนมากในโลกบอกว่า ตนเองไม่สามารถดำเนินชีวิตอยู่ได้ หากปราศจากเครื่องใช้ไฟฟ้าและอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ โดยอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่สำคัญมากชนิดหนึ่ง คือ โทรศัพท์มือถือ หรือปัจจุบันคนส่วนใหญ่มักเลือกใช้ **สมาร์ทโฟน (Smart Phone)**

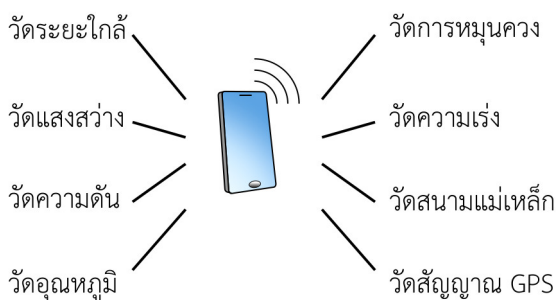
สำหรับคนในยุคปัจจุบัน การมีความรู้ทางด้านไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์เป็นเรื่องที่จำเป็นเพราะจะทำให้ (1) สามารถทำความเข้าใจเรื่องพื้นฐานในการใช้อุปกรณ์ไฟฟ้าได้อย่างถูกต้อง (2) สามารถซ่อมแซมหรือแก้ไขเครื่องใช้ไฟฟ้า/อิเล็กทรอนิกส์ หากจำเป็น และ (3) อาจทำให้เราสามารถออกแบบสิ่งประดิษฐ์หรือนวัตกรรม โดยการใช้ระบบอิเล็กทรอนิกส์ในการควบคุม



รูปที่ 1-2 เครื่องใช้ไฟฟ้าและอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่พบเห็นได้ทั่วไปในปัจจุบัน

1.2 อุปกรณ์อัจฉริยะและอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง

อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์อัจฉริยะหรือที่มักถูกเรียกว่า **สมาร์ทดีไวส์ (Smart Device)** ถือเป็นอุปกรณ์ที่เริ่มมีการพัฒนาและนำมาใช้กันอย่างแพร่หลาย โดยอุปกรณ์ที่ได้รับความนิยมสูงสุดในปัจจุบันคือ โทรศัพท์มือถือประเภทสมาร์ทโฟน ในปัจจุบันสมาร์ทโฟนเครื่องหนึ่งๆ นอกจากจะสามารถทำงานได้หลายหลายและติดต่อสื่อสารได้หลากหลายวิธีเช่น ผ่านเครือข่าย 3G หรือ 4G, WiFi และ Bluetooth โดยภายในตัวเครื่องสมาร์ทโฟนมักจะมีเซนเซอร์ติดตั้งอยู่มากมาย (ดูรูปที่ 1-3) ทั้งนี้เพื่อให้ตัวอุปกรณ์สามารถนำข้อมูลมาประมวลผลผ่าน App ต่าง ๆ และทำให้ตัวสมาร์ทโฟนมีความอัจฉริยะนั่นเอง



รูปที่ 1-3 ตัวอย่างรายการเซนเซอร์ที่ติดตั้งอยู่ภายในสมาร์ทโฟนทั่วไปในปัจจุบัน

สำหรับอุปกรณ์อื่น ๆ เช่น นาฬิกา ทีวี ในปัจจุบันก็มีแนวโน้มที่ผู้ผลิตจะนำเทคโนโลยีของเซนเซอร์ที่มีการใช้งานในสมาร์ทโฟนมาใช้และทำให้อุปกรณ์เหล่านั้นกลายเป็นอุปกรณ์อัจฉริยะ ซึ่งทั้งนี้ผู้พัฒนาจำเป็นต้องมีความรู้ด้านอิเล็กทรอนิกส์เพื่อให้นำเซนเซอร์ที่เหมาะสมมาใช้งานได้อย่างถูกต้อง และในการทำให้อุปกรณ์นั้นมีความฉลาด ผู้พัฒนามักจะต้องมีการเขียนโปรแกรมเพื่อติดต่อกับผู้ใช้และควบคุมการทำงานของอุปกรณ์ด้วย ตัวอย่างเช่น **นาฬิกาอัจฉริยะ (Smart Watch)** ก็จำเป็นต้องมีเซนเซอร์และฟังก์ชันการทำงานที่แตกต่างกับสมาร์ทโฟนเพื่อให้ผู้ใช้ที่มักมีสมาร์ทโฟนอยู่แล้วนำมาใช้ประกอบกัน

อินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง (Internet of Things) หรือมักจะย่อเป็น IoT เป็นเทคโนโลยีอุบัติใหม่ที่กำลังได้รับความสนใจอย่างมากในปัจจุบัน เนื่องจากความก้าวหน้าของเทคโนโลยีต่าง ๆ ได้แก่ เทคโนโลยีสื่อสาร เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์ และ เทคโนโลยีคอมพิวเตอร์ ทำให้การเชื่อมต่อสื่อสารระหว่างอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์เป็นไปได้โดยง่าย (ดูรูปที่ 1-4) และส่งผลให้เกิดการพัฒนาในด้านต่าง ๆ ซึ่งส่งผลต่อชีวิตความเป็นอยู่ของคนในยุคปัจจุบัน โดยการพัฒนาด้าน IoT ในปัจจุบัน อาจแบ่งได้ตามการประยุกต์ใช้ คือ (1) บ้านอัจฉริยะหรือสมาร์ทโฮม (Smart Home) (2) เมืองอัจฉริยะหรือสมาร์ทซิตี้ (Smart City) (3) อุตสาหกรรมอัจฉริยะ (Smart Industry) (4) การแพทย์อัจฉริยะ (Smart Health) และ (5) เกษตรอัจฉริยะ (Smart Farming)

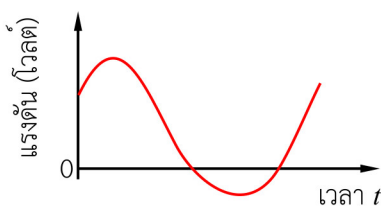


รูปที่ 1-4 การเชื่อมต่อของอุปกรณ์ต่าง ๆ ผ่านเครือข่ายสื่อสารทำให้เกิดเป็นเทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง

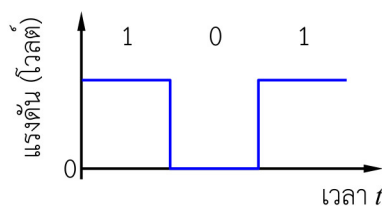
1.3 การเริ่มต้นพัฒนานวัตกรรมโดยใช้อิเล็กทรอนิกส์

ในการเริ่มต้นพัฒนานวัตกรรมโดยใช้ความรู้ด้านอิเล็กทรอนิกส์นั้น ผู้เรียนจะต้องมีความรู้พื้นฐานด้านไฟฟ้าซึ่งได้แก่ เรื่องของแรงดันและกระแสไฟฟ้าในวงจรไฟฟ้าหนึ่ง ๆ จากนั้นจึงค่อยศึกษาด้านอิเล็กทรอนิกส์ซึ่งได้แก่ ตัวอุปกรณ์และวงจรต่าง ๆ ในลำดับต่อไป โดยในทางอิเล็กทรอนิกส์นั้นเรามีการจำแนกวงจรหรือระบบอิเล็กทรอนิกส์หนึ่ง ๆ เป็นสองประเภทใหญ่ ๆ คือ ระบบแอนะล็อก และ ระบบดิจิทัล สำหรับเครื่องใช้ไฟฟ้าส่วนใหญ่ที่ใช้งานอยู่ในปัจจุบัน เช่น โทรศัพท์มือถือเราจะถือว่าอุปกรณ์ทำงานในระบบดิจิทัล แม้กระนั้นส่วนประกอบของระบบที่เป็นแบบแอนะล็อกก็ยังมีสำคัญอยู่มาก ทั้งนี้เพราะระบบส่วนที่เป็นแอนะล็อกซึ่งก็คือส่วนของเซนเซอร์ต่าง ๆ ที่เป็นส่วนที่ใช้ติดต่อรับส่งข้อมูลระหว่างผู้ใช้และระบบดิจิทัลที่อยู่ภายใน

ระบบแอนะล็อก (Analog System) คือ ระบบที่ประมวลสัญญาณแอนะล็อกเป็นหลักในการทำงาน โดยสัญญาณแอนะล็อก คือ สัญญาณที่มีความต่อเนื่องในเชิงขนาดตามเวลา (ดูรูปที่ 1-5 (ก)) ตัวอย่างระบบแอนะล็อกที่มีใช้แพร่หลายคือ เครื่องขยายเสียง โดยการขยายสัญญาณแอนะล็อกนี้จะเริ่มจาก การรับสัญญาณเสียงเข้ามาผ่านทางไมโครโฟน ซึ่งเป็นเซนเซอร์ที่แปลงสัญญาณเสียงเป็นสัญญาณไฟฟ้า จากนั้นสัญญาณไฟฟ้าจึงถูกขยายด้วยวงจรขยาย แล้วสัญญาณไฟฟ้าขาออกจึงถูกปรับแต่งก่อนจะนำไปแปลงกลับเป็นสัญญาณเสียงที่มีขนาดมากขึ้นและส่งออกทางลำโพงแล้วแปลงกลับเป็นสัญญาณเสียงให้เราได้ยิน



(ก)



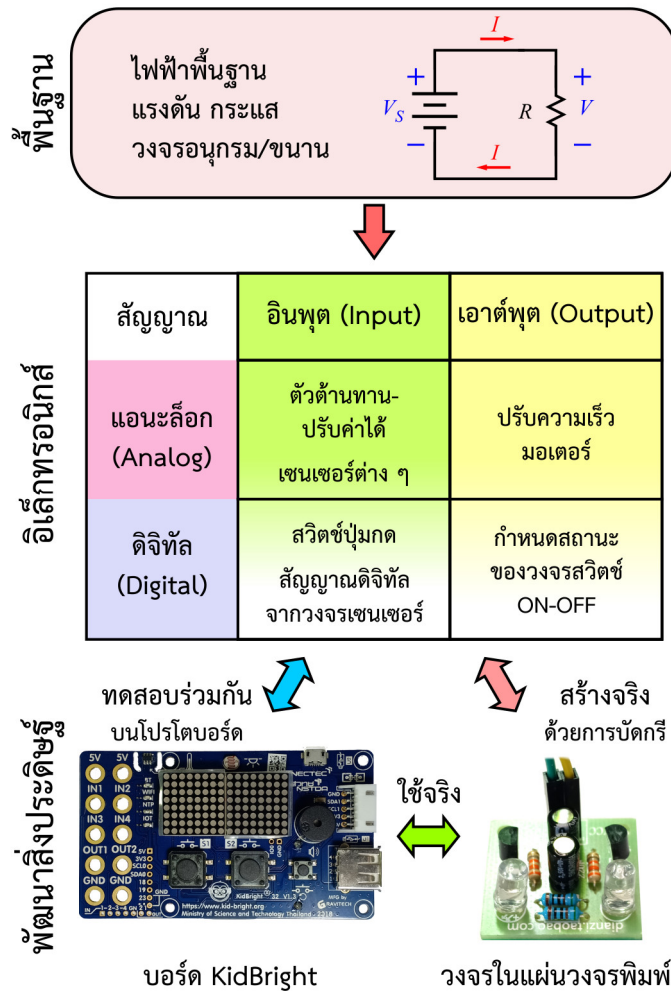
(ข)

รูปที่ 1-5 ตัวอย่างรูปสัญญาณ (ก) แอนะล็อก และ (ข) ดิจิทัล

ระบบดิจิทัล (Digital System) คือ ระบบที่ประมวลสัญญาณดิจิทัลเป็นหลักในการทำงาน โดยสัญญาณดิจิทัลนี้จะมีขนาด (หรือ ค่า) ไม่ต่อเนื่อง ซึ่งโดยทั่วไปแล้วสัญญาณดิจิทัลที่ใช้มากในโลกคือ สัญญาณแรงดันที่มีสองระดับ ซึ่งนำเสนอด้วยสัญลักษณ์ “0” และ “1” (ดูรูปที่ 1-5 (ข)) การประมวลสัญญาณดิจิทัล อาจมองได้ว่าเป็นการดำเนินการกับตัวเลข “0” และ “1” นั้นเอง ตัวอย่างระบบดิจิทัล ได้แก่ สวิตช์ปุ่มกดต่าง ๆ เครื่องคิดเลข รีโมทคอนโทรล และคอมพิวเตอร์ โดยในระบบดิจิทัลเรามักจะนำข้อมูลเข้า (Input) และส่งข้อมูลออก (Output) ในรูปแบบของสัญญาณดิจิทัลเท่านั้น

สำหรับการเริ่มต้นการศึกษาด้านอิเล็กทรอนิกส์เพื่อสร้างสิ่งประดิษฐ์ใหม่ ๆ หรือนวัตกรรมนั้น เราสามารถเรียนรู้ได้จากแหล่งข้อมูลต่าง ๆ ที่มีอยู่มากมาย และสามารถเรียนรู้ได้ด้วยตนเอง โดยในเบื้องต้น เราจำเป็นต้องมีความเข้าใจพื้นฐานด้านวงจรไฟฟ้าเพื่อนำมาอธิบายการทำงานของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่เราสนใจ ดังนั้นเราจึงควรให้ความสนใจหลักการทำงานของอุปกรณ์ก่อน แล้วจึงค่อยมาพิจารณาในรายละเอียดของการทำงานในแต่ละส่วน

โดยในหนังสือเล่มนี้ จะบรรยายเนื้อหาความรู้พื้นฐานด้านไฟฟ้าในบทที่ 2 จากนั้นจึงกล่าวถึงอุปกรณ์และวงจรอิเล็กทรอนิกส์ประเภทแอนะล็อกพื้นฐานในบทที่ 3 แล้วกล่าวถึงอุปกรณ์และวงจรดิจิทัลในบทที่ 4 จากนั้นในบทที่ 5 จะกล่าวถึงพื้นฐานการสร้างวงจรบนแผ่นวงจรพิมพ์โดยการบัดกรี และบทที่ 6 จะเป็นการนำบอร์ด KidBright มาใช้ในการเชื่อมต่อเพื่อรับและส่งข้อมูลเพื่ออ่านค่าและควบคุมอุปกรณ์ที่พัฒนาขึ้นเองต่อไป รูปที่ 1-6 แสดงแผนผังแนวทางการศึกษาด้านอิเล็กทรอนิกส์เพื่อพัฒนาต้นแบบนวัตกรรมด้วยตนเองที่นำเสนอในหนังสือเล่มนี้



รูปที่ 1-6 แนวคิดในการพัฒนาความรู้ด้านอิเล็กทรอนิกส์ที่นำเสนอในหนังสือเล่มนี้

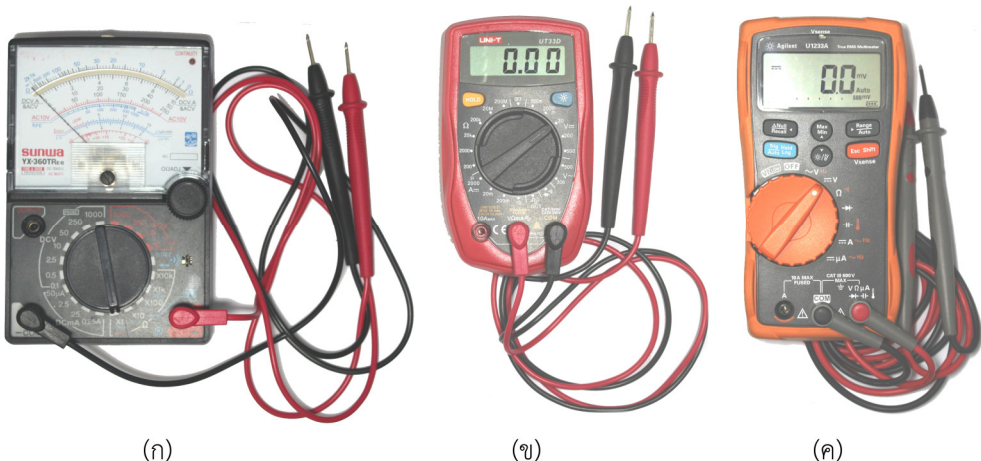


บทที่ 2 อุปกรณ์และวงจรไฟฟ้าพื้นฐาน

ในบทนี้ เราจะทำความรู้จักกับอุปกรณ์และวงจรไฟฟ้าพื้นฐาน ที่จำเป็นต้องทราบ หลักการทำงานเสียก่อน ทั้งนี้เพราะความเข้าใจการทำงานของอุปกรณ์เหล่านี้จะทำให้เราสามารถเข้าใจหน้าที่การทำงานในวงจร และสามารถนำอุปกรณ์ที่เรารู้จักนี้ไปใช้ทดสอบ ออกแบบ และสร้างวงจรอิเล็กทรอนิกส์ใหม่ ๆ ได้อย่างถูกต้อง

2.1 มัลติมิเตอร์

มัลติมิเตอร์ (Multimeter) เป็นอุปกรณ์พื้นฐานที่ควรนำมาใช้งานและผู้ใช้ควรใช้ได้ อย่างถูกต้อง ทั้งนี้เพราะว่าปริมาณทางไฟฟ้า (กระแส แรงดัน ความต้านทาน และอื่น ๆ) เป็น สิ่งที่มีมองไม่เห็นได้ด้วยตาเปล่า เราจึงจำเป็นต้องใช้มัลติมิเตอร์ในการวัดค่าเหล่านี้ เพื่อบอกว่า มีค่าเท่าใดในแต่ละส่วนของวงจร



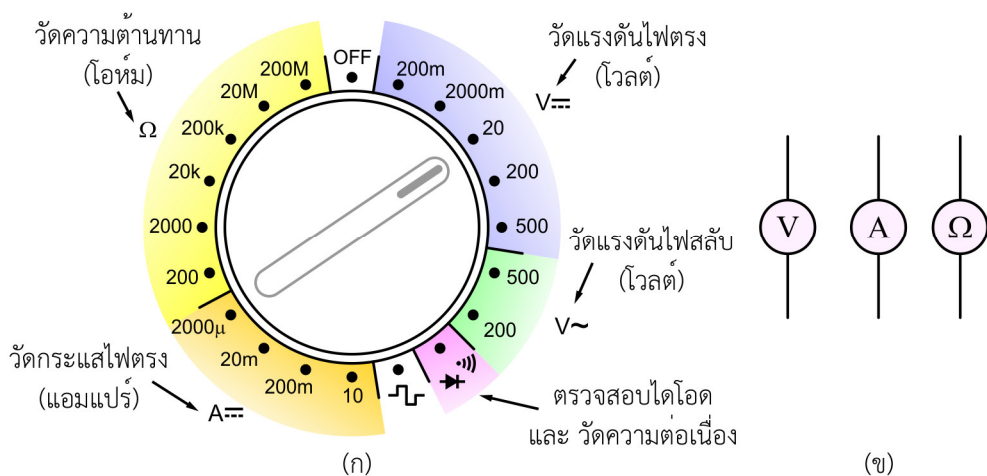
รูปที่ 2-1 ตัวอย่างภาพถ่ายของ (ก) มัลติมิเตอร์แบบเข็ม (ข) ดิจิทัลมัลติมิเตอร์แบบปรับเลือกย่านด้วยตนเอง และ (ค) ดิจิทัลมัลติมิเตอร์แบบปรับเลือกย่านอัตโนมัติ

มัลติมิเตอร์ในท้องตลาดมีด้วยกัน 2 แบบใหญ่ ๆ (ดูรูปที่ 2-1) คือ แบบแอนะล็อก หรือแบบเข็ม และ แบบดิจิทัล โดยแบบดิจิทัลยังแบ่งออกเป็นแบบที่ปรับเลือกย่านด้วยตนเอง และแบบปรับเลือกย่านอัตโนมัติ (Auto Ranging) โดยในที่นี้เราจะขอกล่าวถึงการใช้งาน มัลติมิเตอร์แบบดิจิทัลที่ต้องปรับเลือกย่านด้วยตนเอง ทั้งนี้เพราะมัลติมิเตอร์ชนิดนี้มีราคาถูก กำลังได้รับความนิยมมากขึ้น และเราสามารถอ่านค่าได้ง่ายกว่ามัลติมิเตอร์แบบเข็มด้วย

รูปที่ 2-2 แสดงลักษณะปุ่มเลือกวัดค่าที่อยู่บนตัวเครื่องดิจิทัลมัลติมิเตอร์ทั่วไป โดยเราสามารถแบ่งโหมดการวัดออกเป็น 5 โหมดหลัก ๆ ได้แก่

1. โหมดวัดแรงดันไฟตรง $V\equiv$ (เรียกย่อ ๆ ว่า “ดีซีโวลต์”) เป็นโหมดที่ใช้วัดค่าแรงดันไฟตรง หรือ ค่าความต่างศักย์ชนิดไฟตรงในวงจร โดยการวัดค่าแรงดันก็ทำได้โดยนำ โพรบทั้งสองของมัลติมิเตอร์ไปแตะ หรือทำให้เกิดการเชื่อมต่อทางไฟฟ้ากับจุดที่จะวัด

2. โหมดวัดแรงดันไฟสลับ $V\sim$ (เรียกย่อ ๆ ว่า “เอซีโวลต์”) เป็นโหมดที่ใช้วัดค่าแรงดันไฟสลับหรือไฟเอซีเท่านั้น การวัดในโหมดนี้ทำได้เช่นเดียวกับการวัดแรงดันไฟตรง



รูปที่ 2-2 (ก) ตัวอย่างหน้าปัดสำหรับเลือกโหมดการวัดของดิจิทัลมัลติมิเตอร์และ

(ข) สัญลักษณ์ทางวงจรของมัลติมิเตอร์ ในโหมดวัดแรงดัน (โวลต์มิเตอร์) วัดกระแส (แอมมิเตอร์) และ วัดความต้านทาน (โอห์มมิเตอร์) ตามลำดับ

3. โหมดในการตรวจสอบไดโอดและวัดความต่อเนื่อง ➡ ๗) เป็นโหมดที่ใช้ตรวจหาข้อผิดพลาดของไดโอด หรือตรวจสอบไดโอดว่ายังใช้งานได้หรือไม่ และยังเป็นโหมดที่ใช้ตรวจสอบการเชื่อมต่อทางไฟฟ้าของจุดที่วัด โดยในการวัดในโหมดนี้ มิเตอร์จะจ่ายแรงดันออกมา และหากมีการเชื่อมต่อถึงกันก็จะสามารถตรวจสอบได้ว่ามีกระแสไหล และมิเตอร์ก็จะส่งเสียงดังออกมาทางลำโพงขนาดเล็ก ที่เรียกว่าบัสเซอร์ (Buzzer) ที่อยู่ภายในตัวมิเตอร์

4. โหมดวัดกระแสไฟตรง A $\overline{\text{---}}$ (เรียกย่อ ๆ ว่า “ดีซีแอมป์”) เป็นโหมดที่ใช้วัดค่ากระแสไฟตรงที่ไหลในวงจร โดยการวัดค่ากระแสก็ทำได้โดยการเปิดวงจรแล้วจึงนำโพรบทั้งสองของมัลติมิเตอร์ไปเชื่อมต่อเพื่อให้เกิดกระแสไหลผ่านมัลติมิเตอร์ โดยทั่วไปโพรบเส้นสีแดงจะนำกระแสไหลเข้าสู่มิเตอร์ และโพรบเส้นสีดำจะนำกระแสไหลออก

5. โหมดวัดความต้านทาน Ω (อ่านว่า โอห์ม) เป็นโหมดที่ใช้วัดค่าความต้านทานของอุปกรณ์ โดยมัลติมิเตอร์อาจไม่แสดงค่า หากค่าความต้านทานที่วัดมีค่าสูงเกินกว่าค่าสูงสุดของย่านที่เลือกวัด โดยในการวัดค่าความต้านทานของตัวต้านทานที่อยู่ในวงจร จะมีข้อพึงระวังไว้คือ เราจะต้องนำตัวต้านทานนี้ออกจากวงจรเสียก่อนเช่น ถอดขาข้างหนึ่งออกมาจากวงจร เพื่อให้สามารถวัดค่าความต้านทานได้อย่างถูกต้อง

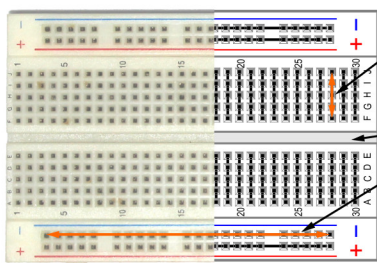
สำหรับการวัดในทุโหมด ผู้วัดจะต้องเลือกย่านที่ใช้วัด ให้มีค่าสูงสุดที่มิเตอร์วัดได้ มีค่าสูงกว่า ค่าที่ต้องการวัด เช่น หากเราต้องการวัดแรงดันของแบตเตอรี่ 12 โวลต์ เราก็จะต้องปรับเลือกการวัดเป็นโหมดวัดแรงดันไฟตรงขนาดสูงสุด 20 โวลต์ หรือ สูงกว่านั้น มิฉะนั้น วงจรภายในมัลติมิเตอร์อาจเสียหายได้ เช่นฟิวส์ที่ติดตั้งอยู่ภายในอาจจะขาดได้

สำหรับดิจิทัลมัลติมิเตอร์ที่สามารถเลือกย่านได้เองโดยอัตโนมัติ นั้น เราจะต้องเลือกเพียงโหมดที่ต้องการวัด (วัดแรงดันหรือกระแสหรือความต้านทาน หรือไดโอด/ความต่อเนื่อง) จากนั้นตัววงจรภายในมัลติมิเตอร์จะทำการเลือกย่านที่เหมาะสมด้วยตนเอง โดยอาจกดปุ่ม SHIFT ประกอบการเลือก ทำให้ใช้งานทำได้สะดวกมากยิ่งขึ้น แต่มัลติมิเตอร์ประเภทนี้มักมีราคาสูงกว่าดิจิทัลมัลติมิเตอร์แบบที่ผู้ใช้ต้องเลือกย่านด้วยตนเอง

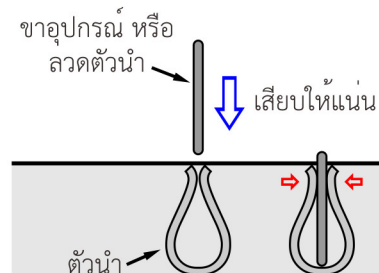
2.2 โปรโตบอร์ดและสายไฟ

ในการสร้างวงจรอิเล็กทรอนิกส์ หากเราต้องการสร้างวงจรใหม่แบบชั่วคราวเพื่อทำการทดลองหรือทดสอบ เราอาจจะใช้โปรโตบอร์ด (Protoboard) หรือ เบรด์บอร์ด (Breadboard) ในการเชื่อมต่ออุปกรณ์ รูปที่ 2-3 (ก) แสดงลักษณะโปรโตบอร์ดที่มีใช้งานทั่วไป โดยช่องเสียบที่อยู่บนโปรโตบอร์ดนี้ จะใช้จับยึดขาของอุปกรณ์หรือลวดตัวนำ และ ด้านในโปรโตบอร์ดก็จะมีตัวนำที่เชื่อมต่อช่องเสียบต่าง ๆ เข้าด้วยกัน โดยการเชื่อมต่อแบ่งเป็นสองส่วนคือ จุดหรือช่องเสียบทั้ง 5 ช่องตามแนวตั้ง และ ช่องเสียบทุกช่องบนแถวยาวตามแนวนอนจะเชื่อมต่อถึงกัน โดยการเชื่อมต่อตามแนวตั้งจะมีร่องชั้นกลางสำหรับแยกขาอุปกรณ์จำพวกไอซี รูปที่ 2-3 (ข) แสดงลักษณะการเชื่อมต่อด้านในโปรโตบอร์ดเมื่อมีการเสียบขาอุปกรณ์หรือลวดตัวนำ

สำหรับตัวอย่างการใช้งานโปรโตบอร์ด แสดงดังรูปที่ 2-4 โดยรูปที่ 2-4 (ก) แสดงการจับยึดขาตัวต้านทานที่ถูกและผิดวิธี โดยรูปที่แสดงการจับยึดที่ผิดนั้น เพราะขาของตัวต้านทานทั้งสองข้างอยู่ที่จุดเดียวกันทางไฟฟ้า (คือมีศักย์ไฟฟ้าเท่ากัน) ดังนั้นหากมีการสร้างวงจร ตัวต้านทานตัวนี้ก็จะเสมือนไม่อยู่ในวงจร (กระแสไม่ไหลผ่านตัวต้านทาน) สำหรับการจับยึดทรานซิสเตอร์และไอซีนั้นเราจะใช้ร่องตรงกลางเพื่อแบ่งการเชื่อมต่อของขาด้านบนและด้านล่างของไอซี โดยหากเราไม่วางไอซีบนร่อง ขาด้านบนและด้านล่างของไอซีก็จะเชื่อมต่อกัน ซึ่งเป็นการจับยึดไอซีที่ผิดวิธี



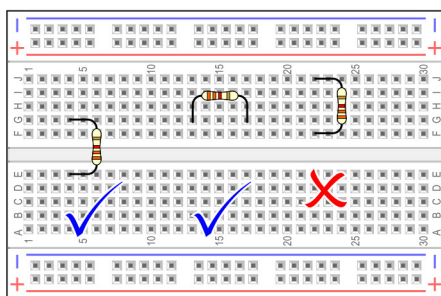
(ก)



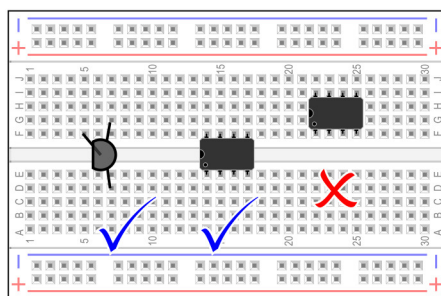
(ข)

รูปที่ 2-3 (ก) ลักษณะโปรโตบอร์ด และ (ข) ลักษณะภาพตัดขวางด้านในโปรโตบอร์ด

เมื่อทำการเชื่อมต่ออุปกรณ์หรือลวดตัวนำ



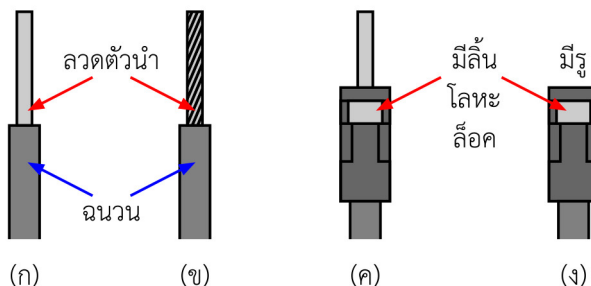
(ก)



(ข)

รูปที่ 2-4 (ก) ตัวอย่างลักษณะการจับยึดตัวต้านทานบนโปรโตบอร์ดที่ถูกและผิด และ (ข) ตัวอย่างลักษณะการจับยึดทรานซิสเตอร์ (3 ขา) และไอซีบนโปรโตบอร์ดที่ถูกและผิด

สายไฟหรือลวดตัวนำ (Wire) ที่ใช้ในการเชื่อมต่อวงจรมีความสำคัญต่อเสถียรภาพของวงจร ผู้ใช้ควรเลือกชนิดและขนาดของสายไฟที่เหมาะสม และหากเป็นไปได้ผู้ใช้ควรเลือกสีของสายไฟที่เหมาะสมด้วย รูปที่ 2-5 แสดงปลายสายไฟทั่วไปที่นำมาใช้ในการเชื่อมต่อวงจรสำหรับการเชื่อมต่อวงจรบนโปรโตบอร์ดนั้น เรานิยมใช้สายตัวนำเป็นลวดเส้นเดี่ยวเบอร์ AWG24 ที่มักเรียกว่า “สายแข็ง” สำหรับสายที่มีตัวนำประกอบด้วยทองแดงหลาย ๆ เส้นจะเรียกว่า “สายอ่อน” มักจะนิยมพันเป็นเกลียวและนำมาใช้เชื่อมต่อวงจรด้วยการบัดกรี โดยหากต้องการใช้สายอ่อนในการเชื่อมต่ออุปกรณ์เราควรใช้สายที่มีหัวต่อหรือคอนเนกเตอร์ที่เหมาะสม



(ก)

(ข)

(ค)

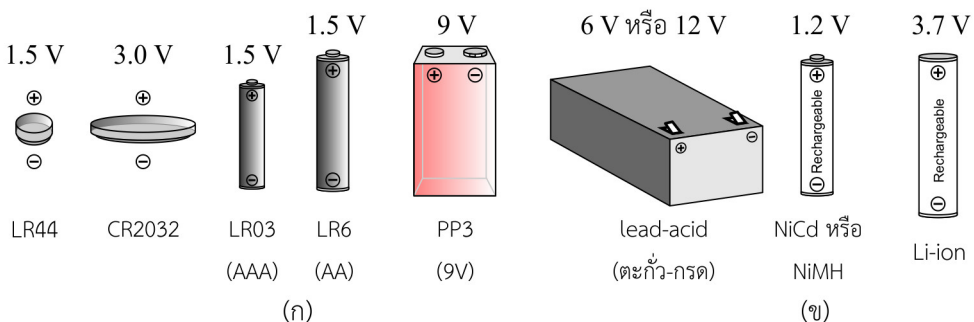
(ง)

รูปที่ 2-5 ปลายสายไฟและหัวต่อแบบต่าง ๆ (ก) สายแข็งเส้นเดี่ยว (ข) สายอ่อนพันเกลียว (ค) สายที่เชื่อมต่อกับหัวต่อตัวผู้ และ (ง) สายที่เชื่อมต่อกับหัวต่อตัวเมีย

2.3 แบตเตอรี่และแหล่งจ่ายไฟ

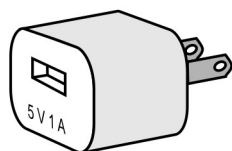
แบตเตอรี่ (Battery) คือ อุปกรณ์ที่ประกอบด้วยเซลล์ทางเคมีไฟฟ้าที่สามารถแปลงพลังงานเคมีที่สะสมอยู่เป็นพลังงานไฟฟ้าได้ โดยเราอาจแบ่งประเภทของแบตเตอรี่ออกเป็นแบบที่ใช้แล้วหมดไปไม่สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ และ แบบที่ชาร์จบรรจุไฟเข้าไปใหม่ได้ (Rechargeable) ตัวอย่างแบตเตอรี่ที่พบเห็นได้บ่อยแสดงในรูปที่ 2-6 โดยทั่วไปแบตเตอรี่แบบใช้แล้วหมดไปจะมีระดับแรงดัน 1.5 โวลต์ หรือ 9 โวลต์ ตามประเภทของแบตเตอรี่ดังรูป โดยสำหรับแบตเตอรี่แบบที่ชาร์จไฟได้ จะมีชนิดตะกั่ว-กรด (6 โวลต์ หรือ 12 โวลต์) และชนิดที่มีขนาด AA หรือ AAA แต่มีแรงดันเพียง 1.2 โวลต์ และแบบลิเทียมไอออน (Li-ion) ที่มีแรงดัน 3.7 V ในการเลือกใช้แบตเตอรี่นี้เราต้องคำนึงถึงระดับแรงดันเป็นหลักคือแรงดันจะต้องเหมาะสมกับวงจรที่ต่อ และเราอาจพิจารณาความจุของพลังงานในแบตเตอรี่ด้วย

