

งานไฟฟ้าและ อิเล็กทรอนิกส์ ควบคุมรถยนต์

ประธานพงษ์ หาดเรือนิช

ระดับ ปวช.

2101-2110 งานไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์
ควบคุมรถยนต์



ตรงตามหลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพ พุทธศักราช 2556
ของสำนักงานคณะกรรมการการอาชีวศึกษา กระทรวงศึกษาธิการ

ระดับ ปวช.

2101-2110 งานไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์
ควบคุมรถยนต์

งานไฟฟ้า และ อิเล็กทรอนิกส์ ควบคุมรถยนต์



บริษัท ซีเอดยูเคชั่น จำกัด (มหาชน)
SE-EDUCATION PUBLIC COMPANY LIMITED

ค้นหาหนังสือที่ต้องการ (รวม e-book และสินค้าที่น่าสนใจ) ได้เร็ว ทันใจ

- บน PC และ Notebook ที่ **www.se-ed.com**
- สำหรับ SmartPhone และ Tablet ทุกยี่ห้อ ที่ **http://m.se-ed.com** (ผ่าน browser เข้าอินเทอร์เน็ตแล้วทำ Bookmark บนจอ Home จะใช้งานได้เหมือน App ทุกประการ) หรือติดตั้ง **SE-ED Application** ได้จาก **Play Store** บน **Android** (ใช้ได้ครบทุกฟังก์ชัน) หรือจาก **App Store** บน **iOS** (iPhone / iPad / iPod ยกเว้นการซื้อ e-book)

งานไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ควบคุมรถยนต์

โดย ประสานพงษ์ หาเรือนชัย

สงวนลิขสิทธิ์ในประเทศไทยตาม พ.ร.บ. ลิขสิทธิ์ © พ.ศ. 2557 โดย ประสานพงษ์ หาเรือนชัย ห้ามคัดลอก ลอกเลียน ดัดแปลง ทำซ้ำ จัดพิมพ์ หรือกระทำการอื่นใด โดยวิธีการใดๆ ในรูปแบบใดๆ ไม่ว่าส่วนหนึ่งส่วนใดของหนังสือเล่มนี้ เพื่อเผยแพร่ในสื่อทุกประเภท หรือเพื่อวัตถุประสงค์ใดๆ นอกจากจะได้รับอนุญาต

ข้อมูลทางบรรณานุกรมของหอสมุดแห่งชาติ

ประสานพงษ์ หาเรือนชัย.

งานไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ควบคุมรถยนต์.. --กรุงเทพฯ : ซีเอ็ดดูเคชั่น, 2542.

1. รถยนต์--อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์.

I. ชื่อเรื่อง.

629.222

ISBN (e-book) : 978-616-08-2081-8

ผลิตและจัดจำหน่ายโดย



บริษัท ซีเอ็ดดูเคชั่น จำกัด (มหาชน)
SE-EDUCATION PUBLIC COMPANY LIMITED

อาคารทีซีไอเอฟ ทาวเวอร์ ชั้น 19 เลขที่ 1858/87-90 ถนนบางนา-ตราด แขวงบางนา
เขตบางนา กรุงเทพฯ 10260 โทรศัพท์ 0-2739-8000

[หากมีคำแนะนำหรือติชม สามารถติดต่อได้ที่ comment@se-ed.com]

2101-2110 งานไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ควบคุมรถยนต์

จุดประสงค์รายวิชา เพื่อให้

1. เข้าใจหลักการทำงานของระบบไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ควบคุมรถยนต์
2. ตรวจสอบภาพ บำรุงรักษา ระบบไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ควบคุมรถยนต์
3. มีกิจนิสัยที่ดีในการทำงาน รับผิดชอบ ประณีต รอบคอบ ตรงต่อเวลา สะอาด ปลอดภัย และรักษาสภาพแวดล้อม

สมรรถนะรายวิชา

1. แสดงความรู้เกี่ยวกับหลักการทำงานของระบบไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ควบคุมรถยนต์
2. ถอดประกอบระบบไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ควบคุมรถยนต์ ตามหลักการและกระบวนการ
3. ตรวจสอบข้อขัดข้อง และบำรุงรักษาระบบไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ควบคุมรถยนต์
4. วิเคราะห์ข้อขัดข้องของระบบไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ควบคุมรถยนต์ ตามคู่มือ
5. ซ่อมระบบระบบไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ควบคุมรถยนต์ตามคู่มือ

คำอธิบายรายวิชา

ศึกษาและปฏิบัติเกี่ยวกับหลักการทำงาน โครงสร้าง อุปกรณ์ วงจรไฟฟ้า และอิเล็กทรอนิกส์ควบคุมรถยนต์ ระบบเบรก ระบบบังคับเลี้ยว ระบบพวงตัว ระบบป้องกันการลื่นไถล ระบบความปลอดภัย การใช้เครื่องมือตรวจสอบภาพและบำรุงรักษา



คำนำ

ปัจจุบันนี้อิเล็กทรอนิกส์หรือคอมพิวเตอร์ได้มีส่วนเกี่ยวข้องกับชีวิตประจำวันของมนุษย์มากยิ่งขึ้น ซึ่งแม้แต่รถยนต์ที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบันยังได้นำเอาระบบอิเล็กทรอนิกส์เข้ามาควบคุมการทำงานของระบบต่างๆ ภายในรถยนต์ ทั้งนี้ก็เพื่อให้ผู้ขับขี่มีความมั่นใจในการขับขี่ มีความสะดวกสบาย นอกจากนี้ยังช่วยลดปัญหามลภาวะเป็นพิษที่เกิดจากรถยนต์

ดังนั้นเนื้อหาภายในหนังสือเล่มนี้จึงรวบรวมเอาหลักการอิเล็กทรอนิกส์เบื้องต้น ระบบการทำงานของเครื่องยนต์ที่ควบคุมด้วยอิเล็กทรอนิกส์ ระบบอำนวยความสะดวก และระบบป้องกันขโมย เช่น กระบอกไฟฟ้า ระบบล็อคอพอร์ตูล และระบบป้องกันล้อลอคตาย เป็นต้น

ส่วนในภาคผนวกได้เพิ่มเนื้อหาของระบบปรับระดับลำแสงของไฟหน้ารถยนต์อัตโนมัติและกระบอกไฟฟ้าที่เลื่อนลงเมื่อมีวัตถุติดขวาง ซึ่งเป็นระบบที่ควบคุมการทำงานด้วยคอมพิวเตอร์ และวงจรไฟฟ้าของระบบต่างๆ ที่ควบคุมด้วยอิเล็กทรอนิกส์

เนื้อหาในหนังสือจะรวบรวมทั้งทฤษฎีและปฏิบัติไว้ภายในบทเดียวกัน เพื่อสะดวกในการค้นคว้า โดยที่เนื้อหาจะครอบคลุมตามหลักสูตรวิชาอิเล็กทรอนิกส์ยานยนต์ในระดับ ปวช. ของกรมอาชีวศึกษา กระทรวงศึกษาธิการทุกประการ

ผู้เขียนขอขอบคุณบริษัทผู้ผลิตรถยนต์โตโยต้า มิตซูบิชิ และฮอนด้า เป็นอย่างยิ่งที่ได้อนุญาตให้นำข้อมูลและรูปภาพบางส่วนของบริษัทลงพิมพ์ และขอขอบคุณคุณพินิจ ศุภวัฒน์ ผู้อำนวยการวิทยาลัยเทคนิคนครราชสีมา ที่กรุณาให้การสนับสนุนและให้คำแนะนำเพื่อให้หนังสือ งานไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ควบคุมรถยนต์ มีความดียิ่งขึ้น

สุดท้ายนี้ขอขอบคุณบริษัท ซีเอ็ดดูเคชั่น จำกัด (มหาชน) ที่จัดทำหนังสือเล่มนี้ออกมาเป็นรูปเล่มที่สมบูรณ์

หากหนังสือเล่มนี้มีความผิดพลาดหรือบกพร่องประการใด ผู้เขียนขออภัยมา ณ ที่นี้ และขออ้อมรับคำติชมเพื่อนำไปแก้ไขปรับปรุงในการจัดทำครั้งต่อไป

ประธานพงษ์ หาเรือนชัย



คำนิยม

หนังสือ งานไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ควบคุมรถยนต์ มีเนื้อหาที่ครอบคลุมหลักการอิเล็กทรอนิกส์เบื้องต้น และระบบต่างๆ ของรถยนต์ที่ควบคุมด้วยอิเล็กทรอนิกส์ จึงเหมาะที่จะใช้เพื่อศึกษาหาความรู้ทั้งในด้านทฤษฎีและปฏิบัติได้เป็นอย่างดี ทั้งนี้เป็นเพราะอาจารย์ผู้จัดทำหนังสือเล่มนี้มีความรู้และประสบการณ์ในการสอนวิชาอิเล็กทรอนิกส์ยานยนต์โดยตรง ทั้งยังมีความอดสาหัสที่จะจัดทำหนังสือเล่มนี้ให้เป็นประโยชน์สำหรับนักเรียน นักศึกษา และผู้ที่สนใจทั่วไป

ดังนั้นจึงกล่าวได้ว่าหนังสือ งานไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ควบคุมรถยนต์ เล่มนี้เป็นหนังสือที่มีเนื้อหาครอบคลุมหลักสูตรสำหรับนักศึกษาในระดับ ปวช. สาขาวิชาช่างยนต์

(นายพินิจ คุกวัดณ์)

ผู้อำนวยการวิทยาลัยเทคนิคนครราชสีมา



บทที่ 1 หลักการอิเล็กทรอนิกส์เบื้องต้น 11

- 1.1 สารกึ่งตัวนำ 11
- 1.2 วงจรรวม 21
- 1.3 ไทเมอร์ 33
- 1.4 ไบสท์ลสวิตช์ 34
- 1.5 ไมโครคอมพิวเตอร์ 34

บทที่ 2 ระบบป้องกันเบรกล้อคตาย 36

- 2.1 ส่วนประกอบต่างๆ ของระบบเบรก ABS 37
- 2.2 การทำงานของส่วนประกอบต่างๆ ของระบบเบรก ABS 39
- 2.3 การทำงานของระบบเบรก ABS 47
- 2.4 หน้าที่ของคอมพิวเตอร์ในระบบเบรก ABS 50
- 2.5 ระบบวิเคราะห์ปัญหาข้อขัดข้องของระบบเบรก ABS 51
- 2.6 โค้ดปัญหาข้อขัดข้องของระบบเบรก ABS 52
- 2.7 การลบโค้ดวิเคราะห์ปัญหาข้อขัดข้องของระบบเบรก ABS 56
- 2.8 การวิเคราะห์ปัญหาข้อขัดข้องของเซนเซอร์วัดความเร็วที่ล้อ 57
- 2.9 การตรวจสอบเซนเซอร์วัดความเร็วที่ล้อ 61
- 2.10 การตรวจสอบบรีลีย์ควบคุมการทำงานของวาล์วควบคุมระบบเบรกไฮดรอลิก 65
- 2.11 การตรวจสอบวงจรการทำงานของระบบเบรก ABS 67

บทที่ 3 ระบบควบคุมการลื่นความเร็วอัตโนมัติ 69

- 3.1 โครงสร้างและการทำงานของระบบควบคุมการลื่นความเร็วอัตโนมัติ 71
- 3.2 การวิเคราะห์ปัญหาข้อขัดข้องของระบบควบคุมการลื่นความเร็วอัตโนมัติ 75
- 3.3 การตรวจสอบเบื้องต้นหรือการทดสอบบนถนน 77

3.4 การวิเคราะห์ปัญหาข้อขัดข้องของระบบควบคุมการลัดความเร็วอัตโนมัติ	80
3.5 โค้ดวิเคราะห์ปัญหาข้อขัดข้องของระบบควบคุมการลัดความเร็วอัตโนมัติ	82
3.6 การตรวจสอบกล่องคอมพิวเตอร์ของระบบควบคุมการลัดความเร็วอัตโนมัติ	84
3.7 การตรวจสอบการทำงานของระบบควบคุมการลัดความเร็วอัตโนมัติ	87
3.8 สาเหตุข้อขัดข้องของระบบควบคุมการลัดความเร็วอัตโนมัติ	111

