

1. ตัวต้านทาน

อุปกรณ์สิ่งประดิษฐ์ที่ถูกใช้งานเกี่ยวกับความต้านทานเพียงอย่างเดียวในวงจรอิเล็กทรอนิกส์หรือวงจรไฟฟ้า อุปกรณ์ชนิดนี้จะถูกเรียกชื่อว่า “ตัวต้านทาน” (Resistors) หรือเรียกชื่อทับศัพท์ว่า “รีซิสเตอร์” หรือ “อาร์” (R)

ตัวต้านทานจะมีหน้าที่ในการจำกัดกระแสไฟฟ้าที่ไหลในวงจรที่กำหนดไว้ การนำเอาตัวต้านทานไปใช้ในวงจรอิเล็กทรอนิกส์ อันได้แก่ เครื่องรับวิทยุ เครื่องรับโทรทัศน์ เครื่องขยายเสียง ไมโครคอมพิวเตอร์ และอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้าอื่นๆ เป็นต้น

1.1 ชนิดของตัวต้านทาน

ตัวต้านทานที่มีใช้งานในปัจจุบันนี้จะมีอยู่มากมายหลายชนิดและหลายรูปแบบ ซึ่งเราสามารถจำแนกตัวต้านทานตามลักษณะของการใช้งานได้ดังนี้คือ

1.1.1 ตัวต้านทานชนิดค่าคงที่

คือตัวต้านทานที่มีค่าความต้านทานคงที่ ซึ่งไม่สามารถทำการเปลี่ยนค่าของตัวต้านทานได้ โดยทั่วไปตัวต้านทานชนิดค่าคงที่จะมีชื่อเรียกตามวัสดุที่นำมาใช้ทำ เช่น เส้นลวด คาร์บอน फिल्म คาร์บอน และฟิล์มโลหะ

ตัวต้านทานเส้นลวด (Wire-Wound Resistors) เป็นตัวต้านทานที่มีโครงสร้างทำด้วยลวดโลหะผสม 2 หรือ 3 ชนิด อันได้แก่ เงิน (Silver) และนิโครม (Nichrome) เพราะว่าเป็นโลหะผสมที่มีการเปลี่ยนแปลงความต้านทานเพียงเล็กน้อยขณะที่ตัวต้านทานมีความร้อนเกิดขึ้น เมื่อทำการพันเส้นลวดลงบนแท่งเซรามิกทรงกระบอกจะได้ตัวต้านทานแบบเส้นลวดหรือบางครั้งเรียกว่า “ไวร์-วาวด์ รีซิสเตอร์” และที่ปลายทั้งสองข้างของเส้นลวดความต้านทานจะถูกต่อเข้ากับขาโลหะเพื่อนำไปใช้งาน ส่วนที่ผิวของเส้นลวดความต้านทานจะถูกเคลือบด้วยน้ำยาเคลือบ ซิเมนต์ ปอลอกแก้วหรือซิลิโคน เพื่อใช้เป็นฉนวนไฟฟ้าและป้องกันมิให้เส้นลวดขาดง่ายเมื่อถูกขีดข่วนจากสิ่งภายนอก

ตัวต้านทานแบบเส้นลวดจะมีค่าความต้านทานที่เที่ยงตรง และมีค่าผิดพลาดน้อยที่สุดแต่จะเป็นตัวต้านทานที่มีขนาดใหญ่และมีอัตรากำลังงานไฟฟ้าได้สูงมาก