แบตเตอรี่ถือเป็น**แหล่งจ่ายไฟตรง (Direct Current (DC) Power Supply)** ชนิดหนึ่งที่เราไม่สามารถปรับค่าแรงดันได้ โดยแบตเตอรี่ทำจากวัสดุที่ให้ค่าแรงดันลดลงตามปริมาณพลังงานที่สะสมอยู่ในตัว ดังนั้น หากเราต้องการแหล่งจ่ายไฟตรงที่ให้ค่าแรงดันคงที่เพื่อใช้ในการทดลองทางอิเล็กทรอนิกส์ เราอาจจะต้องใช้ที่รับพลังงานจากระบบจ่ายไฟชนิดมีค่าคงที่ (รูปที่ 2-7 (ก)) หรือชนิดที่ปรับค่าแรงดันได้ (รูปที่ 2-7 (ข)) แหล่งจ่ายไฟตรงชนิดปรับค่าได้มักจะพบเห็นในห้องทดลองและใช้เป็นอุปกรณ์หลักในการจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง

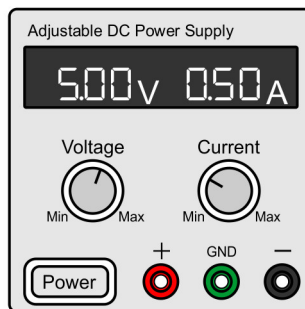


รูปที่ 2-6 ภาพลักษณะแบตเตอรี่ชนิดต่าง ๆ ที่พบเห็นได้ทั่วไป

โดยแบ่งได้เป็นแบบที่ (ก) ใช้แล้วหมดไป และ (ข) สามารถชาร์จไฟเข้าได้



(ก)

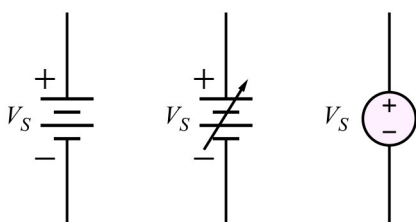


(ข)

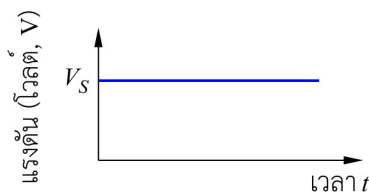
รูปที่ 2-7 ภาพแหล่งจ่ายไฟตรง (ก) ชนิดค่าคงที่ (5 V หัวต่อ USB) และ (ข) ชนิดปรับค่าได้

ในการใช้งานแหล่งจ่ายไฟต่าง ๆ นั้นเราจะต้องคำนึงถึงพิกัดกระแสที่แหล่งจ่ายสามารถจ่ายได้ด้วย นั่นคือแหล่งจ่ายต้องสามารถจ่ายไฟ (ทั้งแรงดันและกระแส) ได้เพียงพอเพื่อให้วงจรสามารถทำงานได้ตามต้องการ ในทางตรงกันข้าม หากเรากำหนดใช้แหล่งจ่ายที่สามารถจ่ายกระแสได้สูงเกินไป เมื่อเกิดความผิดพลาดขึ้นในการต่อวงจรเช่นเกิดการช็อตในวงจรก็อาจทำให้ผู้ทดลองบาดเจ็บและ/หรืออุปกรณ์เสียหายได้โดยง่าย

สัญลักษณ์ทางวงจรของแบตเตอรี่และแหล่งจ่ายไฟตรง แสดงดังรูปที่ 2-8 (ก) สำหรับแหล่งจ่ายไฟตรงนี้ เราจะมีกระแสขั้วบวก-ลบ และระบุค่าแรงดันด้วยเสมอ โดยรูปสัญลักษณ์แรงดันไฟตรงแสดงดังรูปที่ 2-8 (ข) โดยสัญลักษณ์แรงดันไฟตรงนี้จะมีค่าคงที่ไม่ขึ้นกับเวลา แต่ขึ้นกับระดับแรงดันที่ปรับ ดังนั้นในทางปฏิบัติเราจึงสามารถใช้มัลติมิเตอร์ในโหมดวัดแรงดันในการดูสัญลักษณ์ไฟตรงจากแหล่งจ่ายนี้ได้



(ก)

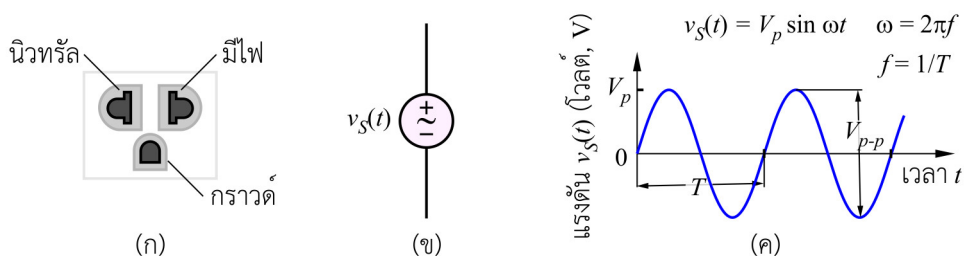


(ข)

รูปที่ 2-8 (ก) สัญลักษณ์ทางวงจรของแบตเตอรี่และแหล่งจ่ายไฟตรง และ (ข) ลักษณะสัญลักษณ์แรงดันที่ได้จากแหล่งจ่ายไฟตรง

สำหรับไฟฟ้าที่มีใช้ทั่วไปตามบ้านจะเป็นแหล่งจ่ายไฟสลับ (Alternating Current (AC) Power Supply) ที่ให้สัญญาณไฟสลับที่เป็นคลื่นรูปไซน์ (ดูรูปที่ 2-9) โดยแหล่งจ่ายไฟสลับนี้มีขนาดแรงดัน 220 โวลต์ และเป็นแหล่งจ่ายมาตรฐานในระบบส่งไฟฟ้าสู่ที่พักอาศัย สำหรับแหล่งจ่ายไฟชนิดนี้ นอกจากสายมีไฟ (Hot) และสายนิวทรัล (Neutral) แล้ว ยังมี สายกราวด์ (Ground) หรือสายดินที่ใช้เพื่อทำให้เกิดความปลอดภัยในการใช้เครื่องใช้ไฟฟ้า การพัฒนางจรอิเล็กทรอนิกส์นั้น เราจะไม่นิยมใช้แหล่งจ่ายไฟสลับนี้โดยตรง เนื่องจากหากเกิดอุบัติเหตุหรือความผิดพลาดขึ้น ผู้ทดลองอาจมีอันตรายถึงขั้นเสียชีวิตได้

การตรวจสอบแรงดันทั้งไฟตรงและไฟสลับ เราสามารถทำได้โดยใช้มัลติมิเตอร์ โดยปรับโหมดการวัดไปที่โหมดแรงดันไฟตรงหรือไฟสลับ สำหรับการวัดไฟฟ้าแรงดันสูง (มากกว่า 100 โวลต์) ผู้วัดต้องระวังอันตรายจากการสัมผัสอุปกรณ์ที่มีระดับแรงดันสูง เนื่องจากการสัมผัสไฟฟ้าแรงดันสูงจะทำให้เกิด **ไฟดูด (Electric Shock)** ซึ่งก็คือ การมีกระแสไฟฟ้าปริมาณมากไหลผ่านร่างกายผู้ที่สัมผัส ตัวอย่างฉลากหรือป้ายเตือนแสดงดังรูปที่ 2-10



รูปที่ 2-9 (ก) แหล่งจ่ายไฟสลับ 220 โวลต์ ความถี่ 50 เฮิรตซ์ (ข) สัญลักษณ์ทางวงจรของแหล่งจ่าย และ (ค) รูปสัญญาณแรงดันคลื่นรูปไซน์ (คาบ $T = 1/f = 20$ ms)

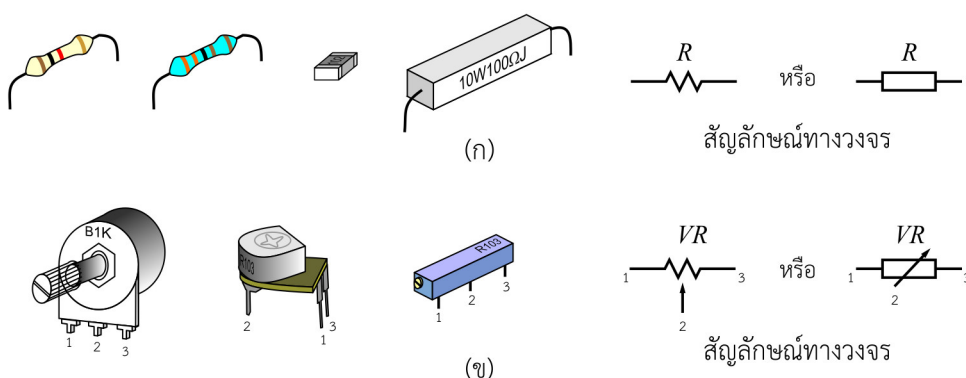


รูปที่ 2-10 ตัวอย่างฉลากหรือป้ายเตือนอันตรายจากไฟฟ้า

2.4 ตัวต้านทาน

ตัวต้านทาน (Resistor) เป็นอุปกรณ์ไฟฟ้า/อิเล็กทรอนิกส์พื้นฐานที่มีใช้แพร่หลาย โดยตัวต้านทานสามารถทำหน้าที่ได้หลายประการ ส่วนใหญ่เราใช้ตัวต้านทานเพื่อจำกัดกระแสที่ไหลเข้าสู่อุปกรณ์ และใช้แปลงสัญญาณกระแสเป็นสัญญาณแรงดัน โดยลักษณะรูปร่างของตัวต้านทานที่มีค่าความต้านทานคงที่ชนิดคาร์บอน, ฟิล์มบางโลหะ, เอสเอ็มดี (Surface Mount Device, SMD) และเซรามิกส์ แสดงดังรูป 2-11 (ก) และมีสัญลักษณ์ทางวงจรดังแสดงในรูป ปัจจุบันมีการใช้สัญลักษณ์ทั้งสองแบบ คือแบบรอยหยักเป็นมาตรฐานของฝั่งอเมริกาและแบบที่เป็นกล่องสี่เหลี่ยมเป็นมาตรฐาน IEC ของทางฝั่งยุโรป

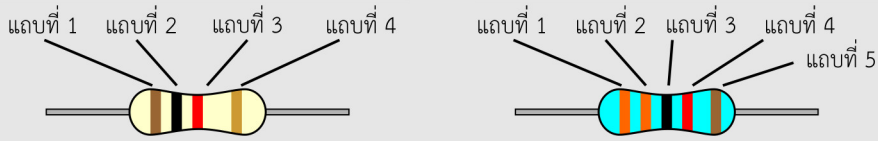
นอกจากนี้ เรายังมีการใช้**ตัวต้านทานแบบปรับค่าได้ (Variable Resistor, VR)** แบบต่าง ๆ ในวงจรอิเล็กทรอนิกส์ (รูปที่ 2-11 (ข)) โดยการใช้งานมีจุดประสงค์เพื่อปรับแต่งขนาดแรงดันและกระแสที่ไหลในวงจร โดยทั่วไป ตัวต้านทานแบบปรับค่าได้จะระบุขนาดค่าความต้านทานสูงสุดเป็นรหัสตัวเลขไว้ที่ตัวถัง ในแผนผังวงจร เราจะใช้สัญลักษณ์ R สำหรับตัวต้านทาน โดยค่าความต้านทาน มีหน่วยเป็นโอห์ม (ohm, Ω) สัญลักษณ์ทางวงจรของตัวต้านทานแบบคงที่ และ แบบปรับค่าได้แสดงดังในรูปที่ 2-11



รูปที่ 2-11 (ก) ตัวต้านทานที่มีค่าคงที่แบบต่าง ๆ และสัญลักษณ์ทางวงจร

(ข) ตัวต้านทานปรับค่าได้แบบต่าง ๆ และสัญลักษณ์ทางวงจร

การอ่านค่า R จากแถบสีของตัวต้านทานชนิด 4 และ 5 แถบสี



ตารางที่ 2-1 การอ่านแถบสีของตัวต้านทานแบบ 4 และ 5 แถบสี

	ค่า	ตัวคูณ	ค่าคลาดเคลื่อน
แบบ 4 แถบ	แถบสีที่ 1 และ 2	แถบสีที่ 3	แถบสีที่ 4
แบบ 5 แถบ	แถบสีที่ 1, 2 และ 3	แถบสีที่ 4	แถบสีที่ 5
ดำ	0	$10^0 = 1$	-
น้ำตาล	1	10^1	$\pm 1\%$
แดง	2	10^2	$\pm 2\%$
ส้ม	3	10^3 (k)	-
เหลือง	4	10^4	-
เขียว	5	10^5	-
น้ำเงิน	6	10^6 (M)	-
ม่วง	7	-	-
เทา	8	-	-
ขาว	9	-	-
ทอง	-	0.1	$\pm 5\%$
เงิน	-	0.01	$\pm 10\%$
ไม่มีสี	-	-	$\pm 20\%$

ตัวอย่างเช่น หากเราอ่านแถบสีได้เป็น น้ำตาล-ดำ-แดง-ทอง จะได้ว่า ค่าความต้านทานคือ $10 \times 10^2 \Omega$ หรือ 1000Ω หรือ $1.0 \text{ k}\Omega \pm 5\%$

ตัวต้านทานแบบค่าคงที่ที่ใช้ในการสร้างวงจรอิเล็กทรอนิกส์ส่วนใหญ่จะมีการบอกขนาดค่าความต้านทานด้วยแถบสี 4 หรือ 5 แถบ การอ่านแถบสีนี้ เราจะต้องจำรหัสสี สำหรับตัวต้านทานที่มี 4 แถบสี แถบที่ 1 และ 2 จะระบุค่าหลักสองตัวแรก แถบสีแถบที่ 3 จะระบุค่าตัวเลขยกกำลัง และ แถบสีแถบที่ 4 จะบอกค่าความคลาดเคลื่อนของค่าความต้านทานที่ระบุ ตัวอย่างเช่น หากเราอ่านแถบสีได้เป็น เหลือง-ม่วง-แดง-ทอง จะได้ว่า ค่าความต้านทานคือ $47 \times 10^2 \Omega$ หรือ 4700Ω หรือ $4.7 \text{ k}\Omega \pm 5\%$ ดังนั้น ค่าความต้านทานที่วัดได้ควรมีค่าระหว่าง $4.465 - 4.935 \text{ k}\Omega$

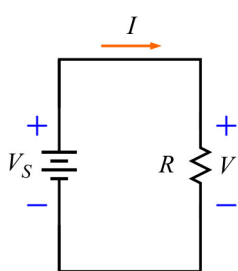
แถบสีและค่าความต้านทานของตัวต้านทานที่มีขายทั่วไปแสดงในตารางที่ 2-2 โดยในการสร้างวงจรอิเล็กทรอนิกส์ทั่วไปเราจะใช้ค่าความต้านทานระหว่าง $100 \Omega - 10 \text{ M}\Omega (= 10^7 \Omega)$ เพราะค่าความต้านทานที่ต่ำเกินไป จะทำให้เกิดกระแสไหลมาก (สูญเสียพลังงานมาก) และ ค่าความต้านทานที่สูงเกินไป จะทำให้กระแสไหลน้อยเกินไป และ ทำให้สัญญาณรบกวนมีผลต่อวงจรมาก

ตารางที่ 2-2 แถบสีและค่าความต้านทานของตัวต้านทานชนิด 4 แถบสีที่มีขายทั่วไป

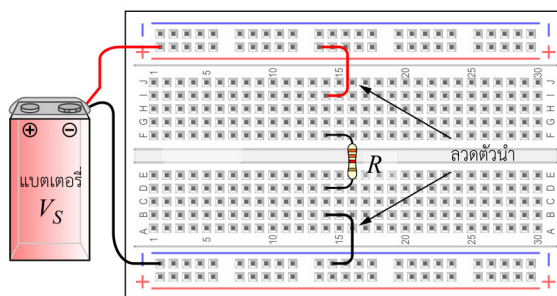
แถบสีแถบที่ 1 และ 2	แถบสีที่ 3					
	น้ำตาล	แดง	ส้ม	เหลือง	เขียว	น้ำเงิน
น้ำตาล-ดำ	100	1.0 k	10 k	100 k	1.0 M	10 M
น้ำตาล-แดง	120	1.2 k	12 k	120 k	1.2 M	
น้ำตาล-เขียว	150	1.5 k	15 k	150 k	1.5 M	
น้ำตาล-เทา	180	1.8 k	18 k	180 k	1.8 M	
แดง-แดง	220	2.2 k	22 k	220 k	2.2 M	
แดง-ม่วง	270	2.7 k	27 k	270 k	2.7 M	
ส้ม-ส้ม	330	3.3 k	33 k	330 k	3.3 M	
ส้ม-ขาว	390	3.9 k	39 k	390 k	3.9 M	
เหลือง-ม่วง	470	4.7 k	47 k	470 k	4.7 M	
เขียว-น้ำเงิน	560	5.6 k	56 k	560 k	5.6 M	
น้ำเงิน-เทา	680	6.8 k	68 k	680 k	6.8 M	
เทา-แดง	820	8.2 k	82 k	820 k	8.2 M	

2.5 วงจรไฟฟ้าอย่างง่าย

วงจรไฟฟ้าเกิดจากการป้อนแรงดันให้แก่วงจรแล้วทำให้เกิดกระแสไฟฟ้า (หรือ อิเล็กตรอน) ไหลในวงจร วงจรไฟฟ้าอย่างง่ายจะประกอบด้วยแหล่งจ่ายแรงดันและโหลดที่มีลักษณะเป็นตัวต้านทาน โดยเรามักจะใช้สายไฟเป็นลวดตัวนำที่เชื่อมโยงให้เกิดการไหลของกระแสไฟฟ้า รูปที่ 2-12 (ก) แสดงวงจรไฟฟ้าอย่างง่ายนี้ และ รูปที่ 2-12 (ข) แสดงตัวอย่างการสร้างวงจรไฟฟ้าอย่างง่ายด้วยแบตเตอรี่ โปรโตบอร์ดและตัวต้านทาน



(ก)



(ข)

รูปที่ 2-12 (ก) วงจรไฟฟ้าอย่างง่าย และ

(ข) ตัวอย่างการสร้างวงจรไฟฟ้าอย่างง่ายบนโปรโตบอร์ด

ทำไมต้องศึกษาวงจรตัวต้านทาน?

ในการเรียนรู้ด้านไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ เรามักจะเริ่มต้นการศึกษาวงจรจากการวิเคราะห์วงจรตัวต้านทานก่อน ทั้งนี้เพราะว่า อุปกรณ์ไฟฟ้า/อิเล็กทรอนิกส์ต่าง ๆ ที่ใช้พลังงานไฟฟ้า (หรือ “กินไฟ”) จะสามารถถูกมองได้ว่าเป็นเสมือนตัวต้านทานตัวหนึ่งเสมอ โดยอุปกรณ์ไฟฟ้าหลายชนิด เช่น หลอดไฟ ลวดนิโครม (ในไดร์เป่าผม เตารีด เต้าไฟฟ้า ฯลฯ) ใช้สภาพต้านทานของวัสดุในการแปลงไฟฟ้าเป็นความร้อน ทำให้ความต้านทานเป็นสิ่งที่พบเจอเสมอแม้ว่าเราไม่มีการต่อตัวต้านทานในวงจรเลยก็ตาม ดังนั้นเมื่อเราพิจารณาวงจรไฟฟ้าวงจรหนึ่ง การวิเคราะห์วงจรที่มีความต้านทานจึงเป็นสิ่งที่หลีกเลี่ยงมิได้

ความสัมพันธ์ระหว่าง กระแสที่ไหลผ่าน และ แรงดันที่ตกคร่อมตัวต้านทาน จะเป็นไปตามกฎของโอห์ม (Ohm's Law) โดยนิยามกระแสและแรงดันดังแสดงในรูปที่ 2-13 (ก) และ สามารถใช้กฎนี้ได้ 3 รูปแบบ คือ

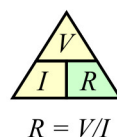
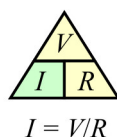
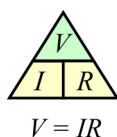
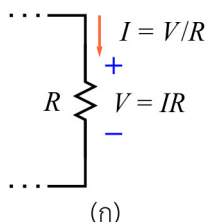
(1) หากเราทราบ ค่ากระแส I ที่ไหล และ ค่าความต้านทาน R เราจะคำนวณได้ว่า ความต่างศักย์ หรือ แรงดันที่ตกคร่อมตัวต้านทาน คือ $V = IR$

(2) หากเราทราบ ค่าแรงดัน V ที่ตกคร่อมตัวต้านทาน และ ค่าความต้านทาน R เราจะคำนวณได้ว่า กระแสที่ไหลผ่านตัวต้านทาน คือ $I = V/R$

(3) หากเราทราบ ค่ากระแส I ที่ไหล และ ค่าแรงดัน V ที่ตกคร่อมตัวต้านทาน เราจะคำนวณได้ว่า ค่าความต้านทานของตัวต้านทาน คือ $R = V/I$

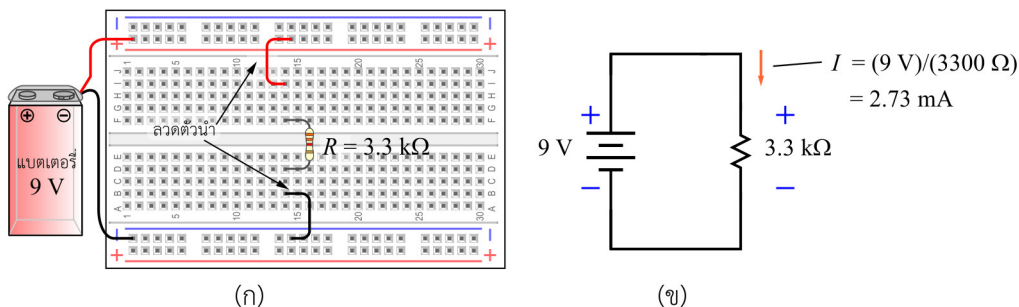
ในการวิเคราะห์วงจรตัวต้านทานเราอาจจะต้องกำหนดขั้วของแรงดัน หรือ ทิศทางของกระแสด้วยตนเอง การกำหนดที่ถูกต้องคือ ต้องกำหนดให้ ความต่างศักย์ V มีขั้วบวก ณ จุดที่กระแส I ไหลเข้าตัวอุปกรณ์ หรือ กำหนดให้กระแส I ไหลเข้าอุปกรณ์ในด้านที่มีค่าความต่างศักย์เป็นบวก V แสดงดังในรูปที่ 2-13 (ก) การกำหนดที่ถูกต้องจะทำให้เราใช้กฎของโอห์มได้อย่างถูกต้อง และ ไม่สับสนในการวัดค่า ทั้งนี้เพราะทั้งค่ากระแสและแรงดันไฟฟ้าที่วัดได้สามารถมีค่าติดลบได้หากการกำหนดเครื่องหมายไม่สอดคล้องกับความเป็นจริง

สำหรับตัวอย่างวงจรในรูปที่ 2-14 (ก) หากเราใช้แบตเตอรี่ขนาด 9 โวลต์เป็นแหล่งจ่ายแรงดันและใช้ตัวต้านทานขนาด $3.3 \text{ k}\Omega$ เราจะสามารถวาดวงจรและคำนวณค่ากระแสไฟฟ้าที่ไหลในวงจรได้ คือ $I = V/R = (9 \text{ V})/(3300 \Omega) = 2.73 \text{ mA}$ ดังแสดงในรูปที่ 2-14 (ข)



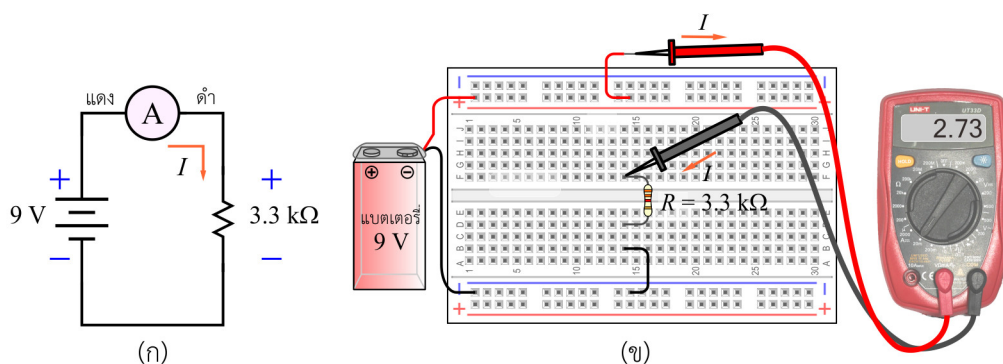
(ข)

รูปที่ 2-13 (ก) ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดันที่ไหลผ่านตัวต้านทาน (กฎของโอห์ม) และ (ข) สามเหลี่ยมช่วยจำในการนำกฎของโอห์มไปใช้



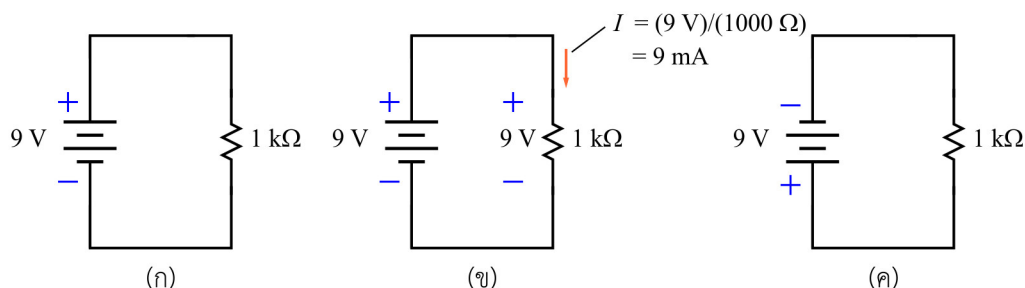
รูปที่ 2-14 (ก) ภาพตัวอย่างการสร้างวงจรจริง และ (ข) ตัวอย่างการคำนวณค่ากระแส

การพิสูจน์ว่าการคำนวณที่แสดงในตัวอย่างวงจรรูปที่ 2-14 นั้น อาจทำได้โดยการ ใช้มัลติมิเตอร์วัดค่ากระแส ดังแสดงตัวอย่างแผนผังวงจรในรูปที่ 2-15 (ก) และ ภาพการวัดจริงในรูปที่ 2-15 (ข) โดยในการทดลองจริง เราอาจวัดค่ากระแสแล้วได้ค่าไม่ตรงกับค่าที่คำนวณ ซึ่งอาจเกิดเนื่องจาก แบตเตอรี่จ่ายแรงดันไม่เท่ากับ 9 โวลต์ และตัวต้านทานที่ใช้มีค่าความต้านทานคลาดเคลื่อน (คือมีค่าไม่เท่ากับ 3.3 กิโลโอห์ม) โดยในทางปฏิบัติเราก็สามารถวัดค่าแรงดันและค่าความต้านทานนี้ได้เช่นกัน ซึ่งหากพิจารณา ค่าความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับได้สำหรับตัวต้านทานประเภทนี้อยู่ที่ $\pm 5\%$ (สีทองในแถบสีที่ 4) จะได้ว่าค่ากระแสที่ไหลจริงในวงจร ควรมีค่าระหว่าง $(9 \text{ V}) / (3300 \times 1.05 \text{ } \Omega) = 2.60 \text{ mA}$ และ $(9 \text{ V}) / (3300 \times 0.95 \text{ } \Omega) = 2.87 \text{ mA}$



รูปที่ 2-15 (ก) แผนผังวงจรในกรณีที่มีการวัดกระแสโดยมัลติมิเตอร์ และ (ข) ลักษณะการวัดกระแสในวงจร

ตัวอย่างที่ 2-1 จงคำนวณหาค่ากระแสที่ไหลในวงจรในรูปที่ 2-16 (ก) พร้อมระบุขั้วแรงดัน และ ทิศทางของกระแสที่ไหลผ่านตัวต้านทาน



รูปที่ 2-16 (ก) วงจรสำหรับตัวอย่างที่ 2-1 และ (ข) รูปเฉลยตัวอย่างที่ 2-1

วิธีทำ เมื่อเราต่อตัวต้านทานกับแหล่งจ่ายแรงดัน 9 โวลต์ ขั้วบวก-ลบของศักย์ไฟฟ้าที่ตกคร่อมตัวต้านทานจะเป็นไปตามขั้วของแหล่งจ่าย ดังนั้นกระแสไฟฟ้าจะไหลเข้าที่ขั้วที่เป็นแรงดันบวกของตัวต้านทาน ดังรูปที่ 2-16 (ข) โดยค่ากระแสที่ต้องการทราบจะมีค่าเท่ากับ 9 มิลลิแอมแปร์ (จาก $I = V/R$)

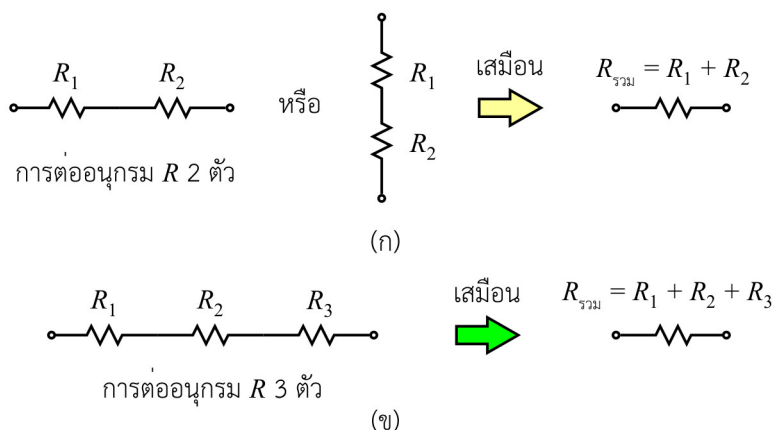
สำหรับตัวต้านทานตัวหนึ่ง ๆ หรือค่าความต้านทานค่าหนึ่ง เราอาจทำการประมาณอย่างง่ายได้โดยการ “มอง” บ่อยครั้งที่เรามองว่าความต้านทานในวงจรเป็นเสมือน**วงจรปิด (Closed Circuit)** ตัวอย่างเช่น ลวดตัวนำที่ใช้ต่อวงจรมีค่าความต้านทานอยู่และวัดได้ แต่ค่าความต้านทานนี้น้อยมากเมื่อเทียบกับความต้านทานของตัวต้านทานนำมาต่อในวงจร เราจึงละเลยความต้านทานของลวดตัวนำนี้ (ดูรูปที่ 2-17) การละเลยหรือการประมาณในลักษณะนี้เป็นพื้นฐานสำคัญในการศึกษาด้านอิเล็กทรอนิกส์และด้านวิศวกรรมศาสตร์โดยทั่วไป



รูปที่ 2-17 การประมาณค่าความต้านทานเป็นวงจรปิดสำหรับค่าความต้านทานต่ำ

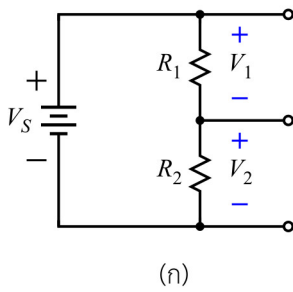
2.6 วงจรอนุกรมและวงจรขนาน

วงจรอนุกรม (Series Circuit) คือวงจรที่กระแสไฟฟ้าไหลในทิศทางเดียว ไม่มีการแยกไหล โดยการศึกษาวงจรอนุกรมสามารถศึกษาได้จากวงจรตัวต้านทาน การต่ออนุกรมด้วยตัวต้านทาน 2 และ 3 ตัว แสดงดังรูปที่ 2-18 ค่า**ความต้านทานรวม** หรือ **ความต้านทานสมมูล (Equivalent Resistance) $R_{รวม}$** จะมีค่าเท่ากับผลบวกของค่าความต้านทานที่นำมาต่อกัน ดังนั้นค่าความต้านทานรวมที่ได้จากการต่อตัวต้านทานแบบอนุกรม จะมากกว่าค่าความต้านทานแต่ละตัวเสมอ



รูปที่ 2-18 ความต้านทานรวมของตัวต้านทานที่ต่ออนุกรมกัน (ก) R 2 ตัว และ (ข) R 3 ตัว

เมื่อเราต่อแหล่งจ่ายไฟกับตัวต้านทานที่ต่อกันแบบอนุกรม (รูปที่ 2-19) ก็จะเกิด**การแบ่งแรงดัน (Voltage Division)** ขึ้น แรงดันที่ตกคร่อมตัวต้านทานจะขึ้นกับค่าความต้านทานที่นำมาต่อตามสมการที่แสดงในรูปที่ 2-19 โดยวงจรแบ่งแรงดันนี้สามารถใช้ได้หลากหลายวิธี เช่น ใช้ลดแรงดันขาเข้าให้ต่ำลง (เช่น จาก 5 V เป็น 3.3 V) เพื่อนำไปป้อนให้กับส่วนอื่น ๆ ของวงจรต่อไป นอกจากนี้หากตัวต้านทานที่นำมาต่อ เป็นเซนเซอร์ที่มีค่าความต้านทานขึ้นกับสิ่งอื่น ๆ (เช่น ค่าแสงสว่าง ค่าความชื้นในดิน) เราก็สามารถแปลงค่าความต้านทานนี้เป็นค่าสัญญาณแรงดันเพื่อนำไปประมวลต่อไปได้



การแบ่งแรงดัน (Voltage Division)

$$V_1 = \frac{R_1}{R_1 + R_2} V_S$$

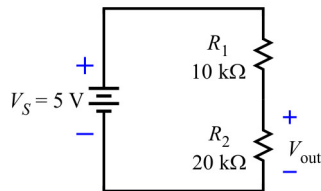
$$V_2 = \frac{R_2}{R_1 + R_2} V_S$$

(ข)

รูปที่ 2-19 (ก) วงจรที่มีการแบ่งแรงดัน และ

(ข) สูตรที่ใช้หาค่าแรงดันที่ตกคร่อมตัวต้านทานแต่ละตัว

ตัวอย่างที่ 2-2 จงหาค่าแรงดัน V_{out} ในวงจรในรูปที่ 2-20



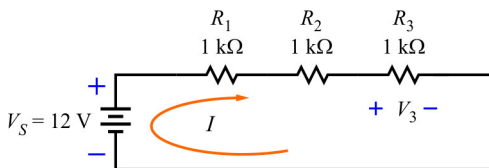
รูปที่ 2-20 วงจร
สำหรับตัวอย่างที่ 2-2

วิธีทำ โดยใช้กฎการแบ่งแรงดันจะได้ว่า

$$V_{\text{out}} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} V_S = \frac{20 \text{ k}}{10 \text{ k} + 20 \text{ k}} \times 5 = 3.33 \text{ V}$$