บทที่ 4 ระบบควบคุมกระจกด้วยไฟฟ้า 115

4.1 ไดอะแกรมวงจรไฟฟ้าและข้อต่อของระบบควบคุมกระจกด้วยไฟฟ้า	116
4.2 โครงสร้างของสวิตช์ควบคุมการทำงานของกระจกด้วยไฟฟ้า	117
4.3 สวิตช์ล๊อคกระจกไฟฟ้า	121
4.4 การตรวจสอบระบบควบคุมกระจกด้วยไฟฟ้า	122
4.5 การวิเคราะห์ปัญหาข้อขัดข้องของระบบควบคุมกระจกด้วยไฟฟ้า	127

บทที่ 5 ระบบกระจกมองข้างปรับด้วยไฟฟ้า 128

5.1 ไดอะแกรมวงจรไฟฟ้าของระบบกระจกมองข้างปรับด้วยไฟฟ้า	128
5.2 ส่วนประกอบของระบบกระจกมองข้างปรับด้วยไฟฟ้า	130
5.3 การตรวจสอบระบบกระจกมองข้างปรับด้วยไฟฟ้า (TOYOTA PASEO)	138
5.4 สาเหตุข้อขัดข้องของระบบกระจกมองข้างปรับด้วยไฟฟ้า	140

บทที่ 6 ระบบควบคุมการลัดประตูรถยนต์อัตโนมัติ 141

6.1 โครงสร้างของระบบควบคุมการลัดประตูรถยนต์อัตโนมัติ	142
6.2 การทำงานของระบบควบคุมการลัดประตูรถยนต์อัตโนมัติ	146
6.3 การตรวจสอบระบบควบคุมการลัดประตูรถยนต์อัตโนมัติ	153
6.4 การวิเคราะห์ปัญหาข้อขัดข้องของระบบควบคุมการลัดประตูรถยนต์อัตโนมัติ	159

บทที่ 7 ระบบไฟหน้ารถยนต์แบบยกเปิดและดึงลงปิดอัตโนมัติ 160

7.1 ส่วนประกอบและการทำงานของระบบไฟหน้ารถยนต์แบบยกเปิดและดึงลงปิดอัตโนมัติ	160
7.2 ไดอะแกรมแสดงวงจรไฟฟ้าของระบบไฟหน้ารถยนต์แบบยกเปิดและดึงลงปิดอัตโนมัติ	166
7.3 การทำงานของระบบไฟหน้ารถยนต์แบบยกเปิดและดึงลงปิดอัตโนมัติ	168
7.4 การตรวจสอบระบบไฟหน้ารถยนต์แบบยกเปิดและดึงลงปิดอัตโนมัติ (TOYOTA SUPRA)	173
7.5 สาเหตุข้อขัดข้องของระบบไฟหน้ารถยนต์แบบยกเปิดและดึงลงปิดอัตโนมัติ	177

บทที่ 8 ระบบควบคุมการเปลี่ยนแปลงองศาการเปิดและปิดของลิ้นด้วยอิเล็กทรอนิกส์ 179

- 8.1 องศาการเปิดและปิดของลิ้นไอดีและลิ้นไอเสีย 180
- 8.2 กลไกที่สำคัญของเครื่องยนต์ระบบ VTEC 182
- 8.3 ส่วนประกอบของระบบการทำงานของเครื่องยนต์ระบบ VTEC 184
- 8.4 โค้ดวิเคราะห์ปัญหาข้อขัดข้องของเครื่องยนต์ระบบ VTEC 188
- 8.5 การตรวจสอบการทำงานของเครื่องยนต์ระบบ VTEC 190

บทที่ 9 ระบบป้องกันการสตาร์ทเครื่องยนต์ 193

- 9.1 ส่วนประกอบของระบบป้องกันการสตาร์ทเครื่องยนต์ 194
- 9.2 หน้าที่ของคอมพิวเตอร์ในระบบป้องกันการสตาร์ทเครื่องยนต์ 197
- 9.3 วิธีการบันทึกโค้ดและการลบโค้ดสัญญาณ 197
- 9.4 การวิเคราะห์ปัญหาข้อขัดข้องของระบบป้องกันการสตาร์ทเครื่องยนต์ 199
- 9.5 การตรวจสอบส่วนประกอบของระบบป้องกันการสตาร์ทเครื่องยนต์ (TOYOTA CORONA) 201

บทที่ 10 ระบบควบคุมการเปิด/ปิดไฟแสงสว่างอัตโนมัติ 204

- 10.1 โครงสร้างและการทำงานของระบบควบคุมการเปิด/ปิดไฟแสงสว่างอัตโนมัติ 205
- 10.2 ไดอะแกรมวงจรของระบบควบคุมการเปิด/ปิดไฟแสงสว่างอัตโนมัติ 206
- 10.3 การทำงานของสวิตช์ควบคุมไฟแสงสว่างในตำแหน่ง AUTO 208
- 10.4 การตรวจสอบระบบควบคุมการเปิด/ปิดไฟแสงสว่างอัตโนมัติ 213

บทที่ 11 ระบบเลื่อนเปิดและปิดหลังคาปรับแสงสว่างอัตโนมัติ 215

- 11.1 โครงสร้างและการทำงานของระบบเลื่อนเปิดและปิดหลังคาปรับแสงสว่างอัตโนมัติ 215
- 11.2 ไดอะแกรมแสดงวงจรไฟฟ้าของระบบเลื่อนเปิดและปิดหลังคาปรับแสงสว่างอัตโนมัติ 218
- 11.3 การทำงานของระบบเลื่อนเปิดและปิดหลังคาปรับแสงสว่างอัตโนมัติ 218
- 11.4 การตรวจสอบระบบเลื่อนเปิดและปิดหลังคาปรับแสงสว่างอัตโนมัติ (TOYOTA CELICA) 222
- 11.5 การวิเคราะห์ปัญหาข้อขัดข้องของระบบเลื่อนเปิดและปิดหลังคาปรับแสงสว่างอัตโนมัติ 226

บทที่ 12 ระบบฉีดเชื้อเพลิงแก๊สโซลีนควบคุมด้วยอิเล็กทรอนิกส์ 227

12.1	คุณลักษณะเฉพาะของระบบฉีดเชื้อเพลิงแก๊สโซลีนควบคุมด้วยอิเล็กทรอนิกส์	228
12.2	ชนิดของระบบฉีดเชื้อเพลิงแก๊สโซลีนควบคุมด้วยอิเล็กทรอนิกส์	230
12.3	โครงสร้างพื้นฐานของระบบฉีดเชื้อเพลิงแก๊สโซลีนควบคุมด้วยอิเล็กทรอนิกส์	231
12.4	ระบบน้ำมันเชื้อเพลิง	232
12.5	ระบบประจุอากาศ	245
12.6	ระบบควบคุมด้วยอิเล็กทรอนิกส์	252
12.7	หน้าที่ของคอมพิวเตอร์ในการควบคุมการฉีดเชื้อเพลิง	273
12.8	การจุดระเบิดล่วงหน้าด้วยอิเล็กทรอนิกส์ (ESA)	280
12.9	หน้าที่ของคอมพิวเตอร์ในการควบคุมการจุดระเบิดล่วงหน้าด้วยอิเล็กทรอนิกส์	285
12.10	การควบคุมความเร็วรอบเดินเบา	287
12.11	หน้าที่ของคอมพิวเตอร์ในการควบคุมลิ้นควบคุมรอบเดินเบา	292
12.12	หน้าที่ของคอมพิวเตอร์ในระบบทำงานสำรอง	293
12.13	หน้าที่ของคอมพิวเตอร์ในการป้องกันการทำงานบกพร่อง	294
12.14	ระบบการวิเคราะห์ปัญหาข้อขัดข้องของเครื่องยนต์	294
12.15	ไค์ตรีเคราะห์ปัญหาข้อขัดข้อง	295
12.16	สัญลักษณ์ชั่วคราวที่กล่องคอมพิวเตอร์	299
12.17	การตรวจสอบระบบเชื้อเพลิง (4A-FE)	301
12.18	การตรวจสอบระบบประจุอากาศ	312
12.19	การตรวจสอบระบบควบคุมด้วยอิเล็กทรอนิกส์	316
12.20	การปรับตั้งองศาการจุดระเบิดและรอบเดินเบาของเครื่องยนต์ฉีดเชื้อเพลิงแก๊สโซลีนควบคุมด้วยอิเล็กทรอนิกส์	324

ภาคผนวก ก. 326

ภาคผนวก ข. 331

วงจรไฟฟ้าของระบบที่ควบคุมด้วยอิเล็กทรอนิกส์ของรถยนต์ในรุ่นต่างๆ 334

บรรณานุกรม 380



หลักการอิเล็กทรอนิกส์เบื้องต้น

ในปัจจุบันนี้อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ได้เข้ามามีบทบาทแทนอุปกรณ์ทางด้านกลไกมากขึ้น โดยได้เข้ามาแทนที่อุปกรณ์ทางด้านกลไกในบางส่วนหรือแทนที่ทั้งหมด ซึ่งอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์เป็นอุปกรณ์ที่พัฒนาการโดยการนำไฟฟ้าผ่านสุญญากาศ ก๊าซ หรือสารกึ่งตัวนำ แต่สิ่งหนึ่งที่เห็นได้อย่างชัดเจนก็คืออุปกรณ์นั้นมีขนาดที่กะทัดรัด มีประสิทธิภาพในการทำงาน และมีความแม่นยำสูง

ดังนั้นรถยนต์ในปัจจุบันจึงได้มีการพัฒนาการโดยการนำเอาอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์เข้ามาใช้ในวงจรควบคุมการทำงานของระบบต่างๆ ของรถยนต์ เช่น ระบบอำนวยความสะดวก ระบบความปลอดภัย ระบบควบคุมการทำงานของเครื่องยนต์ ทั้งนี้ก็เพื่อเป็นการสร้างความมั่นใจให้กับผู้ขับขี่ซึ่งมีสูงกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับอุปกรณ์ทางด้านกลไก เพราะฉะนั้นเราจึงควรศึกษาถึงโครงสร้างและรายละเอียดของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์เพื่อที่จะได้เข้าใจถึงการทำงานของวงจรไฟฟ้าในระบบต่างๆ

1.1 สารกึ่งตัวนำ

สารกึ่งตัวนำ (semiconductors) เป็นสารที่มีความต้านทานทางด้านไฟฟ้าสูงกว่าสารที่เป็นตัวนำ แต่ต่ำกว่าฉนวน (10 ถึง 10 โอห์มต่อเซนติเมตร)

สารกึ่งตัวนำมีคุณสมบัติดังนี้คือ

1. จะเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานที่ตัวมันเมื่อมีแสงมาตกกระทบที่ตัวมัน
2. จะสามารถเปล่งแสงออกมาได้เมื่อมีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านที่ตัวมัน
3. จะเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานไฟฟ้าไปเมื่อมีอุณหภูมิที่สูงขึ้น
4. เมื่อเติมสารบางชนิดกับตัวมัน จะทำให้มีคุณสมบัติในการเป็นตัวนำไฟฟ้าเพิ่มขึ้น

สารกึ่งตัวนำที่นิยมใช้กันโดยทั่วไปจะมีอยู่ 2 ชนิดก็คือ เจอร์เมเนียม (Ge) และซิลิคอน (Si) สารกึ่งตัวนำทำจากสาร 2 ชนิดคือ

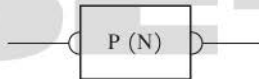
1. **สาร N (N-type)** ประกอบด้วยซิลิคอนหรือเจอร์เมเนียมเป็นหลัก ซึ่งถูกเติมด้วยสารหนู (As) หรือพลวง (Sb) ในปริมาณเล็กน้อย เพื่อให้มันมีอิเล็กตรอนอิสระและเป็นประจุลบ

2. **สาร P (P-type)** ประกอบด้วยซิลิคอนหรือเจอร์เมเนียมเป็นหลัก และถูกเติมด้วย แกลเลียม (Ga) หรืออินเดียม (In) เพื่อให้มันสามารถที่จะรับอิเล็กตรอนที่ขาดหายไปได้และเป็นประจุบวก

1.1.1 การเชื่อมต่อของสารกึ่งตัวนำ (semiconductor junction)

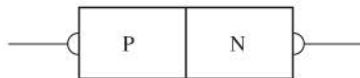
สารกึ่งตัวนำจะมีการเชื่อมต่อเข้าด้วยกันอยู่หลายแบบ ซึ่งการเชื่อมต่อในแต่ละแบบก็จะมีคุณสมบัติที่แตกต่างกัน แต่ทั้งนี้ก็จะขึ้นอยู่กับลักษณะของการนำไปใช้งานเพื่อให้ได้ประโยชน์สูงสุด การเชื่อมต่อสารกึ่งตัวนำมี 3 ชนิดคือ