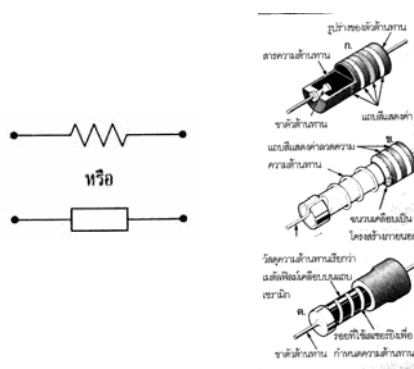
ตัวต้านทานแบบคาร์บอน (Carbon Resistors) เป็นตัวต้านทานที่ทำมาจากผงคาร์บอนผสมกับตัวประสานฟีนอลิกอัดแน่นเป็นแท่งกระบอก ที่ปลายแท่งคาร์บอนทั้งสองข้างจะถูกยึดติดกับโลหะและต่อเส้นลวดออกมาเพื่อเป็นขาต่อใช้งาน ส่วนตัวแท่งคาร์บอนจะถูกเคลือบด้วยฉนวนไฟฟ้าซึ่งค่าของตัวต้านทานจะขึ้นอยู่กับเปอร์เซ็นต์ของคาร์บอนในการผสมใช้งาน

ตัวต้านทานแบบคาร์บอนจะมีช่วงพิสัยความต้านทานการใช้งาน โอห์มต่ำๆ จนถึงสูงหลายล้านโอห์มได้ ค่าความผิดพลาดของความต้านทานมีค่า $\pm 5\%$ ถึง 20% อัตราทนกำลังงานไฟฟ้าสูงไม่เกิน 5 วัตต์

ตัวต้านทานแบบฟิล์มคาร์บอน (Carbon Film Resistors) เป็นตัวต้านทานที่มีการบุแต่งแก้วหรือแท่งเซรามิกแล้วจึงนำไปผลิตโดยการฉาบหมึกคาร์บอนลงบนตัว เสาให้เกิดเป็นแผ่นฟิล์มคาร์บอนขึ้นมา เมื่อได้แผ่นฟิล์มที่เคลือบอยู่บนแท่งเซรามิกแล้ว จึงต่อขาโลหะที่จุดขั้วสัมผัสที่ปลายทั้งสองด้านของฟิล์มคาร์บอนออกมาใช้งาน ตัวต้านทานนี้จะถูกปรับให้มีค่าเที่ยงตรงแล้วจึงเคลือบด้วยสารที่เป็นฉนวนไฟฟ้า ตัวต้านทานแบบฟิล์มคาร์บอนจะมีค่าความต้านทานที่ใช้ตั้งแต่ 10 โอห์มถึง 25 เมกะโอห์ม ค่าความผิดพลาด $\pm 5\%$ และอัตราทนกำลังไฟฟ้าตั้งแต่ 0.1 วัตต์ถึง 10 วัตต์

ตัวต้านทานแบบฟิล์มโลหะ (Metal Film Resistor) เป็นตัวต้านทานที่มีลักษณะโครงสร้างและรูปร่างที่คล้ายกับตัวต้านทานแบบฟิล์มคาร์บอน แต่ตัวต้านทานแบบฟิล์มโลหะจะใช้วัสดุที่ทำให้เกิดค่าความต้านทานเป็นสารจำพวกฟิล์มโลหะแทน เช่น กรรมวิธีการทำให้โลหะนิโครมร้อนแล้วบังคับให้มันวิ่งชนอะตอมของอาร์กอน ซึ่งจะมีผลทำให้อะตอมของโลหะที่ถูกชนกระเด็นไปฉาบรอบๆ ฐานที่ทำด้วยเซรามิกเกิดเป็นแผ่นฟิล์มโลหะขึ้นโดยรอบ การผลิตโดยวิธีนี้จะทำให้ได้ค่าความต้านทานที่มีความเที่ยงตรงสูง

ตัวต้านทานแบบฟิล์มโลหะจะมีความต้านทานเที่ยงตรงสูงกว่าตัวต้านทานแบบคาร์บอนหรือฟิล์มคาร์บอน ตัวต้านทานแบบฟิล์มโลหะจะมีความต้านทานตั้งแต่ 10 โอห์มถึง 30 เมกะโอห์ม ค่าความผิดพลาด 0.1% ถึง 2% และอัตราทนกำลังไฟฟ้าสูงถึง 10 วัตต์ฟิล์มโลหะที่นำมาใช้ทำตัวต้านทานนี้ สามารถทำเป็นฟิล์มบางที่ต่อกันหลายๆตัว ภายในโครงสร้างเดียวกัน (Network) ได้ ซึ่งจะเหมาะกับงานด้านอิเล็กทรอนิกส์ และไม่โครคอมพิวเตอร์