ข้อสังเกต ในการใช้การแบ่งแรงดันนี้ ทำให้เราไม่จำเป็นต้องคำนวณค่าความต้านทานรวมและค่ากระแสที่ไหลในวงจร

ตัวอย่างที่ 2-3 จงหาค่าแรงดัน V_3 และกระแส I ในวงจรในรูปที่ 2-21



รูปที่ 2-21 วงจร
สำหรับตัวอย่างที่ 2-3

รูปที่ 2-21 วงจรสำหรับตัวอย่างที่ 2-3

วิธีทำ โดยใช้กฎการแบ่งแรงดันจะได้ว่า

$$V_3 = \frac{R_3}{R_1 + R_2 + R_3} V_S = \frac{1 \text{ k}}{1 \text{ k} + 1 \text{ k} + 1 \text{ k}} \times 12 = 4 \text{ V}$$

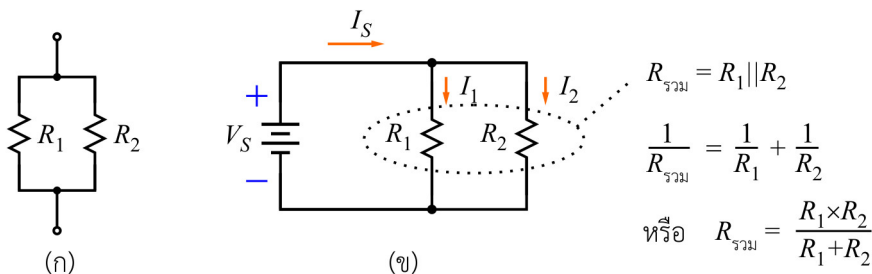
และ
$$I = \frac{V_3}{R_3} = \frac{4}{1 \text{ k}} = 4 \text{ mA}$$

ข้อสังเกต สำหรับการหาค่ากระแสไฟฟ้า I นั้น เราอาจคำนวณค่าความต้านทานรวม (คือ $R_1 + R_2 + R_3 = 3 \text{ k}\Omega$) และใช้กฎของโอห์มสำหรับวงจรโดยรวมก็ได้คำตอบเดียวกัน ($I = V/R = 12/(3 \text{ k}) = 4 \text{ mA}$)

วงจรขนาน (Parallel Circuit) เป็นการต่ออุปกรณ์ให้แรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อมอุปกรณ์แต่ละตัวมีค่าเท่ากัน โดยกระแสไฟฟ้าจะถูกแยกไหลในแต่ละอุปกรณ์ ลักษณะการต่อขนานของตัวต้านทาน 2 ตัวแสดงดังรูปที่ 2-22 (ก) โดยเมื่อเราทำการป้อนแรงดันให้แก่วงจรกระแสไฟฟ้าก็จะไหลผ่านตัวต้านทานแต่ละตัว ดังแสดงในรูปที่ 2-22 (ข) โดยค่ากระแสที่ไหลจะเป็นไปตามกฎของโอห์ม คือ $I_1 = V_S/R_1$ และ $I_2 = V_S/R_2$ และจะได้ว่ากระแสไฟฟ้าที่ไหลจากแหล่งจ่ายคือ

$$I_S = I_1 + I_2 = \frac{V_S}{R_1} + \frac{V_S}{R_2} = \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right) \cdot V_S$$

ซึ่งหากเรามองตัวต้านทาน 2 ตัวที่ต่อขนานกันนี้เสมือนตัวต้านทานตัวเดียวคือ $R_{\text{รวม}}$ จะได้ว่า $I_S = V_S/R_{\text{รวม}}$ โดยค่า $R_{\text{รวม}}$ นี้สามารถหาได้ตามสูตรที่แสดงในรูปที่ 2-22 (ข)



รูปที่ 2-22 (ก) ตัวต้านทานที่ต่อขนานกัน 2 ตัว และ (ข) วงจรขนาน R 2 ตัว

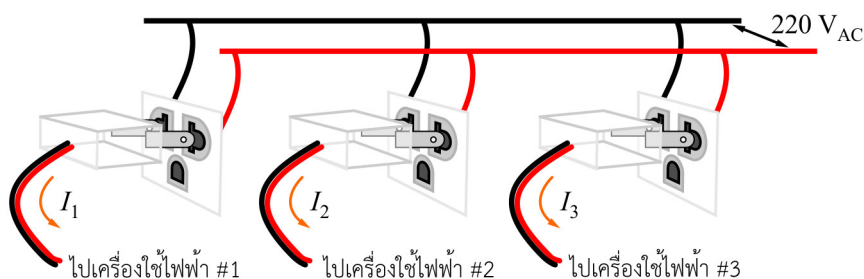
เราสามารถนำตัวต้านทานมากกว่า 2 ตัวมาต่อขนานกัน โดยค่าความต้านทานรวม หรือความต้านทานสมมูล R_{eq} จะมีค่าเท่ากับ ส่วนกลับของ ผลบวกของส่วนกลับของค่าความต้านทานแต่ละตัว สำหรับการต่อตัวต้านทาน N ตัวขนานกัน จะมีสูตรทั่วไปในการทำ ค่าความต้านทานรวมคือ

$$\frac{1}{R_{eq}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots \frac{1}{R_N}$$

จากสูตรนี้ มีข้อสังเกตคือ ความต้านทานสมมูลของการต่อกันแบบขนานนี้ จะมีค่าน้อยกว่า ค่าความต้านทานตัวที่น้อยที่สุดที่นำมาต่อกันเสมอ การต่อตัวต้านทานแบบขนานนั้น เราอาจใช้สัญลักษณ์ขนาน $\parallel$ แทนการเขียนเศษส่วน เช่น ตัวต้านทาน 2 ตัวขนานกัน เขียนได้เป็น $R_1 \parallel R_2$ ดังในรูปที่ 2-22 (ข) โดยหากมีตัวต้านทานมากกว่า 2 ตัว ก็เขียนได้ เช่น $R_1 \parallel R_2 \parallel R_3$ แทนค่าความต้านทานของตัวต้านทาน 3 ตัวที่ต่อขนานกัน

หากตัวต้านทานสองตัว ที่นำมาต่อขนานกัน มีขนาดเท่ากัน จะได้ว่า ความต้านทานสมมูลจะมีค่าลดลงเป็นครึ่งหนึ่งของความต้านทานของตัวต้านทานแต่ละตัว ในกรณีตัวต้านทาน N ตัวต่อขนานกัน และมีค่าความต้านทานเท่ากันหมด เราจะมีค่าความต้านทานสมมูลที่ลดลง N เท่า เช่น ตัวต้านทาน 1000 โอห์ม 4 ตัว ต่อขนานกันจะมีค่าความต้านทานสมมูลเท่ากับ $1000/4 = 250$ โอห์ม

ลักษณะการต่อแบบขนานนี้ยังมีให้เห็นได้ทั่วไปในวงจรไฟฟ้าในบ้าน (รูปที่ 2-23) ทั้งนี้เพราะเครื่องใช้ไฟฟ้าในบ้านทุกชนิดถูกออกแบบมาให้ใช้กับแรงดันคงที่คือ 220 โวลต์ แต่ค่ากระแสที่ใช้จะขึ้นกับค่าความต้านทานของเครื่องใช้ไฟฟ้า



รูปที่ 2-23 ลักษณะการต่อวงจรของเครื่องใช้ไฟฟ้าในบ้านซึ่งเป็นการต่อแบบขนาน



บทที่ 3 อุปกรณ์และวงจรแอนะล็อก

ในบทนี้ เราจะทำความรู้จักกับอุปกรณ์และวงจรอิเล็กทรอนิกส์ประเภทแอนะล็อก โดยอุปกรณ์ที่กล่าวถึงในบทนี้ ได้แก่ เซนเซอร์รับสัญญาณแอนะล็อก ตัวเก็บประจุ ไดโอด ทรานซิสเตอร์และออปแอมป์ โดยทรานซิสเตอร์จะเป็นอุปกรณ์สำคัญที่เป็นเหมือนหัวใจในการทำงานของวงจรอิเล็กทรอนิกส์จำนวนมาก โดยขนานไปกับการเรียนรู้ด้านอุปกรณ์ เราก็จะกล่าวถึงวงจรที่เกี่ยวกับอุปกรณ์เหล่านี้ด้วย

3.1 เซนเซอร์รับสัญญาณแอนะล็อก

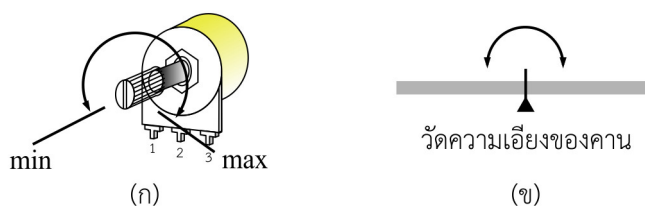
เซนเซอร์ (Sensor) มักจะหมายถึงอุปกรณ์ที่เปลี่ยนปริมาณต่าง ๆ เป็นคุณสมบัติทางไฟฟ้า (ดูรูปที่ 3-1) เซนเซอร์ที่ดีมีความไวต่อการเปลี่ยนแปลงของปริมาณที่ต้องการวัด และไม่ไวต่อการเปลี่ยนแปลงอื่น เช่น เซนเซอร์วัดแสงก็ควรไวต่อแสงแต่ไม่ไวต่ออุณหภูมิ ความชื้น และอื่น ๆ และในขณะเดียวกันเซนเซอร์ที่นำมาใช้งานจริงควรจะให้กำเนิดสัญญาณได้อย่างมีเสถียรภาพ มีความถูกต้องและแม่นยำเพียงพอ เซนเซอร์ทั่วไปมักจะรับค่าที่แปรจากปริมาณทางกายภาพแบบต่อเนื่อง เช่น มุมเอียง/รอบการหมุน ความสว่าง ความชื้น อุณหภูมิ ฯลฯ เนื่องจากความต่อเนื่องเป็นสิ่งที่อยู่ในธรรมชาติ สัญญาณแอนะล็อกจึงเป็นสัญญาณที่ได้รับจากวงจรเซนเซอร์ โดยในทางวงจร เราสามารถนำสัญญาณนี้มาเปลี่ยนเป็นสัญญาณดิจิทัลได้ ซึ่งจะกล่าวถึงในบทที่ 4 ต่อไป



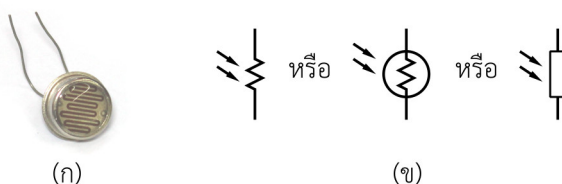
รูปที่ 3-1 ลักษณะการทำงานของเซนเซอร์และวงจรเซนเซอร์ทั่ว ๆ ไป

รูปที่ 3-2 และ 3-3 แสดงตัวอย่างเซนเซอร์ที่รับสัญญาณแอนะล็อกต่าง ๆ โดยรูปที่ 3-2 (ก) ก็คือตัวต้านทานปรับค่าได้ชนิดหนึ่ง ที่กล่าวถึงในหัวข้อ 2.4 (รูปที่ 2-11) โดยเราสามารถใช้ตัวต้านทานปรับค่าได้นี้ ในการวัดมุมมองขาของการเอียงของคานได้ ดังแสดงในแผนภาพในรูปที่ 3-2 (ข) เราจึงมองว่าเป็นเซนเซอร์ประเภทหนึ่ง ซึ่งการวัดความเอียงนี้ อาจสามารถนำไปใช้ควบคุมคาน โดยเซนเซอร์นี้จะทำหน้าที่ป้อนกลับ (Feedback) ข้อมูลตำแหน่งมุมเอียงของคาน ไปยังวงจรควบคุม

สำหรับการวัดแสงสว่างทั่วไปนั้น ปัจจุบันเรานิยมใช้เซนเซอร์ที่เรียกว่า **ตัวต้านทานแปรค่าตามแสงหรือแอลดีอาร์ (Light Dependent Resistor, LDR)** รูปที่ 3-3 (ก) แสดงภาพถ่ายของเซนเซอร์ชนิดนี้ ซึ่งแอลดีอาร์นี้จะมีคุณลักษณะทางไฟฟ้าเหมือนตัวต้านทานปรับค่าได้ แต่จะมีหน้าตาต่างรับแสง โดยค่าความต้านทานของแอลดีอาร์จะแปรผกผันกับปริมาณแสงที่ตกกระทบ เนื่องจากแสงจะไปกระตุ้นให้มีอิเล็กตรอนที่สามารถนำไฟฟ้าได้มากขึ้น เมื่อแสงมีความเข้มมาก ความต้านทานของแอลดีอาร์นี้ก็จะต่ำลง สัญลักษณ์ทางวงจรของแอลดีอาร์แสดงดังรูปที่ 3-3 (ข)



รูปที่ 3-2 (ก) ตัวต้านทานปรับค่าได้ที่ทำหน้าที่เป็นเซนเซอร์วัดความเอียง และ (ข) ลักษณะการติดตั้งเซนเซอร์ ณ จุดหมุนของคาน

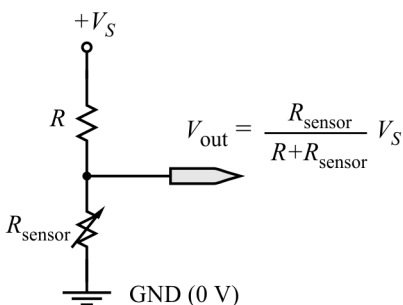


รูปที่ 3-3 (ก) ตัวต้านทานแปรค่าตามแสงหรือแอลดีอาร์และ (ข) สัญลักษณ์ทางวงจร

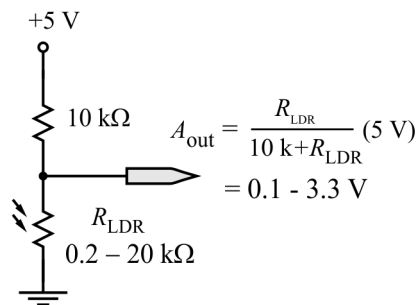
นอกจากนี้ ยังมีเซนเซอร์อีกจำนวนมากที่สามารถแปลงปริมาณต่าง ๆ ในธรรมชาติให้เป็นค่าความต้านทานซึ่งเป็นคุณสมบัติทางไฟฟ้าที่สามารถนำไปแปลงเป็นสัญญาณอื่นได้ เช่น เซนเซอร์วัดความชื้นดิน เซนเซอร์วัดปริมาณน้ำฝน เซนเซอร์วัดแก๊ส เซนเซอร์วัดสัญญาณชีพจร เซนเซอร์วัดการกดทับ ฯลฯ โดยวงจรรับสัญญาณแอนะล็อกพื้นฐานของเซนเซอร์เหล่านี้จะมีลักษณะคล้ายกันคือ เป็น**วงจรแบ่งแรงดัน** ดังแสดงในรูปที่ 3-4 (ก) ค่าสัญญาณแรงดัน V_{out} ที่ได้รับจากวงจรจะขึ้นกับค่าความต้านทาน ซึ่งก็จะแปรเปลี่ยนตามปริมาณที่วัดนั่นเอง ดังนั้นจึงเป็นหน้าที่ของผู้พัฒนางจรเซนเซอร์ที่จะต้องเลือกใช้เซนเซอร์และค่าความต้านทานที่เหมาะสมกับย่านที่ต้องการวัด

รูปที่ 3-4 (ข) แสดงตัวอย่างการใช้งานจริงของวงจรเซนเซอร์แอลดีอาร์ที่มักนำมาใช้ในการวัดค่าแสงสว่าง โดยหากแอลดีอาร์ที่ใช้มีความต้านทานระหว่าง $20\text{ k}\Omega$ (มืด) ถึง $200\text{ }\Omega$ (สว่างมาก) เราก็จะได้ว่า แรงดันขาออก A_{out} จะมีค่าระหว่าง $0.1 - 3.3\text{ V}$

วงจรในรูปที่ 3-4 เขียนต่างจากวงจรแบ่งแรงดันที่แสดงในบทที่ 2 (รูปที่ 2-19) เนื่องจากในทางอิเล็กทรอนิกส์ เรามักจะกำหนดแรงดันแหล่งจ่าย ด้วย V_S โดยไม่เขียนสัญลักษณ์ของแบตเตอรี่ และสำหรับค่าแรงดันนั้น เราจะวัดเทียบกับกราวด์ (**Ground, GND**) เสมอ ซึ่งกราวด์ก็คือระดับแรงดันอ้างอิงในวงจร มีค่าศักย์ไฟฟ้าศูนย์โวลต์ ในวงจร ซึ่งโดยทั่วไป เราจะกำหนดให้ขั้วลบของแหล่งจ่ายไฟหรือแบตเตอรี่เป็นกราวด์ของวงจร



(ก)



(ข)

รูปที่ 3-4 (ก) วงจรแบ่งแรงดันสำหรับแปลงค่าความต้านทาน R_{sensor} ของตัวเซนเซอร์มาเป็นค่าแรงดัน V_{out} และ (ข) ตัวอย่างวงจรที่มีการนำแอลดีอาร์มาใช้ทำเซนเซอร์วัดค่าแสงสว่าง

3.2 ออสซิลโลสโคป

ออสซิลโลสโคป (Oscilloscope) หรือเรียกสั้น ๆ ว่าสโคป ถือเป็นเครื่องมือวัดที่สำคัญในทางอิเล็กทรอนิกส์ ในลักษณะเดียวกันกับมัลติมิเตอร์สำหรับการวัดทางไฟฟ้าพื้นฐาน โดยออสซิลโลสโคปจะทำหน้าที่แปลงสัญญาณแรงดันที่มีความถี่ต่าง ๆ ให้กลายเป็นรูปภาพ และแสดงผลผ่านจอภาพ ออสซิลโลสโคปอาจแบ่งได้ 2 ประเภทคือ CRO เป็นออสซิลโลสโคปประเภทแอนะล็อกที่ใช้จอ CRT (Cathode Ray Tube) ซึ่งเป็นจอแก้วรุ่นเก่า และประเภทดิจิทัลหรือ DSO (Digital Storage Oscilloscope)

ในการใช้งานออสซิลโลสโคป ผู้ใช้สามารถปรับการแสดงผลภาพรูปคลื่นให้เหมาะสมได้ทั้งในแนวแกนตั้ง (Vertical Axis) ซึ่งก็คือค่าขนาดแรงดันของสัญญาณและ ในแนวแกนนอน (Horizontal Axis) ซึ่งก็คือค่าระยะเวลา รูปที่ 3-5 แสดงตัวอย่างเครื่องดิจิทัลออสซิลโลสโคปที่มีใช้งานอยู่ในปัจจุบัน (ยี่ห้อ Agilent รุ่น MSO-X 2024A) และสายโพรบ (10:1) ที่มาพร้อมกับตัวเครื่อง โดยส่วนมากสายโพรบนี้จะมีลักษณะเป็นวงจรแบ่งแรงดันเพื่อเพิ่มย่านในการวัด ตัวอย่างเช่น หากสัญญาณแรงดันที่วัดมีขนาดสูงสุด 30 V แล้วแรงดันที่เข้าสู่วงจรวัดจะมีขนาดสูงสุด 3 V โดยในการใช้งาน เราสามารถทำให้ออสซิลโลสโคปแสดงผลได้อย่างถูกต้อง โดยการปรับตั้ง (Setup) และเลือกชนิดของโพรบก่อนเริ่มใช้งาน

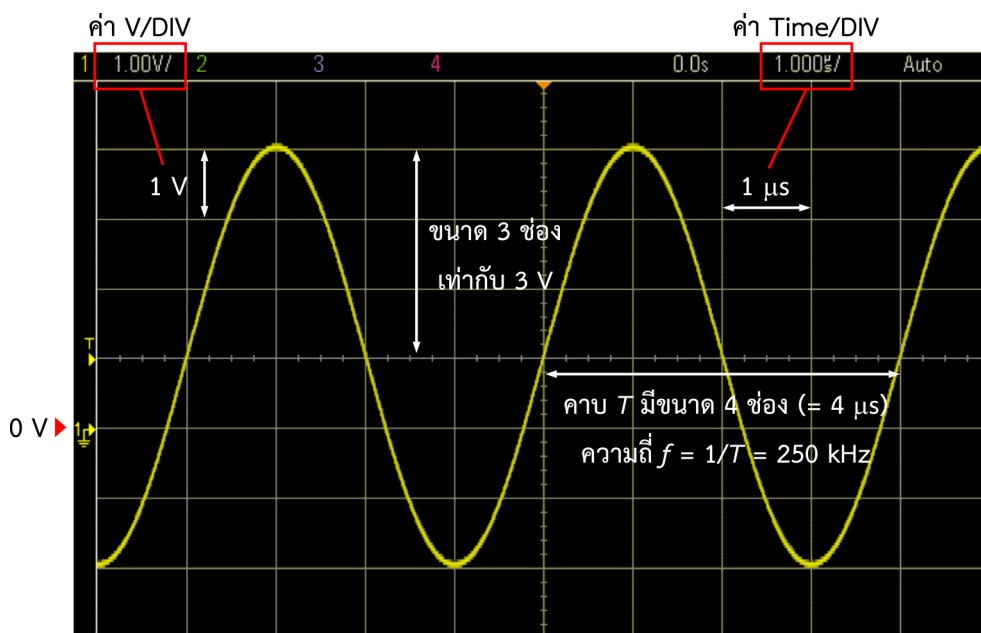


รูปที่ 3-5 ภาพถ่ายดิจิทัลออสซิลโลสโคปและสายโพรบ

โดยทั่วไปออสซิลโลสโคปจะรับสัญญาณได้หลายแขนแนล แต่ในการใช้งานเบื้องต้น เรามักจะเลือกดูเพียงแขนแนลเดียว ตัวอย่างรูปที่ 3-6 คือภาพสัญญาณคลื่นรูปไซน์ขนาด 3 V ความถี่ 250 kHz โดยเราสามารถปรับเลือกแสดงขนาดของแรงดันในแนวแกนตั้ง หรือค่า V/DIV (ค่าแรงดันต่อ 1 ช่อง ตามแกนตั้ง) และปรับเลือกแสดงขนาดของเวลาในแนวแกนนอน หรือค่า Time/DIV (ค่าช่วงเวลาต่อ 1 ช่อง ตามแกนนอน) ได้ด้วยปุ่มที่หน้าเครื่อง ออสซิลโลสโคป โดยในรูปเป็นการปรับค่า V/DIV ให้มีขนาด 1 V และค่า Time/DIV ให้มีขนาด 1 μs (10^{-6} s) ซึ่งค่าขนาดของสัญญาณนี้ (3 V) สามารถวัดได้จากภาพ โดยค่าคาบ T ของสัญญาณซึ่งมีขนาด 4 ช่อง ($= 4 \mu\text{s}$) ก็สามารถแปลงเป็นค่าความถี่ f ได้ ด้วยสูตร $f = 1/T$ ซึ่งในที่นี้จะได้ว่า

$$f = \frac{1}{T} = \frac{1}{4 \mu\text{s}} = 250 \text{ kHz}$$

นอกจากนี้ ระดับสัญญาณอ้างอิงแรงดันหรือกราวด์ (0 V) ก็ถูกแสดงในภาพสัญญาณที่ได้รับ จากออสซิลโลสโคปด้วย

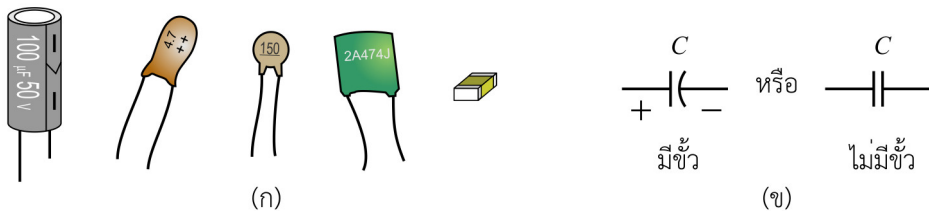


รูปที่ 3-6 ตัวอย่างภาพสัญญาณคลื่นรูปไซน์ขนาด 3 V ความถี่ 250 kHz และมีออฟเซต +1 V

3.3 ตัวเก็บประจุ

ตัวเก็บประจุ (Capacitor) เป็นอุปกรณ์ไฟฟ้า ที่สามารถสะสมพลังงานในรูปของสนามไฟฟ้า โดยตัวเก็บประจุ จะมีโครงสร้างอย่างง่าย คือ แผ่นเพลตสองแผ่นอยู่ใกล้ ๆ กัน ลักษณะของตัวเก็บประจุที่มีใช้ในวงจรอิเล็กทรอนิกส์ แสดงดังรูปที่ 3-7 (ก) ซึ่งตัวเก็บประจุเหล่านี้ มีทั้งแบบมีขั้ว (คือ ชนิดอิเล็กโทรไลต์ และ ชนิดแทนทาลัม) และแบบไม่มีขั้ว (คือ ชนิดเซรามิก ชนิดไมลาร์และชนิดเอสเอ็มดี) สัญลักษณ์ทางวงจรของตัวเก็บประจุแสดงดังรูปที่ 3-7 (ข) โดยเราใช้ตัวอักษร C กำกับตัวเก็บประจุ และแทนค่าความจุไฟฟ้าด้วย

ความจุไฟฟ้า (Capacitance) เป็นตัวบ่งบอกความสามารถในการสะสมพลังงาน ค่าความจุไฟฟ้ามีหน่วยเป็น ฟารัด (farad: F) โดย ค่าความจุไฟฟ้าของตัวเก็บประจุทั่ว ๆ ไป จะมีค่าอยู่ในระดับ $\text{pF} - \text{mF}$ ($10^{-12} - 10^{-3} \text{ F}$)



รูปที่ 3-7 (ก) ตัวเก็บประจุแบบต่าง ๆ (อิเล็กโทรไลต์ แทนทาลัม เซรามิก ไมลาร์ เอสเอ็มดี ตามลำดับ) และ (ข) สัญลักษณ์ทางวงจรของตัวเก็บประจุแบบมีขั้วและแบบไม่มีขั้ว

การอ่านค่าขนาดความจุไฟฟ้าที่ระบุบนตัวเก็บประจุนั้น จะขึ้นกับชนิดของตัวเก็บประจุด้วย สำหรับตัวเก็บประจุชนิดอิเล็กโทรไลต์ (รูปซ้ายมือสุดใน รูปที่ 3-7 (ก)) ค่าความจุไฟฟ้าและขั้วลบจะระบุอย่างชัดเจนที่ตัวถัง แต่สำหรับตัวเก็บประจุชนิดเซรามิกและไมลาร์ จะมีการใช้ตัวเลขรหัส 3 ตัวและอาจมีตัวอักษร 1 ตัว ในการระบุค่า ความจุไฟฟ้า โดย ตัวเลข 2 ตัวแรก จะเป็นเลขหลัก และ ตัวเลขตัวที่ 3 จะบอกค่าตัวเลขยกกำลัง โดยค่าที่อ่านได้ จะมีหน่วยเป็น พิโคฟารัด ($1 \text{ pF} = 10^{-12} \text{ F}$) สำหรับรหัสตัวอักษรตัวสุดท้ายจะบอกค่าความคลาด-

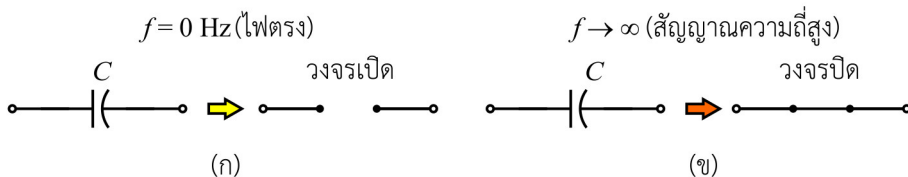
$$474\text{J} = 47 \times 10^4 \pm 5\% \text{ pF}$$

รูปที่ 3-8 ตัวอย่างการอ่านค่าความจุไฟฟ้าจากรหัสเลข 3 หลักบนตัวถังของตัวเก็บประจุ

เคลื่อนของค่าความจุไฟฟ้านี้ ตัวอย่าง ค่าบนตัวเก็บประจุ 474J คือค่าความจุไฟฟ้า 47×10^4 pF $\pm 5\%$ ซึ่งเท่ากับ $0.47 \mu\text{F} \pm 5\%$ (ดูรูปที่ 3-8) และสำหรับตัวเก็บประจุที่มีตัวถังแบบเอสเอ็มดีจะมีขนาดเล็กและมักจะไม่มีการระบุค่าความจุไฟฟ้าบนตัวถัง ผู้ใช้จะต้องทราบหรือวัดค่าความจุไฟฟ้าของอุปกรณ์ประเภทตัวถังแบบเอสเอ็มดีด้วยตนเอง

การเลือกใช้ตัวเก็บประจุ เราจะต้องคำนึงถึงค่าพิคัดแรงดันที่ตัวเก็บประจุสามารถทนได้ด้วย เช่น หากเราใช้ตัวเก็บประจุกับวงจรที่มีไฟเลี้ยงขนาดแรงดัน 12 โวลต์ เราจะต้องใช้ตัวเก็บประจุที่ทนแรงดันได้มากกว่า 12 โวลต์ เช่น เลือกตัวเก็บประจุที่มีพิคัดแรงดัน 25 โวลต์

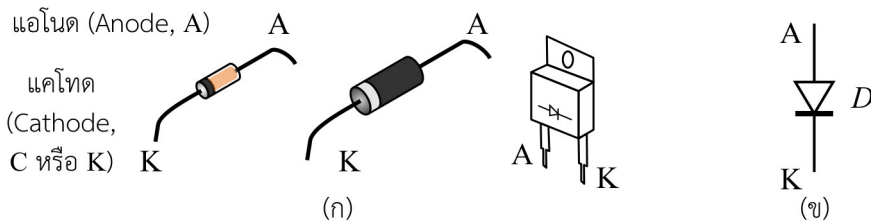
สำหรับการใช้งานตัวเก็บประจุในวงจรนั้น เราจะได้ค่อนข้างหลากหลาย ตัวเก็บประจุอาจถูกใช้ในการจ่ายกระแสในช่วงเวลาสั้น ๆ ให้กับส่วนอื่นของวงจรเมื่อแหล่งจ่ายถูกตัดออก และเราอาจใช้ตัวเก็บประจุในการกั้นสัญญาณไฟตรงในแต่ละส่วนของวงจร ดังนั้นตัวเก็บประจุจะเปรียบเสมือน**วงจรเปิด (Open Circuit)** สำหรับไฟฟ้ากระแสตรง (ดูรูปที่ 3-9 (ก)) และ สำหรับสัญญาณความถี่สูง ตัวเก็บประจุตัวเดียวกันนี้สามารถมองได้ว่าเป็น**วงจรปิด (Closed Circuit)** (ดูรูปที่ 3-9 (ข)) วงจรอิเล็กทรอนิกส์พื้นฐานที่ใช้ตัวเก็บประจุทำงาน คือ วงจรกรองที่ทำให้สัญญาณเรียบขึ้น ซึ่งเป็นส่วนสำคัญของวงจรแหล่งจ่ายไฟ



รูปที่ 3-9 การมองตัวเก็บประจุเป็นเสมือน (ก) วงจรเปิดสำหรับไฟตรง และ (ข) วงจรปิดสำหรับสัญญาณความถี่สูง

3.4 ไดโอดและแอลอีดี

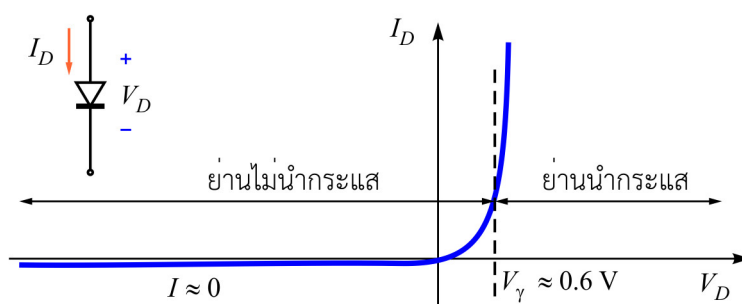
ไดโอด (Diode) เป็นอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่สร้างจากสารกึ่งตัวนำ เช่น ซิลิกอน (Si) โดยไดโอดเป็นอุปกรณ์ที่มีขั้วหากต่อกลับทิศทางจะไม่ทำงาน ขั้วต่อออกมาจากไดโอด มีชื่อเรียก คือ แอโนด (Anode) ย่อด้วยตัว A และ แคโทด (cathode) ย่อด้วยตัว C หรือ K ลักษณะไดโอดที่ใช้ในวงจรอิเล็กทรอนิกส์มีหลายรูปแบบ (รูปที่ 3-10 (ก)) สัญลักษณ์ทางวงจรของไดโอดแสดงดังรูปที่ 3-10 (ข) โดยเรามักจะใช้ ตัวอักษร D ในการระบุว่าเป็นไดโอด



รูปที่ 3-10 (ก) ลักษณะโครงสร้างของไดโอดสารกึ่งตัวนำที่มี
รูปร่างตัวถังแบบต่าง ๆ และ (ข) สัญลักษณ์ทางวงจร

ในการใช้งานไดโอด ซึ่งก็คือ การจ่ายแรงดัน หรือ กระแสให้กับไดโอดในวงจร เราควร รู้จัก คำว่า **ไบแอส (Bias)** เสียก่อน การไบแอส มีสองชนิด คือ **ไบแอสไปหน้า (Forward Bias)** และ **ไบแอสย้อนกลับ (Reverse Bias)** โดยการไบแอสไปหน้าคือการให้แรงดันบวกกับขั้วแอโนด และการไบแอสย้อนกลับคือการให้แรงดันบวกกับขั้วแคโทด

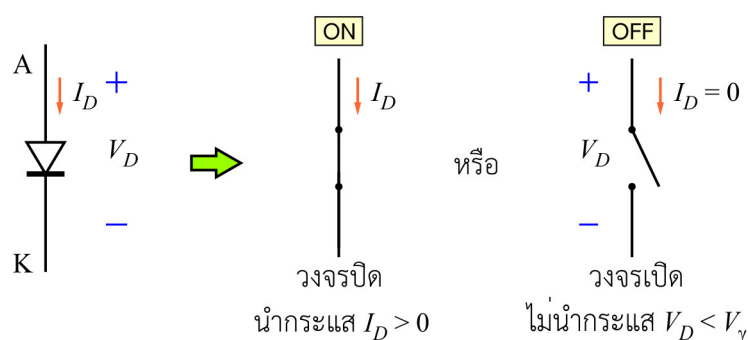
ลักษณะสมบัติกระแส-แรงดันของไดโอดทั่วไปที่ทำจากซิลิกอน แสดงดังรูปที่ 3-11 โดยเราจะกำหนดให้กระแสที่ไหลผ่านจากแอโนด ไปแคโทดมีค่าเป็นบวก I_D และ แรงดันที่ตกคร่อมไดโอด V_D เป็นบวกที่ขั้วแอโนด ดังนั้น ไดโอดจะถูกไบแอสไปหน้าเมื่อ $V_D > 0$ ในการใช้งานไดโอดทั่ว ๆ ไป เราจะมองไดโอดเป็นเหมือนสวิตช์ในวงจรนั่นคือไดโอดมีได้ 2 สถานะ คือ สถานะ ON (นำกระแส) หรือ OFF (ไม่นำกระแส)