1. **สารกึ่งตัวนำแบบไม่มีการเชื่อมต่อ (junctionless semiconduction)** แสดงดังรูปที่ 1.1 จะประกอบด้วยสารชนิด P หรือสารชนิด N เพียงอย่างเดียว ไม่มีการเชื่อมต่อเข้าด้วยกัน เช่น เทอร์มิสเตอร์ ซึ่งจะเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานไปตามการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ



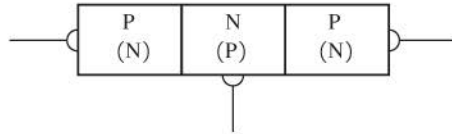
รูปที่ 1.1 สารกึ่งตัวนำแบบไม่มีการเชื่อมต่อ

2. **สารกึ่งตัวนำแบบเชื่อมต่อเดียว (single junction semiconduction)** แสดงดังรูปที่ 1.2 สารกึ่งตัวนำชนิดนี้จะนำเอาสารกึ่งตัวนำ P กับ N มาเชื่อมต่อกัน เช่น ไดโอด ทำให้ไดโอดจะแปลงกระแสไฟฟ้าและยอมให้กระแสไฟฟ้าไหลผ่านในทิศทางเดียว



รูปที่ 1.2 สารกึ่งตัวนำแบบการเชื่อมต่อเดียว

3. **สารกึ่งตัวนำแบบเชื่อมต่อคู่ (dual junction semiconductions)** แสดงดังรูปที่ 1.3 การเชื่อมต่อแบบนี้จะใช้กับทรานซิสเตอร์ ซึ่งก็มีอยู่ 2 ชนิดก็คือ ทรานซิสเตอร์แบบ NPN กับ ทรานซิสเตอร์แบบ PNP



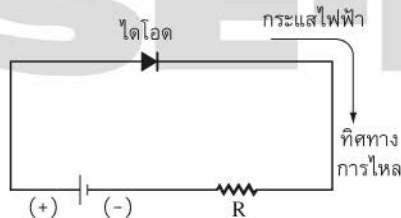
รูปที่ 1.3 สารกึ่งตัวนำแบบเชื่อมต่อคู่

1.1.2 ไดโอด

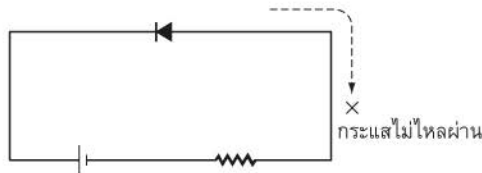
ไดโอด (diode) เกิดจากการนำเอาสารกึ่งตัวนำ N กับ P มาเชื่อมต่อเข้าด้วยกัน ไดโอดมีหลายชนิดด้วยกันคือ

1. ไดโอดแปลงกระแสไฟฟ้า (ไดโอดธรรมดา) จะยอมให้กระแสไฟฟ้าไหลผ่านตัวมันไปได้เมื่อป้อนแรงดันจากด้าน P ไปยังด้าน N (ป้อนแรงเคลื่อนไฟฟ้าตาม) แต่มันจะไม่ยอมให้กระแสไฟฟ้าไหลผ่านมันเมื่อป้อนแรงเคลื่อนไฟฟ้าจากด้าน N ไปยังด้าน P (ป้อนแรงเคลื่อนไฟฟ้าย้อนกลับ) ซึ่งก็จะเห็นได้ว่าไดโอดจะยอมให้กระแสไฟฟ้าไหลผ่านได้เพียงด้านเดียว ดังแสดงในรูปที่ 1.4

แต่ถ้าป้อนแรงเคลื่อนไฟฟ้าย้อนกลับ ก็จะมีกระแสไฟฟ้าจำนวนหนึ่งที่ไหลผ่านได้ ดังนั้นถ้ามีมากเกินไปก็จะทำให้ไดโอดเกิดการเสียหาย ซึ่งเราเรียกจุดนี้ว่า จุดไดโอดพังทลาย



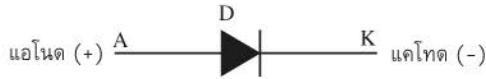
(ก) การต่อไดโอดที่ทำให้กระแสไฟฟ้าไหลผ่าน



(ข) การต่อไดโอดที่ไม่ทำให้กระแสไฟฟ้าไหลผ่าน

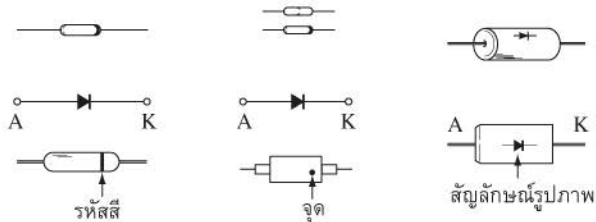
รูปที่ 1.4 การไหลของกระแสไฟฟ้าเมื่อให้กระแสไฟไหลผ่านในทิศทางที่แตกต่างกัน

ไดโอดทางด้าน P จะใช้สัญลักษณ์แทนด้วยตัว A หรือเรียกว่าขั้วแอนอด เป็นขั้วบวก (+) และด้าน N จะใช้สัญลักษณ์แทนด้วย K หรือเรียกว่าแคโทด เป็นขั้วลบ (-) ดังแสดงในรูปที่ 1.5



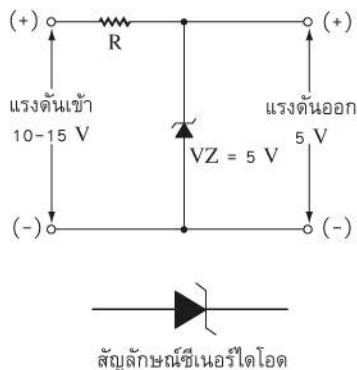
รูปที่ 1.5 สัญลักษณ์ของไดโอด

ไดโอดที่นิยมใช้กันอยู่มีหลายแบบด้วยกัน ซึ่งแต่ละแบบนี้จะแสดงทิศทางกระแสของกระแสไฟฟ้าที่แตกต่างกันด้วยสี โค้ดจุด หรือรูปภาพ เป็นต้น ดังแสดงในรูปที่ 1.6



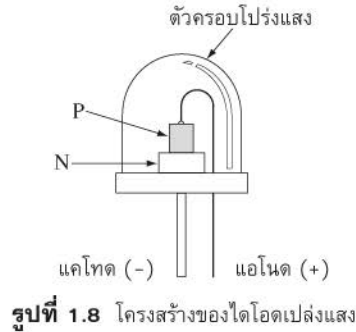
รูปที่ 1.6 แสดงโค้ดบอกตัวของไดโอด

2. ซีเนอร์ไดโอด (zener diode) มีลักษณะการทำงานที่เหมือนกับไดโอดธรรมดา คือให้กระแสไฟไหลผ่านได้เพียงทางเดียว แต่จะแตกต่างกันตรงที่เมื่อเกิดแรงดันย้อนกลับสูงกว่าจุดแรงดันพังทลาย มันจะยอมให้กระแสไฟไหลย้อนกลับผ่านตัวมันไปได้ เช่น กระแสไฟจะไหลจากขั้ว A ไปยังขั้ว K แต่เมื่อมีแรงดันจากขั้ว K ไปยังขั้ว A เกินกว่าจุดพังทลายของมัน (ซีเนอร์ไดโอดค่า 12 โวลต์ แต่เมื่อมีแรงดันย้อนกลับ 13 โวลต์ มันก็จะยอมให้กระแสไฟไหลผ่านขั้ว K ไปยังขั้ว A ได้) ในรูปที่ 1.7 แสดงสัญลักษณ์ซีเนอร์ไดโอดและการต่อซีเนอร์ไดโอดใช้งาน



รูปที่ 1.7 สัญลักษณ์ซีเนอร์ไดโอดและการต่อซีเนอร์ไดโอดใช้งาน

3. ไดโอดเปล่งแสง (light emitting diode หรือ LED) ดังแสดงในรูปที่ 1.8 เป็นไดโอดที่มีการเชื่อมต่อแบบ PN ซึ่งจะเปล่งแสงออกมาเมื่อมีกระแสไหลผ่านตัวมัน ข้อดีของไดโอดเปล่งแสงก็คือ ทำงานที่แรงเคลื่อนต่ำมาก (ประมาณ 3 โวลต์) ไม่สิ้นเปลืองพลังงาน มีอายุการใช้งานนาน และมีอุณหภูมิต่ำในขณะที่ทำงาน ในรูปที่ 1.9 แสดงวงจรและสัญลักษณ์ของไดโอดเปล่งแสง

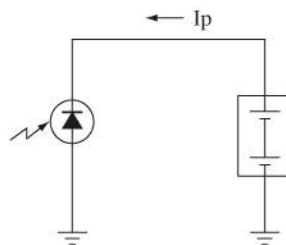


รูปที่ 1.8 โครงสร้างของไดโอดเปล่งแสง

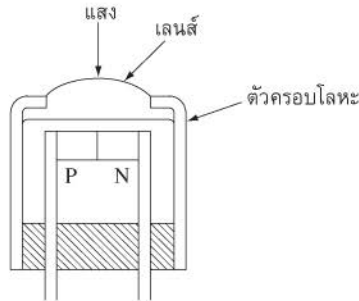


รูปที่ 1.9 วงจรและสัญลักษณ์ของไดโอดเปล่งแสง

4. โฟโตไดโอด (photo diode) การทำงานของโฟโตไดโอดก็คือ เมื่อป้อนแรงเคลื่อนไฟฟ้าย้อนกลับให้กับโฟโตไดโอด ตัวไดโอดก็จะยอมให้กระแสไฟฟ้าไหลย้อนกลับผ่านตัวมันไปได้ ดังนั้นปริมาณของกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวโฟโตไดโอดก็จะขึ้นอยู่กับปริมาณของแสงที่ตกกระทบบนโฟโตไดโอด ในรูปที่ 1.10 เป็นสัญลักษณ์ของโฟโตไดโอด ส่วนในรูปที่ 1.11 เป็นโครงสร้างของโฟโตไดโอด



รูปที่ 1.10 สัญลักษณ์ของโฟโตไดโอด

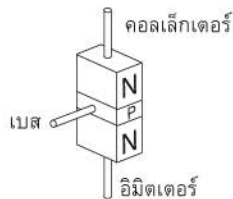


รูปที่ 1.11 โครงสร้างของโฟโตไดโอด

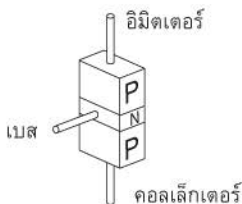
1.1.3 ทรานซิสเตอร์

ทรานซิสเตอร์ (transistor) ที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบันมีอยู่หลายชนิดด้วยกัน แต่ในที่นี้จะอธิบายเฉพาะทรานซิสเตอร์ที่นำมาใช้งานกับรถยนต์เท่านั้น ซึ่งก็มีอยู่ 2 แบบด้วยกันก็คือ ทรานซิสเตอร์แบบธรรมดา กับ โฟโตทรานซิสเตอร์

1. ทรานซิสเตอร์แบบธรรมดา มีอยู่ 2 แบบก็คือแบบ PNP และแบบ NPN ทรานซิสเตอร์แบบ PNP จะประกอบด้วยสารกึ่งตัวนำชนิด N และ P ส่วนทรานซิสเตอร์แบบ NPN จะประกอบด้วยสารกึ่งตัวนำชนิด P ประกอบด้วยสารกึ่งตัวนำชนิด N สารกึ่งตัวนำทั้งสองจะนำมาต่อกันเป็นทรานซิสเตอร์ โดยมีขั้วต่อออกมาและมีชื่อเรียกเฉพาะ ดังแสดงในรูปที่ 1.12



(ก) ทรานซิสเตอร์แบบ NPN

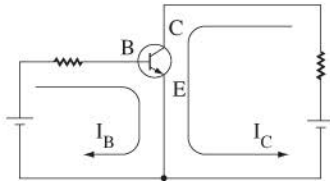


(ข) ทรานซิสเตอร์แบบ PNP

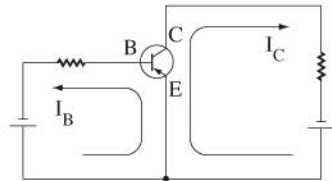
รูปที่ 1.12 การต่อสารกึ่งตัวนำให้เป็นทรานซิสเตอร์แบบ NPN และแบบ PNP