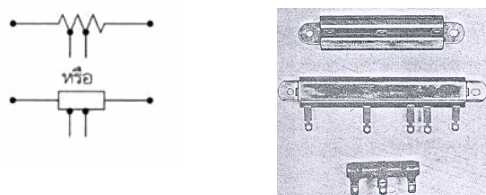


ภาพที่ 1 สัญลักษณ์และรูปร่างของชนิดต้านทานคงที่

ที่มา: www.se-ed.com, 23 มกราคม 2549

1.1.2 ตัวต้านทานชนิดแบ่งค่าได้

เป็นตัวต้านทานแบบเส้นลวดที่ถูกแบ่งเป็นช่วงของความต้านทานออกเป็นความต้านทานสองหรือสามค่าภายในตัวต้านทานตัวเดียว เพื่อความสะดวกในการเลือกใช้งาน

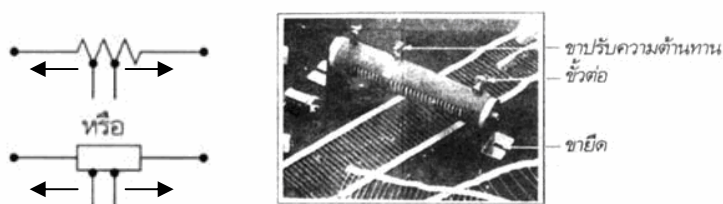


ภาพที่ 2 สัญลักษณ์และรูปร่างของตัวต้านทานชนิดแบ่งค่าได้

ที่มา: www.se-ed.com, 23 มกราคม 2549

1.1.3 ตัวต้านทานชนิดปรับค่าได้

เป็นตัวต้านทานแบบเส้นลวดอีกชนิดหนึ่งที่สามารถปรับตำแหน่งค่าความต้านทานที่ต้องการได้ โดยที่บนตัวต้านทานชนิดนี้จะมีปลอกโลหะสวมอยู่และสามารถเคลื่อนตำแหน่งเพื่อให้ได้ค่าความต้านทานตามที่ต้องการ เสร็จแล้วทำการขันสกรูล๊อคให้จุดสัมผัสของปลอกโลหะกดลงบนขอลวดความต้านทานให้แน่น เพื่อป้องกันการอาร์กของหน้าสัมผัส การใช้งานของตัวต้านทานชนิดปรับค่าได้จะใช้ค่าความต้านทานเฉพาะค่าใดค่าหนึ่งที่ปรับไว้เท่านั้น

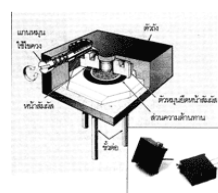
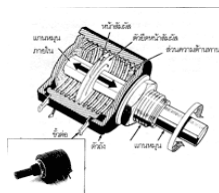
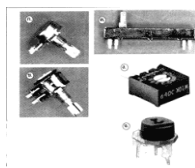


ภาพที่ 3 สัญลักษณ์และรูปร่างของตัวต้านทานชนิดปรับค่าได้

ที่มา: www.se-ed.com, 23 มกราคม 2549

1.1.4 ตัวต้านทานชนิดเปลี่ยนค่าได้

เป็นตัวต้านทานที่สามารถเปลี่ยนค่าความต้านทานได้ โดยการใช้แกนหมุนหรือเลื่อนแกน ซึ่งใช้วัสดุที่นำมาใช้ทำตัวต้านทานชนิดเปลี่ยนค่าได้จะใช้วัสดุประเภทเดียวกันกับตัวต้านทานชนิดค่าคงที่คือ เส้นลวด หรือคาร์บอน

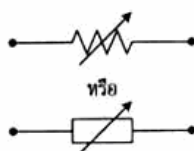


ตัวต้านทานปรับค่าได้

ตัวต้านทานปรับค่าได้

แบบทริมพ็อด (Trim pot)