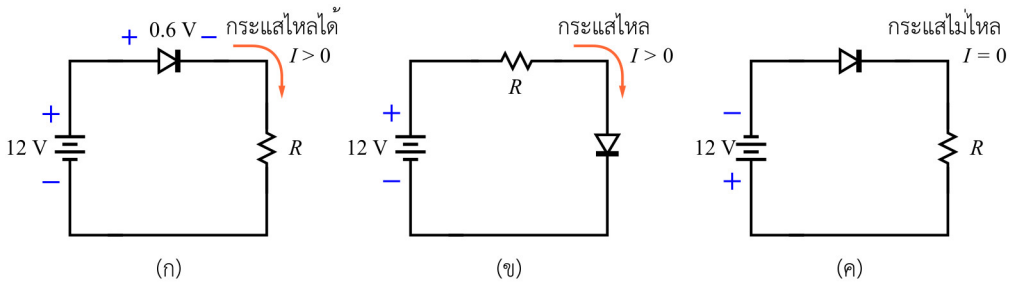
รูปที่ 3-11 ลักษณะสมบัติกระแส-แรงดัน ของไดโอดทั่วไปที่สร้างจากซิลิกอน

ในย่านนำกระแส (ไดโอด ON) ไดโอดจะให้กระแสไหลผ่านตัวมัน ($I_D > 0$) เมื่อมีแรงดันตกคร่อมมากกว่าค่าแรงดันออฟเซต V_γ ($V_D > V_\gamma$) ซึ่งมีค่าประมาณ 0.6 V สำหรับซิลิกอนไดโอด ในการมองเบื้องต้นเราอาจจะเลยค่าแรงดันนี้ได้ (นั่นคือประมาณ $V_\gamma = 0$) และในย่านที่ไดโอดไม่นำกระแส ไดโอด (ไดโอด OFF) จะเป็นเสมือนวงจรเปิด (ดูรูปที่ 3-12)

วงจรในรูปที่ 3-13 แสดงตัวอย่างลักษณะการต่อไดโอดแบบต่าง ๆ ให้นำกระแสและไม่นำกระแส โดยไดโอดจะนำกระแสก็ต่อเมื่อ กระแสที่ไหลผ่านมีค่ามากกว่าศูนย์ เมื่อเราสมมติให้ไดโอดนำกระแส โดยตัวอย่างรูปที่ 3-13 (ก) และ (ค) นี่เป็นการแยกพิจารณาในกรณีที่แหล่งจ่ายเป็นไฟสลับ มีค่าแรงดันทั้งค่าบวกและลบ



รูปที่ 3-12 สถานะการทำงานของไดโอด คือ ON (นำกระแส) หรือ OFF (ไม่นำกระแส)

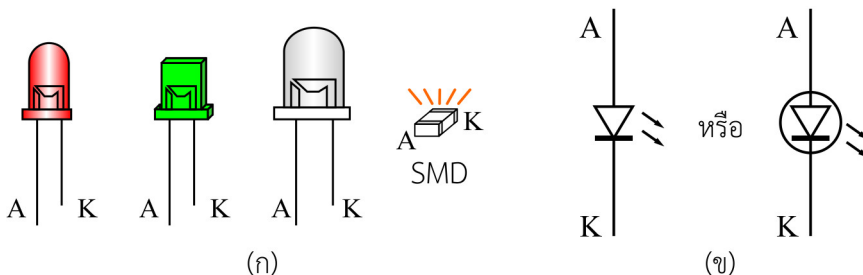


รูปที่ 3-13 ลักษณะการต่อไดโอดในรูปแบบต่าง ๆ โดยไดโอดในวงจร (ก) และ (ข)

จะนำกระแส แต่ไดโอดในวงจร (ค) จะไม่นำกระแส

นอกจากไดโอดที่นำมาใช้เป็นสวิตช์แล้ว ยังมีไดโอดประเภทอื่น ๆ ที่ใช้งานในวงจรอิเล็กทรอนิกส์อีก เช่น ซีเนอร์ไดโอด (Zener Diode) และ ช็อตткиไดโอด (Schottky Diode) ผู้ที่สนใจการทำงานของไดโอดเหล่านี้ สามารถศึกษาเพิ่มเติมได้จากแหล่งข้อมูลอื่น

ไดโอดเปล่งแสง (Light Emitting Diode, LED) มีชื่อย่อที่เป็นที่รู้จักกันดีคือ **แอลอีดี** โดยแอลอีดีคือไดโอดที่ทำจากสารกึ่งตัวนำชนิดที่เปล่งแสงได้นั่นเอง (ซิลิกอนเปล่งแสงไม่ได้) สีของแอลอีดีจะกำหนดได้จากสารกึ่งตัวนำที่นำมาใช้สร้าง สำหรับลักษณะตัวถังของแอลอีดีมีหลายรูปแบบ รูปที่ 3-14 (ก) แสดงลักษณะแอลอีดีที่พบเห็นได้ทั่วไป สำหรับข้อกำหนดเรื่องขาของแอลอีดีนั้น ผู้ใช้ต้องสังเกตจากลักษณะภายในตัวแอลอีดี คือ ขั้วภายในที่เล็กจะเป็นขั้วแอโนด (A) และ ขั้วภายในที่ใหญ่เป็นขั้วแคโทด (K) สัญลักษณ์ทางวงจรของแอลอีดีแสดงดังรูปที่ 3-14 (ข) โดยสำหรับแอลอีดีแบบเอสเอ็มดีอาจไม่มีสิ่งที่จะระบุขั้วบนตัวถัง



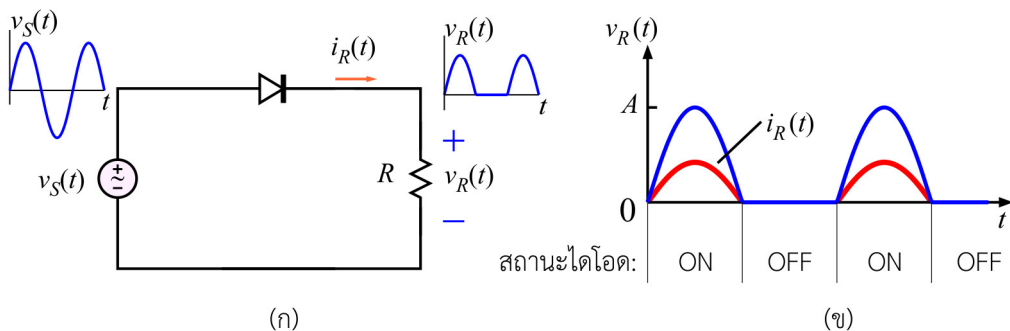
รูปที่ 3-14 (ก) ลักษณะรูปร่างของแอลอีดีในตัวถังต่าง ๆ และ (ข) สัญลักษณ์ทางวงจร

3.5 วงจรเรียงกระแส

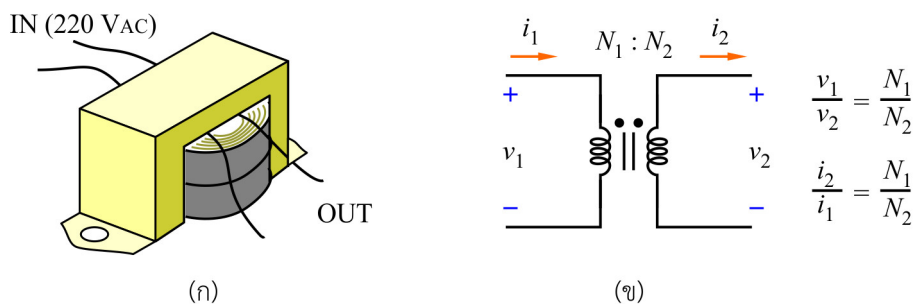
วงจรเรียงกระแส (Rectifier) คือวงจรที่ทำหน้าที่แปลงไฟสลับ (AC) เป็นไฟตรง (DC) วงจรเรียงกระแสอย่างง่ายที่มีใช้งานทั่วไป คือ วงจรเรียงกระแสแบบครึ่งคลื่น วงจรเรียงกระแสแบบเต็มคลื่นที่ใช้หม้อแปลงและวงจรเรียงกระแสแบบเต็มคลื่นที่ใช้ไดโอดต่อกันแบบบริดจ์ วงจรเรียงกระแสนี้เป็นวงจรภายในแหล่งจ่ายไฟที่มีใช้งานในปัจจุบัน

วงจรเรียงกระแสแบบครึ่งคลื่น (Half-Wave Rectifier) มีรูปแบบวงจรแสดงดังในรูปที่ 3-15 (ก) โดยแหล่งจ่ายไฟสลับขาเข้าจะจ่ายแรงดันไฟสลับ ไดโอดจะนำกระแสในช่วงที่แหล่งจ่ายมีแรงดันด้านบวกเท่านั้น ดังนั้นลักษณะกระแสและแรงดันขาออก ซึ่งคือกระแสที่ไหลผ่านและแรงดันที่ตกคร่อมโหลดที่มองเป็นตัวต้านทาน R จะเป็นดังรูปที่ 3-15 (ข)

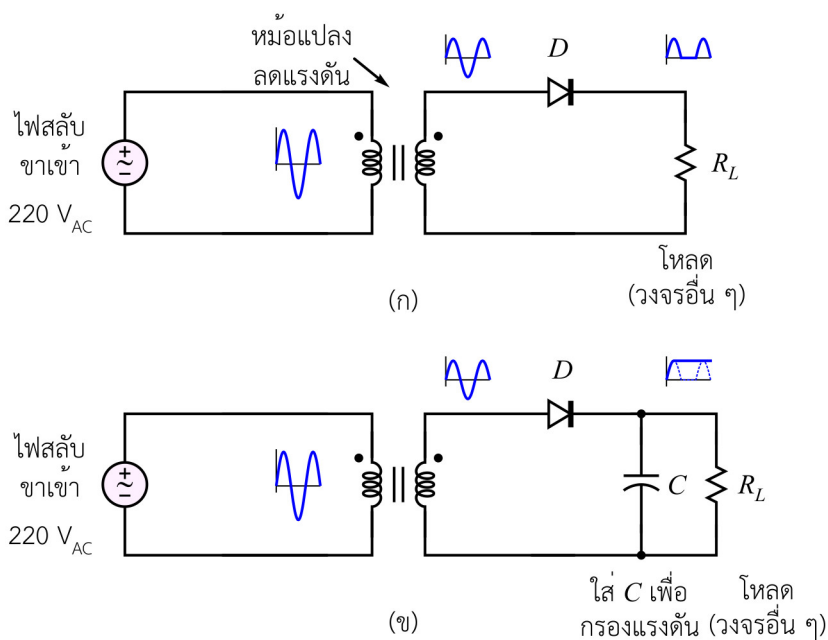
การใช้งานวงจรเรียงกระแสกับแหล่งจ่ายไฟ 220 โวลต์ มักจะใช้หม้อแปลงไฟฟ้าเพื่อลดระดับแรงดันลงให้อยู่ในระดับที่เหมาะสมเสียก่อน ลักษณะหม้อแปลงไฟฟ้าทั่วไปและสัญลักษณ์ทางวงจรแสดงดังรูปที่ 3-16 โดยรูปแบบวงจรเรียงกระแสแบบครึ่งคลื่นที่มีการใช้หม้อแปลงแสดงดังรูปที่ 3-17 (ก) แหล่งจ่ายไฟสลับขาเข้า 220 V จะจ่ายแรงดันไฟสลับ และแรงดันนี้ถูกลดขนาดลงด้วยหม้อแปลง โดยเมื่อใช้ไดโอดกันการไหลของกระแสในทิศทางหนึ่งแล้วจะได้ว่า กระแสที่ไหลเข้าสู่โหลดจะสามารถไหลได้ในทิศทางเดียว ดังนั้นไดโอดจะทำงานเป็นเหมือนสวิตช์ปิด-เปิด ทุก ๆ รอบของสัญญาณแรงดันไฟสลับ



รูปที่ 3-15 (ก) วงจรเรียงกระแสแบบครึ่งคลื่นที่ใช้ไดโอดตัวเดียวในการเรียงกระแส และ (ข) ลักษณะสัญญาณกระแสที่ไหลผ่านและแรงดันที่ตกคร่อมโหลด R



รูปที่ 3-16 (ก) ลักษณะหม้อแปลงไฟฟ้าทั่วไปและ (ข) สัญลักษณ์ทางวงจร
ของหม้อแปลงไฟฟ้าและสูตรที่เกี่ยวข้อง



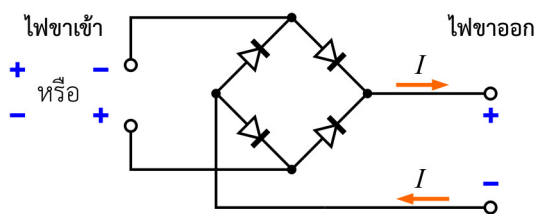
รูปที่ 3-17 (ก) วงจรเรียงกระแสแบบครึ่งคลื่นที่ใช้หม้อแปลงไฟฟ้า
เพื่อลดแรงดัน และ (ข) วงจรเรียงกระแสที่มีการกรองแรงดันให้เรียบด้วยตัวเก็บประจุ C

ในทางปฏิบัติ เรามักจะต้องการสร้างสัญญาณแรงดันไฟตรงที่มีความสม่ำเสมอมาก นั่นคือแรงดันมีค่าคงที่ไม่ขึ้นกับเวลา (เช่น 5 โวลต์คงที่) ดังนั้นเราจึงมีการใช้ตัวเก็บประจุขนาด

ใหญ่ต่อขนานกับโหลดที่ชั่วขาออกดังแสดงในรูปที่ 3-17 (ข) โดยตัวเก็บประจุนี้ มีหน้าที่กรองแรงดันให้สม่ำเสมอมากขึ้น ซึ่งหากเราเลือกค่า C ที่มีขนาดใหญ่เพียงพอ จะได้ว่า สัญญาณแรงดันที่ไปยังโหลดจะมีค่าคงที่ เพราะตัวเก็บประจุจะจ่ายกระแสให้โหลดในขณะที่แรงดันจากแหล่งจ่ายต่ำกว่าค่าแรงดันที่ตัวเก็บประจุ ทั้งนี้ค่า C ที่เหมาะสม จะขึ้นกับขนาดของโหลด R_L ซึ่งเราอาจไม่ทราบล่วงหน้า ดังนั้นในการออกแบบวงจร เรามักจะใช้ C ที่มีค่ามาก ๆ เช่น $1000\ \mu\text{F}$ เพื่อให้แรงดันไฟตรงมีค่าคงที่เมื่อมีโหลดขนาดต่าง ๆ กัน

ปัจจุบัน แหล่งจ่ายไฟที่วางขายในท้องตลาดมักจะมีขนาดเล็กและมีประสิทธิภาพสูง แต่ความสามารถในการใช้ไดโอดตัวเดียวเพื่อเรียงกระแสก็ยังไม่มีที่ใช้งานอยู่มากในวงจรอิเล็กทรอนิกส์ เช่น ใช้ป้องกันการต่อไฟกลับชั่ว ทั้งนี้เพราะไดโอดจะยอมให้กระแสไหลผ่านในทิศทางเดียว ไดโอดจึงสามารถป้องกันมิให้กระแสไหลย้อนทางได้ โดยสิ่งนี้อาจเป็นสิ่งที่จำเป็นอย่างมากเพราะวงจรอิเล็กทรอนิกส์ส่วนใหญ่จะเสียหาย หากได้รับแรงดันที่กลับชั่ว

รูปที่ 3-18 แสดงลักษณะการต่อไดโอดแบบบริดจ์เพื่อให้วงจรสามารถรับแรงดันบวกที่ชั่วขาเข้าชั่วใดก็ได้ และได้แรงดันขาออกเป็นบวกที่ชั่วด้านบนเสมอ โดยการใช้ไดโอดในลักษณะนี้จะมีข้อเสียคือจะมีแรงดันตกคร่อมไดโอดแต่ละตัวประมาณ $0.6\ \text{V}$ ทำให้แรงดันที่จ่ายออกไปมีค่าเท่ากับแรงดันขาเข้าลบด้วย $1.2\ \text{V}$ (เช่น หากใช้แหล่งจ่าย $12\ \text{V}$ แรงดันที่โหลดได้รับจะมีค่าเพียง $10.8\ \text{V}$)

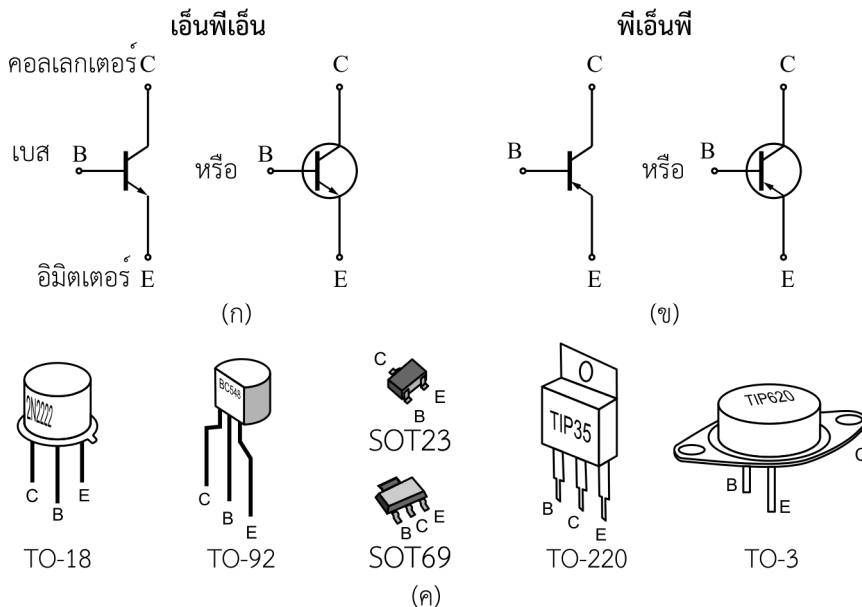


รูปที่ 3-18 การต่อไดโอด 4 ตัวแบบบริดจ์ เพื่อปรับทิศทาง
การไหลของกระแสไฟฟ้าให้ไหลได้ในทิศทางเดียว

3.6 ทรานซิสเตอร์และวงจรสวิตช์ด้วยทรานซิสเตอร์

อุปกรณ์ทางอิเล็กทรอนิกส์พื้นฐานที่สำคัญมากที่สร้างจุดเปลี่ยนของยุคอิเล็กทรอนิกส์ คือ **ทรานซิสเตอร์ (Transistor)** ทรานซิสเตอร์เป็นสิ่งประดิษฐ์ที่สร้างจากสารกึ่งตัวนำ โดยคุณสมบัติที่สำคัญของทรานซิสเตอร์ คือ การขยายสัญญาณ (Amplification) และ การสวิตช์ (Switching) จากคุณสมบัติทั้งสองนี้ ทำให้ทรานซิสเตอร์ถูกใช้งานแพร่หลาย ทั้งในรูปแบบเป็นอุปกรณ์เดี่ยว ๆ และ ในไอซี (วงจรรวม)

ทรานซิสเตอร์ ถูกแบ่งเป็น 2 ตระกูลหลัก ๆ คือ **ทรานซิสเตอร์รอยต่อไบโพลาร์** หรือ **บีเจที (Bipolar Junction Transistor, BJT)** และทรานซิสเตอร์ปรากฏการณ์สนาม (Field Effect Transistor, FET) โดยการใช้งานทรานซิสเตอร์ทั้งสองประเภทนี้มีลักษณะคล้ายกัน โดยบีเจทีถูกแบ่งย่อยเป็นสองชนิด คือ ชนิดเอ็นพีเอ็น (npn) และ พีเอ็นพี (pnp) โดยชื่อชนิดของบีเจทีนี้ มาจากชื่อของชั้นรอยต่อภายในบีเจที (ดูรูปที่ 3-19 (ก) และ (ข))

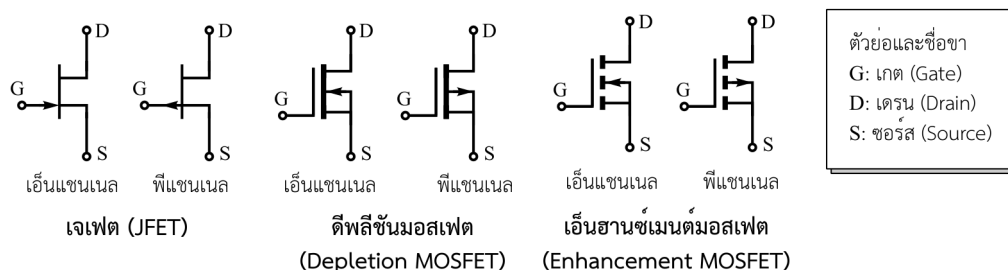


รูปที่ 3-19 สัญลักษณ์ทางวงจรของ (ก) บีเจทีชนิดเอ็นพีเอ็นและ (ข) บีเจทีชนิดพีเอ็นพี และ (ค) รูปร่างและชื่อของตัวถังแบบต่าง ๆ ของทรานซิสเตอร์

บีเจทีเป็นอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์สามขาที่มีชื่อขาคือ ขาเบส (Base, B), ขาคอลเลกเตอร์ (Collector, C) และ ขาอีมิเตอร์ (Emitter, E) สัญลักษณ์ทางวงจรของบีเจทีที่แสดงดังในรูปที่ 3-19 (ก) และ (ข) โดยลูกศรที่ระบุในสัญลักษณ์จะบ่งบอกทิศทางการไหลของกระแส เมื่อบีเจทีทำงานในโหมดปกติ

รูปที่ 3-19 (ค) แสดงรูปร่างของบีเจทีในตัวถังแบบต่าง ๆ ที่พบเห็นได้ทั่วไป โดยเบอร์ของทรานซิสเตอร์จะระบุอยู่บนตัวถังนี้ สำหรับตัวถัง TO-220 และ TO-3 มักจะใช้บรรจุบีเจทีที่สามารถทนกระแสและแรงดันได้สูง ๆ ที่เรียกว่าเป็น **ทรานซิสเตอร์กำลัง (Power Transistor)** โดยโลหะที่ตัวถัง TO-3 จะทำหน้าที่เป็นขาๆ หนึ่งของบีเจทีด้วย สำหรับการวางขาของทรานซิสเตอร์แต่ละเบอร์อาจจะต่างจากที่ระบุในรูปที่ 3-19 (ค) ผู้ใช้ควรศึกษาแผ่นข้อมูล (datasheet) ของทรานซิสเตอร์เบอร์ที่นำมาใช้ ก่อนนำมาใช้ในการต่อวงจร

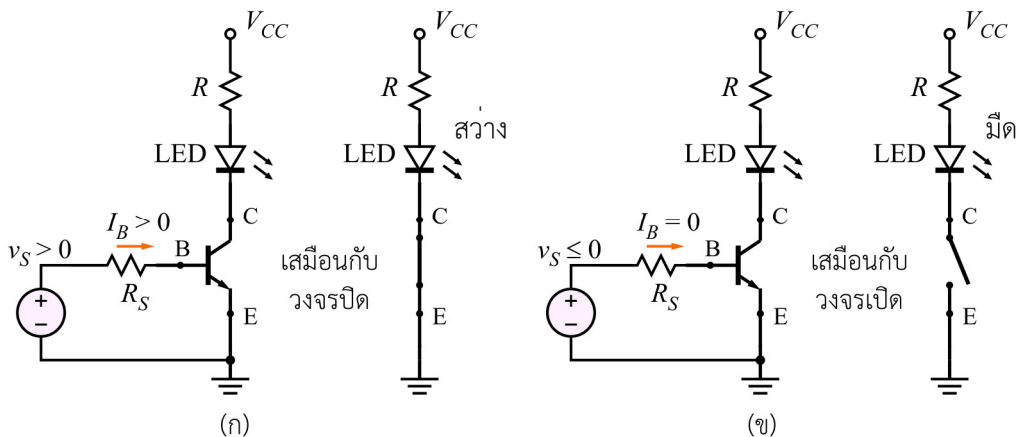
ทรานซิสเตอร์อีกตระกูลหนึ่ง ที่ได้รับความนิยมใช้ คือ **ทรานซิสเตอร์ปรากฏการณ์สนาม หรือ เฟต (Field Effect Transistor, FET)** เฟตแบ่งเป็น 2 ชนิดคือ ชนิดเอ็นแชนแนล (คล้ายเอ็นพีเอ็น) และพีแชนแนล (คล้ายพีเอ็นพี) เฟตมีด้วยกันหลายประเภทย่อย เช่น **เจเฟต (Junction FET, JFET)** และ **มอสเฟต (Metal-Oxide-Semiconductor FET, MOSFET)** โดยมอสเฟตยังแบ่งย่อยออกไปอีกเป็นชนิดดีพลีชันและชนิดเอ็นฮานซ์เมนต์ ข้อควรจำเบื้องต้นคือ เอ็นฮานซ์เมนต์มอสเฟตชนิดเอ็นแชนแนลจะทำงานได้คล้ายกับบีเจทีชนิดเอ็นพีเอ็น รูปที่ 3-20 แสดงสัญลักษณ์ทางวงจรของเฟตเหล่านี้



รูปที่ 3-20 สัญลักษณ์ทางวงจรของ เจเฟต มอสเฟตดีพลีชัน และมอสเฟตเอ็นฮานซ์เมนต์

ในการใช้งานทรานซิสเตอร์เบื้องต้น เรามักจะใช้เป็นสวิตช์ ซึ่งสำหรับการใช้บีเจทีเป็นสวิตช์ทำได้โดยการป้อนกระแสให้ทางขาเบส (ดูรูปที่ 3-21) โดยเมื่อกระแสไหลเข้าขาเบสแล้ว บีเจทีชนิดเอ็นพีเอ็นก็จะเป็นเสมือนวงจรปิดที่ต้านคอลเล็กเตอร์-อิมิตเตอร์ โดยหากเราต่อแอลอีดีหรืออุปกรณ์อื่น ๆ เช่น รีเลย์หรือมอเตอร์ อุปกรณ์เหล่านั้นก็จะทำงาน เพราะเกิดกระแสไหลผ่าน แต่เมื่อเราหยุดป้อนกระแสให้กับขาเบส บีเจทีชนิดเอ็นพีเอ็นก็จะทำหน้าที่เป็นสวิตช์เปิด การใช้มอสเฟตเอ็นฮานซ์เมนต์ชนิดเอ็นแชนแนลเป็นสวิตช์ก็ทำได้ในทำนองเดียวกัน

ถึงตรงนี้ บางคนอาจจะสงสัยว่า ทำไมเราไม่เอาแหล่งจ่ายไฟของเราไปต่อกับแอลอีดี (หรือ อุปกรณ์อื่น ๆ) โดยตรง นั่นเพราะว่า ในการใช้งานวงจรนั้น แหล่งจ่ายของเรา อาจจะไม่สามารถจ่ายกระแสสูง ๆ ได้ เช่นหากแหล่งจ่ายไฟ คือ แหล่งจ่ายสัญญาณจากไมโครคอนโทรลเลอร์ (สามารถขับกระแสได้ในระดับไม่กี่มิลลิแอมป์เท่านั้น) และ แอลอีดีหรืออุปกรณ์อื่น ๆ ต้องการกระแสในระดับสิบลมิลลิแอมป์ในการทำงาน เราจึงจำเป็นต้องใช้ทรานซิสเตอร์เป็นสวิตช์ สำหรับการให้ทรานซิสเตอร์ชนิดบีเจทีนั้น กระแสเบส I_B ที่ใช้จะอยู่ในระดับต่ำมาก โดยเราสามารถเลือกทรานซิสเตอร์ให้เหมาะสมได้จากการดูข้อมูลจำเพาะของทรานซิสเตอร์แต่ละเบอร์ที่มีอยู่ สำหรับมอสเฟตนั้นจะใช้แรงดันเป็นสัญญาณควบคุมโดยตรง

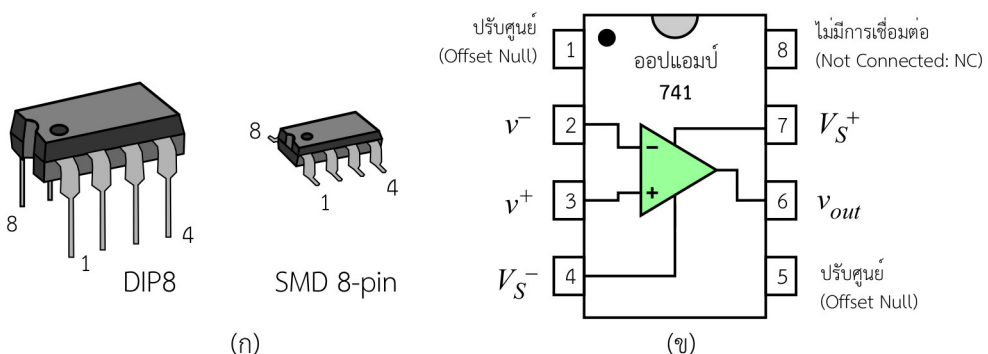


รูปที่ 3-21 การใช้ทรานซิสเตอร์เป็นสวิตช์ (ก) เปิด (แอลอีดีเปล่งแสง)
และ (ข) ปิดแอลอีดี (แอลอีดีไม่เปล่งแสง)

3.7 ออปแอมป์และวงจรออปแอมป์เบื้องต้น

ออปแอมป์ (Op-Amp) เป็นชื่อย่อของคำว่า Operational Amplifier ซึ่งแปลว่า วงจรขยายเชิงดำเนินการ ออปแอมป์เป็นวงจรรวมแอนะล็อกประเภทหนึ่งที่สร้างจากอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ต่าง ๆ เพื่อให้วงจรทำงานตามที่ผู้ออกแบบต้องการ ออปแอมป์นี้ถูกนำไปประยุกต์ใช้งานอย่างแพร่หลายในวงจรต่าง ๆ เช่น วงจรเปรียบเทียบ วงจรบัฟเฟอร์ และ วงจรขยาย เรานิยมใช้ออปแอมป์ในการสร้างวงจรสำหรับการประมวลผลสัญญาณแอนะล็อกแบบต่าง ๆ รวมถึง การขยายสัญญาณ เนื่องจากออปแอมป์เป็นวงจรรวมที่ใช้งานง่าย ในหัวข้อนี้เราจะกล่าวถึงการใช้ออปแอมป์ โดยจะกล่าวถึง ออปแอมป์เบอร์ 741 ซึ่งเป็นออปแอมป์สำหรับงานทั่วไป

ลักษณะตัวถังของไอซีออปแอมป์เบอร์ 741 แสดงดังรูปที่ 3-22 (ก) ตัวถังนี้มีชื่อว่า Dual-In-Line Package 8 ขา (DIP8) และ Surface Mount Device (SMD) 8 ขา สำหรับการใช้งานออปแอมป์ สิ่งที่เราต้องทราบคือ การต่อขาต่อต่าง ๆ ของออปแอมป์ โดยมันจะมีขาต่อหลักอยู่ด้วยกัน 5 ขั้ว (5 ขา) คือ ขั้วแรงดันไฟบวก V_S^+ (ขาที่ 7) ขั้วแรงดันไฟลบ V_S^- (ขาที่ 4) ขั้วขาเข้าแบบกลับเฟส v^- (ขาที่ 2) ขั้วขาเข้าแบบไม่กลับเฟส v^+ (ขาที่ 3) และ ขั้วขาออก v_{out} (ขาที่ 6) สำหรับสัญลักษณ์ทางวงจรของออปแอมป์คือรูปสามเหลี่ยมที่มีขั้วบวกและขั้วลบดังแสดงในรูปที่ 3-22 (ข)



รูปที่ 3-22 (ก) ลักษณะตัวถังไอซี 8 ขา และ (ข) การวางขาต่อของไอซีออปแอมป์ 741

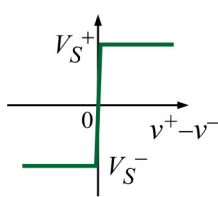
โอซีออปแอมป์เดี่ยว ๆ จะถูกออกแบบให้ทำงานเป็น วงจรขยายในอุดมคติ คือมี อัตราขยายสูงมาก ($A > 10000$) มีความต้านทานขาเข้าสูง (ทำให้ไม่กินกระแสจากสัญญาณขาเข้า) และ มีความต้านทานขาออกต่ำ (คือ สามารถจ่ายกระแสออกไปได้มาก) โดยขนาดของ แรงดันขาออก จะสัมพันธ์กับแรงดันขาเข้า คือ

$$v_{out} = A \cdot v_{in} = A \cdot (v^+ - v^-)$$

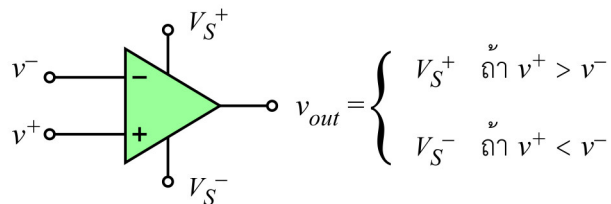
วงจรเปรียบเทียบ

สำหรับการใช้งานพื้นฐานของออปแอมป์ในอันดับแรกคือ ใช้เป็น **วงจรเปรียบเทียบ (Comparator)** เนื่องจากออปแอมป์ทั่วไปมีอัตราขยายสัญญาณสูงมาก ดังนั้นเมื่อสัญญาณขาเข้า $v_{in} = v^+ - v^-$ มีค่าเพียงเล็กน้อย เราจะได้ว่า สัญญาณขาออก v_{out} จะอิ่มตัว คือ v_{out} จะมีค่าเท่ากับแรงดันไฟบวก V_S^+ หรือ แรงดันไฟลบ V_S^- ขึ้นกับเครื่องหมายของค่า $v^+ - v^-$ รูปที่ 3-23 (ก) แสดงความสัมพันธ์นี้ รูปที่ 3-23 (ข) แสดงตัวอย่างการใช้ออปแอมป์เป็นวงจรเปรียบเทียบ