หลักการทำงานของทรานซิสเตอร์ เมื่อมีกระแสไฟฟ้า I_B ไหลจากขาเบสไปยังขาอิมิตเตอร์ของทรานซิสเตอร์แบบ NPN จะทำให้เกิดการไหลของกระแส I_C จากคอลเล็กเตอร์ไปยังขาอิมิตเตอร์ ดังแสดงในรูปที่ 1.13 (ก)

เมื่อมีกระแสไฟฟ้า I_B ไหลจากขาอิมิตเตอร์ไปยังขาเบสของทรานซิสเตอร์แบบ PNP จะทำให้เกิดการไหลของกระแส I_C จากขาอิมิตเตอร์ไปยังขาคอลเล็กเตอร์ ดังแสดงในรูปที่ 1.13 (ข)



(ก) ทรานซิสเตอร์แบบ NPN

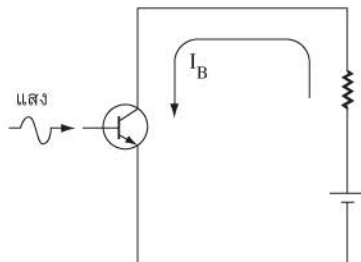


(ข) ทรานซิสเตอร์แบบ PNP

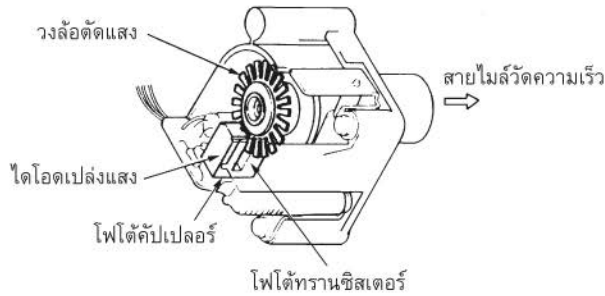
รูปที่ 1.13 วงจรการทำงานของทรานซิสเตอร์แบบ NPN และแบบ PNP

ทรานซิสเตอร์ทั้งสองแบบ กระแสไฟฟ้าจากเบส I_B จะไหลเพียงเล็กน้อย ซึ่งก็จะสามารถทำให้กระแสไฟคอลเล็กเตอร์ไหลได้จำนวนมาก คือสามารถไหลได้ถึง 10 ถึง 100 เท่าของกระแสเบส

2. โฟโตทรานซิสเตอร์ (photo transistor) ดังแสดงในรูปที่ 1.14 มีคุณสมบัติในการทำงานดังนี้ คือเมื่อมีแสงมาตกกระทบยังโฟโตทรานซิสเตอร์ มันจะเปลี่ยนแสงให้เป็นสัญญาณทางไฟฟ้า ทำให้เกิดการไหลของกระแสเบส I_B เกิดขึ้น ตัวอย่างการนำโฟโตทรานซิสเตอร์มาใช้งานในรถยนต์ เช่น เซนเซอร์วัดรอบของเครื่องยนต์ ดังแสดงในรูปที่ 1.15



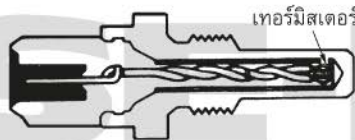
รูปที่ 1.14 สัญลักษณ์และการไหลของกระแสไฟฟ้าในวงจรไฟฟ้าที่ติดตั้งโฟโตทรานซิสเตอร์



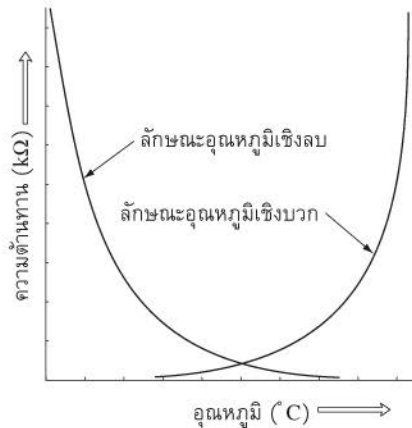
รูปที่ 1.15 การนำไฟโตะทรานซิสเตอร์มาใช้ในเซนเซอร์วัดรอบเครื่องยนต์ร่วมกับไดโอดเปล่งแสง (LED)

1.1.4 เทอร์มิสเตอร์

เทอร์มิสเตอร์ (thermistor) ดังแสดงในรูปที่ 1.16 เป็นอุปกรณ์ที่มีค่าความต้านทานทางด้านไฟฟ้าที่จะเปลี่ยนแปลงไปตามการเปลี่ยนแปลงไปของอุณหภูมิ ในรูปที่ 1.17 เป็นกราฟแสดงคุณสมบัติต่ออุณหภูมิของเทอร์มิสเตอร์



รูปที่ 1.16 ภาพตัดของเซนเซอร์อุณหภูมินำหล่อเย็นและสัญลักษณ์ของเทอร์มิสเตอร์



รูปที่ 1.17 กราฟแสดงคุณสมบัติต่ออุณหภูมิของเทอร์มิสเตอร์

เทอร์มิสเตอร์ทำจากโลหะประเภทนิกเกิลออกไซด์ โคบอลต์ แมงกานีส เหล็ก และทองแดงหลอมเข้าด้วยกันที่อุณหภูมิสูง

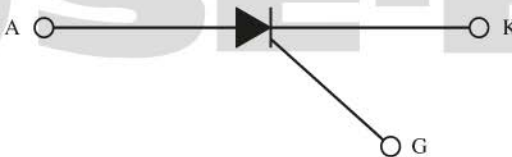
เทอร์มิสเตอร์ที่ใช้กับรถยนต์มีอยู่ 2 แบบด้วยกันคือ

1. **เทอร์มิสเตอร์แบบมีค่าสัมประสิทธิ์ทางความร้อนเป็นลบ** เป็นแบบที่ความต้านทานจะมีค่าลดลงเมื่อมีอุณหภูมิเพิ่มขึ้น

2. **เทอร์มิสเตอร์แบบมีค่าสัมประสิทธิ์ทางความร้อนเป็นบวก** เป็นแบบที่ความต้านทานจะมีค่าเพิ่มมากขึ้นเมื่อมีอุณหภูมิเพิ่มขึ้น

1.1.5 ไทริสเตอร์

ไทริสเตอร์ (thyristor) ทำหน้าที่เป็นสวิตช์ปิดและเปิด ทำจากสารกึ่งตัวนำประเภทซิลิคอน บางที่เราเรียกไทริสเตอร์ว่า SCR (silicon-controlled rectifier) มันจะประกอบด้วยแอโนด (A) แคโทด (K) และเกต (G) ดังแสดงในรูปที่ 1.18 เมื่อมีแรงเคลื่อนไฟฟ้าไปกระตุ้นที่เกตของไทริสเตอร์ ก็จะทำให้เกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้าไหลระหว่างขั้วแอโนดและแคโทดขึ้น แต่อย่างไรก็ตาม แรงเคลื่อนไฟฟ้าที่ไหลระหว่างขั้วทั้งสองจะยังคงถูกรักษาไว้แม้ว่าจะไม่มีแรงเคลื่อนไฟฟ้าไปกระตุ้นที่ขาเกตก็ตาม แต่แรงเคลื่อนไฟฟ้าระหว่างขั้วทั้งสองที่ถูกตัดทางขั้วแอโนดก็จะลดลงจนถึงศูนย์

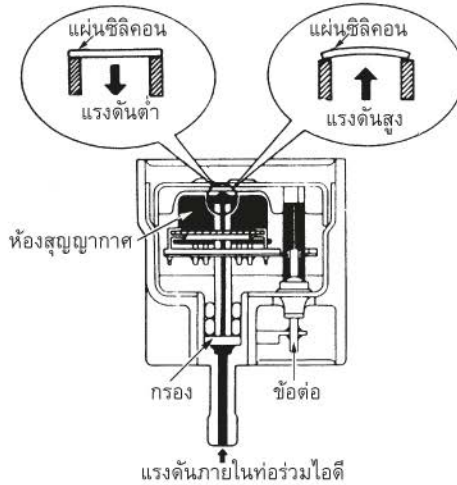


รูปที่ 1.18 สัญลักษณ์ของไทริสเตอร์

1.1.6 ผลึกแร่

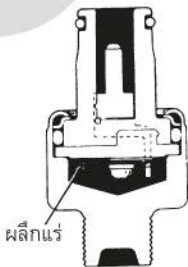
ผลึกแร่ (piezoelectric element) เป็นผลึกที่ทำจากสารกึ่งตัวนำชนิดพิเศษ ซึ่งก็มีอยู่ 2 แบบคือ

1. **แบบค่าความต้านทานที่เปลี่ยนแปลงไป** จะทำงานได้ต่อเมื่อมีแรงดันมากระทำบนแผ่นซิลิคอนของฉนักแร่ ทำให้แผ่นซิลิคอนเกิดการเปลี่ยนแปลงรูปทรงและค่าความต้านทาน ซึ่งก็จะเปลี่ยนแปลงไปตามมุมของรูปทรงการเปลี่ยนแปลงของแผ่นซิลิคอน ค่าความต้านทานที่เปลี่ยนแปลงไปนี้จะถูกทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณแรงเคลื่อนไฟฟ้าโดยไอซีซึ่งติดตั้งอยู่ภายในของเซนเซอร์สัญญาณที่ติดตั้งในเครื่องยนต์ EFI แบบ D ดังแสดงในรูปที่ 1.19

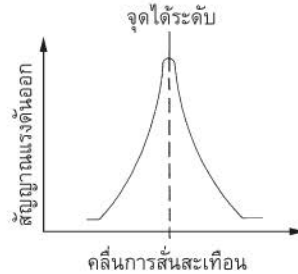


รูปที่ 1.19 ผลึกแร่แบบค่าความต้านทานเปลี่ยนแปลงไปเมื่อได้รับแรงดันหรือแรงดึงเพิ่มขึ้น

2. แบบผลิตแรงเคลื่อนไฟฟ้าออกมาได้ จะทำงานเมื่อเกิดการสั่นสะเทือนขึ้น ก็เลยเปลี่ยนแปลงเป็นแรงเคลื่อนไฟฟ้าออกมา ผลึกแร่แบบนี้ได้ถูกนำมาใช้ในฮ็อกเซนเซอร์ของเครื่องยนต์ ดังแสดงในรูปที่ 1.20



(ก) แสดงภาพตัด



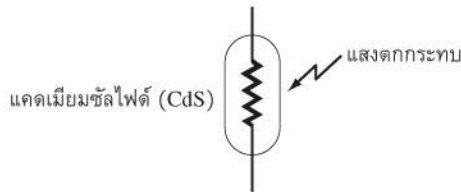
(ข) คุณสมบัติของสัญญาณออก

รูปที่ 1.20 ผลึกแร่แบบผลิตแรงเคลื่อนไฟฟ้าออกมาได้เมื่อเกิดการสั่นสะเทือน

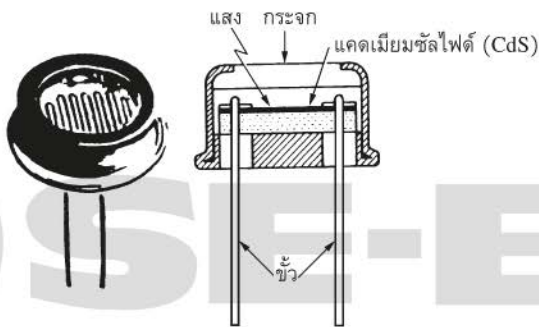
1.1.7 เซลล์เหนี่ยวนำด้วยแสง

เซลล์เหนี่ยวนำด้วยแสง (photoconductive cell) ดังแสดงในรูปที่ 1.21 และรูปที่ 1.22 ทำหน้าที่เหมือนโฟโตอิเล็กทริก โดยมันจะเปิดออกกับแสงและทำให้ความต้านทานภายในเปลี่ยนแปลงไปเมื่อมีแสงมาตกกระทบบที่ตัวมัน ดังนั้นเมื่อจ่ายแรงเคลื่อนไฟฟ้าให้กับขั้วของเซลล์ ก็จะทำให้

อัตราการไหลของแรงเคลื่อนไฟฟ้าที่ไหลผ่านเซลล์ผันแปรไปตามความต้านทานของเซลล์ตามปริมาณของแสงที่มากตกกระทบตัวมัน เซลล์เหนี่ยวนำด้วยแสงที่นำมาใช้กับรถยนต์จะทำหน้าที่เปิดและปิดไฟหน้ารถยนต์ในระบบควบคุมไฟแสงสว่างอัตโนมัติ