รูปที่ 3-24 เป็นตัวอย่างการต่อสัญญาณ v_S ใด ๆ เข้ากับ วงจรเปรียบเทียบโดยจ่ายไฟแรงดัน 0 ($= V_S^-$) และ 5 V ($= V_S^+$) ให้กับออปแอมป์ หากสัญญาณขาเข้า v_{in} นี้ มีขนาดมากกว่า 0 แล้ว สัญญาณออก v_{out} จะมีค่าเป็น 5 V ตัวอย่างวงจรลักษณะนี้ สามารถนำมาใช้แปลงสัญญาณแอนะล็อก เป็น สัญญาณดิจิทัลขนาด 1 บิต โดยสัญญาณออกจะเหลือเพียงสองระดับแรงดัน



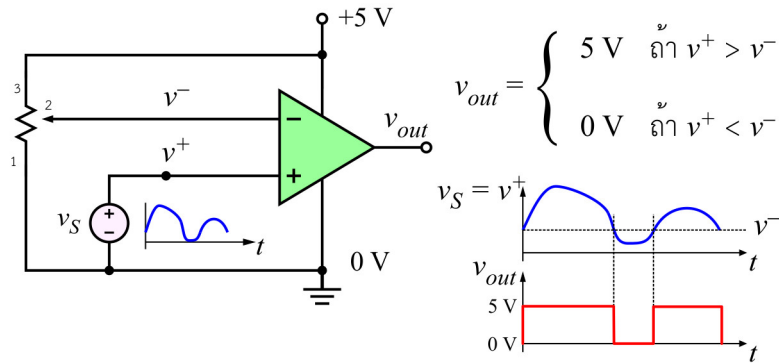
(ก)



(ข)

รูปที่ 3-23 (ก) ลักษณะความสัมพันธ์ของแรงดันขาเข้าและแรงดันขาออกของออปแอมป์

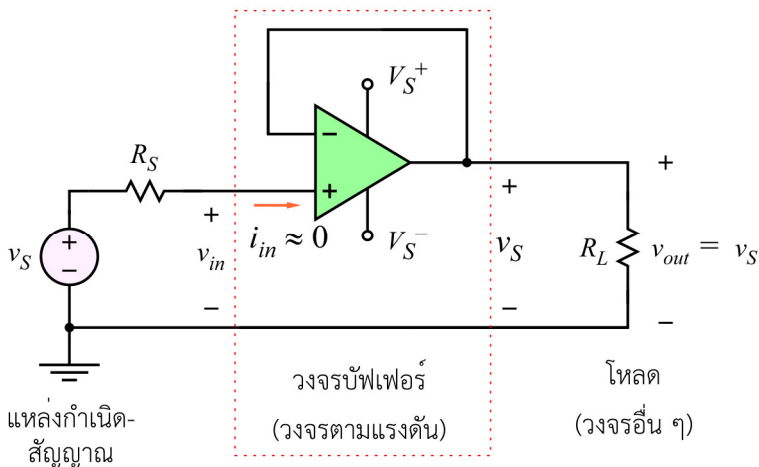
และ (ข) วงจรเปรียบเทียบแรงดันด้วยออปแอมป์



รูปที่ 3-24 ลักษณะการต่อวงจรเพื่อเปรียบเทียบสัญญาณขาเข้า $v_S (= v^+)$ และ v^- โดยใช้ตัวต้านทานปรับค่าได้ กำหนดค่า v^- ที่นำมาเปรียบเทียบ

วงจรบัฟเฟอร์

วงจรบัฟเฟอร์ (Buffer) หรือ วงจรตามแรงดัน (Voltage Follower) แสดงในรูปที่ 3-25 เป็นวงจรที่ใช้โอปแอมป์เพียงตัวเดียวในการต่อวงจร วงจรบัฟเฟอร์นี้ทำให้แหล่งกำเนิดสัญญาณ v_S ที่ต่ออยู่ด้วยไม่ได้รับผลกระทบจากการมีโหลด เนื่องจากโอปแอมป์จะเป็นตัวจ่ายกระแสแทนแหล่งกำเนิดสัญญาณ



รูปที่ 3-25 วงจรบัฟเฟอร์ โดยการเชื่อมต่อขาเข้าแบบกลับเฟสกับขาออกของโอปแอมป์ จะทำให้แรงดันที่ขาออกเท่ากับแรงดันของแหล่งกำเนิดสัญญาณ $v_{out} = v_S$ เสมอ

การใช้วงจรบัฟเฟอร์หรือวงจรตามแรงดันนี้ จะทำให้แหล่งจ่ายสัญญาณ v_s จะไม่ต้องจ่ายกระแสออกมาเลย เนื่องจากปฏิกิริยาแสที่ไหลเข้าสู่ออปแอมป์จะมีค่าน้อยมาก ($i_{in} \approx 0$) และการต่อวงจรนี้จะทำให้แรงดันสัญญาณเข้าสู่ขาบวกของออปแอมป์และบังคับให้แรงดันที่ขาลบของออปแอมป์มีค่าตามแรงดันของขาบวกนี้ ในขณะที่โหลดจะได้รับสัญญาณแรงดันจากขาออกของออปแอมป์ โดยกำลัง (ค่าผลคูณกระแสและแรงดัน) ที่ออปแอมป์จ่ายออกมา จะได้มาจากไฟที่เลี้ยงวงจรออปแอมป์

วงจรออปแอมป์สองวงจรที่กล่าวถึงในหัวข้อนี้ เป็นเพียงวงจรออปแอมป์พื้นฐานเท่านั้น การใช้งานไอซีประเภทออปแอมป์และไอซีหรือวงจรรวมประเภทแอนะล็อกยังมีอีกมาก ผู้ที่สนใจสามารถศึกษาได้จากเอกสารอื่น ๆ และควรศึกษาแผ่นข้อมูลของตัวไอซีนั่น ก่อนนำไปใช้งาน



บทที่ 4 อุปกรณ์และวงจรดิจิทัล

อุปกรณ์และวงจรดิจิทัลเป็นพื้นฐานสำคัญของความรู้ด้านอิเล็กทรอนิกส์ ความรู้ด้านวงจรดิจิทัลนี้สามารถนำไปต่อยอดให้เข้าใจการทำงานของโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่ใช้งานในปัจจุบันได้ ในบทนี้จะกล่าวถึง สัญญาณ อุปกรณ์ และ วงจรดิจิทัลพื้นฐาน ได้แก่ วงจรลอจิกเกตและวงจรคอมบินेशन

4.1 สัญญาณดิจิทัล

สัญญาณดิจิทัล (Digital Signal) เป็นสัญญาณที่มีค่าระดับแรงดันเพียงไม่กี่ระดับ โดยจำนวนระดับสัญญาณที่น้อยที่สุดที่เป็นไปได้คือ สองระดับหรือที่เรียกว่า **ไบนารี (Binary)** โดยมี **ระดับสูง (High)** และ **ระดับต่ำ (Low)** สัญญาณ 2 ระดับที่กล่าวถึงนี้เป็นสัญญาณแรงดัน 2 ค่า สำหรับวงจรดิจิทัลที่ใช้งานกันอย่างแพร่หลาย เรามักจะบอกว่า ระดับต่ำ คือ ระดับแรงดัน 0 V และ ระดับสูง คือ ระดับแรงดัน 5 V (หรือ 3.3 V) โดยการแบ่งสัญญาณเป็นสองระดับหรือ 2 ย่านแรงดันนี้ทำให้วงจรดิจิทัลทำงานได้ง่าย เนื่องจากค่าระดับแรงดันนี้อาจกำหนดเป็นช่วง (เช่นระดับต่ำ คือ 0 – 0.8 V และ ระดับสูงคือ 2 – 5 V) และทำให้เราไม่จำเป็นต้องออกแบบวงจรที่ให้ค่าแรงดันที่แม่นยำมากแต่วงจรก็สามารถทำงานได้อย่างถูกต้อง

ระดับสัญญาณสูงและต่ำนี้เปรียบเทียบกับ ค่าความจริง **จริง (True, T)** และ **เท็จ (False, F)** ในการเปรียบเทียบ และเทียบได้เป็น **ลอจิก (Logic) “1”** หรือ **ลอจิกสูง** และ **ลอจิก “0”** หรือ **ลอจิกต่ำ** ซึ่งมีการนำไปใช้ในการเขียนโปรแกรมคอมพิวเตอร์ ตารางที่ 4-1 เปรียบเทียบปริมาณต่าง ๆ ในระบบดิจิทัล

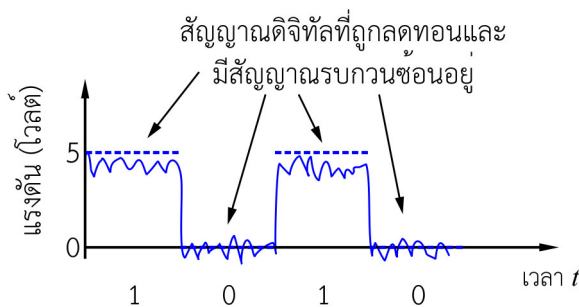
ตารางที่ 4-1 การเทียบปริมาณต่าง ๆ ในระบบดิจิทัล

ค่าความจริง	ลอจิก	ระดับแรงดัน	ระดับ/ลอจิก
T (True, จริง)	"1"	2.0 - 5.0 V	High (สูง)
F (False, เท็จ)	"0"	0.0 - 0.8 V	Low (ต่ำ)

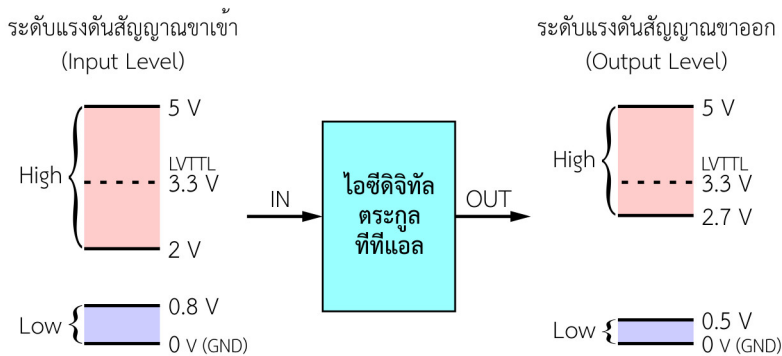
หากเราเทียบ สัญญาณดิจิทัลกับสัญญาณแอนะล็อก จะเห็นได้ว่าสัญญาณแอนะล็อก ซึ่งมีค่าต่อเนื่องซึ่งสามารถเก็บข้อมูลได้มาก แต่ข้อเสียประการหนึ่งของสัญญาณแอนะล็อก คือ มันมีความไวต่อสัญญาณรบกวน (Noise) มาก ดังนั้น ในวงจรแอนะล็อกเรามักจะต้องใช้ แรงดันที่ค่อนข้างสูง และจะต้องมีการขยายสัญญาณเพื่อให้ข้อมูลคงอยู่เสมอ ทั้งนี้เพราะทั้ง สายไฟและหัวต่อต่าง ๆ มีความต้านทาน หากเราส่งสัญญาณแรงดันไปไกล ๆ แรงดันจะลดลง ไปมาก สำหรับสัญญาณดิจิทัลมีข้อดีคือ แม้ระบบ (วงจรดิจิทัล) ได้รับสัญญาณรบกวนมากและ สัญญาณถูกลดทอนไปบ้าง แต่หากระดับแรงดันยังไม่ถูกเปลี่ยนแปลงไปมากเกินไป สัญญาณ ดิจิทัลก็ยังคงส่งข้อมูลได้อย่างถูกต้อง รูปที่ 4-1 แสดงตัวอย่างสัญญาณดิจิทัลที่ถูกลดทอนและมี สัญญาณรบกวนซ้อนอยู่ แต่เรายังคงสามารถอ่านค่าของข้อมูลที่เก็บอยู่ในสัญญาณนี้ได้อย่าง ถูกต้อง

สำหรับไอซีดิจิทัลที่มีการใช้งานกันอย่างแพร่หลาย คือ ไอซีตระกูลทีทีแอล (TTL) ซึ่ง ย่อมาจาก Transistor-Transistor Logic (ทรานซิสเตอร์-ทรานซิสเตอร์ลอจิก) โดยไอซีตระกูล นี้ใช้ทรานซิสเตอร์เป็นองค์ประกอบหลักภายใน

มาตรฐานระดับแรงดันขาเข้าและแรงดันขาออกของไอซีดิจิทัลตระกูลทีทีแอล จะม ีความต่างกันกันอยู่บ้างในรายละเอียด โดยรูปที่ 4-2 แสดง ระดับแรงดันสัญญาณขาเข้าและ ระดับสัญญาณแรงดันขาออกที่ใช้ได้กับไอซีตระกูลทีทีแอลทั่วไป โดยในปัจจุบันไอซีดิจิทัล จำนวนมาก รวมถึงไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูลใหม่ ๆ อย่าง เช่น ESP32 ที่อยู่ในบอร์ด



รูปที่ 4-1 ตัวอย่างสัญญาณข้อมูลดิจิทัลที่ถูกลดทอนและมีสัญญาณรบกวนซ้อนอยู่
โดยข้อมูลนี้แทนด้วยเลขฐานสอง คือ 1010₂



รูปที่ 4-2 มาตรฐานระดับแรงดันสัญญาณขาเข้า และ แรงดันขาออก
ของไอซีดิจิทัลตระกูลทีทีแอลและตระกูลย่อย LVTTTL

KidBright (ดูบทที่ 7) หันมาใช้ระดับแรงดันที่ต่ำลงคือ 3.3 V ทำให้ระดับแรงดันสูงสำหรับลอจิก “1” จะเปลี่ยนไปจากเดิม 5 V เป็น 3.3 V ซึ่งไอซีทีทีแอลนี้ก็ยังคงทำงานได้กับระดับแรงดันที่ลดต่ำลงนี้ โดยในปัจจุบันไอซีทีทีแอลมีตระกูลย่อยมากมาย กลุ่มไอซีที่ออกแบบมาสำหรับการทำงานในระดับแรงดัน 3.3 V โดยเฉพาะนี้มีชื่อว่า Low Voltage TTL (LVTTTL)

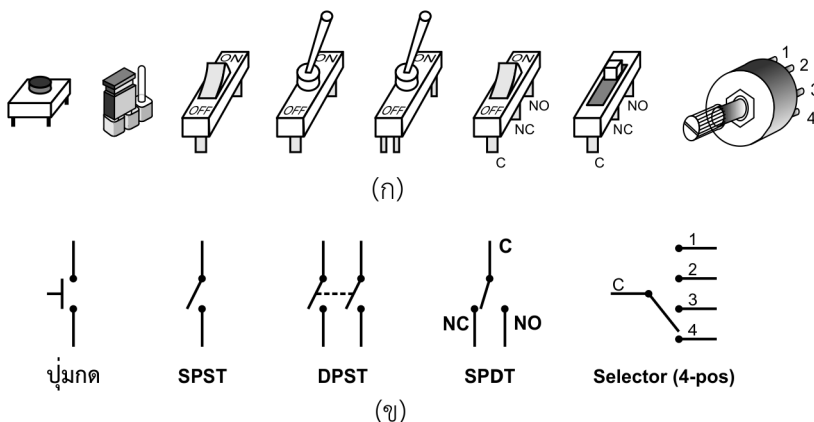
สัญญาณดิจิทัลหนึ่งสัญญาณที่มีสองระดับ อาจเปรียบได้เสมือนกับเลขฐานสองหนึ่งหลัก ดังนั้นในการประมวลข้อมูลในระบบดิจิทัลหลาย ๆ สัญญาณเรามักจะนำเสนอข้อมูลนี้ด้วยตัวเลขในระบบเลขฐานสอง ซึ่งในระบบเลขฐานสองเรามีตัวฐานคือเลขยกกำลังของสอง ตัวอย่างเช่น 1010_2 จะมีค่าในระบบเลขฐานสิบได้ คือ

$$1010_2 = (1 \times 2^3) + (0 \times 2^2) + (1 \times 2^1) + (0 \times 2^0) = 10$$

จากความจริงที่ว่า เราสามารถแปลงเลขฐานสอง 4 หลักให้เป็นเลขฐานสิบหก 1 หลักได้ เราจึงมักจะกำหนดให้ ‘a’ = 10, ‘b’ = 11, ‘c’ = 12, ‘d’ = 13, ‘e’ = 14 และ ‘f’ = 15 และเขียนแทนเลขฐานสอง 4 หลัก ด้วยเลขฐานสิบหก 1 หลัก เช่น $1000\ 0010\ 1010_2 = '0x82a'$ ในการสื่อสารแบบดิจิทัลที่ส่งข้อมูลครั้งละ 8 บิต เรามักจะเขียนแทนข้อมูล 8 บิตนี้ด้วยเลขฐานสิบหก 2 ตัว

4.2 สวิตช์และการรับค่าดิจิทัล

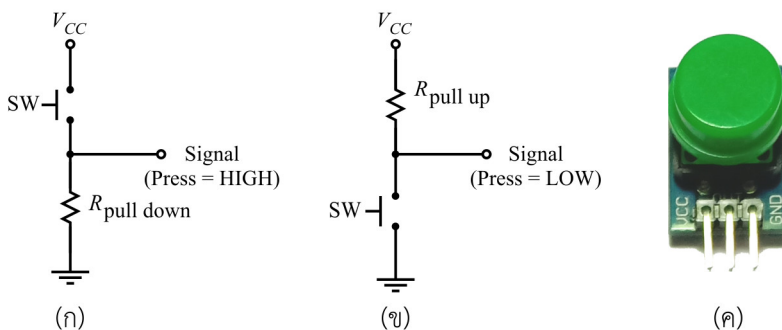
สวิตช์ (Switch, SW) เป็นอุปกรณ์พื้นฐานทางไฟฟ้า/อิเล็กทรอนิกส์ตัวหนึ่งในวงจร ในเบื้องต้นเรามักจะใช้สวิตช์ในการตัดและต่อไฟเลี้ยงวงจร นอกจากหน้าที่นี้แล้ว สวิตช์ยังถูกนำมารับค่าข้อมูลดิจิทัล โดยสวิตช์เหล่านี้ อาจมีลักษณะเป็น **ปุ่มกด (Push-Button)**, **สวิตช์ ปิด-เปิด (ON-OFF Switch)** หรือ ตัวเลือกบนบอร์ดอิเล็กทรอนิกส์ที่เรียกว่า **จัมเปอร์ (Jumper)** หรือ สวิตช์เลือกหลายทางเลือกก็ได้ (ดูรูปที่ 4-3 (ก)) โดยสัญลักษณ์ทางวงจรจะ ขึ้นกับลักษณะสวิตช์ซึ่งแสดงดังรูปที่ 4-3 (ข) ในกรณีสวิตช์หลายทาง เราก็จะมีขั้วต่อร่วม ที่ เรียกว่า **คอมมอน (Common, C)**, **ขั้วต่อปกติปิด (Normally Closed, NC)** และ **ขั้วต่อ ปกติเปิด (Normally Open, NO)** โดยขั้วต่อปกติปิดจะมีการเชื่อมต่อในขณะที่ไม่มีการกด สวิตช์ และเมื่อกดสวิตช์จะตัดวงจรแล้วไปต่อขั้วต่อปกติเปิด นอกจากนี้สวิตช์ที่ซับซ้อนบางตัว อาจมีหลายขั้ว (Pole) สำหรับรูปสวิตช์หลายทางที่นำเสนอในรูปที่ 4-3 (ก) จะเป็นสวิตช์แบบ ดับเบิลโพลซิงเกิลโธรว (Double-Pole Single-Throw, DPST), ซิงเกิลโพลดับเบิลโธรว (Single-Pole Double-Throw, SPDT) และตัวเลือก 4 ทาง (Selector (4-pos) Switch) นอกจากนี้ สวิตช์บางประเภทสามารถนำมาใช้เป็นเซนเซอร์ดิจิทัลเพื่อบอกตำแหน่งพิกัดของ อุปกรณ์ที่มีการเคลื่อนที่ต่าง ๆ ได้ เช่น ลิ้มิตสวิตช์ (Limit Switch)



รูปที่ 4-3 (ก) สวิตช์แบบต่าง ๆ และ (ข) สัญลักษณ์ทางวงจรของสวิตช์

สำหรับการใช้งานสวิตช์นั้น เราจะต้องต่อวงจรให้แก่สวิตช์เพื่อให้สามารถส่งสัญญาณดิจิทัลออกมาได้ รูปที่ 4-4 แสดงลักษณะการต่อวงจรสวิตช์พื้นฐานสองแบบ ในแบบแรก (รูปที่ 4-4 (ก)) เราจะต้องให้ตัวต้านทานดึงระดับแรงดันลง (pull down) เป็นระดับกราวด์ (0 V) ในขณะที่ไม่มีการกดสวิตช์ เราจึงเรียกตัวต้านทานตัวนี้ว่า $R_{\text{pull down}}$ โดยเมื่อมีการกดสวิตช์แล้ว สัญญาณจะมีระดับแรงดันเป็น V_{CC} หรือเป็นระดับ HIGH หรือลอจิก “1” และในการต่อสวิตช์อีกแบบหนึ่ง (รูปที่ 4-4 (ข)) หากไม่มีการกดสวิตช์ สัญญาณจะถูกดึงไปอยู่ที่ระดับ V_{CC} ผ่าน $R_{\text{pull up}}$ โดยระดับสัญญาณจะกลายเป็นกราวด์หรือระดับ LOW หรือลอจิก “0” เมื่อมีการกดสวิตช์

หากพิจารณาให้ถี่ถ้วนจะพบว่า เราจะต้องมีการนำตัวต้านทานมาต่อเป็นวงจรสวิตช์เสมอ โดย ค่า $R_{\text{pull up}}$ หรือ $R_{\text{pull down}}$ ของตัวต้านทานที่นำมาต่อนี้จะบ่งบอกระดับกระแสไฟฟ้าที่ไหล หากว่าใช้ค่าความต้านทาน R ที่มีค่าน้อยเกินไปก็จะทำให้เกิดกระแสไหลมาก ($I = V_{CC}/R$) และเกิดการสูญเสียพลังงานไฟฟ้ามากในขณะกดสวิตช์ แต่หากใช้ R ที่มีค่ามากเกินไปก็ทำให้สัญญาณกระแสมีระดับต่ำมากและอาจทำให้สัญญาณรบกวนส่งผลกระทบต่อการทำงานของวงจรได้ โดยทั่วไป เรามักจะใช้ R ที่มีค่าระหว่าง 10 k Ω – 100 k Ω รูปที่ 4-4 (ค) แสดงตัวอย่างโมดูลสวิตช์ปุ่มกดที่มาพร้อมกับตัวต้านทาน $R_{\text{pull down}}$ ขนาด 10 k Ω

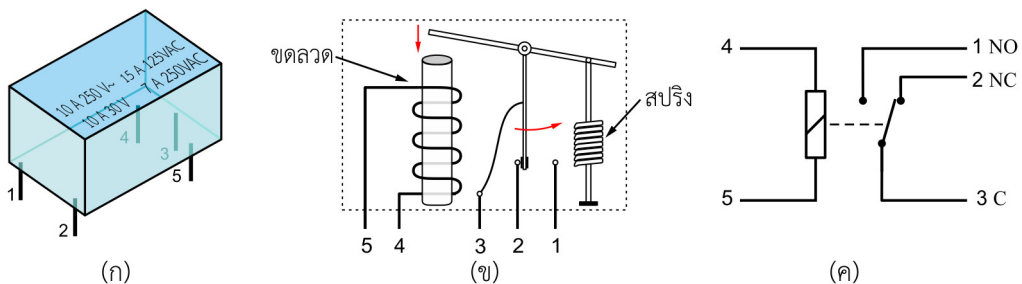


รูปที่ 4-4 (ก) วงจรสวิตช์แบบที่ใช้ตัวต้านทานดึงค่าแรงดันลงเป็นศูนย์โวลต์ในขณะที่ไม่ได้กดสวิตช์ (ข) วงจรสวิตช์ใช้ตัวต้านทานดึงค่าแรงดันขึ้นเป็น V_{CC} ในขณะที่ไม่ได้กดสวิตช์ และ (ค) ภาพถ่ายโมดูลสวิตช์สำเร็จรูป

4.3 เอาต์พุตแบบดิจิทัล

เอาต์พุตแบบดิจิทัลคือสัญญาณ “0” และ “1” นี้ สามารถนำไปใช้บอกข้อมูลหรือควบคุมอุปกรณ์ภายนอกได้ โดยหากสัญญาณดิจิทัลเอาต์พุตนี้สามารถจ่ายกระแสได้น้อย เราก็จะต้องต่อวงจรเพื่อนำเอาต์พุตนี้ไปใช้ต่อไป โดยในหัวข้อนี้ จะกล่าวถึงการควบคุมรีเลย์และมอเตอร์ซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่มักจะนำเอาต์พุตแบบดิจิทัลนี้ไปควบคุม

รีเลย์ (Relay) เป็นอุปกรณ์ที่อาศัยการทำงานในลักษณะสวิตช์ ร่วมกับแม่เหล็กไฟฟ้า นั่นคือ เราจะใช้แม่เหล็กไฟฟ้าในการควบคุมการเปิด-ปิดสวิตช์ของอีกวงจรหนึ่ง รูปที่ 4-5 (ก) แสดงลักษณะรีเลย์ที่มีใช้งานทั่วไปในวงจรอิเล็กทรอนิกส์ ลักษณะภายในรีเลย์ คือ รีเลย์จะมีขดลวดชุดหนึ่ง ที่เมื่อจ่ายไฟให้แล้ว ก็จะทำให้เกิดสนามแม่เหล็กขึ้น โดยสนามแม่เหล็กนี้จะดึงดูดสวิตช์ให้ปิด (และเปิด) วงจรอีกด้านหนึ่ง (ดูรูปที่ 4-5 (ข)) โดยวงจรทั้งสองด้านนี้ อาจไม่มีความเชื่อมโยงกันทางไฟฟ้าเลย บนตัวถังของรีเลย์ มักจะระบุค่าพิกัด กระแส-แรงดัน ของตัวรีเลย์ ทั้งด้านที่เป็นสวิตช์และด้านที่เป็นขดลวด รูปที่ 4-5 (ค) แสดงสัญลักษณ์ทางวงจรของรีเลย์ โดยการเรียกชื่อขั้วต่อ จะเหมือนกับสวิตช์ SPDT คือ มีขั้วคอมมอน (Common, C), ปกติปิด (Normally Closed, NC) และ ปกติเปิด (Normally Open, NO) โดยรีเลย์ตัวหนึ่ง ๆ อาจมีขั้วเหล่านี้หลาย ๆ ชุดก็ได้ เราสามารถใช้มัลติมิเตอร์ตรวจสอบขาต่าง ๆ ของรีเลย์ได้ โดยการวัดความต้านทานของขั้วต่อแต่ละคู่

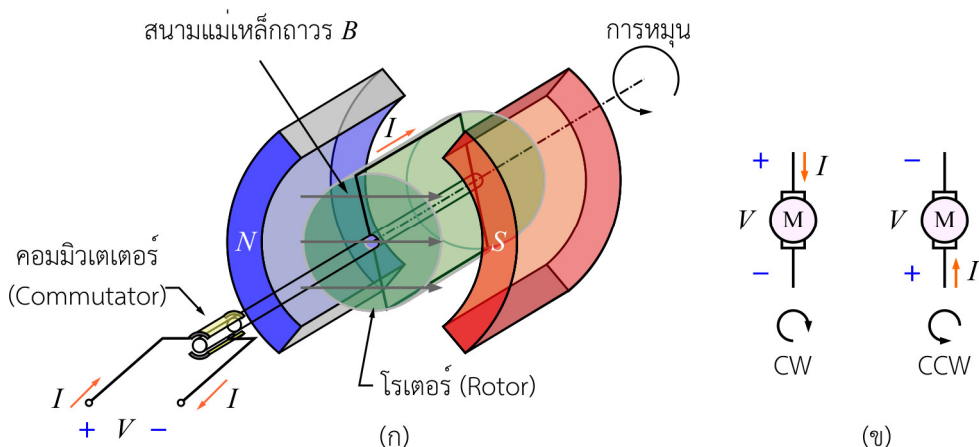


รูปที่ 4-5 (ก) ลักษณะภายนอกของรีเลย์ (ข) ลักษณะ

โครงสร้างภายใน และ (ค) สัญลักษณ์ทางวงจรของรีเลย์

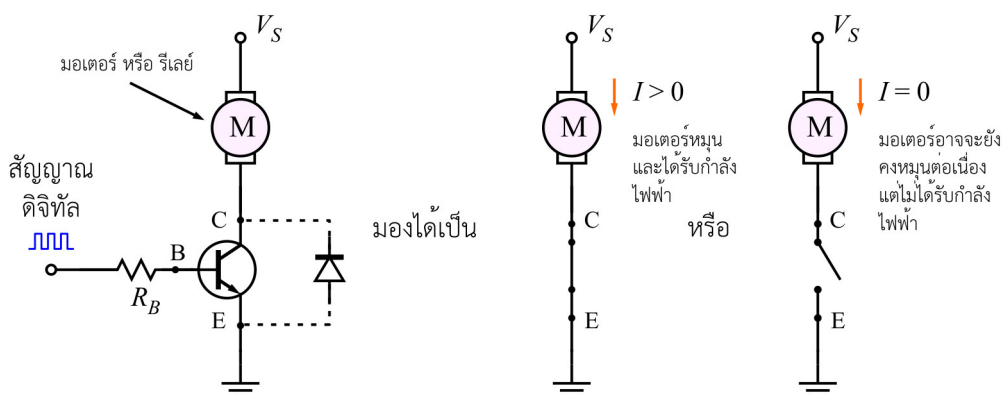
มอเตอร์ (Motor) เป็นอุปกรณ์เครื่องกลไฟฟ้าที่สำคัญมาก ในงานด้านอิเล็กทรอนิกส์ มอเตอร์เป็นอุปกรณ์ที่ทำให้วงจรอิเล็กทรอนิกส์ที่สร้างขึ้นเคลื่อนไหวได้ เช่น ใช้ขับล้อหมุน มอเตอร์มีด้วยกันมากมายหลายประเภท โดยมอเตอร์ประเภทที่มีการใช้งานมากในด้าน อิเล็กทรอนิกส์ ได้แก่ มอเตอร์ไฟตรงชนิดแม่เหล็กถาวร เซอร์โวมอเตอร์ และ สเต็ปปีงมอเตอร์

มอเตอร์ไฟตรงชนิดแม่เหล็กถาวร (Permanent Magnet DC Motor) เป็น มอเตอร์ขนาดเล็กที่ใช้ขับเคลื่อนได้ดี หมุนด้วยความเร็วรอบสูง และอาจถูกลดความเร็วรอบลง โดยการใช้ชุดเกียร์ โครงสร้างและหลักการทำงานของมอเตอร์ไฟตรงนี้แสดงดังรูปที่ 4-6 (ก) โดยกระแสที่ป้อนให้กับมอเตอร์จะทำให้เกิดสนามแม่เหล็ก และสนามแม่เหล็กนี้จะตัดกับ สนามแม่เหล็กอีกชุดหนึ่งที่เกิดจากแม่เหล็กถาวรที่ติดตั้งอยู่ภายในมอเตอร์ ส่งผลให้ ขั้วแม่เหล็กพยายามเรียงตัวกัน ทำให้เกิดแรงบิดและการหมุนขึ้น โดยการหมุนต่อเนื่องจะเกิด จากการสลับทิศทางการไหลของกระแสที่จุดเชื่อมต่อระหว่างส่วนที่หมุน (Rotor) และ ขั้วต่อที่เรียกว่าคอมมิวเตเตอร์ (Commutator) รูปที่ 4-6 (ข) แสดงสัญลักษณ์ทางวงจรและ การหมุนของมอเตอร์เมื่อป้อนแรงดันในทิศทางต่างกัน โดยการหมุนของมอเตอร์ไฟตรงจะมีได้ สองทิศทาง คือ ตามเข็มนาฬิกา (Clockwise, CW) และ ทวนเข็มนาฬิกา (Counter Clockwise, CCW)



รูปที่ 4-6 (ก) โครงสร้างและ (ข) สัญลักษณ์ทางวงจรและการทำงานของมอเตอร์ไฟตรง

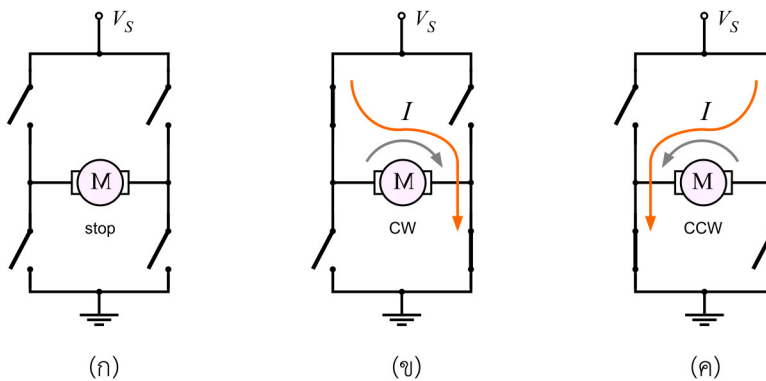
ในการควบคุมมอเตอร์ไฟตรงและรีเลย์ที่กล่าวถึงนี้ เรามักสั่งให้ทำงานในลักษณะ ON หรือหมุนและ OFF หรือหยุดหมุนได้ โดยใช้ทรานซิสเตอร์ที่ทำหน้าที่เป็นสวิตช์ (ดูรูปที่ 4-7) โดยหากเราทำการเปลี่ยนระดับสัญญาณขาเข้าของทรานซิสเตอร์ (ที่ขาเบส) อย่างรวดเร็ว เราก็จะสามารถกำหนดค่าเฉลี่ยของกำลังที่มอเตอร์ได้รับได้ โดยเทคนิคการเปลี่ยนความกว้างของพัลส์สัญญาณนี้ เรียกว่า การมอดูเลตความกว้างพัลส์ หรือ **พัลส์วิตท์มอดูเลชัน (Pulse Width Modulation, PWM)** การมอดูเลตความกว้างพัลส์นี้ทำให้เราสามารถควบคุมมอเตอร์ได้เหมือนกับการเปลี่ยนค่าแรงดันที่จ่ายให้กับมอเตอร์ได้อย่างต่อเนื่องด้วยสัญญาณดิจิทัล ซึ่งทำให้เราควบคุมความเร็วในการหมุนของมอเตอร์ได้



รูปที่ 4-7 การใช้ทรานซิสเตอร์เป็นสวิตช์ควบคุมการหมุนของมอเตอร์ไฟตรง (และรีเลย์)

สำหรับไดโอดที่เชื่อมต่อกับเส้นประในรูปที่ 4-7 นั้น คือ ไดโอดที่ทำหน้าที่นำกระแสเมื่อทรานซิสเตอร์ตัดวงจร โดยทั้งนี้เพราะมอเตอร์และรีเลย์ เป็นขดลวดที่มีค่าความเหนี่ยวนำสูง และ จากธรรมชาติของความเหนี่ยวนำที่ไม่อนุญาตให้มีการเปลี่ยนค่ากระแสอย่างทันทีทันใด ทำให้เมื่อเราตัดวงจรทรานซิสเตอร์แล้ว มอเตอร์ยังคงต้องการให้กระแสไหลผ่านตัวมันอยู่ ผลที่ตามมาคือ จะเกิดสัญญาณกระแสแบบพัลส์แคบ ๆ ผ่านทรานซิสเตอร์ในขณะที่ทำการสวิตช์ ซึ่งอาจทำให้ทรานซิสเตอร์เสียหายได้ การมีไดโอดนี้ทำให้ไม่เกิดกระแสพัลส์ เราเรียกไดโอดนี้ว่า ไดโอดล่อหมุนฟรี (Freewheeling Diode)

ในการควบคุมมอเตอร์ให้ทำงาน บ่อยครั้งเราต้องการให้มันหมุนกลับทิศทางได้อีกด้วย โดยการทำให้ออเตอร์หมุนกลับทิศทาง ทำได้โดยกลับทิศทางการจ่ายแรงดัน-กระแสให้กับมอเตอร์ ลักษณะวงจรที่ทำให้มอเตอร์หมุนกลับทิศทางได้แสดงดังรูปที่ 4-8 (ก) โดย สวิตช์ทั้ง 4 ตัว อาจจะเป็น ทรานซิสเตอร์ชนิดใดชนิดหนึ่งหรือรีเลย์ก็ได้ เราเรียกการต่อมอเตอร์ลักษณะนี้ว่า การต่อแบบ **เฮตบริดจ์ (H-bridge)** ปัจจุบันมีไอซีจำนวนมากที่ออกแบบมาสำหรับควบคุมมอเตอร์ไฟตรง หรือที่เรียกว่า **มอเตอร์ไดรเวอร์ (Motor Driver)** โดยไอซีนี้ อาจจะมีการต่อทรานซิสเตอร์แบบเฮตบริดจ์ไว้ภายในตัวไอซี ทำให้ง่ายต่อการส่งสัญญาณดิจิทัลเพื่อควบคุม ไอซีมอเตอร์ไดรเวอร์เบอร์ที่เป็นที่นิยมใช้ในปัจจุบันได้แก่ L293 และ L298 ผู้ที่สนใจสามารถค้นคว้าข้อมูลเพิ่มเติมแล้วหามาทดลองได้ด้วยตนเอง



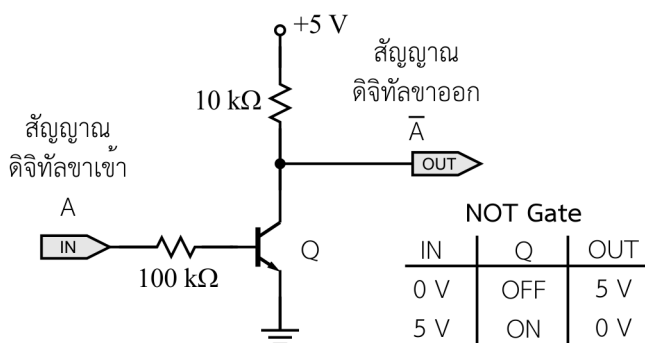
รูปที่ 4-8 ภาพลักษณะการต่อวงจรแบบเฮตบริดจ์เพื่อควบคุมมอเตอร์ไฟตรง ขณะ

(ก) มอเตอร์ไม่หมุน (ข) มอเตอร์หมุนตามเข็มนาฬิกา และ (ค) มอเตอร์หมุนทวนเข็มนาฬิกา

4.4 ลอจิกเกตพื้นฐาน

ลอจิกเกต (Logic Gate) คือวงจรรวมประเภทหนึ่งที่ออกแบบมาเพื่อดำเนินการทางตรรกศาสตร์ (Logic) ซึ่งวงจรประเภทนี้จะรับข้อมูลดิจิทัลเข้ามาตั้งแต่ 1 อินพุตขึ้นไป แล้วประมวลและส่งข้อมูลดิจิทัลออกไป โดยวงจรภายในเกตเหล่านี้มักจะสร้างจากทรานซิสเตอร์ และหากนำลอจิกเกตเหล่านี้มาต่อประกอบกัน เราก็จะสามารถสร้างวงจรดิจิทัลที่ประมวลผลได้ตามต้องการ สำหรับเกตพื้นฐานที่เรียนในระดับมหาวิทยาลัยจะมีทั้งหมด 7 ตัว แต่ในที่นี้เราจะขอลำถึงเพียง 3 ตัว คือ นอตเกต, แอนเกต และออร์เกต

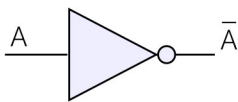
นอตเกต (NOT Gate) หรือ อินเวอร์เตอร์ (Inverter) เป็นเกตพื้นฐานที่รับสัญญาณเข้ามาเพียงหนึ่งอินพุตและทำการกลับข้อมูลดิจิทัล จาก “0” เป็น “1” และ จาก “1” เป็น “0” วงจรภายในนอตเกตอย่างง่ายอาจประกอบด้วยทรานซิสเตอร์ดังแสดงในรูปที่ 4-9 ซึ่งวงจรในรูปนี้ มีลักษณะเดียวกันกับวงจรสวิตช์ด้วยทรานซิสเตอร์ที่แสดงในรูปที่ 4-7 โดยการทำงานของวงจรนี้คือ ลอจิก A เป็นอินพุต (IN) และจะมีได้สองสถานะคือ “0” (0 V) หรือ “1” (5 V) เมื่อลอจิก A เป็น “0” ทรานซิสเตอร์ Q ก็จะเป็นเสมือนวงจรเปิดและจะได้ว่าสัญญาณขาออก (OUT) คือ “1” (5 V) และเมื่อลอจิก A เป็น “1” ทรานซิสเตอร์ Q ก็จะมี ON และเป็นเสมือนวงจรปิด แล้วจะได้ว่า สัญญาณขาออกถูกเชื่อมต่อกับกราวด์ และมีระดับสัญญาณขาออกคือ “0” (0 V)



รูปที่ 4-9 ลักษณะวงจรทรานซิสเตอร์ที่สามารถสร้างนอตเกตได้ โดยตารางในรูปแสดงระดับแรงดันของสัญญาณขาเข้า (IN) และขาออก (OUT) และ สถานะของทรานซิสเตอร์ Q

ในทางดิจิทัลลอจิก เรามักจะไม่เขียนวงจรทรานซิสเตอร์อย่างชัดเจนอย่างที่แสดงในรูปที่ 4-9 แต่จะใช้สัญลักษณ์ใหม่สำหรับลอจิกเกตต่าง ๆ และใช้ตารางค่าความจริงในการบ่งบอกสถานะของอินพุตและเอาต์พุตสำหรับเกตนั่น ๆ รูปที่ 4-10 แสดงสัญลักษณ์ของลอจิกเกตแบบนอตและตารางค่าความจริง (Truth Table) ของเกตนชนิดนี้ โดยสำหรับนอตเกตแล้วสัญลักษณ์ที่เอาต์พุตของเกตนี้นี้ มักจะเขียนแทนด้วยตัวแปรชื่อเดียวกับอินพุตและมีเครื่องหมายขีดด้านบน (เรียกว่า บาร์ (Bar) เช่น เอบาร์ ในรูป) เพื่อบ่งบอกว่ามีลอจิกตรงข้าม

นอตเกต (NOT Gate) หรือ
อินเวอร์เตอร์ (Inverter)



ตารางค่าความจริง
(Truth Table)

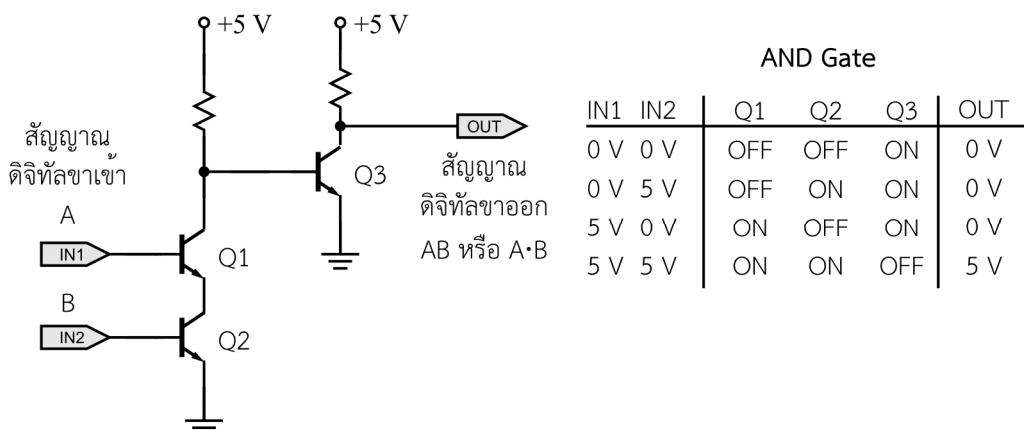
A	$\bar{A}$
0	1
1	0

รูปที่ 4-10

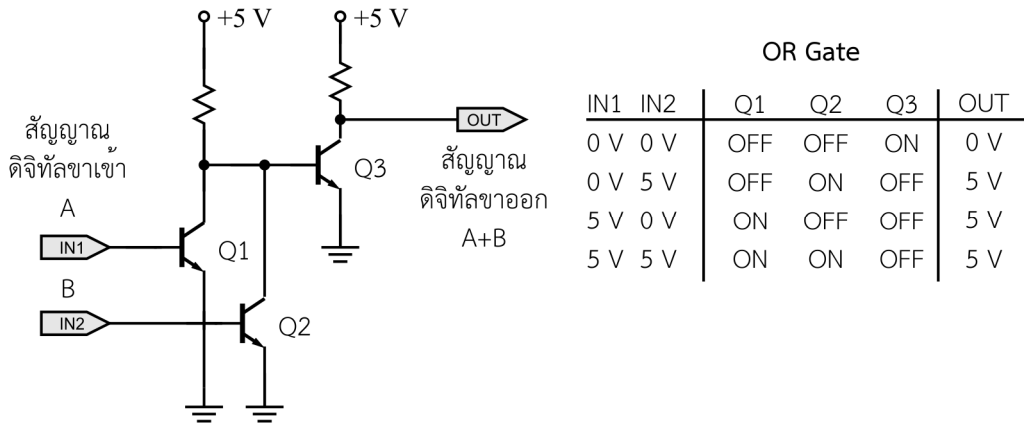
สัญลักษณ์ของลอจิก

เกตแบบนอตและ
ตารางค่าความจริง
ของเกตนี้นี้

ในการดำเนินการพื้นฐาน ยังมีเกตนอีกสองชนิดที่ควรทราบ คือ แอนด์เกต (AND Gate) และออร์เกต (OR Gate) โดยวงจรทรานซิสเตอร์ของเกตแบบ 2 อินพุตทั้งสองชนิดนี้อาจจะสร้างได้โดยใช้ทรานซิสเตอร์ 2 ตัวต่อกัน (สำหรับแอนด์เกต) หรือต่อขนานกัน (สำหรับออร์เกต) ดังแสดงในรูปที่ 4-11 และ รูปที่ 4-12 ตามลำดับ

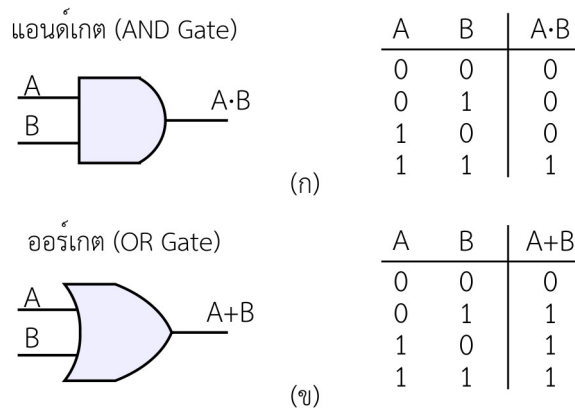


รูปที่ 4-11 ลักษณะวงจรทรานซิสเตอร์ที่สามารถสร้างแอนด์เกตได้



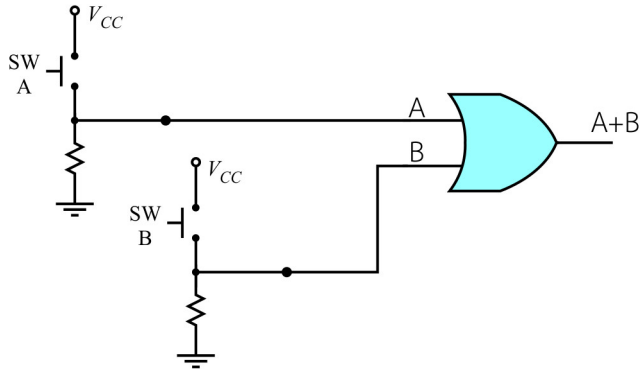
รูปที่ 4-12 ลักษณะวงจรทรานซิสเตอร์ที่สามารถสร้างออร์เกตได้

รูปที่ 4-13 แสดงสัญลักษณ์ของแอนด์เกตและออร์เกต และตารางค่าความจริงของเกตทั้งสองนี้ โดยเราจะใช้เครื่องหมายจุดตรงกลาง ($\cdot$) สำหรับการดำเนินการด้วยแอนด์เกต และ เครื่องหมายบวก ($+$) สำหรับการดำเนินการด้วยออร์เกต ในที่นี้เรากำหนดเครื่องหมายทั้งสองนี้สำหรับการดำเนินการกับสัญญาณดิจิตัลที่มีค่าได้เพียง “0” หรือ “1” เท่านั้น (ไม่ใช่เครื่องหมายคูณและบวกในคณิตศาสตร์ทั่วไป)



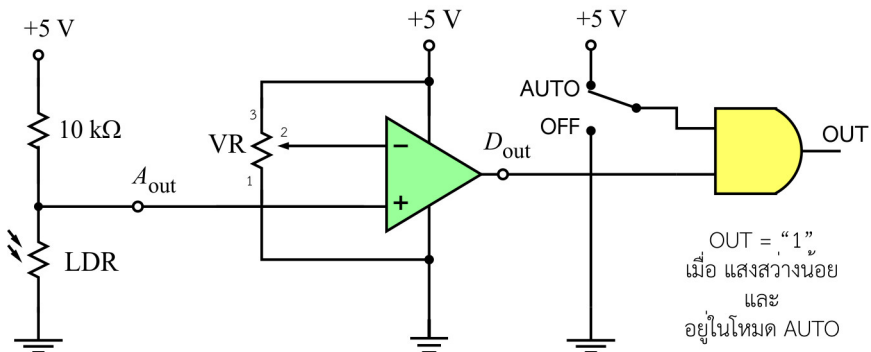
รูปที่ 4-13 สัญลักษณ์ของ (ก) แอนด์เกต และ (ข) ออร์เกต
และตารางค่าความจริงของเกตทั้งสองนี้

ตัวอย่างการออกแบบระบบดิจิทัล เช่น หากเราต้องการให้วงจรทำงานเมื่อปุ่มสวิตช์ ปุ่มใดปุ่มหนึ่งถูกกด โดยที่เรามีสวิตช์ 2 ตัวอยู่คนละตำแหน่งกัน เราก็เพียงแค่เอาสัญญาณจาก สวิตช์ทั้งสองตัวมาออร์กกัน ดังแสดงในรูปที่ 4-14



รูปที่ 4-14 วงจรดิจิทัลที่ส่งสัญญาณ “1” ออกไปเมื่อสวิตช์ตัวใดตัวหนึ่งถูกกด

ตัวอย่างอีกตัวอย่างหนึ่ง คือ หากเราต้องการสร้างระบบไฟที่ติดเองอัตโนมัติเมื่อแสง ไม่เพียงพอ เราอาจใช้วงจรเซนเซอร์แอลดีอาร์ที่ส่งสัญญาณดิจิทัล “1” เมื่อแสงสว่างไม่ เพียงพอ เพื่อส่งสัญญาณไปเปิดไฟ และเราอาจจะอยากให้มีปุ่มปิดไฟด้วยมือด้วย เพื่อให้ สามารถใช้มือควบคุมได้ด้วย โดยสัญญาณที่ได้ออกมา อาจนำไปขับทรานซิสเตอร์หรือ หลอดไฟต่อไป ตัวอย่างวงจรดิจิทัลที่สร้างได้อาจเป็นดังรูปที่ 4-15



รูปที่ 4-15 วงจรระบบไฟติดเองอัตโนมัติที่มีสวิตช์ปรับโหมดการทำงาน

4.5 ไอซีลอจิกเกต

ในการต่อวงจรลอจิกเกต เราจะต้องทราบเบอร์ไอซีดิจิทัลสำหรับเกตนั่น ๆ เสียก่อน โดยสำหรับลอจิกเกตพื้นฐาน จะมีเบอร์ไอซีดิจิทัลตระกูลที่ 74 แอล เบอร์ขึ้นต้นด้วย 74 ดังแสดงในตารางที่ 4-2 (โดยที่ xx จะเป็นตัวย่อหมายถึงรายละเอียดของวงจรทรานซิสเตอร์ในไอซีอีกทีหนึ่ง)

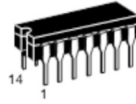
ตารางที่ 4-2 เบอร์ไอซีดิจิทัลตระกูลที่ 74 แอล

เบอร์	ตัวดำเนินการ
74xx04	นอต (NOT)
74xx08	แอนด์ (AND)
74xx32	ออร์ (OR)

สำหรับการนำไอซีดิจิทัลเบอร์ต่าง ๆ ไปใช้งานจริงของนั้น เราจะต้องทราบรายละเอียดการวางขาของไอซี ซึ่งข้อมูลนี้จะมีระบุอยู่ในแผ่นข้อมูล (Datasheet) ของไอซีเบอร์นั้น ๆ ตัวอย่างส่วนของแผ่นข้อมูลของไอซีเบอร์ 7404, 7408 และ 7432 แสดงในรูปที่ 4-16 (ก), (ข) และ (ค) ตามลำดับ

จากแผ่นข้อมูลของไอซี เราจะสังเกตเห็นได้ว่า ไอซีดิจิทัลตระกูล 74 นี้จะมีการต่อไฟเลี้ยง $V_{CC} = +5\text{ V}$ ที่ขา 14 และกราวด์ 0 V ที่ขา 7 ซึ่งเป็นขาที่มุมทั้งสองฝั่งของไอซีเสมอ โดยไอซีแต่ละตัวมักจะมีเกตมากกว่า 1 ตัว คือ 7404 มีนอตเกต 6 ตัว 7408 และ 7432 มีเกตอยู่ 4 ตัว ซึ่งในการต่อวงจรนั้น เราสามารถเลือกตัวใดก็ได้ และในการต่อวงจรจริง เรามักจะใช้เกตมากกว่าหนึ่งตัว ที่อยู่ในไอซีแต่ละตัว ตัวอย่างเช่น เราอาจใช้แอนด์เกตสองตัวเพื่อรับสัญญาณดิจิทัลสามอินพุต และนำมาแอนด์กัน โดยผลลัพธ์จะเป็นลอจิก “1” ก็ต่อเมื่อ อินพุตทั้งสามนี้มีลอจิก “1” เท่านั้น

FAIRCHILD
SEMICONDUCTOR™

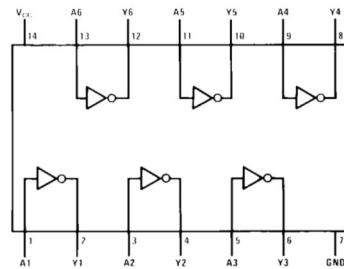


DM7404 Hex Inverting Gates

General Description

This device contains six independent gates each of which performs the logic INVERT function.

Connection Diagram



(ก)

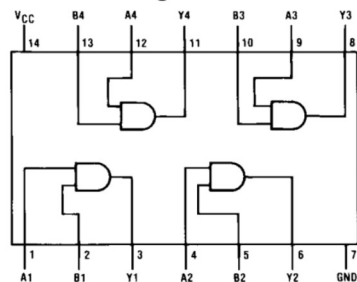
FAIRCHILD
SEMICONDUCTOR™

DM7408 Quad 2-Input AND Gates

General Description

This device contains four independent gates each of which performs the logic AND function.

Connection Diagram



(ข)

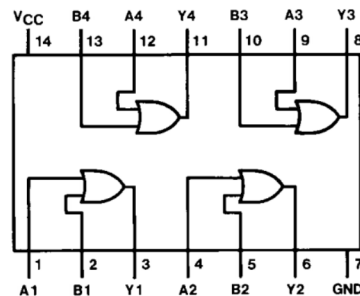
FAIRCHILD
SEMICONDUCTOR™

DM74LS32 Quad 2-Input OR Gate

General Description

This device contains four independent gates each of which performs the logic OR function.

Connection Diagram

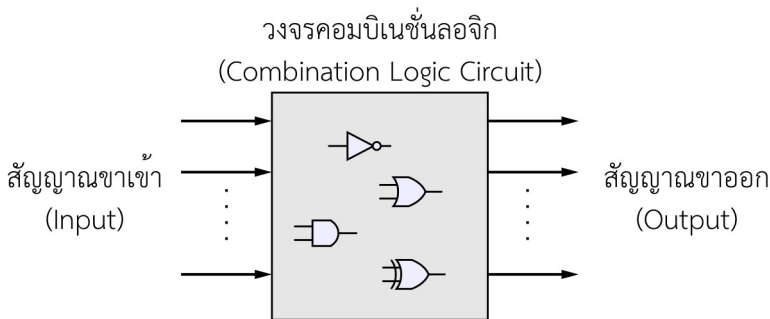


(ค)

รูปที่ 4-16 (ต่อ) ส่วนของแผ่นข้อมูลของ (ก) ไอซีนอตเกตเบอร์ 7404
(ข) ไอซีแอนด์เกตเบอร์ 7408 และ ไอซีออร์เกตเบอร์ 7432

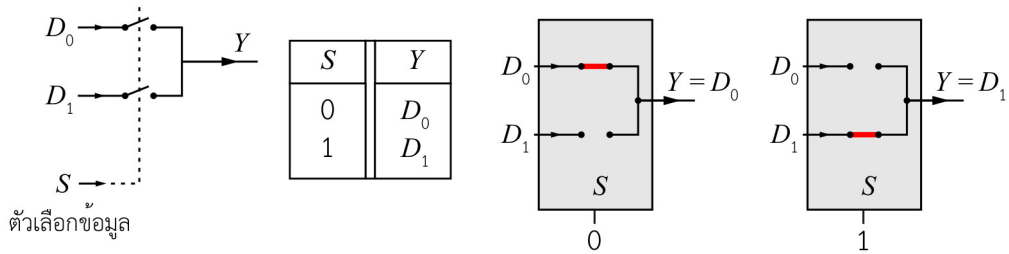
4.6 วงจรคอมบิเนชัน

เกตพื้นฐานที่กล่าวถึงในหัวข้อที่แล้ว สามารถถูกนำมาต่อรวมกันเพื่อสร้างเป็นวงจรดิจิทัลที่ทำงานตามที่ต้องการได้ในหลากหลายรูปแบบ ซึ่งในการใช้งานจริงของวงจรดิจิทัลเหล่านี้ มีผู้ออกแบบวงจรจำนวนมากที่รวมเอาเกตพื้นฐานไว้ เพื่อให้ทำงานตามหน้าที่ที่ต้องการได้ โดยเราเรียกววงจรรวมที่ใช้ประมวลสัญญาณดิจิทัลนี้ว่าคือ **วงจรคอมบิเนชันลอจิก (Combination Logic Circuit)** รูปที่ 4-17 แสดงลักษณะวงจรคอมบิเนชัน ที่มีสัญญาณขาเข้าและสัญญาณขาออกหลายสัญญาณ



รูปที่ 4-17 ลักษณะการต่อวงจรคอมบิเนชันลอจิก

ตัวอย่างหนึ่งสำหรับ วงจรคอมบิเนชัน ที่มีการใช้งานกันอย่างแพร่หลาย คือ **วงจรมัลติเพลกเซอร์ (Multiplexer) หรือ มัลช์ (MUX)** ซึ่งเป็นวงจรที่ใช้ในการเลือกสัญญาณออกจากสัญญาณขาเข้าหลาย ๆ สัญญาณ วงจรมัลติเพลกเซอร์มักจะใช้ในการลดจำนวนสายที่ใช้ในการส่งข้อมูล โดยการทำงานของวงจรมัลติเพลกเซอร์จะมีลักษณะอย่างง่ายเหมือนสวิตช์เลือกที่ควบคุมด้วยข้อมูลตำแหน่งที่เลือก รูปที่ 4-18 แสดงลักษณะมัลติเพลกเซอร์ ชนิด 2-เป็น-1 โดยการกำหนดค่าของตัวเลือกข้อมูล S เราจะสามารถเลือกให้สัญญาณ D_0 หรือ D_1 ผ่านออกไปได้

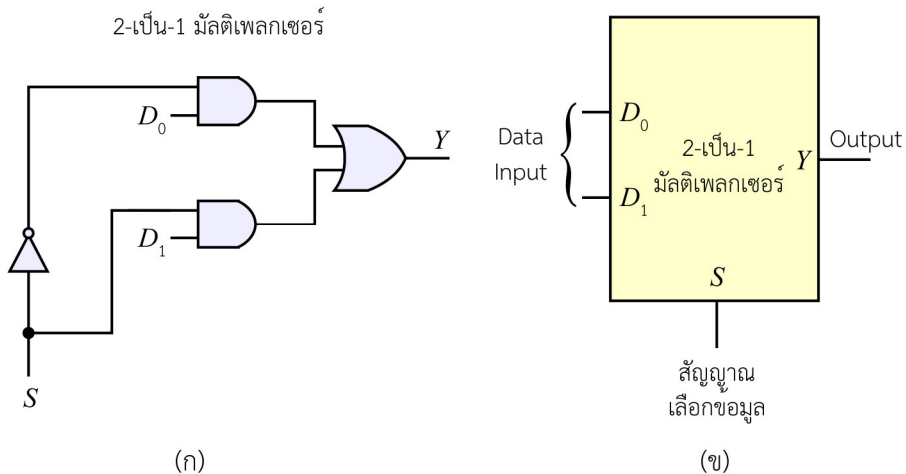


รูปที่ 4-18 ลักษณะวงจรมัลติเพลกเซอร์ 2-เป็น-1 ที่ทำหน้าที่เป็นสวิตช์เลือกสัญญาณออก Y จากสัญญาณขาเข้า D_0 และ D_1 โดยตัวเลือกข้อมูลคือสัญญาณขาเข้า S

ในการวิเคราะห์เพื่อสร้างวงจรมัลติเพลกเซอร์ด้วยลอจิกเกต เราสามารถทำได้โดยการเขียนนิพจน์ทางคณิตศาสตร์ของสัญญาณขาออกที่ต้องการ ซึ่งก็คือ

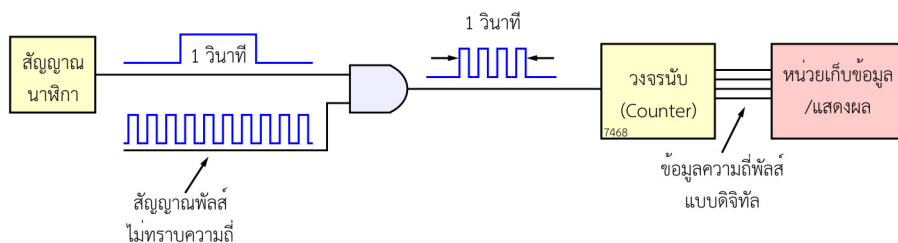
$$Y = \bar{S} \cdot D_0 + S \cdot D_1$$

ดังนั้น เราจึงสามารถสร้างวงจรนี้ได้จริง โดยใช้เกตต่าง ๆ 4 ตัว ดังแสดงในรูปที่ 4-19 (ก) และเราสามารถเขียนเป็นแผนภาพบล็อกของมัลติเพลกเซอร์นี้ได้ ดังแสดงในรูปที่ 4-19 (ข)



รูปที่ 4-19 (ก) ลักษณะวงจรดิจิทัลและ (ข) แผนภาพบล็อกของ 2-เป็น-1 มัลติเพลกเซอร์

นอกจาก ลอจิกเกตและวงจรดิจิทัล ที่กล่าวถึงในบทนี้ วงจรดิจิทัลยังมีอีกเป็นจำนวนมาก โดยวงจรดิจิทัลอีกประเภทหนึ่งที่มีการนำไปใช้งานอย่างมาก คือ **วงจรซีควเอนเชียลลอจิก (Sequential Logic Circuit)** ที่มีลักษณะของสัญญาณขาออกที่ขึ้นกับเวลาด้วย ตัวอย่างหนึ่งของวงจรลักษณะนี้ คือ **วงจรรนับ (Counter)** ซึ่งใช้มากในงานด้านการประมวลผลข้อมูลแบบดิจิทัล รูปที่ 4-20 แสดงตัวอย่างการสร้างวงจรที่ใช้ในการนับพัลส์ เพื่อหาความถี่ของสัญญาณพัลส์ที่เข้ามา (ตัวอย่างเช่น สัญญาณพัลส์จากล้อหมุนที่อ่านจากวงจรอ่านความเร็วรอบ (Encoder))



รูปที่ 4-20 ตัวอย่างวงจรรนับพัลส์ซึ่งเป็นวงจรดิจิทัลประเภทหนึ่ง

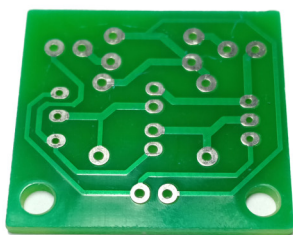
สำหรับการเชื่อมต่อระหว่างระบบดิจิทัล และ ระบบแอนะล็อก หรือ การนำสัญญาณดิจิทัลไปใช้งาน เราก็สามารถทำได้โดยการใช้ ไอซีประเภท **เอดูติ (A/D)** หรือ **แอนะล็อก-ทู-ดิจิทัล (Analog-to-Digital Converter, ADC)** ในการแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิทัล และ เราจะใช้ไอซีประเภท **ดีทูเอ (D/A)** หรือ **ดิจิทัล-ทู-แอนะล็อก (Digital-to-Analog Converter, DAC)** ในการแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นสัญญาณแอนะล็อก ปัจจุบันฟังก์ชันการเชื่อมต่อนี้มักจะรวมอยู่ในไมโครคอนโทรลเลอร์ซึ่งเป็นไอซีที่ทำงานเหมือนซีพียูในคอมพิวเตอร์ ทำให้เราสามารถสั่งการหรือใช้งานวงจรเหล่านี้ได้ด้วยการเขียนโปรแกรมควบคุมแทนการต่อวงจรด้วยตนเอง

บทที่ 5 การสร้างวงจรบนแผ่นวงจรพิมพ์

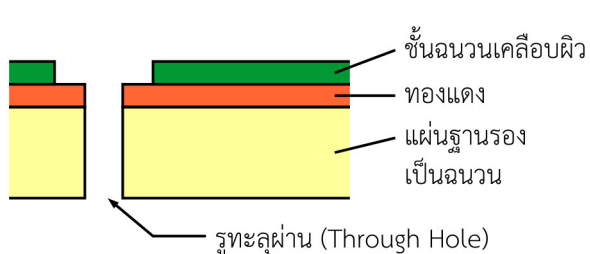
ในการพัฒนาสิ่งประดิษฐ์ด้วยระบบอิเล็กทรอนิกส์ เราอาจจะต้องทำให้วงจรที่ทดสอบบนโปรโตบอร์ดเสร็จกลายเป็นวงจรจริงเพื่อใช้งานจริงด้วยการติดตั้งลงในแผ่นวงจรพิมพ์ ในบทนี้จะกล่าวถึงความรู้พื้นฐานที่ควรทราบเกี่ยวกับแผ่นวงจรพิมพ์ โดยจะกล่าวถึงอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องและการบัดกรีเพื่อนำอุปกรณ์มาติดตั้งบนแผ่นวงจรพิมพ์นี้ด้วย

5.1 แผ่นวงจรพิมพ์

แผ่นวงจรพิมพ์ (Printed Circuit Board, PCB) หรือที่เรียกว่า **แผ่นพีซีบี** หรือ **แผ่นปริ้นซ์** เป็นองค์ประกอบสำคัญของวงจรอิเล็กทรอนิกส์ โดยลวดลายวงจรที่มีการออกแบบไว้จะถูกนำมาพิมพ์ลงในแผ่นวงจรพิมพ์นี้แล้วนำไปใช้สร้างวงจรต่อไป แผ่นวงจรพิมพ์หน้าเดียวมักจะประกอบด้วย 3 ชั้น ดังตัวอย่างรูปที่ 5-1 คือ (1) ชั้นแผ่นฐานรองที่เป็นฉนวนทำจากวัสดุโพลีเมอร์ (2) ชั้นทองแดงที่เป็นลวดลายวงจรและ (3) ชั้นฉนวนเคลือบผิวที่จะเปิดช่องเฉพาะในส่วนที่ต้องบัดกรีวางอุปกรณ์เท่านั้น โดยแผ่นวงจรพิมพ์มักจะมี **รูทะลุผ่าน (Through Hole)** สำหรับเสียบขาอุปกรณ์เพื่อบัดกรี โดยด้านที่ใช้วางอุปกรณ์ซึ่งเป็นด้านล่างของแผ่นวงจรพิมพ์ในรูปที่ 5-1 มักมีตัวอักษรที่สกรีนเพื่อบ่งบอกข้อมูลเกี่ยวกับอุปกรณ์ที่ต้องนำมาวางตามที่ออกแบบไว้



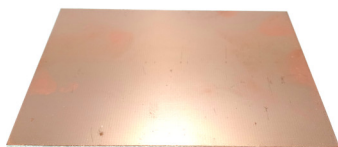
(ก)



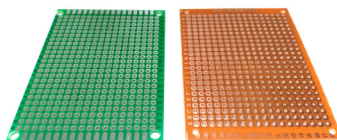
(ข)

รูปที่ 5-1 (ก) ตัวอย่างแผ่นวงจรพิมพ์หน้าเดียว และ (ข) ภาพตัดขวางของแผ่นวงจรพิมพ์

สำหรับผู้ที่ต้องการสร้างแผ่นวงจรพิมพ์ด้วยตนเองนั้น อาจจะเริ่มจากแผ่นฐานรองที่เคลือบทองแดงเต็มแผ่น (รูปที่ 5-2 (ก)) แล้วทำการลอกลายวงจรด้วยการเขียนด้วยมือหรือด้วยเครื่องพิมพ์แล้วนำไปกัดด้วยกรด จากนั้นจึงนำไปเจาะรูด้วยสว่าน โดยผู้ที่สนใจรายละเอียดของขั้นตอนเหล่านี้ สามารถหาอ่านได้จากแหล่งข้อมูลอื่นในอินเทอร์เน็ต เช่น <https://www.inventor.in.th/home/10-ขั้นตอนทำแผ่นวงจรพิมพ์/> เป็นต้น



(ก)



(ข)

รูปที่ 5-2 (ก) แผ่นฐานรองที่เคลือบทองแดงเต็มหน้า และ (ข) แผ่นวงจรพิมพ์อเนกประสงค์