รูปที่ 1.21 สัญลักษณ์ของเซลล์เหนี่ยวนำด้วยแสง



รูปที่ 1.22 ภาพตัดของเซลล์เหนี่ยวนำด้วยแสง

1.2 วงจรรวม

วงจรรวม (integrated circuit หรือ IC's) หรือที่เรานิยมเรียกกันว่า *ตัวไอซี* ซึ่งโครงสร้างภายในของมันจะประกอบด้วยวงจรอิเล็กทรอนิกส์หลายๆ วงจรรวมเข้าด้วยกันไว้ในแผ่นซิลิคอนขนาดพื้นที่เพียงไม่กี่ตารางมิลลิเมตร และบรรจุไว้ในตัวถังเซรามิกหรือพลาสติก ดังแสดงในรูปที่ 1.23



รูปที่ 1.23 ภาพตัดแสดงวงจรรวมหรือไอซี

ด้วยเหตุนี้ไอซีหนึ่งตัวจึงสามารถที่จะนำไปใช้ในงานเปรียบเทียบลอจิกของสัญญาณ 2 สัญญาณหรือภาคขยายสัญญาณ

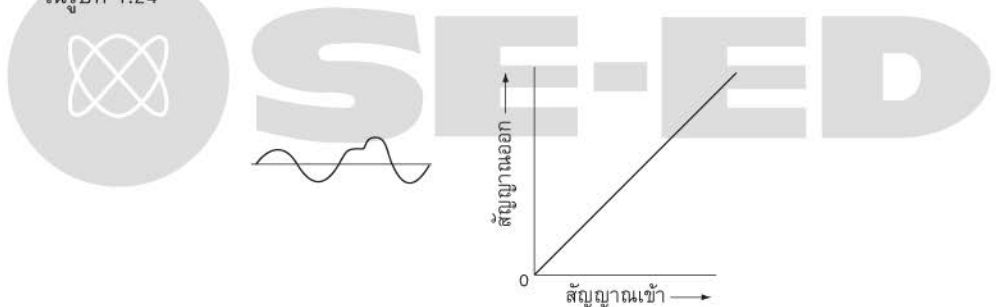
ไอซีมีข้อดีหรือประโยชน์ที่จะนำมาใช้งานดังนี้

1. สามารถบรรจุชิ้นส่วนจำนวนมากเข้าไปในแผ่นซิลิคอนเพียงแผ่นเล็กๆ แผ่นเดียวได้ ทำให้สามารถลดจุดเชื่อมต่อลงได้มาก และสามารถย่อขนาดของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ให้มีขนาดเล็กลง
2. ลดชิ้นส่วนที่จะต้องนำมาต่อเพิ่มเติมลงได้มาก
3. มีขนาดเล็ก และมีน้ำหนักเบา
4. ต้นทุนการผลิตที่ต่ำ

1.2.1 ประเภทของไอซี

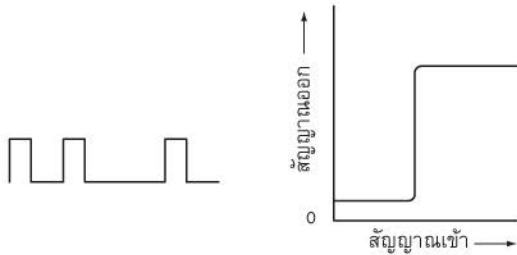
ไอซีที่นำมาใช้งานในวงจรอิเล็กทรอนิกส์แบ่งออกตามลักษณะของการใช้งานได้เป็น 2 แบบคือ

1. **ไอซีแบบแอนะล็อก** จะใช้งานกับสัญญาณไฟฟ้าแบบแอนะล็อกที่มีการเปลี่ยนแปลงอย่างต่อเนื่องและราบเรียบ คือสัญญาณที่ออกไปจะถูกเปลี่ยนแปลงไปตามสัญญาณที่ส่งเข้าไอซี ดังแสดงในรูปที่ 1.24



รูปที่ 1.24 สัญญาณไอซีแอนะล็อก

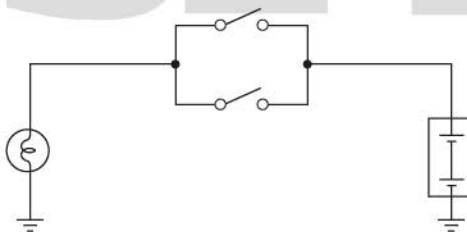
2. **ไอซีแบบดิจิตอล** จะมีลักษณะการทำงานของสัญญาณออกที่เปลี่ยนแปลงไปเป็นช่วงๆ ตามระยะเวลา (หยุดทำงานเป็นช่วงๆ) นั่นคือเมื่อมีสัญญาณเข้า (input) เพิ่มขึ้นจาก 0 โวลต์ถึง 5 โวลต์ สัญญาณออก (output) ก็ยังคงเริ่มจาก 0 โวลต์ และจะเพิ่มขึ้นไปที่ 5 โวลต์ในทันที แต่การแสดงของสัญญาณเข้าและสัญญาณออกของดิจิตอลโดยปกติจะให้หมายเลข 1 และ 0 เป็นเครื่องหมายแสดงความหมายของการทำงานและหยุดการทำงาน เพื่อสะดวกในการสื่อความหมาย ดังแสดงในรูปที่ 1.25



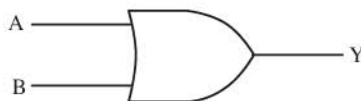
รูปที่ 1.25 แสดงสัญญาณดิจิทัล

ไอซีดิจิทัลประกอบด้วยวงจรลอจิกที่รวมเอาเกตหลายชนิดเข้าไว้ด้วยกัน โดยเกตแต่ละชนิดนี้จะมีคุณสมบัติในการนำสัญญาณเข้าตั้งแต่ 2 สัญญาณ และผลลัพธ์ของสัญญาณออกแตกต่างกันดังนี้

OR เกต (OR gate) เป็นวงจรที่ประกอบด้วยสารกึ่งตัวนำที่ทำหน้าที่เหมือนการต่อสวิตช์ไฟฟ้าสองตัวให้ขนานกัน ดังแสดงในรูปที่ 1.26 ซึ่งถ้าเพียงแต่เปิดสวิตช์ตัวหนึ่งตัวใดหรือพร้อมกันก็จะทำให้แรงเคลื่อนไฟฟ้าจ่ายเข้าสวิตช์ตัวเดียวหรือทั้งสองตัวพร้อมกัน ด้วยเหตุนี้เมื่อมีสัญญาณเข้า OR เกต หลอดไฟที่ต่อทางสัญญาณออกจะต้องติดเสมอ ดังนั้นในทางลอจิก สัญญาณที่ออกจาก OR เกต จะเป็น 1 เสมอ (ยกเว้นสัญญาณที่เข้า OR เกตทั้งสองจุดพร้อมกันมีค่าเป็น 0) ในรูปที่ 1.27 แสดงสัญลักษณ์ทางลอจิกของ OR เกต ส่วนในตารางที่ 1.1 แสดงค่าความเป็นจริงของ OR เกต



รูปที่ 1.26 วงจรกลไกของ OR เกต



รูปที่ 1.27 สัญลักษณ์ลอจิกของ OR เกต

ตารางที่ 1.1 ค่าความเป็นจริงของ OR เกต

สัญญาณเข้า		สัญญาณออก
A	B	Y
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	1

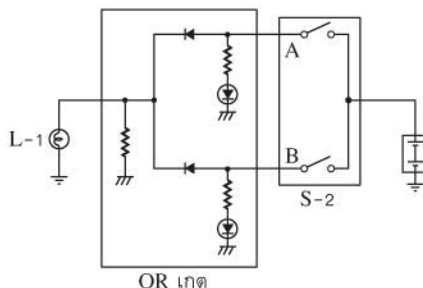
โครงสร้างและการทำงานของ OR เกต โครงสร้างภายในของ OR เกตประกอบด้วยสารกึ่งตัวนำหลายชนิดด้วยกัน ดังแสดงในรูปที่ 1.28 มีหลักการทำงานดังนี้

1. เมื่อน้ำสัมผัส A และ B ของสวิตช์ S-2 อยู่ในตำแหน่งปิด (OFF) กระแสไฟฟ้าจึงไม่ไหลไปยังหลอดไฟ L-1 ทำให้หลอดไฟ L-1 ไม่สว่าง ในทำนองเดียวกัน ถ้าสัญญาณเข้า OR เกตเป็น 0 และ 0 สัญญาณออกจึงต้องเป็น 0 ด้วย

2. เมื่อน้ำสัมผัส A ของสวิตช์ S-2 อยู่ในตำแหน่งปิด (OFF) ก็จะไม่มีการแสไฟฟ้าไหลผ่านน้ำสัมผัส A แม้ว่าน้ำสัมผัส B ของสวิตช์ S-2 จะอยู่ในตำแหน่งเปิด (ON) ก็ตาม กระแสไฟฟ้าก็จะไหลผ่านไปยังหลอดไฟ L-1 ได้ ซึ่งก็จะทำให้หลอดไฟสว่างขึ้น ในทำนองเดียวกัน ถ้าสัญญาณเข้า OR เกตเป็น 0 และ 1 สัญญาณออกจะต้องเป็น 1

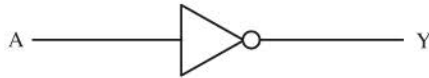
3. เมื่อน้ำสัมผัส A ของสวิตช์ S-2 อยู่ในตำแหน่งเปิด (ON) และน้ำสัมผัส B ของสวิตช์ S-2 อยู่ในตำแหน่งปิด (OFF) ซึ่งการทำงานในลักษณะนี้จะตรงกันข้ามกับข้อที่ 2 แรงเคลื่อนไฟฟ้าจะไหลผ่านน้ำสัมผัส A ของสวิตช์ S-2 ทำให้หลอดไฟ L-1 สว่างขึ้นได้เช่นกัน ในทำนองเดียวกัน ถ้าสัญญาณเข้า OR เกตเป็น 1 และ 0 สัญญาณออกก็จะเป็น 1

4. แต่ถ้าน้ำสัมผัส A และ B อยู่ในตำแหน่งเปิด (ON) เหมือนกัน กระแสไฟฟ้าก็จะไหลผ่านไปยังหลอดไฟ L-1 ทำให้หลอดไฟสว่างขึ้น ในทำนองเดียวกัน ถ้าสัญญาณเข้า OR เกตเป็น 1 และ 1 สัญญาณออกก็จะเป็น 1 เสมอ



รูปที่ 1.28 การทำงานของ OR เกตที่ประกอบด้วยอุปกรณ์ของสารกึ่งตัวนำ

NOT เกต (NOT gate) ประกอบด้วยวงจรอุปกรณ์ของสารกึ่งตัวนำซึ่งทำหน้าที่เปลี่ยนสัญญาณเข้าให้ตรงกันข้ามกับสัญญาณออก เช่น ถ้าป้อนลอจิกเข้าทางสัญญาณเข้าเป็น 1 สัญญาณออกจะเป็น 0 ดังนั้นสัญญาณออกจึงตรงกันข้ามกับสัญญาณเข้าเสมอ จากสาเหตุนี้จึงทำให้เราเรียก NOT เกตว่า *อินเวอร์เตอร์* ในรูปที่ 1.29 แสดงสัญลักษณ์ทางลอจิกของ NOT เกต และตารางที่ 1.2 แสดงค่าความเป็นจริงของ NOT เกต



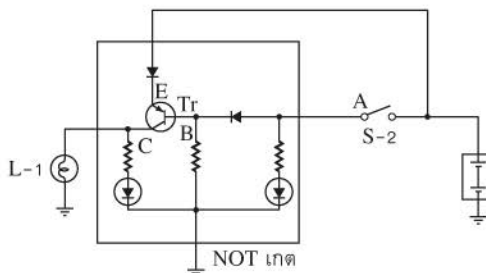
รูปที่ 1.29 สัญลักษณ์ทางลอจิกของ NOT เกต

ตารางที่ 1.2 ค่าความเป็นจริงของ NOT เกต

สัญญาณเข้า	สัญญาณออก
A	Y
0	1
1	0

โครงสร้างและการทำงานภายใน NOT เกต การทำงานของ NOT เกตแสดงดังรูปที่ 1.30 เมื่อหน้าสัมผัส A ของสวิตช์ S-2 อยู่ในตำแหน่งปิด (OFF) กระแสไฟฟ้าจากแบตเตอรี่จะไหลผ่านไดโอดไปยังขาคอมมิเตอร์ของทรานซิสเตอร์ Tr1 และไปยังขาเบสของทรานซิสเตอร์ กระแสไฟฟ้าจะไหลจากขาคอมมิเตอร์มายังขาเบสและลงกราวด์ ทำให้คอลเล็กเตอร์มีกระแสไหลไปยังหลอดไฟ L-1 หลอดไฟจึงสว่างขึ้น ในทำนองเดียวกัน ถ้าป้อนสัญญาณเข้า NOT เกตเป็น 0 สัญญาณออกก็จะเป็น 1

แต่เมื่อหน้าสัมผัส A ของสวิตช์ S-2 อยู่ในตำแหน่งเปิด (ON) ก็จะทำให้มีกระแสไฟฟ้าไหลไปที่ขาเบสของทรานซิสเตอร์ เป็นเหตุทำให้ทรานซิสเตอร์ Tr หยุดทำงาน และหลอดไฟ L-1 จะดับ ในทำนองเดียวกัน ถ้าสัญญาณเข้า NOT เกตเป็น 1 สัญญาณออกจึงต้องเป็น 0



รูปที่ 1.30 การทำงานของ NOT เกตซึ่งประกอบด้วยอุปกรณ์ของสารกึ่งตัวนำ

NOR เกต (NOR gate) เมื่อนำเอา OR เกตกับ NOT เกตรวมเข้าด้วยกัน ก็จะได้เกตตัวใหม่ขึ้นมาเรียกว่า NOR เกต ซึ่งมีการทำงานที่ตรงกันข้ามกับ OR เกต เพราะว่าสัญญาณออกของมันมี NOT เกตต่ออยู่ ดังแสดงในรูปที่ 1.31 NOR เกตจะให้สัญญาณออกเป็น 0 เสมอ ยกเว้นในกรณีที่สัญญาณเข้าทุกตัวเป็น 0 ในตารางที่ 1.3 แสดงค่าความเป็นจริงของ NOR เกต



รูปที่ 1.31 สัญลักษณ์ทางลอจิกของ NOR เกตซึ่งเป็นการรวมเอา OR เกตกับ NOT เกตเข้าด้วยกัน

ตารางที่ 1.3 ค่าความเป็นจริงของ NOR เกต

สัญญาณเข้า		สัญญาณออก
A	B	Y
0	0	1
0	1	0
1	0	0
1	1	0

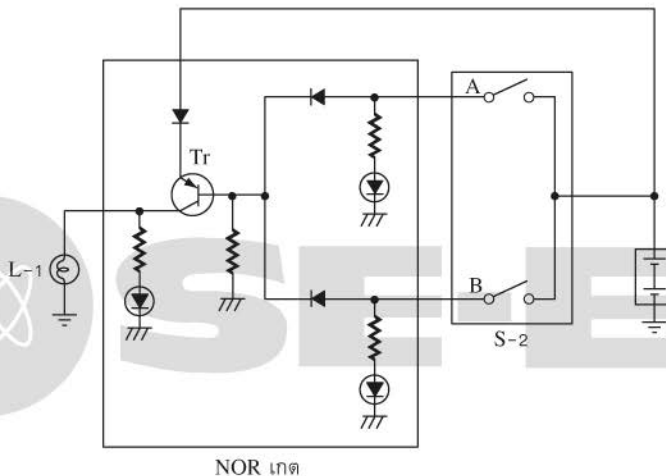
โครงสร้างและการทำงานภายในของ NOR เกต หลักการทำงานของ NOR เกตแสดงดังรูปที่ 1.32 มีรายละเอียดดังนี้

1. เมื่อหน้าสัมผัส A และ B ของสวิตช์ S-2 อยู่ในตำแหน่งปิด (OFF) จึงไม่มีกระแสไฟฟ้าไปที่ขาเบสของทรานซิสเตอร์ แต่กระแสไฟฟ้าจากแบตเตอรี่จะไหลผ่านไดโอดเข้าอิมิตเตอร์ของทรานซิสเตอร์มายังขาเบสลงกราวด์ ทำให้มีกระแสไหลจากขาอิมิตเตอร์ผ่านคอลเล็กเตอร์ไปยังหลอด L-1 ลงกราวด์ ทรานซิสเตอร์จะทำงานและหลอดไฟจะสว่างขึ้น ในทำนองเดียวกัน ถ้าป้อนสัญญาณเข้า NOR เกตเป็น 0 และ 0 สัญญาณออกจะต้องเป็น 1

2. ถ้าหน้าสัมผัส A ของสวิตช์ S-2 อยู่ในตำแหน่งปิด (OFF) หน้าสัมผัส B อยู่ในตำแหน่งเปิด (ON) กระแสไฟฟ้าจะไหลไปยังขาเบสของทรานซิสเตอร์ จากสาเหตุนี้จึงทำให้ทรานซิสเตอร์หยุดทำงาน และหลอดไฟ L-1 จะดับ ในทำนองเดียวกัน ถ้าผ่านสัญญาณเข้า NOR เกตเป็น 0 และ 1 ตามลำดับ สัญญาณออกจะเป็น 0

3. เมื่อหน้าสัมผัส A ของสวิตช์ S-2 อยู่ในตำแหน่งเปิด (ON) และหน้าสัมผัส B อยู่ในตำแหน่งปิด (OFF) กระแสไฟฟ้าจะไหลไปที่ขาเบสของทรานซิสเตอร์ จากสาเหตุนี้จึงทำให้ทรานซิสเตอร์หยุดทำงาน หลอดไฟ L-1 จึงไม่ติด ในทำนองเดียวกัน ถ้าสัญญาณเข้า NOR เกต เป็น 1 และ 0 สัญญาณออกจะเป็น 0

4. แต่เมื่อหน้าสัมผัส A และ B ของสวิตช์ S-2 อยู่ในตำแหน่งเปิด (ON) ทั้งคู่ ก็จะทำให้กระแสไฟฟ้าไหลไปที่ขาเบสของทรานซิสเตอร์ ดังนั้นจึงทำให้ทรานซิสเตอร์ไม่ทำงาน และหลอดไฟ L-1 จะไม่ติด ในทำนองเดียวกัน ถ้าป้อนลอจิกสัญญาณเข้า NOR เกตเป็น 1 และ 1 สัญญาณออกจะเป็น 0



รูปที่ 1.32 การทำงานของ NOR เกตซึ่งประกอบด้วยอุปกรณ์ของสารกึ่งตัวนำ

AND เกต (AND gate) ทำด้วยสารกึ่งตัวนำซึ่งทำหน้าที่เสมือนเป็นสวิตช์ที่ต่อกันแบบอนุกรม ซึ่งเมื่อทำงาน สวิตช์ทุกตัวอยู่ในตำแหน่งเปิด (ON) กระแสไฟฟ้าจะไหลผ่านในวงจรได้ ซึ่งก็ทำให้หลอดไฟสว่างขึ้น ดังนั้นถ้าป้อนสัญญาณลอจิกเข้า AND เกตเป็น 1 สัญญาณออกก็จะเป็น 1 เช่นกัน ดังแสดงในรูปที่ 1.33 และตารางที่ 1.4 แสดงค่าความเป็นจริงของ AND เกต



รูปที่ 1.33 สัญลักษณ์ลอจิกของ AND เกต

ตารางที่ 1.4 ค่าความเป็นจริงของ AND เกต

สัญญาณเข้า		สัญญาณออก
A	B	Y
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1

โครงสร้างและการทำงานภายในของ AND เกต โครงสร้างภายในของ AND เกต ประกอบด้วยสารกึ่งตัวนำหลายชนิด ดังแสดงในรูปที่ 1.34 มีหลักการการทำงานดังนี้

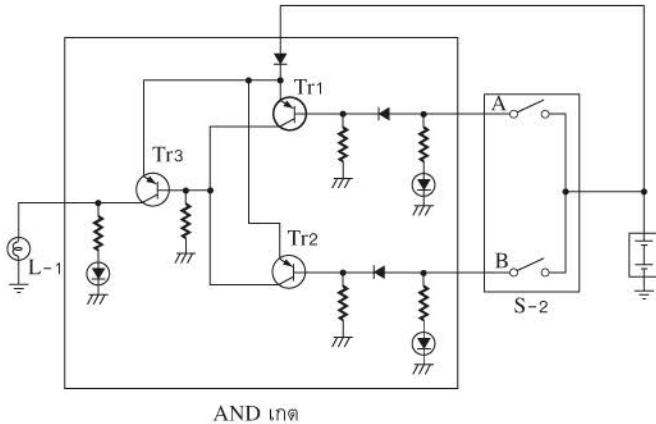
1. เมื่อหน้าสัมผัส A และ B ของสวิตช์ S-2 อยู่ในตำแหน่งปิด (OFF) ซึ่งก็จะทำให้ไม่มีกระแสไฟฟ้าไปที่ขาเบสของทรานซิสเตอร์ Tr1 และ Tr2 กระแสไฟฟ้าจากแบตเตอรี่จึงไหลผ่านอิมิตเตอร์ไปยังขาเบสและคอลเล็กเตอร์ของทรานซิสเตอร์ Tr1 และ Tr2 ลงกราวด์

เมื่อทรานซิสเตอร์ทั้งสองทำงาน ทำให้มีกระแสไฟฟ้าที่ขาเบสของทรานซิสเตอร์ Tr3 เป็นสาเหตุให้ทรานซิสเตอร์ Tr3 ไม่ทำงาน หลอดไฟ L-1 จึงไม่สว่าง ในทำนองเดียวกัน ถ้าป้อนสัญญาณลอจิกเข้า AND เกตทั้งสองจุดเป็น 0 สัญญาณออกจะมีค่าเป็น 0 เช่นกัน

2. เมื่อหน้าสัมผัส A ของสวิตช์ S-2 อยู่ในตำแหน่งปิด (OFF) และหน้าสัมผัส B อยู่ในตำแหน่งเปิด (ON) ก็จะทำให้ไม่มีกระแสไฟฟ้าไปที่ขาเบสของทรานซิสเตอร์ Tr1 ทรานซิสเตอร์ Tr1 จะทำงาน แต่อย่างไรก็ตาม เมื่อหน้าสัมผัส B อยู่ในตำแหน่งเปิด (ON) ก็จะมีกระแสไฟฟ้าจากแบตเตอรี่ไหลไปยังขาเบสของทรานซิสเตอร์ Tr2 เป็นสาเหตุให้ทรานซิสเตอร์ Tr2 ไม่ทำงาน แต่เมื่อทรานซิสเตอร์ Tr2 ไม่ทำงาน ก็จะไม่มีการส่งไฟฟ้าไหลผ่านไปยังขาเบสของทรานซิสเตอร์ Tr3 ด้วย สาเหตุนี้ทรานซิสเตอร์ Tr3 จึงไม่ทำงาน หลอดไฟ L-1 ก็จะไม่สว่าง ในทำนองเดียวกัน ถ้าป้อนสัญญาณลอจิกเข้า AND เกตเป็น 0 และ 1 สัญญาณออกก็จะเป็น 0

3. ในทางกลับกัน จากข้อที่ 2 ถ้าทรานซิสเตอร์ Tr1 หยุดทำงาน แต่ทรานซิสเตอร์ Tr2 ทำงาน ก็จะทำให้มีกระแสไฟฟ้าจากแบตเตอรี่ไหลผ่าน Tr2 ไปยังขาเบสของทรานซิสเตอร์ Tr3 เป็นสาเหตุให้ Tr3 ไม่ทำงาน และหลอดไฟ L-1 ไม่สว่าง ในทำนองเดียวกัน ถ้าป้อนสัญญาณลอจิกเข้า AND เกตเป็น 1 และ 0 สัญญาณออกจะเป็น 0

4. เมื่อหน้าสัมผัส A และหน้าสัมผัส B ของสวิตช์ S-2 อยู่ในตำแหน่งเปิด (ON) จะมีการส่งไฟฟ้าจากแบตเตอรี่ไหลไปยังขาเบสของทรานซิสเตอร์ Tr1 และ Tr2 ทำให้ทรานซิสเตอร์ทั้งสองไม่ทำงาน จากสาเหตุดังกล่าวจึงไม่มีการส่งไฟฟ้าไหลไปยังขาเบสของทรานซิสเตอร์ Tr3 ทำให้ทรานซิสเตอร์ Tr3 ทำงาน กระแสไฟฟ้าจากแบตเตอรี่จะไหลผ่านทรานซิสเตอร์ Tr3 ไปยังหลอดไฟ L-1 จึงทำให้หลอดไฟสว่างขึ้น ดังนั้นถ้าป้อนสัญญาณลอจิกเข้า AND เกตเป็น 1 และ 1 สัญญาณออกจะเป็น 1 เช่นกัน