แผ่นวงจรพิมพ์อีกประเภทที่นิยมนำมาใช้สร้างวงจรขนาดเล็ก คือแผ่นวงจรพิมพ์อเนกประสงค์ ซึ่งเหมาะกับการสร้างต้นแบบวงจรอิเล็กทรอนิกส์ขนาดเล็ก เพราะหาซื้อง่าย ราคาถูก ผู้ใช้สามารถสร้างวงจรได้โดยตรงโดยการบัดกรีบนแผ่นวงจรพิมพ์นี้ ตัวอย่างแผ่นวงจรพิมพ์อเนกประสงค์ที่มีลายทองแดงเป็นแบบชนิดไข่ปลาแสดงดังรูปที่ 5-2 (ข) โดยแผ่นวงจรพิมพ์อเนกประสงค์นี้อาจมีเพียง 2 ชั้น คือ ชั้นฐานรองและชั้นทองแดง ก็ได้

นอกจากแผ่นวงจรพิมพ์ทั้ง 3 ชนิดที่กล่าวในที่นี่แล้ว ยังมีแผ่นวงจรพิมพ์อีกหลายประเภท เช่น แผ่นวงจรพิมพ์ที่มีทองแดงสองหน้า (ทั้งด้านหน้าและด้านหลัง) ที่มักใช้กับวงจรที่มีอุปกรณ์ประเภทเอสเอ็มดี เพราะการติดตั้งอุปกรณ์เอสเอ็มดีเหล่านี้ เราจะต้องบัดกรีที่ด้านที่มีแผ่นทองแดง อีกตัวอย่างหนึ่งคือ เมนบอร์ดของคอมพิวเตอร์ โทรศัพท์และแท็บเล็ต แผ่นวงจรพิมพ์ของวงจรเหล่านี้อาจมีชั้นทองแดงที่เป็นวงจรหลาย ๆ ชั้น (อาจมากถึง 8 ชั้น) เพื่อให้สามารถสร้างวงจรที่มีความซับซ้อนมากได้ในพื้นที่จำกัดได้

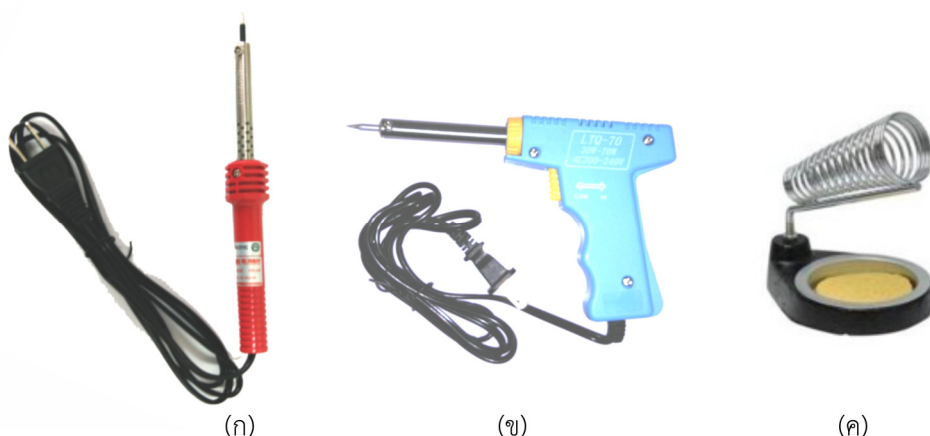
5.2 อุปกรณ์สำหรับการประกอบวงจร

อุปกรณ์ทั่วไปที่จำเป็นต้องมี ในการประกอบวงจรบนแผ่นวงจรพิมพ์ แบ่งได้เป็น 3 กลุ่ม คือ (1) อุปกรณ์บัดกรี (2) อุปกรณ์ช่างทั่วไป และ (3) อุปกรณ์ตรวจสอบและซ่อมแซม

อุปกรณ์บัดกรี

อุปกรณ์หลักที่ใช้ในการบัดกรีคือ **หัวแร้งบัดกรี (Soldering Iron)** และที่วางหัวแร้ง รูปที่ 5-3 แสดงภาพถ่ายของหัวแร้งบัดกรีสองประเภทคือ หัวแร้งบัดกรีแบบด้ามปากกา (รูปที่ 5-3 (ก)) และหัวแร้งบัดกรีแบบด้ามปืน (รูปที่ 5-3 (ข)) โดยทั่วไป หัวแร้งบัดกรีแบบด้ามปืน มักจะมีปุ่มกดเพื่อเร่งให้ความร้อนในขณะที่กำลังบัดกรี โดยเนื่องจากปลายหัวแร้งบัดกรีจะร้อนมาก เราจึงต้องวางเฉพาะบนที่วางหัวแร้ง (รูปที่ 5-3 (ค)) ขณะที่หัวแร้งร้อนแต่ไม่ได้ใช้งาน

หากเป็นไปได้ เราควรเลือกใช้หัวแร้งที่มีพิกัดกำลังและขนาดเหมาะสมกับงาน คือ ในการบัดกรีอุปกรณ์ขนาดเล็ก เราจะต้องเลือกหัวแร้งที่มีปลายแหลมมาก และหากบัดกรีชิ้นไฟ ขนาดใหญ่ เราก็ควรใช้หัวแร้งที่มีกำลังไฟสูงและมีขนาดปลายที่ใหญ่ โดยก่อนเริ่มบัดกรี เราควรทำความสะอาดหัวแร้งโดยใช้ฟองน้ำหรือกระดาษทิชชูหรือผ้าที่เปียกน้ำ ทำความสะอาด ปลายหัวแร้ง



รูปที่ 5-3 ภาพถ่ายของ (ก) หัวแร้งบัดกรีแบบด้ามปากกา

(ข) หัวแร้งบัดกรีแบบด้ามปืน และ (ค) ที่วางหัวแร้ง

ตะกั่วบัดกรี (Lead Solder) เป็นโลหะผสมหรืออัลลอย (Alloy) เช่น ดีบุก 60% ตะกั่ว 40% (เขียนย่อว่า 60/40) ตะกั่วบัดกรีจะถูกนำมาหลอมละลายให้โลหะสองส่วนเกิดการเชื่อมต่อกัน หรือที่เราเรียกว่า **การบัดกรี (Soldering)** นั่นเอง โดยภายในตะกั่วบัดกรีนี้ มักจะมีน้ำยาประสานหรือฟลักซ์ (Flux) เพื่อช่วยให้การบัดกรีทำได้ง่ายขึ้น โดยทั่วไปเราจะต้องเลือกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของตะกั่วบัดกรีให้เหมาะสมกับงาน คือ หากจุดบัดกรีมีขนาดเล็ก เราควรใช้ตะกั่วบัดกรีที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.5 หรือ 0.8 มิลลิเมตร รูปที่ 5-4 แสดงตัวอย่างภาพถ่ายของตะกั่วบัดกรีที่มีขายทั่วไป (อัลลอย 60/40 เส้นผ่านศูนย์กลาง 1.2 มิลลิเมตร)

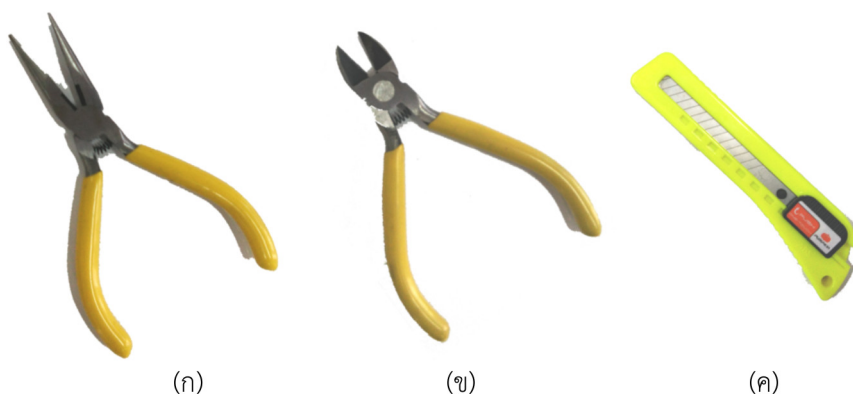


รูปที่ 5-4 ภาพถ่ายม้วนตะกั่วบัดกรีที่มีขายทั่วไป

อุปกรณ์ช่างทั่วไป

ในการประกอบวงจรอิเล็กทรอนิกส์นั้น เราจำเป็นต้องมีอุปกรณ์ช่างพื้นฐาน ได้แก่ **คีมปากจิ้งจกหรือคีมปากยาว (Long Nose Plier)**, **คีมตัด (Cutting Plier)** และ **คัตเตอร์ (Cutter)** (รูปที่ 5-5) โดยคีมปากจิ้งจกนั้น มักจะใช้จับอุปกรณ์เพื่อตัดส่วนที่มีขนาดเล็ก คีมตัดจะใช้ในการตัดลวดที่เป็นขาของอุปกรณ์หลังการบัดกรี และคัตเตอร์จะใช้ในการตัด การปอกสายไฟ รวมถึงการขูดแผ่นวงจรพิมพ์เพื่อนำตะกั่วส่วนเกินออกจากแผ่นวงจร

นอกจากอุปกรณ์ช่าง 3 ชิ้นที่กล่าวมานี้ บางครั้งเราอาจต้องมี **ไขควง (Screw Driver)** ที่มีหัวแบบต่าง ๆ และขนาดต่าง ๆ เพื่อหมุนตัวต้านทานปรับค่าได้ หรือขั้วน็อตยึดแผ่นวงจร หรือในบางกรณี เราจำเป็นต้องใช้ **สว่านมือ เลื่อย เลื่อยฉลุ กรรไกร ค้อน ตะปั่ว หรือแม้แต่ เครื่องเจียร์** เพื่อให้สามารถประกอบวงจรได้อย่างเหมาะสม



รูปที่ 5-5 ภาพถ่าย (ก) คีมปากจิ้งจก (ข) คีมตัด และ (ค) คัตเตอร์

อุปกรณ์ตรวจสอบและซ่อมแซม

ในการประกอบวงจรบนแผ่นวงจรพิมพ์ เราจะต้องตรวจสอบการประกอบวงจรของเราอยู่เป็นระยะ ๆ หากพบความผิดพลาดในการบัดกรีเราก็ควรจะซ่อมแซมในทันที โดยนอกเหนือจากการมองด้วยตาเปล่า เราก็สามารถใช้มัลติมิเตอร์ตรวจสอบการเชื่อมต่อของอุปกรณ์บนแผ่นวงจรพิมพ์ได้ ซึ่งหากเราพบปัญหาในลักษณะที่มีตะกั่วบัดกรีมากเกินไป ก็ควรใช้ที่ดูดตะกั่ว (Vacuum Desoldering Tool) (ดูรูปที่ 5-6) ทำการดูดตะกั่วออกให้สะอาด แล้วจึงทำการบัดกรีตะกั่วลงไปใหม่



รูปที่ 5-6 ภาพถ่ายของที่ดูดตะกั่ว

5.3 เทคนิคการบัดกรี

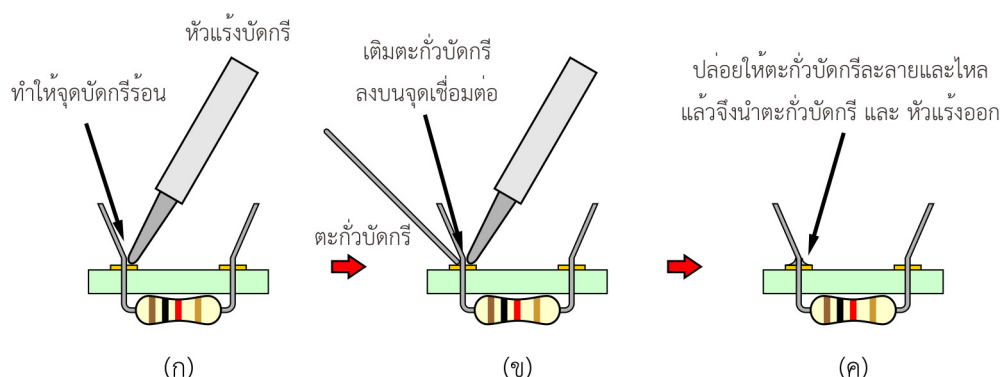
การบัดกรี (Soldering) เป็นการเชื่อมต่อวัสดุอย่างน้อย 2 ส่วนเข้าด้วยกัน โดยการหลอมละลายตัวเชื่อมประสาน ซึ่งมักจะเป็นตะกั่วบัดกรี การบัดกรีนี้นิยมใช้ในงานด้านวงจรอิเล็กทรอนิกส์และถือเป็นทักษะสำคัญที่ผู้ที่ต้องการสร้างวงจรอิเล็กทรอนิกส์ต้องฝึกฝนให้ชำนาญ ทั้งนี้เพราะจุดบัดกรีที่ไม่ดีจะก่อให้เกิดปัญหาในการใช้งานวงจร คือ วงจรอาจไม่ทำงาน หรือทำงานแต่ไม่เสถียร หรือมีอายุการใช้งานไม่ยืนนาน ทั้งนี้เหตุน่าจะเป็นเพราะความบกพร่องของจุดบัดกรี

ในการบัดกรี โดยปกติหัวแร้งบัดกรีจะถูกทำให้ร้อนก่อนเริ่มทำการบัดกรี นั่นคือ หัวแร้งบัดกรีจะต้องมีอุณหภูมิสูงกว่าอุณหภูมิหลอมเหลวของตะกั่วบัดกรี ซึ่งมีค่าประมาณ 183-190 องศาเซลเซียส วิธีการบัดกรีเพื่อติดตั้งอุปกรณ์ลงบนแผ่นวงจรพิมพ์ เขียนได้เป็นข้อตามลำดับ ดังนี้

1. ตรวจสอบและทำความสะอาดขาของอุปกรณ์และแผ่นวงจรพิมพ์ ในส่วนที่จะถูกบัดกรี ทั้งนี้เพราะคราบสกปรกอาจจะละลายแล้วเคลือบผิวในขณะบัดกรีและจะทำให้การบัดกรีไม่ประสบความสำเร็จ (ตะกั่วจับกันเป็นก้อนแทนที่จะละลายไปบนขาอุปกรณ์และแผ่นวงจรพิมพ์)

2. ใส่อุปกรณ์ลงบนแผ่นวงจรพิมพ์ โดยควรจะใส่อุปกรณ์ที่ติดกับผิวของแผ่นวงจรพิมพ์มากที่สุดก่อน (คือ อุปกรณ์ที่บางที่สุด เช่น ตัวต้านทาน) และควรใช้คีมในการดัดขาอุปกรณ์เพื่อล่อคออุปกรณ์ให้ติดกับแผ่นวงจรพิมพ์ก่อนทำการบัดกรี ทั้งนี้เนื่องจากเราจะต้องพลิกแผ่นวงจร หากไม่ทำการล่อคออุปกรณ์ ตัวอุปกรณ์อาจเคลื่อนไปจากตำแหน่งที่ต้องการบัดกรี

3. ใช้หัวแร้งบัดกรีทำให้จุดที่ต้องการบัดกรีให้ร้อนก่อน คือ ให้ความร้อนทั้งขาของอุปกรณ์และทองแดงบริเวณขาอุปกรณ์บนแผ่นวงจรพิมพ์ โดยอาจแช่หัวแร้งไว้ที่จุดบัดกรีประมาณ 2-3 วินาที (ดูรูปที่ 5-7 (ก))



รูปที่ 5-7 ขั้นตอนระหว่างการบัดกรี (ก) ทำให้จุดบัดกรีร้อน (ข) เติมตะกั่วบัดกรี และ (ค) นำตะกั่วบัดกรีออกแล้วจึงนำหัวแร้งออกจากจุดบัดกรี

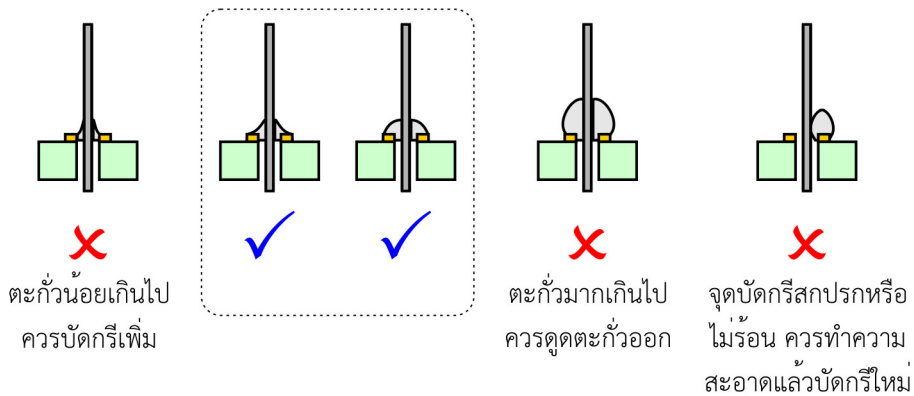
4. นำตะกั่วบัดกรีเข้ามาที่จุดบัดกรี ทั้งนี้เพื่อให้ความร้อนของหัวแร้งละลายตะกั่วนี้ แล้วปล่อยให้ไหลไปยังจุดบัดกรี (ดูรูปที่ 5-7 (ข)) โดยหากจุดบัดกรีไม่ร้อนหรือสกปรก กระบวนการนี้จะล้มเหลว

5. นำตะกั่วบัดกรีออกก่อนจากนั้นจึงนำหัวแร้งออกจากจุดบัดกรี (ดูรูปที่ 5-7 (ค))

6. สังเกตจุดบัดกรี หากมีปริมาณตะกั่วน้อยเกินไป ก็ทำการบัดกรีซ้ำเพื่อเพิ่มตะกั่ว แต่หากมีปริมาณตะกั่วมากเกินไป ก็อาจใช้หัวแร้งลูบเอาตะกั่วออก หรืออาจใช้ที่ดูดตะกั่วเพื่อนำตะกั่วออกจากจุดบัดกรีแล้วทำการบัดกรีใหม่ รูปที่ 5-8 แสดงลักษณะตะกั่วบัดกรีที่ได้ ๓ จุดบัดกรีและคำแนะนำเพื่อแก้ไข

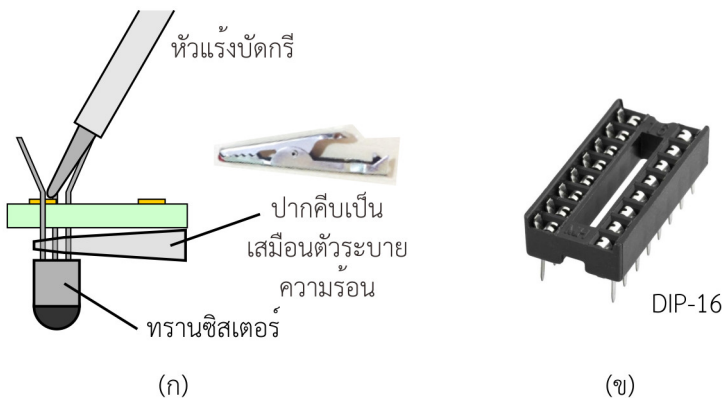
7. ตัดลวดตัวนำที่เป็นขลุ่ยที่ยาวเกินไปออก ด้วยคีมตัด

จุดบัดกรีที่ดีจะมีลักษณะเงางาม แข็งแรง โดยมากมักจะเกิดจากการบัดกรีที่ถูกต้องในครั้งเดียว การบัดกรีซ่อมมักจะทำให้จุดบัดกรีดูสกปรกและแก้ไขให้ดีขึ้นได้ยาก



รูปที่ 5-8 ลักษณะตะกั่วบัดกรีที่ได้ ณ จุดบัดกรี

ข้อควรระวังในการบัดกรี คือ หากหัวแร้งถูกแช่ไว้นานเกินไป หรือจุดบัดกรีร้อนเกินไป ความร้อนก็จะไหลไปยังตัวอุปกรณ์ ซึ่งอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ เช่น ทรานซิสเตอร์และไอซี อาจไม่สามารถทนความร้อนนี้ได้และเสียหายได้ในขณะบัดกรี ดังนั้นในเบื้องต้น ผู้บัดกรีจะต้องเลือกหัวแร้งที่มีความร้อนเหมาะสม (ไม่เกิน 40 W สำหรับวงจรขนาดเล็ก) และผู้บัดกรีอาจจะใช้ปากคีบ คีบที่ขาของทรานซิสเตอร์เพื่อระบายความร้อนที่จะไหลไปยังตัวอุปกรณ์ในขณะบัดกรี (ดูรูปที่ 5-9 (ก)) หรืออาจใช้ ช็อกเก็ตไอซีแทนการบัดกรีที่ขาไอซีโดยตรง เพื่อให้ตัวไอซีไม่ได้รับความร้อนในขณะบัดกรี รูปที่ 5-9 (ข) แสดงตัวอย่างช็อกเก็ตไอซี 16 ขา



รูปที่ 5-9 (ก) การใช้ปากคีบคีบที่ขาอุปกรณ์เพื่อระบายความร้อนขณะบัดกรี
ขาทรานซิสเตอร์และ (ข) ช็อกเก็ตไอซี DIP-16

ในกรณีที่จุดบัดกรีมีตะกั่วมากเกินไป หรือมีความต้องการนำอุปกรณ์ออกจากวงจร เราก็จะใช้ที่ดูดตะกั่วร่วมกับหัวแร้งบัดกรี ในการนำตะกั่วออก โดยข้อควรระวังในการนำอุปกรณ์ออกจากวงจร คือ เราจะต้องเอาตะกั่วที่ยึดระหว่างขาอุปกรณ์และลายทองแดงออกให้หมด และห้ามใช้แรงที่มากเกินไปในการดึงอุปกรณ์ออก ทั้งนี้เพราะแผ่นลายทองแดงจะลอกออกจากฐานรองและทำให้แผ่นวงจรพิมพ์เสียหาย ซึ่งไม่สามารถซ่อมแซมได้ แนวทางแก้ไขในกรณีนี้คือ เราจะต้องใช้สายไฟหรือลวดตัวนำ (ขาอุปกรณ์) ในการเชื่อมต่อวงจรแทนทองแดงที่หลุดลอกออกไป รูปที่ 5-10 แสดงภาพถ่ายขณะใช้ที่ดูดตะกั่วร่วมกับหัวแร้งบัดกรี เพื่อนำตะกั่วออกจากขาอุปกรณ์



รูปที่ 5-10 ภาพแสดงตัวอย่างการดูดตะกั่วโดยใช้ที่ดูดตะกั่ว



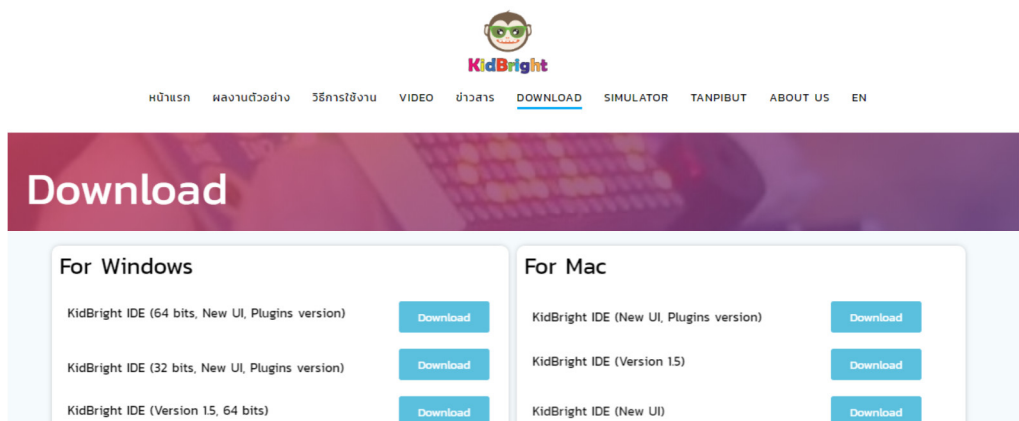
บทที่ 6 อิเล็กทรอนิกส์อัจฉริยะ

ด้วยบอร์ด KidBright

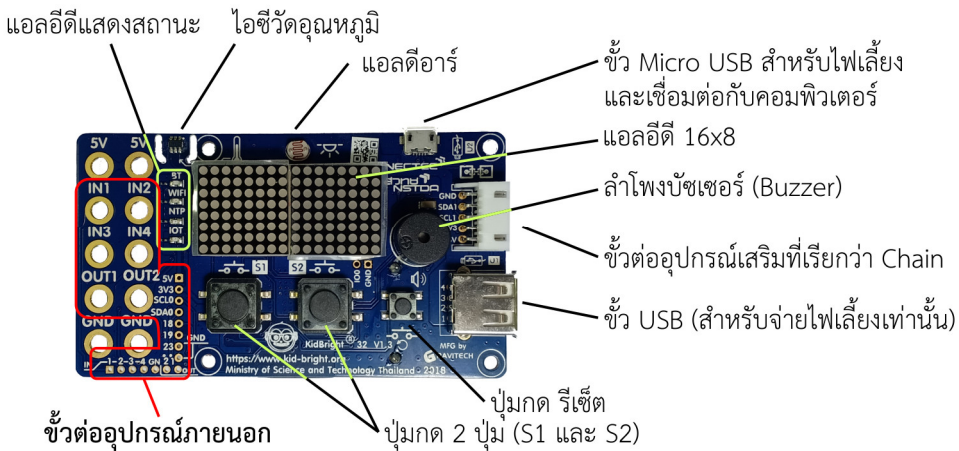
ในบทนี้ จะเป็นการแนะนำการใช้งานเบื้องต้นของบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ชื่อว่าบอร์ด KidBright V 1.3 ที่พัฒนาโดย เนคเทค สวทช. การแนะนำในบทนี้ มีวัตถุประสงค์เพื่อให้สามารถนำบอร์ดนี้ไปทำงานร่วมกับวงจรอิเล็กทรอนิกส์ที่พัฒนาขึ้นเองได้

6.1 แนะนำบอร์ด KidBright V 1.3

บอร์ด KidBright V 1.3 เป็นบอร์ดสมองกลฝังตัวที่ใช้ไอซีไมโครคอนโทรลเลอร์เบอร์ ESP-WROOM-32 เป็นเหมือนสมองสั่งการ โดยบอร์ดนี้ถูกพัฒนาขึ้นมาพร้อมกับโปรแกรมที่ใช้ควบคุมบอร์ด ที่ชื่อว่า KidBright IDE ซึ่งสามารถดาวน์โหลดได้จาก <http://www.kid-bright.org> (ดูรูปที่ 6-1) ในการเรียนรู้เกี่ยวกับบอร์ดนี้ ผู้เรียนจะต้องมี (1) บอร์ด KidBright (2) สาย Micro USB สำหรับเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์ และ (3) คอมพิวเตอร์ตั้งโต๊ะหรือโน้ตบุ๊กที่ลงโปรแกรม KidBright IDE แล้ว



รูปที่ 6-1 หน้าเว็บสำหรับดาวน์โหลดโปรแกรม KidBright IDE



รูปที่ 6-2 องค์ประกอบของบอร์ด KidBright

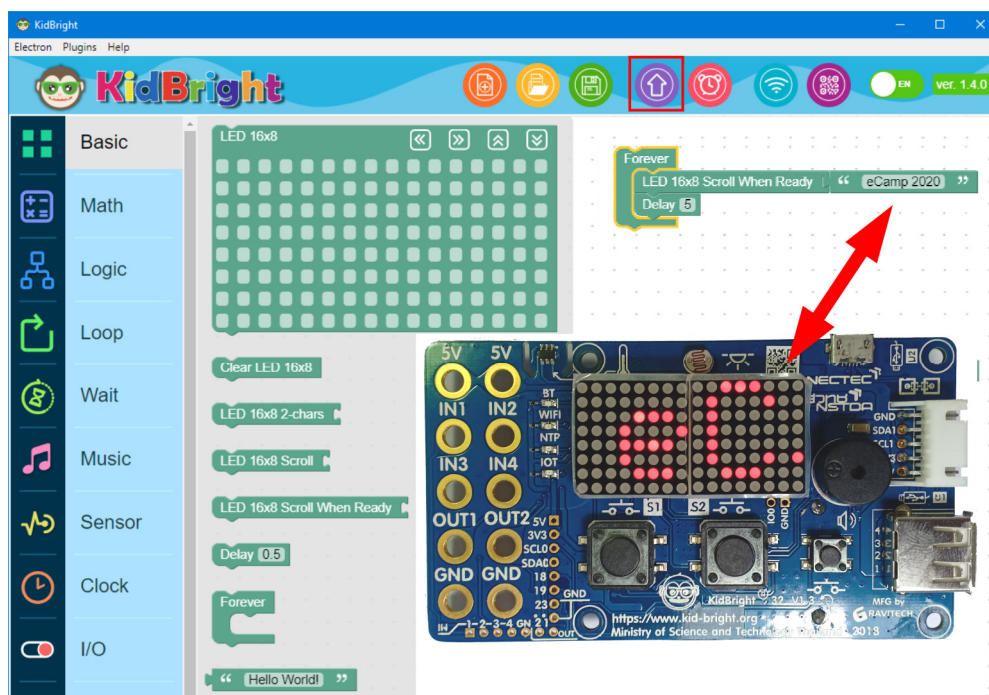
บอร์ด KidBright มีองค์ประกอบฮาร์ดแวร์ที่ใช้สำหรับรับ-ส่งข้อมูล (ดูรูปที่ 6-2) ซึ่งเราอาจแยกได้เป็น 3 ส่วน คือ ส่วนรับข้อมูลเข้า (Input) ส่วนส่งข้อมูลออก (Output) และส่วนที่ใช้ติดต่อสื่อสาร 2 ทาง ดังแสดงในตารางที่ 6-1 นอกจากนี้ KidBright ยังสามารถสื่อสารผ่าน WiFi และ Bluetooth ผ่านฮาร์ดแวร์ในตัวไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยไม่ต้องต่ออุปกรณ์เสริมใด ๆ สำหรับการนำ KidBright ไปใช้ร่วมกับวงจรอิเล็กทรอนิกส์ที่พัฒนาขึ้นเองนั้นจะสามารถทำได้ผ่านการเชื่อมต่อกับขั้วต่ออุปกรณ์ภายนอก ดังแสดงในส่วนมุมล่างซ้ายของรูปที่ 6-2

ตารางที่ 6-1 องค์ประกอบฮาร์ดแวร์สำหรับรับ-ส่งข้อมูลกับบอร์ด KidBright

ส่วนรับข้อมูลเข้า (Input)	ส่วนส่งข้อมูลออก (Output)	ส่วนสื่อสาร 2 ทาง
- ปุ่มกด 2 ปุ่ม - ปุ่มกด รีเซ็ต 1 ปุ่ม - แอลดีอาร์ - ไอซีตัวควบคุมหภูมิ LM73 - ขั้วต่อ IN1 ถึง IN4	- แอลอีดีอาร์เรย์ 16x8 - ลำโพงบัสเซอร์ (Buzzer) - ขั้ว USB สำหรับจ่ายไฟเลี้ยง 5 V ออกไปเท่านั้น - ขั้วต่อ OUT1 และ OUT2	- ขั้ว Micro USB - ขั้วต่ออุปกรณ์เสริมที่เรียกว่า Chain - ขั้วต่ออุปกรณ์ภายนอก SCL0 และ SDA0

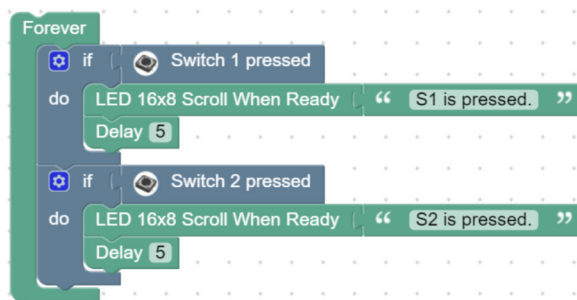
6.2 การเขียนโปรแกรมเพื่อควบคุม

โปรแกรมที่ใช้ในการควบคุมบอร์ด KidBright คือ KidBright IDE ซึ่งการเขียนโปรแกรมในลักษณะลากบล็อก (Block-Based Programming) ทำให้ง่ายต่อการเขียนและไม่จำเป็นต้องจดจำคำสั่ง โดย KidBright IDE มีเมนูทั้งภาษาไทยและอังกฤษให้เลือก คำสั่งใน KidBright IDE แบ่งออกเป็นหมวดหมู่ ซึ่งในการใช้งานเบื้องต้นนี้ ผู้ใช้ควรศึกษาการใช้บล็อกในหมวด พื้นฐาน (Basic) ทั้งหมดเสียก่อน ได้แก่ การวนรอบ (Forever) การแสดงผลด้วยแอลอีดีในลักษณะต่าง ๆ และการหน่วงเวลา (Delay) รูปที่ 6-3 แสดงตัวอย่างโค้ดและผลลัพธ์ที่ได้ เมื่อสร้างและแฟลชโปรแกรมไปยังบอร์ด KidBright ด้วยปุ่ม 



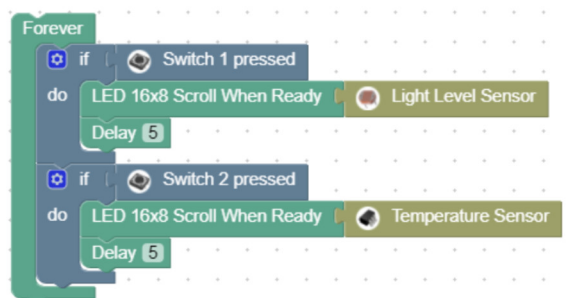
รูปที่ 6-3 ตัวอย่างการเขียนโปรแกรมเพื่อควบคุมบอร์ด KidBright
ให้แสดงผลผ่านแอลอีดีอาเรย์ 16x8 ที่อยู่บนบอร์ด

ผู้ศึกษาการใช้งานบอร์ด KidBright ควรศึกษาการใช้ปุ่มกด S1 (สวิตช์ 1) และ S2 (สวิตช์ 2) บนบอร์ดเพื่อส่งข้อมูลเข้าไปยังโปรแกรม ตัวอย่างโค้ดที่รับค่าสถานะจากปุ่มกด S1 แสดงดังรูปที่ 6-4 โดยในโค้ดนี้ เราจะตรวจสอบการกดปุ่มกด จากนั้นหากมีการกดปุ่ม เราก็จะให้แอลอีดีอาร์เรย์แสดงตัวอักษรวิ่ง



รูปที่ 6-4 ตัวอย่างโค้ดเพื่อให้บอร์ด KidBright ให้รับค่าสถานะ “ถูกกด” จากปุ่มกด S1 และ S2 แล้วแสดงผลเป็นข้อความผ่านแอลอีดีอาร์เรย์ 16x8 บนบอร์ด

สำหรับการอ่านค่าจากเซนเซอร์แสงสว่างและอุณหภูมิ ที่ติดตั้งอยู่บนบอร์ด KidBright เราสามารถทดสอบได้โดยง่าย ดังแสดงในตัวอย่างโค้ดในรูปที่ 6-5 โดยเมื่อทำการกดปุ่มกด S1 หรือ S2 แล้วบอร์ด KidBright จะแสดงค่าความสว่างหรืออุณหภูมิ



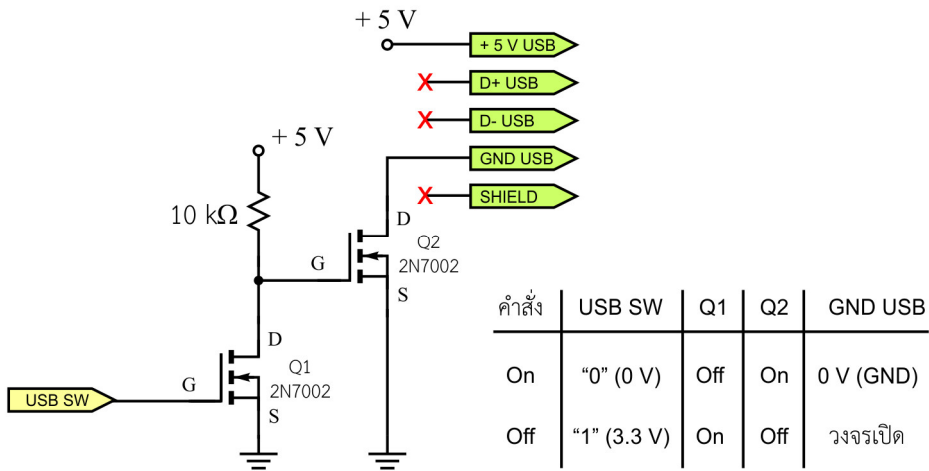
รูปที่ 6-5 ตัวอย่างโค้ดเพื่อให้บอร์ด KidBright อ่านค่าความสว่างเมื่อกดปุ่มกด S1 และอ่านค่าอุณหภูมิเมื่อกดปุ่มกด S2 แล้วแสดงผลผ่านแอลอีดีอาร์เรย์ 16x8 บนบอร์ด

ในการเรียนรู้การใช้งานบอร์ด KidBright ในลักษณะการเรียนรู้เขียนโปรแกรมเบื้องต้นนั้น ทาง สวทช. ได้ผลิตสื่อการเรียนรู้มากมาย ทั้งในรูปแบบวีดิโอบน youtube เอกสารอิเล็กทรอนิกส์และหนังสือประกอบการเรียนวิชาวิทยาการคำนวณในทั้งระดับประถมศึกษาและมัธยมศึกษา ดังนั้นจึงขอให้ผู้ที่สนใจศึกษาเพิ่มเติมจากเอกสารเหล่านั้น ด้วยตนเอง

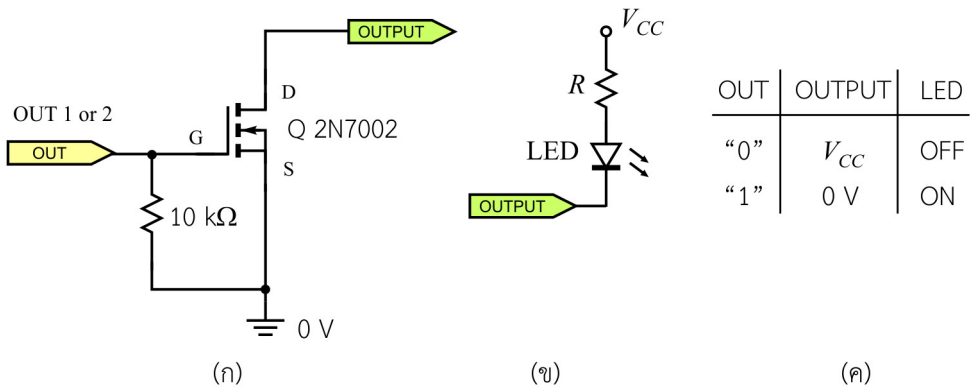
6.3 การเชื่อมต่อกับอุปกรณ์ภายนอก

การนำบอร์ด KidBright มาเชื่อมต่อกับอุปกรณ์ภายนอกทำได้โดยใช้ขั้วต่อที่บอร์ดเตรียมไว้ ซึ่งประกอบด้วย

- **ขั้วรับข้อมูลดิจิทัลขาเข้า 4 ช่อง** คือ IN1, IN2, IN3 และ IN4 โดยข้อมูลดิจิทัลขาเข้านี้ไม่ควรมีแรงดันเกิน 5.5 V เพราะจะทำให้ไอซี NC7WZ17 ที่รับสัญญาณขาเข้านี้เสียหายได้ ตัวอย่างการเชื่อมต่อคือ เราอาจนำสัญญาณดิจิทัลที่ได้จากวงจรเปรียบเทียบกับ (สัญญาณ D_{out} ในรูปที่ 4-15) เข้ามาสู่บอร์ด KidBright
- **ขั้วส่งข้อมูลพร้อมกำลังไฟ 5 V ที่ขั้วต่อ USB** คือ ขั้ว USB สำหรับจ่ายไฟเลี้ยง 5 V ที่อยู่ด้านข้างของบอร์ด โดยวงจรภายในบอร์ด KidBright สำหรับขั้วต่อ USB นี้มีลักษณะดังรูปที่ 6-6 โดยจากรูปจะเห็นได้ว่า พอร์ตนี้จะไม่มีการตัด-ต่อไฟเลี้ยง 5 V ซึ่งได้รับจากพอร์ต Micro USB อีกทีหนึ่ง แต่จะใช้วิธีการตัด-ต่อกราวด์โดยใช้วงจรมอสเฟตเอ็นฮานซ์เมนต์ 2 ตัวที่ทำหน้าที่เป็นสวิตช์ โดยการควบคุมสถานะของข้อมูล USB SW ด้วยการเขียนโปรแกรม ทำให้เราสามารถควบคุมการจ่ายไฟผ่านพอร์ตนี้ได้
- **ขั้วส่งข้อมูลดิจิทัลขาออก 2 ช่อง** คือ OUT1 และ OUT2 โดยขาออก 2 ขานี้มีลักษณะเปิดวงจรมอสเฟตไว้ที่ด้านขาออก โดยเรียกการต่อลักษณะนี้ว่า **โอเพนเดรน (Open-Drain)** ดังนั้นในการใช้งาน เราจะต้องต่อโหลดซึ่งอาจเป็นตัวต้านทานดึงขึ้นและแหล่งจ่ายไฟ เพื่อให้ลอจิกที่ส่งออกมาที่ขานี้ สามารถนำไปแสดงผลต่อไปได้ รูปที่ 6-7 (ก) แสดงลักษณะวงจรภายในบอร์ด KidBright ในส่วนขาออกนี้ รูปที่ 6-7 (ข) แสดงแนวทางการต่อวงจรเพื่อแสดงสถานะของสัญญาณ OUT นี้ และ รูปที่ 6-7 (ค) แสดงตารางค่าความจริงจากสถานะของสัญญาณ OUT ที่กำหนดด้วยโปรแกรมควบคุม

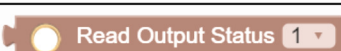


รูปที่ 6-6 วงจรภายในบอร์ด KidBright ในส่วนของขั้วต่อ USB และตารางค่าความจริง



รูปที่ 6-7 (ก) วงจรภายในบอร์ด KidBright ในส่วนของสัญญาณ OUT1 และ OUT2 โดยมีลักษณะเป็นวงจรโอเพ่นเดรน (ข) วงจรภายนอกที่ต่อเพื่อแสดงผลผ่านแอลอีดี และ (ค) ตารางค่าความจริงของสัญญาณในวงจรรูป (ก) และ (ข)

สำหรับการเขียนโปรแกรมอ่านสัญญาณขาเข้าและควบคุมสัญญาณขาออกนั้น เราสามารถทำได้โดยการใช้คำสั่งบล็อกในหมวดหมู่ไอโอ (I/O) ซึ่งย่อมาจากคำว่า Input/Output โดยในหมวดบล็อกคำสั่งนี้ มีคำสั่งพร้อมคำอธิบายแสดงดังในรูปที่ 6-8

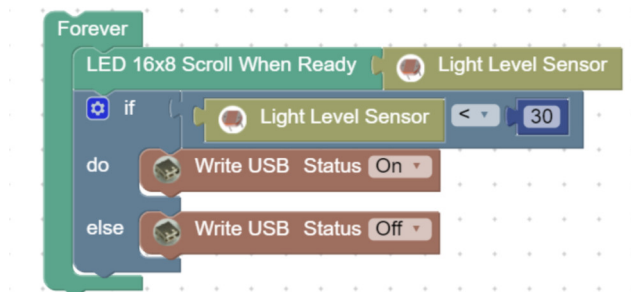
 Read Input Status 1 ▼	อ่านค่าสัญญาณจาก IN1 - IN4 ได้เลข 0 คือ ปิด* (= Off) หรือ 1 คือ เปิด (= On)
 Write USB Status Off ▼	เขียนสถานะของ USB เป็น “ปิด (Off)” หรือ “เปิด (On)”
 Toggle USB Status	สลับสถานะของ USB จาก “ปิด” เป็น “เปิด” หรือ จาก “เปิด” เป็น “ปิด”
 Read USB Status	อ่านสถานะของ USB ได้เลข 0 หรือ 1
 Write Output 1 ▼ Status Off ▼	เขียนสถานะของ OUT 1 หรือ OUT 2
 Toggle Output 1 ▼ Status	สลับสถานะของ OUT 1 หรือ OUT 2
 Read Output Status 1 ▼	อ่านสถานะของ OUT 1 หรือ OUT 2

ปิด* (= Off) คือ วงจรเปิด และ เปิด (= On) คือ วงจรปิด

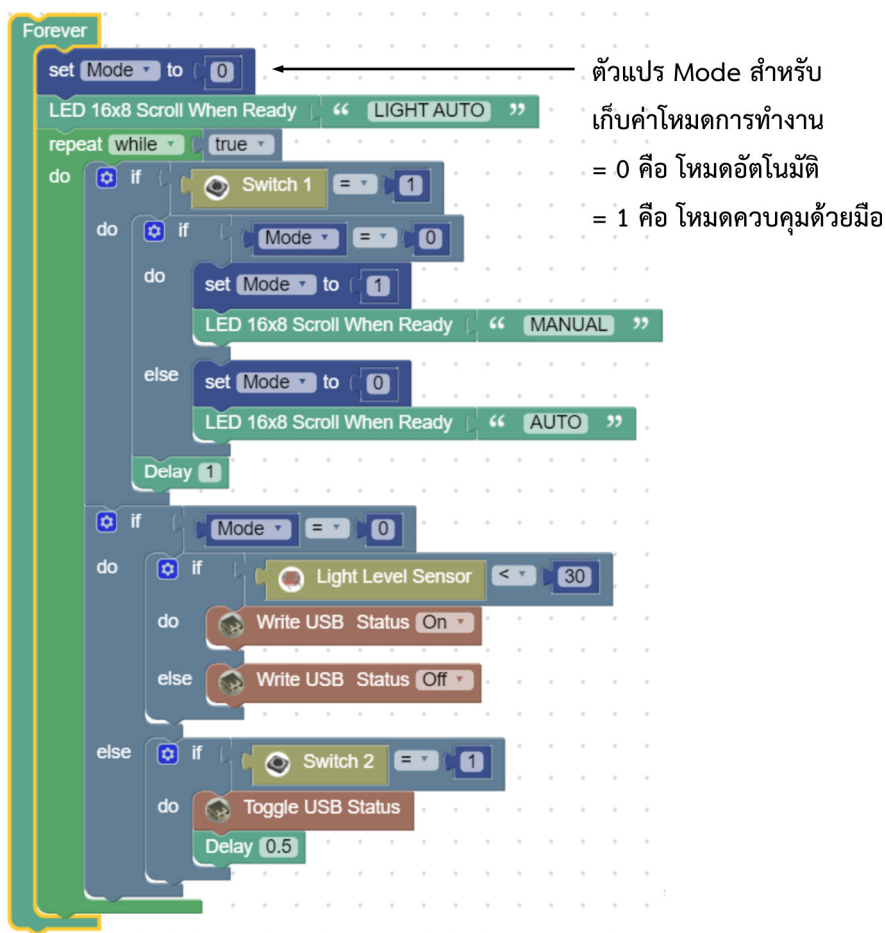
รูปที่ 6-8 คำสั่งในหมวดบล็อกไอโอสำหรับการเชื่อมต่อสัญญาณกับอุปกรณ์ภายนอก

การสั่งการบอร์ด KidBright นั้น เรามักจะต้องเขียนคำสั่งควบคุม เพื่อให้โปรแกรมตัดสินใจทำงานได้อย่างถูกต้องตามที่ผู้เขียนโปรแกรมต้องการ ตัวอย่างเช่นหากต้องการให้โปรแกรมเปิดไฟเมื่อแสงสว่างน้อยลง เราอาจจะต้องวงจรไฟแสงสว่างผ่านพอร์ต USB โดยให้สัญญาณขาออกควบคุมการเปิด-ปิดหลอดไฟ และใช้ข้อมูลจากเซนเซอร์วัดความสว่างในการตัดสินใจ ตัวอย่างโค้ดในลักษณะนี้ แสดงดังรูปที่ 6-9

หากว่า เราต้องการพัฒนาการควบคุมหลอดไฟนี้ต่อไป ให้รับข้อมูลจากผู้ใช้เพิ่มคือ ให้การกดปุ่มกด S1 เป็นการสลับการควบคุมระหว่างระบบอัตโนมัติ (Automatic) และระบบควบคุมหลอดไฟด้วยมือ (Manual) และการกดปุ่มกด S2 เป็นการสวิตช์สถานะสำหรับการควบคุมด้วยมือ เราอาจเขียนโค้ดได้ดังรูปที่ 6-10



รูปที่ 6-9 ตัวอย่างโค้ดสำหรับการเปิด-ปิดไฟอัตโนมัติเมื่อความสว่างน้อยกว่า 30



รูปที่ 6-10 ตัวอย่างโค้ดสำหรับการเปิด-ปิดไฟอัตโนมัติและควบคุมด้วยมือ

6.4 ตัวอย่างโครงงานนวัตกรรม

ปัจจุบันมีโครงงานนวัตกรรมที่สร้างสรรค์ด้วยการใช้บอร์ด KidBright เป็นจำนวนมาก ในหัวข้อนี้จะกล่าวถึง ตัวอย่างโครงงานเพียง 3 ตัวอย่าง ที่นำมาจากข้อมูลเผยแพร่ใน <https://www.kid-bright.org> ผู้สนใจสามารถดูเพิ่มเติมได้ในเว็บดังกล่าว

โครงงานควบคุมระบบพ่นหมอกในโรงเรือนเพาะเห็ดนางฟ้าด้วย KidBright (รูปที่ 6-11)*

ระบบควบคุมระบบพ่นหมอกในโรงเรือนเพาะเห็ดนางฟ้า สามารถควบคุมสภาพอากาศในโรงเพาะเห็ด เช่น ในช่วงที่มีอากาศร้อนเกินไปทำให้เห็ดได้รับความชื้นไม่พอ เห็ดจึงไม่ออกดอกหรือออกดอกก็น้อยมาก ระบบจะควบคุมการพ่นหมอกในโรงเรือนเพาะเห็ดให้สามารถทำงานได้ เมื่อมีความชื้นในอากาศต่ำกว่า 80% ซึ่งสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการควบคุมระบบการรดน้ำต้นไม้ผ่านบอร์ดและชุดคำสั่ง KidBright



รูปที่ 6-11 ภาพถ่ายผลงานโครงงานควบคุมระบบพ่นหมอกในโรงเรือนเพาะเห็ดนางฟ้า ด้วย KidBright พร้อมผู้พัฒนาผลงาน

* ผลงานของ นักเรียนโรงเรียนจิตโชน (จิตรพร จิตจุล, ชนิตา เกิดลาภ และ ธนภรณ์ พัสตุ, ครูที่ปรึกษา แก้วตา แก้วลมูล)

กริ่งประตูกับเพลงโปรด (Favorite Sound Doorbel from KidBright) (รูปที่ 6-12)**

“กริ่งประตูกับเพลงโปรด” เป็นการเขียนโปรแกรมคำสั่งเพลง เพื่อสร้างเสียงกริ่งประตูเป็นทำนองเพลงที่ชื่นชอบโดยใช้บอร์ดสมองกลอัจฉริยะ KidBright

โครงการนี้เป็นการใช้บอร์ดสมองกลอัจฉริยะ KidBright ในการเขียนโปรแกรม เพื่อแสดงผลด้านการแต่งทำนองเพลง โดยเลือกหัวข้อคำสั่ง music นักเรียนสามารถบูรณาการความรู้ด้านการอ่านโน้ตดนตรีและจังหวะของเพลงมาสร้างสรรค์ทำนองเพลงที่ตนเองชื่นชอบหรือแต่งทำนองเพลงใหม่ของตนเองได้ โดยการฝึกเขียนโปรแกรมคำสั่งง่าย ๆ ด้วย Block

นอกจากนี้บอร์ด KidBright ยังสามารถเขียนโปรแกรมคำสั่งบอร์ดให้แสดงเลขที่บ้าน และหน้าการตุ๋นตัวโปรด โดยให้เคลื่อนที่บนหน้าจอ LED ตลอดเวลา เมื่อมีคนกดกริ่ง (ปุ่มบนบอร์ด) รูปหน้าการตุ๋นจะค้างบนหน้าจอ LED หากกดกริ่งด้านซ้ายจะมีทำนองเพลงสตาร์วอร์ดังขึ้น และหากกริ่งขวาจะมีทำนองเพลงแฮรี่พ็อตเตอร์ดังขึ้น



รูปที่ 6-12 ภาพถ่ายผลงานโครงการกริ่งประตูกับเพลงโปรด

** ผลงานของ วิญญู เกตุนิ่ม, ชั้นประถมศึกษาปีที่ 5, การจัดการศึกษาขั้นพื้นฐานโดยครอบครัว (Homeschooling)

โครงการเครื่องเล่นนกโดยเซนเซอร์ลำแสง



เครื่องเล่นนกโดยเซนเซอร์ลำแสง




รหัสโครงการ IVCKKHSW00814

ชื่อโครงการ เครื่องเล่นนกโดยเซนเซอร์ลำแสง
(Birds scares by beam of light sensor)

ชื่อผู้พัฒนา เด็กหญิงณัฐณิชา ช่างแสงชัยสิทธิ์
เด็กหญิงณัฐณิชา ทรัพย์ไพศาล
เด็กชายชัชวาล นิลละออง
นางสาวณัฐณิชา ช่างแสงชัยสิทธิ์

ชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา นายเมธี มีแก้ว

โรงเรียน โรงเรียนอุดมศึกษาพัฒนการปฐมบุรี

สถานที่ติดต่อ โรงเรียนอุดมศึกษาพัฒนการปฐมบุรี

บทคัดย่อ
เป็นโครงการที่กลุ่มของข้าพเจ้าคิดว่ามีความสำคัญสำหรับโรงเรียนในระดับชั้น เพื่อจูงใจให้นักเรียนเข้ามาเรียนในช่วงเวลาว่างของโรงเรียนทำให้บรรยากาศในห้องเรียนดีขึ้น และนักเรียนกลุ่มของข้าพเจ้าจึงคิดริเริ่มเครื่องมือใหม่ ๆ เราจึงจะสามารถแก้ปัญหาข้อนี้ได้ง่ายกว่าวิธีอื่น ๆ

เป้าหมายของการทำโครงงาน

1. เพื่อป้องกัน และลดผลกระทบจากความสกปรกในชั้นเรียน
2. เพื่อให้นักเรียนมีส่วนร่วมได้เป็นอย่างดีกับโครงงาน Kidbright

กลุ่มเป้าหมาย/กลุ่มผู้ใช้งาน
ครูบุคลากรและนักเรียนภายในโรงเรียนอุดมศึกษาพัฒนการปฐมบุรี

ผลการทดสอบ
เครื่องเล่นนกโดยเซนเซอร์ลำแสง การทดสอบเริ่มทดสอบในชั้นเรียนวิทยาศาสตร์ โดยจำลองให้นักเรียนหรือบุคลากรเดินผ่าน และ PIR Sensor เริ่มตรวจจับวัตถุ ซึ่งจะทำให้ความเข้มแสงสว่าง

ผลการนำไปใช้
ผู้พัฒนาเครื่องเล่นนกไปไว้ที่ด้านข้างของพืชมงคลโรงเรียนวิทยาศาสตร์ โดยสามารถควบคุมเครื่องเล่นนกผ่านโทรศัพท์มือถือ เครื่องเล่นนกทำงานอย่างมีประสิทธิภาพ และสามารถจับจำนวนนกที่บินผ่านได้ค่อนข้างแม่นยำ

ข้อเสนอแนะ
การพัฒนาต่อไปของกลุ่มข้าพเจ้า ภายในอนาคตอาจจะเพิ่มเซนเซอร์ตรวจจับความเคลื่อนไหวที่มีความแม่นยำมากขึ้น และตัว Output ของกลุ่มของข้าพเจ้าสามารถถอดเปลี่ยนเป็นตัวอื่นที่มีประสิทธิภาพมากขึ้น หรือสะดวกและประหยัดงบประมาณได้ เช่น หลอดไฟ LED หรือพัดลม เป่าลม ซึ่งผู้ใช้งานสามารถเลือกได้ตามความชอบหรือข้อดี

แหล่งอ้างอิง

วิดีโอโปรแกรม Kidbright
<https://www.youtube.com/channel/UCJpJRnG-RwSbWq-FlorkzbA>

วิธีการใช้งานเบื้องต้น
<https://www.estopolis.com/.../วิธีแก้ปัญหาจากเกาะ-อำเภอ-ทั่วไทย-ที่ระบุเขตแดน...>

ข้อมูลของ Motion Sensor หรือ PIR Sensor
<https://learnadafruit.com/pir-passive-infrared...motion-sensor/overview>

ภาพประกอบการทำงาน

ภาพที่ 1 และ 2 แสดงการทำงานภายในกลุ่ม






รูปที่ 6-13 ไปสเตอร์นำเสนอโครงการเครื่องเล่นนกโดยเซนเซอร์ลำแสง



ภาคผนวก

สัญลักษณ์เติมหน้ามาตรฐาน (Standard Prefix)

ตัวคูณ	ชื่อ	สัญลักษณ์	ตัวคูณ	ชื่อ	สัญลักษณ์
10^1	เดคา (deka)	da	10^{-1}	เดซี (dec)	d
10^2	เฮกโต (hecto)	h	10^{-2}	เซนติ (centi)	c
10^3	กิโล (kilo)	k, K	10^{-3}	มิลลิ (milli)	m
10^6	เมกกะ (mega)	M	10^{-6}	ไมโคร (micro)	μ
10^9	จิกะ (giga)	G	10^{-9}	นาโน (nano)	n
10^{12}	เทรา (tera)	T	10^{-12}	พิโก (pico)	p
10^{15}	เพตะ (peta)	P	10^{-15}	เฟมโต (femto)	f
10^{18}	เอกซะ (exa)	E	10^{-18}	อัตโต (atto)	a
10^{21}	เซตตะ (zetta)	Z	10^{-21}	เซพ्टโต (zetta)	z
10^{24}	ยอตตะ (yotta)	Y	10^{-24}	ยอคโต (yocto)	y

ตัวหนา คือ สัญลักษณ์ที่พบเห็นบ่อยในทางอิเล็กทรอนิกส์ เช่น

0.005 A	=	5×10^{-3} A	=	5 mA (มิลลิแอมแปร์)
0.00002 A	=	2×10^{-5} A	=	20 μ A (ไมโครแอมแปร์)
15000 Ω	=	15×10^3 Ω	=	15 k Ω (กิโลโอห์ม)
1000000 Ω	=	1×10^6 Ω	=	1 M Ω (เมกกะโอห์ม)
0.000000000068 F	=	68×10^{-12} F	=	68 pF (พิโกฟารัด)



ดัชนี

กฎของโอห์ม (Ohm's Law)	21	ดิจิทัล-ทู-แอนะล็อก (Digital-to-	
กราวด์ (Ground, GND)	31	Analog Converter, DAC)	66
การเขียนโปรแกรมโดยการลากบล็อก		ดีทูเอ (D/A)	66
(Block-Based Programming)	79	ไดโอด (Diode)	36
การต่อแบบเฮตบริดจ์ (H-bridge)	57	ไดโอดเปล่งแสง	
การบัดกรี (Soldering)	70, 72	(Light Emitting Diode, LED)	38
การแบ่งแรงดัน (Voltage Division)	24, 31	ตะกั่วบัดกรี (Lead Solder)	70
ขั้วต่อปกติปิด		ตัวเก็บประจุ (Capacitor)	34
(Normally Closed, NC)	52, 54	ตัวต้านทาน (Resistor)	17
ขั้วต่อปกติเปิด		ตัวต้านทานแบบปรับค่าได้	
(Normally Open, NO)	52, 54	(Variable Resistor, VR)	17
ไขควง (Screw Driver)	70	ตัวต้านทานแปรค่าตามแสง	
ความจุไฟฟ้า (Capacitance)	34	(Light Dependent Resistor)	30
ความต้านทานรวม		ตารางค่าความจริง (Truth Table)	59, 60
(Equivalent Resistance)	24	ทรานซิสเตอร์ (Transistor)	42
ความต้านทานสมมูล		ทรานซิสเตอร์กำลัง	
(Equivalent Resistance)	24	(Power Transistor)	43
คอมมอน (Common, C)	52, 54	ทรานซิสเตอร์ปรากฏการณ์สนาม	
คัตเตอร์ (Cutter)	70	(Field Effect Transistor, FET)	42, 43
คีมตัด (Cutting Plier)	70	ทรานซิสเตอร์รอยต่อไบโพลาร์	
คีมปากจิ้งจก (Long Nose Plier)	70	(Bipolar Junction Transistor, BJT)	42
คีมปากยาว (Long Nose Plier)	70	ที่ดูดตะกั่ว (Vacuum	
โครงการ (Project)	85	Desoldering Tool)	71
จัมเปอร์ (Jumper)	52	นอตเกต (NOT Gate)	58
เจเฟต (Junction FET, JFET)	43	นาฬิกาอัจฉริยะ (Smart Watch)	3
เซนเซอร์ (Sensor)	29	เบรดบอร์ด (Breadboard)	12

แบตเตอรี่ (Battery)	14	ไมโครคอนโทรลเลอร์	
ไบแอส (Bias)	36	(Microcontroller)	77
ไบแอสย้อนกลับ (Reverse Bias)	36	ระบบดิจิทัล (Digital System)	6
ไบแอสหน้า (Forward Bias)	36	ระบบแอนะล็อก (Analog System)	5
ปุ่มกด (Push-Button)	52	รีเลย์ (Relay)	54
โปรโตบอร์ด (Protoboard)	12	รูทะลุผ่าน (Through Hole)	67
แผ่นข้อมูล (Datasheet)	62	ลอจิกเกต (Logic Gate)	58
แผ่นปริ้นซ์		วงจรขนาน (Parallel Circuit)	26
(Printed Circuit Board, PCB)	67	วงจรคอมบิเนชันลอจิก	
แผ่นพีซีบี (Printed Circuit Board, PCB)	67	(Combination Logic Circuit)	64
แผ่นวงจรพิมพ์		วงจรซีควเอนเชียลลอจิก	
(Printed Circuit Board, PCB)	67	(Sequential Logic Circuit)	66
พัลส์วidthมอดูเลชัน		วงจรตามแรงดัน	
(Pulse Width Modulation, PWM)	56	(Voltage Follower)	47
พีเอ็นพี (pnp)	42	วงจรรนับ (Counter)	66
เฟต (Field Effect Transistor, FET)	43	วงจรบัฟเฟอร์ (Buffer)	47
ไฟดูด (Electric Shock)	16	วงจรปิด (Closed Circuit)	23, 35
ไฟตรง (Direct Current, DC)	14	วงจรเปรียบเทียบ (Comparator)	46
ไฟสลับ (Alternating Current, AC)	16	วงจรเปิด (Open Circuit)	35
มอเตอร์ (Motor)	55	วงจรมัลติเพลกเซอร์ (Multiplexer)	64
มอเตอร์ไดรเวอร์ (Motor Driver)	57	วงจรเรียงกระแส (Rectifier)	39
มอเตอร์ไฟตรงชนิดแม่เหล็กถาวร		วงจรเรียงกระแสแบบครึ่งคลื่น	
(Permanent Magnet DC Motor)	55	(Half-Wave Rectifier)	39
มอสเฟต (Metal-Oxide-		วงจรอนุกรม (Series Circuit)	24
Semiconductor FET, MOSFET)	43	สมาร์ทดีไวส์ (Smart Devices)	3
มัลช์ (MUX)	64	สมาร์ทโฟน (Smart Phone)	2
มัลติมิเตอร์ (multimeter)	9	สวิตช์ (Switch, SW)	52

สวิตช์ปิด-เปิด (ON-OFF Switch)	52	อิเล็กทรอนิกส์ (Electronics)	1
สัญญาณดิจิทัล (Digital Signal)	49	อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์อัจฉริยะ	
สัญญาณรบกวน (Noise)	50	(Smart Devices)	3
สายไฟหรือลวดตัวนำ (Wire)	13	แอนะล็อก-ดิจิทัล (A/D)	66
หัวแร้งบัดกรี (Soldering Iron)	69	เอ็นพีเอ็น (npn)	42
แหล่งจ่ายไฟตรง (DC power supply)	14	เอสเอ็มดี (Surface Mount	
แหล่งจ่ายไฟสลับ (AC Power Supply)	16	Device, SMD)	17
ออปแอมป์ (Op-Amp)	45	แอนด์เกต (AND Gate)	59
ออร์เกต (OR Gate)	59	แอนะล็อก-ทู-ดิจิทัล (Analog-	
ออสซิลโลสโคป (Oscilloscope)	32	to-Digital Converter, ADC)	66
อินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง		แอลดีอาร์ (Light Dependent	
(Internet of Things)	4	Resistor, LDR)	30
อินเวอร์เตอร์ (Inverter)	58	แอลอีดี (Light Emitting Diode, LED)	38



บรรณานุกรม

หนังสือภาษาไทย

1. สุวิทย์ กिरะวิทยา และคณะ, *การใช้งานไมโครคอนโทรลเลอร์และเซนเซอร์ในการสร้างนวัตกรรม*, ISBN 978-616-485-757-5, พ.ศ. 2562
ดาวน์โหลดได้ที่ <https://www.bridge2inventor.com>
2. สุวิทย์ กिरะวิทยา, *อิเล็กทรอนิกส์เบื้องต้น*, ISBN: 978-616-348-529-8, พ.ศ. 2557
ดาวน์โหลดได้ที่ <http://www.ecpe.nu.ac.th/suwit/book.html>
3. คณะทำงาน, *เนคเทคอีโรตะลุยเมืองอิเล็กทรอนิกส์*, พ.ศ. 2559
ดาวน์โหลดได้ที่ http://fic.nectec.or.th/eCamp_eBook

หนังสือภาษาต่างประเทศ

1. Charles A. Schuler, *Electronics: Principles and Applications*, 9th Edition, McGraw Hill, 2019.
2. Paul Scherz and Simon Monk, *Practical Electronics for Inventors*, 4th Edition, McGraw Hill, 2016.

แหล่งข้อมูลออนไลน์

1. <http://en.wikipedia.org> [สารานุกรมเสรี ที่รวบรวมข้อมูลจำนวนมาก]
โดยข้อมูลส่วนใหญ่ที่แสดงในหนังสือเล่มนี้ ประมวลมาจากข้อมูลในวิกิพีเดียโดยการสืบค้นด้วยคำสำคัญภาษาอังกฤษที่กล่าวถึงในหัวข้อนั้น ๆ
2. <https://www.kid-bright.org> [ที่รวบรวมข้อมูลทั้งหมดเกี่ยวกับ KidBright]
โดยข้อมูลในบทที่ 6 ประมวลมาจากข้อมูลที่ได้รับจากเว็บนี้

อิเล็กทรอนิกส์ (Electronics) เป็นองค์ความรู้หรือศาสตร์แขนงหนึ่ง que พัฒนามาจากศาสตร์ด้านไฟฟ้า ปัจจุบันอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์เป็นสิ่งที่เราพบเห็นได้ทั่วไป สำหรับการเริ่มต้นการศึกษาด้านอิเล็กทรอนิกส์เพื่อสร้างสิ่งประดิษฐ์นั้น เราสามารถเรียนรู้ได้จากแหล่งข้อมูลต่าง ๆ ที่มีอยู่มากมาย และสามารถเรียนรู้ได้ด้วยตนเอง โดยในเบื้องต้น เราจำเป็นต้องมีความเข้าใจพื้นฐานด้านวงจรไฟฟ้าเพื่อนำมาอธิบายการทำงานของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่เราสนใจ ดังนั้นเราจึงควรให้ความสนใจหลักการทำงานของอุปกรณ์ก่อน แล้วจึงค่อยมาพิจารณาในรายละเอียดของการทำงานในแต่ละส่วน หนังสือเล่มนี้จะแนะนำพื้นฐานที่จำเป็นในการศึกษาด้านอิเล็กทรอนิกส์ด้วยตนเอง เหมาะสำหรับนักเรียน นิสิตและนักศึกษาที่ต้องการนำความรู้ด้านอิเล็กทรอนิกส์นี้ไปต่อยอดในการสร้างสิ่งประดิษฐ์หรือนวัตกรรมต่อไป

หนังสือเล่มนี้แบ่งออกเป็น 6 บท ได้แก่ บทที่ 1 ซึ่งเป็นการแนะนำเบื้องต้นเกี่ยวกับอิเล็กทรอนิกส์ บทที่ 2 กล่าวถึงอุปกรณ์และวงจรไฟฟ้าพื้นฐาน ได้แก่ แหล่งจ่ายไฟ ตัวต้านทาน วงจรตัวต้านทาน วงจรอนุกรมและวงจรขนาน บทที่ 3 นำเสนอเกี่ยวกับอุปกรณ์และวงจรอิเล็กทรอนิกส์ประเภทแอนะล็อก ซึ่งได้แก่ เซนเซอร์ ไดโอด ทรานซิสเตอร์ วงจรเรียงกระแส วงจรทรานซิสเตอร์และวงจรออปแอมป์ สำหรับบทที่ 4 จะเป็นการนำเสนอความรู้พื้นฐานด้านวงจรดิจิทัล และลอจิกเกตต่าง ๆ บทที่ 5 กล่าวถึงการสร้างวงจรอิเล็กทรอนิกส์เพื่อนำไปใช้จริงด้วยการบัดกรี และ บทสุดท้ายนำเสนอแนวคิดพื้นฐานในการประยุกต์ใช้บอร์ด KidBright ร่วมกับ การต่อวงจรเพื่อนำมาสร้างเป็นระบบอิเล็กทรอนิกส์อัจฉริยะ