รูปที่ 1.34 การทำงานของ AND เกตซึ่งประกอบด้วยอุปกรณ์ของสารกึ่งตัวนำ

NAND เกต (NAND gate) เป็นการรวมเอา AND เกตและ NOT เกตเข้าด้วยกัน ดังแสดงในรูปที่ 1.35 ด้วยเหตุนี้เมื่อมีสัญญาณเข้าเป็น 1 และ 0 สัญญาณออกจะเป็น 1 หรือถ้าสัญญาณเข้าทั้งคู่เป็น 0 สัญญาณออกจะเป็น 1 ตารางที่ 1.5 แสดงค่าความเป็นจริงของ NAND เกต



รูปที่ 1.35 สัญลักษณ์ลอจิกของ NAND เกต

ตารางที่ 1.5 ค่าความเป็นจริงของ NAND เกต

สัญญาณเข้า		สัญญาณออก
A	B	Y
0	0	1
0	1	1
1	0	1
1	1	0

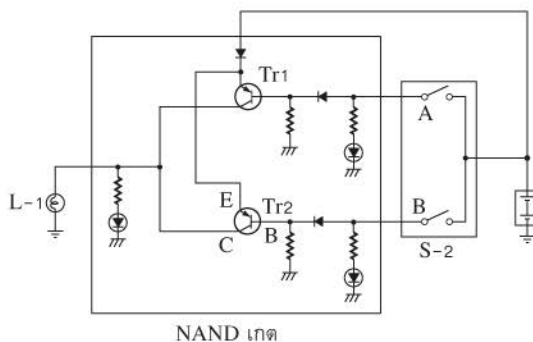
โครงสร้างและการทำงานภายในของ NAND เกต โครงสร้างภายในของ NAND เกต ประกอบด้วยสารกึ่งตัวนำหลายชนิด ดังแสดงในรูปที่ 1.36 มีหลักการทำงานดังนี้

1. เมื่อหน้าสัมผัส A และ B ของสวิตช์ S-2 อยู่ในตำแหน่งปิด (OFF) จึงไม่มีกระแสไฟฟ้าจากแบตเตอรี่ไหลไปยังขาเบสของทรานซิสเตอร์ Tr1 และ Tr2 แต่จะมีกระแสไฟฟ้าจากแบตเตอรี่ไหลผ่านอิมิตเตอร์ไปยังขาเบสและคอลเล็กเตอร์ของทรานซิสเตอร์ Tr1 และ Tr2 ทำงาน จากสาเหตุนี้จึงมีผลให้กระแสไฟฟ้าไหลผ่าน Tr1 และ Tr2 ไปยังหลอดไฟ L-1 ทำให้หลอดไฟสว่างขึ้น ในทำนองเดียวกัน ถ้ามีสัญญาณลอจิกเข้า NAND เกิดเป็น 0 และ 0 สัญญาณออกจะเป็น 1

2. เมื่อหน้าสัมผัส A ของสวิตช์ S-2 อยู่ในตำแหน่งปิด (OFF) และหน้าสัมผัส B อยู่ในตำแหน่งเปิด (ON) หน้าสัมผัส A จะไม่มีกระแสไฟฟ้าจ่ายไปยังขาเบสของทรานซิสเตอร์ Tr1 แต่จะมีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านอิมิตเตอร์ไปขาเบสและคอลเล็กเตอร์ของทรานซิสเตอร์ Tr1 ทำงาน และมีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านไปยังหลอดไฟ L-1 ทำให้สว่างขึ้น แต่เมื่อหน้าสัมผัส B ของสวิตช์ S-2 อยู่ในตำแหน่งเปิด (ON) กระแสไฟฟ้าจะถูกจ่ายไปยังขาเบสของทรานซิสเตอร์ Tr2 ทรานซิสเตอร์ Tr2 จะไม่ทำงาน ในทำนองเดียวกัน ถ้ามีสัญญาณลอจิกเข้า NAND เกิดเป็น 0 และ 1 สัญญาณออกจะเป็น 1

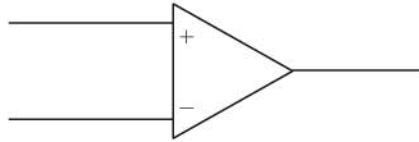
3. เมื่อหน้าสัมผัส A ของสวิตช์ S-2 อยู่ในตำแหน่งเปิด (ON) หน้าสัมผัส B อยู่ในตำแหน่งปิด (OFF) กระแสไฟฟ้าจะไหลจากแบตเตอรี่ผ่านหน้าสัมผัส A ไปยังขาเบสของทรานซิสเตอร์ Tr1 ทรานซิสเตอร์ Tr1 จึงไม่ทำงาน แต่เมื่อหน้าสัมผัส B ของสวิตช์ S-2 อยู่ในตำแหน่งปิด (OFF) จึงไม่มีกระแสไฟฟ้าจ่ายไปยังขาเบสของทรานซิสเตอร์ Tr2 แต่จะมีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านอิมิตเตอร์ไปขาเบสและคอลเล็กเตอร์ ทำให้ทรานซิสเตอร์ Tr2 ทำงาน กระแสไฟฟ้าจากแบตเตอรี่จึงไหลผ่านไปยังหลอดไฟ L1 เป็นสาเหตุให้หลอดไฟสว่างขึ้น ในทำนองเดียวกัน ถ้ามีสัญญาณลอจิกเข้า NAND เกิดเป็น 1 และ 0 สัญญาณออกจะเป็น 1

4. เมื่อหน้าสัมผัส A และ B ของสวิตช์ S-2 อยู่ในตำแหน่งเปิด (ON) กระแสไฟฟ้าจะถูกจ่ายไปยังขาเบสของทรานซิสเตอร์ Tr1 และ Tr2 ทำให้ทรานซิสเตอร์ทั้งสองไม่ทำงาน ซึ่งก็เป็นสาเหตุให้หลอดไฟ L-1 ไม่ติด ในทำนองเดียวกัน ถ้าสัญญาณลอจิกเข้า NAND เกิดเป็น 1 และ 1 สัญญาณออกจะเป็น 0



รูปที่ 1.36 การทำงานของ NAND เกตซึ่งประกอบด้วยอุปกรณ์ของสารกึ่งตัวนำหลายชนิด

คอมพาราเตอร์ (comparator) ทำหน้าที่เปรียบเทียบระหว่างสัญญาณเข้าทางบวก (+) กับสัญญาณเข้าทางลบ (-) ถ้าสัญญาณเข้าทางบวกมีมากกว่าสัญญาณเข้าทางลบ ก็จะทำให้สัญญาณออกมีสูง (1) ในทางตรงกันข้าม ถ้าสัญญาณเข้าทางบวก (+) มีน้อยกว่าสัญญาณที่เข้าทางลบ (-) สัญญาณออกจะต่ำ (0) ในรูปที่ 1.37 แสดงสัญลักษณ์ของคอมพาราเตอร์

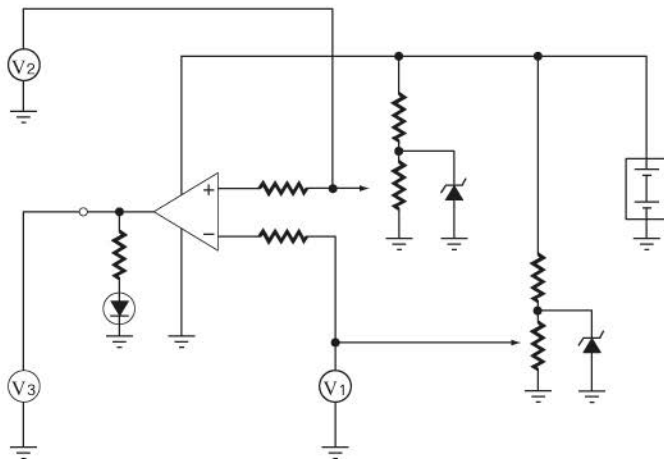


รูปที่ 1.37 สัญลักษณ์ของคอมพาราเตอร์

โครงสร้างและการทำงานของคอมพาราเตอร์ หลักการทำงานของคอมพาราเตอร์แสดงดังรูปที่ 1.38 มีรายละเอียดดังนี้

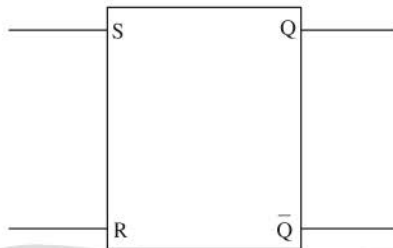
เมื่อมีแรงเคลื่อนไฟฟ้า 5 โวลต์จาก V_1 เข้าคอมพาราเตอร์ทางลบ (-) และถ้ามีแรงเคลื่อนไฟฟ้า 2 โวลต์ซึ่งต่ำกว่า 5 โวลต์จาก V_2 เข้าคอมพาราเตอร์ทางบวก (+)

ดังนั้นจึงทำให้สัญญาณออกจากคอมพาราเตอร์ไป V_3 ต่ำ ซึ่งเป็นสาเหตุให้หลอด LED ดับ แต่ในทางตรงกันข้าม ถ้าแรงเคลื่อนไฟฟ้าเข้าคอมพาราเตอร์ V_2 มากกว่า V_1 สัญญาณออกไปยัง V_3 จะสูง หลอด LED ก็สว่างขึ้น



รูปที่ 1.38 การทำงานของคอมพาราเตอร์ซึ่งประกอบด้วยสารกึ่งตัวนำหลายชนิด

ฟลิปฟล็อป (flip-flop) เป็นวงจรที่ทำหน้าที่เปลี่ยนสถานะของระดับสัญญาณที่ป้อนเข้ามันโดยตรง ดังนั้นฟลิปฟล็อปจึงประกอบด้วยสัญญาณเข้า 2 สถานะ (R และ S) และสัญญาณออกอีก 2 สถานะ (Q และ $\bar{Q}$) โดยสัญญาณออกข้อหนึ่งจะเป็นส่วนประกอบของสัญญาณออกอีกข้อหนึ่ง แต่อย่างไรก็ตาม ถ้าหากสัญญาณออกข้อหนึ่งไม่เป็นส่วนประกอบของอีกข้อหนึ่งแล้ว สัญญาณออกทั้งสองจะยังคงอยู่ในสถานะหนึ่งจนกว่าจะมีสัญญาณเข้ามาระตุ้นให้เกิดการเปลี่ยนสถานะไป จากการที่สัญญาณออกมีสถานะยังคงที่อยู่ในสถานะใดก็ตามโดยไม่จำกัดเวลา ซึ่งพอจะกล่าวได้ว่ามันจะสามารถจดจำสถานะที่เกิดขึ้นเมื่อมีสัญญาณมากระตุ้นที่สัญญาณเข้าที่มันได้ ในรูปที่ 1.39 แสดงสัญลักษณ์ของฟลิปฟล็อป ส่วนตารางที่ 1.6 แสดงค่าความเป็นจริงของฟลิปฟล็อป



รูปที่ 1.39 สัญลักษณ์ของฟลิปฟล็อป

ตารางที่ 1.6 ค่าความเป็นจริงของฟลิปฟล็อป

S	R	Q	$\bar{Q}$
0	0	คงที่	คงที่
0	1	0	1
1	0	1	0
1	1	1	1

โครงสร้างและการทำงานของฟลิปฟล็อป ฟลิปฟล็อปประกอบด้วยสัญญาณเข้า S และ R กับสัญญาณออก Q และ $\bar{Q}$ ซึ่งจะมีความสัมพันธ์ระหว่างกันดังนี้

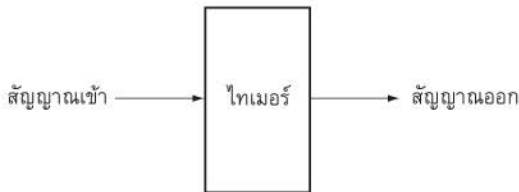
- ถ้าสัญญาณเข้า S เป็น 0
 - สัญญาณเข้า Q และ $\bar{Q}$ คงที่ สัญญาณออก R จะเป็น 0
 - เมื่อสัญญาณเข้า R เป็น 1 และสัญญาณออกที่ Q และ $\bar{Q}$ เป็น 0

2. ถ้าสัญญาณเข้า S เป็น 1

- เมื่อสัญญาณเข้า R เป็น 0 สัญญาณออกที่ Q และ $\bar{Q}$ จะเป็น 1 และ 0 ตามลำดับ
- เมื่อสัญญาณเข้า R เป็น 1 สัญญาณออกที่ Q และ $\bar{Q}$ จะเป็น 1 ทั้งคู่

1.3 ไทเมอร์

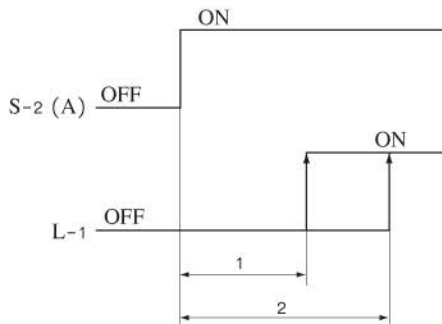
ไทเมอร์ (timer) ทำหน้าที่เป็นตัวหน่วงเวลาสัญญาณออกเมื่อสัญญาณเข้าถูกกำหนด สัญญาณให้ยาวขึ้นหรือสั้นลง ในรูปที่ 1.40 แสดงสัญลักษณ์ของไทเมอร์



รูปที่ 1.40 สัญลักษณ์ของไทเมอร์

โครงสร้างและการทำงานของไทเมอร์ หลักการทำงานของไทเมอร์แสดงดังรูปที่ 1.41 มีรายละเอียดดังนี้

1. ในสภาวะที่ 1 เมื่อไทเมอร์ถูกปรับให้สัญญาณเข้าถูกหน่วงเวลาให้สั้น หลอดไฟ L-1 จะสว่างขึ้นในเวลาอันสั้นภายหลังจากหน้าสัมผัส A ของสวิตช์ S-2 อยู่ในตำแหน่งเปิด (ON)
2. ในสภาวะที่ 2 เมื่อไทเมอร์ถูกปรับให้สัญญาณเข้าถูกหน่วงเวลาให้ยาวขึ้น หลอดไฟ L-1 จะสว่างขึ้น เป็นเวลาที่ยาวนานขึ้นมากกว่าสภาวะที่ 1



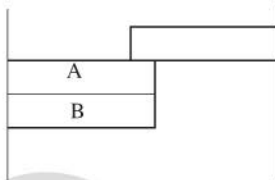
รูปที่ 1.41 สัญญาณพัลส์แสดงการทำงานของไทเมอร์ในสภาวะต่างๆ

1.4 ไบมีทัลสวิทช์

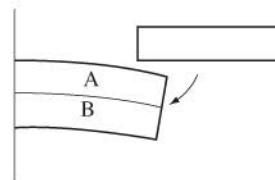
ไบมีทัลสวิทช์ (bimetal switch) เป็นสวิทช์ที่ทำจากแผ่นโลหะที่ถูกผลิตขึ้นจากการเชื่อมของโลหะสองชนิดที่มีค่าสัมประสิทธิ์ในการขยายตัวทางความร้อนที่ต่างกัน เมื่อไบมีทัลสวิทช์ได้รับอุณหภูมิความร้อนเพิ่มขึ้น โลหะต่างชนิดกันที่มีการขยายตัวที่ต่างกันจะทำให้เกิดการโค้งตัวไปทางแผ่นโลหะ B ซึ่งมีค่าสัมประสิทธิ์ในการขยายตัวที่น้อยกว่า จึงเป็นสาเหตุให้หน้าสัมผัสเกิดการแยกตัวออก ในรูปที่ 1.42 แสดงสัญลักษณ์ของไบมีทัลสวิทช์



สัญลักษณ์ของไบมีทัลสวิทช์



อุณหภูมิปกติ



เมื่อได้รับความร้อน

รูปที่ 1.42 สัญลักษณ์และการทำงานของไบมีทัลสวิทช์

1.5 ไมโครคอมพิวเตอร์

ปัจจุบันคอมพิวเตอร์ได้ถูกนำเข้ามาใช้ควบคุมการทำงานกันอย่างแพร่หลายทั้งในโรงงานอุตสาหกรรมและสำนักงานขนาดใหญ่ ชนิดที่มีขนาดใหญ่ซึ่งเรียกว่า คอมพิวเตอร์หลัก ส่วนคอมพิวเตอร์ที่มีขนาดเล็กถูกนำมาใช้ควบคุมเครื่องใช้ภายในบ้าน เกมคอมพิวเตอร์ และควบคุมการทำงานของระบบต่างๆ ในรถยนต์เรียกว่า ไมโครคอมพิวเตอร์ (microcomputer)

โครงสร้างของไมโครคอมพิวเตอร์ประกอบด้วยส่วนประกอบพื้นฐาน 3 ส่วนด้วยกันคือ (ดูรูปที่ 1.43)

1. **หน่วยประมวลผลกลางหรือซีพียู (central processing unit; CPU)** ทำหน้าที่เป็นศูนย์กลางการดำเนินการทางด้านข้อมูล ควบคุมการเคลื่อนที่ของข้อมูลจากหน่วยความจำและอุปกรณ์รับและจ่ายข้อมูล

ภายในหน่วยประมวลผลกลางจะสามารถแยกการทำงานได้ดังนี้ก็คือ

- ก. ส่วนควบคุม (control section)
- ข. ส่วนคำนวณและประเมินผล (arithmetic and logic unit; ALU)
- ค. ส่วนบันทึก

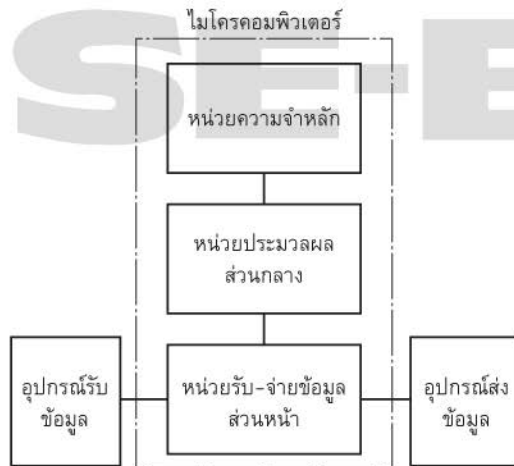
2. หน่วยบันทึกความจำ (memory) ทำหน้าที่เก็บรวบรวมข้อมูลที่เป็นผลจากการคำนวณเพื่อเปรียบเทียบเหตุผลโดยหน่วยประเมินผลกลาง

หน่วยบันทึกความจำหลักจึงมีอยู่ 2 ชนิดด้วยกันคือ

ก. *รอม (read-only memory หรือ ROM)* เป็นหน่วยบันทึกความจำที่ข้อมูลสามารถถูกอ่านได้เพียงอย่างเดียว ซึ่งก็ไม่สามารถลบหรือเปลี่ยนแปลงข้อมูลนั้นได้ ด้วยเหตุนี้หน่วยบันทึกความจำแบบรอมจึงใช้เก็บโปรแกรมและข้อมูลที่ไม่จำเป็นต้องเปลี่ยนแปลง

ข. *แรม (random access memory หรือ RAM)* เป็นหน่วยบันทึกความจำที่สามารถเปลี่ยนแปลงข้อมูลที่เก็บบันทึกไว้หรือลบออกได้

3. หน่วยรับและจ่ายข้อมูลส่วนหน้า (I/O interface) คืออุปกรณ์ที่ยอมให้มีการเปลี่ยนแปลงข้อมูลที่รับเข้าให้เป็นไปในรูปหน่วยประเมินผลกลาง ซึ่งก็สามารถที่จะเข้าใจและเก็บบันทึกไว้ในหน่วยความจำได้ แต่อย่างไรก็ตาม หน่วยรับและจ่ายข้อมูลภายในรถยนต์ส่วนใหญ่จะเป็นแอนะล็อก ดังนั้นสัญญาณเข้าและออกที่เป็นแอนะล็อกจึงจำเป็นต้องเปลี่ยนให้เป็นสัญญาณดิจิทัลและปรับการไหลของข้อมูลก่อนที่จะส่งไปยังหน่วยประเมินผลกลางหรือซีพียู (CPU)



รูปที่ 1.43 ไดอะแกรมแสดงโครงสร้างพื้นฐานของไมโครคอมพิวเตอร์

งานไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ควบคุมรถยนต์ เป็นหนังสือที่มีเนื้อหาครอบคลุมการทำงานและการตรวจสอบของระบบอำนวยความสะดวกและระบบความปลอดภัย ที่ใช้กับรถยนต์ที่ควบคุมด้วยอิเล็กทรอนิกส์ เช่น ระบบกระจกไฟฟ้า ระบบเซ็นทรัลล็อก ระบบเบรก ABS ระบบป้องกันขโมย ระบบควบคุมการทำงานของเครื่องยนต์ที่ควบคุมด้วยอิเล็กทรอนิกส์ (EFI) เป็นต้น

นอกจากนี้ ในภาคผนวกยังรวมเอาระบบควบคุมการปรับระดับลำแสงไฟหน้ารถยนต์อัตโนมัติ และระบบกระจกไฟฟ้าแบบเลื่อนลงอัตโนมัติเมื่อมีวัตถุกีดขวาง (Jam Protection) ซึ่งระบบทั้งสองเป็นระบบอำนวยความสะดวกที่ทันสมัย ที่นำมาใช้กับรถยนต์ในปัจจุบัน และวงจรไฟฟ้าของระบบต่างๆ ที่ควบคุมด้วยอิเล็กทรอนิกส์

ประวัติผู้เขียน **ประสานพงษ์ หาดเรือนิช**



- ปัจจุบันดำรงตำแหน่งอาจารย์ 3 ระดับ 8 ประจำแผนกวิชาช่างยนต์ วิทยาลัยเทคนิคนครราชสีมา เป็นอาจารย์ผู้สอนวิชาไฟฟ้ารถยนต์ และวิชาไฟฟ้ายานยนต์
- จบการศึกษาระดับครุศาสตรบัณฑิต สาขาคอมพิวเตอร์และเทคโนโลยีสารสนเทศ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
- เข้ารับการฝึกอบรมเรื่องระบบเทคโนโลยีขั้นสูงของรถยนต์ NISSAN ที่บริษัท สยามนิสสัน จำกัด
- เข้ารับการฝึกอบรมเรื่องระบบไฟฟ้าตัวถังรถยนต์และถุงลมนิรภัยของรถยนต์ TOYOTA ที่ บริษัท โตโยต้า มอเตอร์ ประเทศไทย จำกัด
- เข้ารับการฝึกอบรมเรื่องอิเล็กทรอนิกส์ยานยนต์ขั้นสูงของรถยนต์ TOYOTA ที่ บริษัท โตโยต้า มอเตอร์ ประเทศไทย จำกัด
- เข้ารับการฝึกอบรมเรื่องเทคโนโลยีใหม่ของรถยนต์ TOYOTA (เครื่องยนต์ดีเซล EFI ระบบคอมมอนเรล) ที่วิทยาลัยเทคนิคนครราชสีมา
- เข้ารับการฝึกอบรมเรื่องการใช้ TECH2 และ TIS 2000 ในการตรวจสอบรถยนต์เซฟโรเลต ที่ บริษัท เซฟโรเลต (ประเทศไทย) จำกัด
- เข้ารับการฝึกอบรมเรื่องการออกแบบซอฟต์แวร์สมองกลฝังตัว ที่สถาบันพัฒนาครูอาชีวศึกษา
- เข้ารับการฝึกอบรมเรื่องเทคโนโลยีรถยนต์ไฮบริด ที่วิทยาลัยเทคนิคนครราชสีมา
- เข้ารับการฝึกอบรมผู้ตรวจสอบและทดสอบรถยนต์ติดตั้งแก๊ส NGV/CNG ที่กรมธุรกิจพลังงาน กระทรวงพลังงาน
- อบรมช่างซ่อมสัรยนต์ ระดับ 1 (สีโซลิด) ศูนย์ฝึกอบรม บริษัท โตโยต้า (ประเทศไทย)
- อบรมช่างซ่อมสัรยนต์ ระดับ 2 (สีเมทาлик) ณ ศูนย์ฝึกอบรม บริษัท โตโยต้า (ประเทศไทย) จำกัด



www.se-ed.com



sbc.fans

ISBN 978-616-08-2017-7

9 786160 820177

185 บาท

คู่มือเรียน-สอน/อาชีวศึกษา-รถยนต์, อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์