แบบหลายรอบ



ภาพที่ 4 สัญลักษณ์และรูปร่างของตัวต้านทานชนิดเปลี่ยนค่าได้

ที่มา: www.se-ed.com, 23 มกราคม 2549

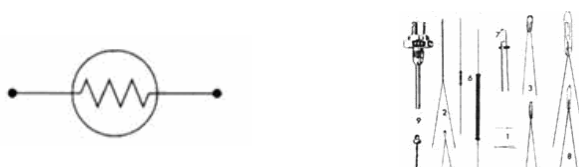
ส่วนในตัวต้านทานปรับค่าได้จะมีอยู่หลายประเภท เช่น แบบหมุน ซึ่งมีทั้งแบบธรรมดาที่หมุนได้รอบเดียวที่ใช้กันทั่วไป และแบบ พิเศษที่หมุนได้หลายรอบ (Trimmer Potentiometer) และแบบสไลด์ ซึ่งมีรูปร่างและ โครงสร้างของบางแบบ ดังในรูป ตรงกลางวงแหวนจะมีแขนสัมผัส (Contact Arm) ที่ปรับค่าความต้านทานให้อยู่ในตำแหน่งใดๆ บนวงแหวนนี้โดยการหมุนแกนและจะมีส่วนต่ออยู่กับขั้วสายจากกลางของตัวมันด้วย

1.1.5 ตัวต้านทานความร้อน

หรือเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า “เทอร์มิสเตอร์” (Thermistors) เป็นตัวต้านทานที่มีความไวในการเปลี่ยนแปลงความต้านทานต่ออุณหภูมิที่เปลี่ยนไป ซึ่งคุณลักษณะของตัวต้านทานความร้อนจะมีการเปลี่ยนแปลงความต้านทานในลักษณะที่ไม่เป็นเชิงเส้น (Non-Linear) และรูปร่างที่ผลิตใช้งานหลายชนิด เช่น รูปจาน แท่งกระบอก ลูกประคำ ตัวต้านทานความร้อนจะแบ่งการใช้งานตามลักษณะของสัมประสิทธิ์ของอุณหภูมิ

แบบเอ็น-ที-ซี (NTC: Negative Temperature Coefficient) คือเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น ความต้านทานจะมีค่าลดลง

แบบพี-ที-ซี (PTC: Positive Temperature Coefficient) คือเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น ความต้านทานจะมีค่าเพิ่มขึ้นตามด้วย

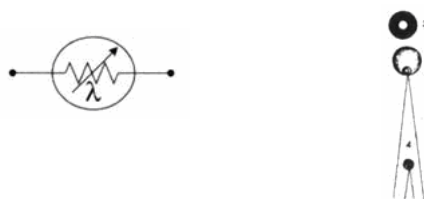


ภาพที่ 5 สัญลักษณ์และรูปร่างของตัวต้านทานความร้อน

ที่มา: www.se-ed.com, 23 มกราคม 2549

1.1.6 ตัวต้านทานพลังแสง

มีชื่อเรียกอีกอย่างหนึ่งคือ “แอลดีอาร์” (LDR: Light Dependent Resistor) เป็นตัวต้านทานที่สามารถเปลี่ยนสภาพความนำไฟฟ้าได้เมื่อมีแสงออกมามากกระทบตัวมัน “ตัวต้านทานชนิดนี้จะทำมาจากสารกึ่งตัวนำประเภทแคดเมียมซัลไฟด์ (Cds: Cadmium Sulfide) หรือแคดเมียมซีลีไนด์ (Cdse: Cadmium Selenide)”¹



ภาพที่ 6 สัญลักษณ์และรูปร่างของตัวต้านทานพลังแสง

ที่มา: www.se-ed.com, 23 มกราคม 2549

1.2 การอ่านค่าความต้านทาน

การอ่านค่าความต้านของตัวต้านทานจะมีอยู่ 2 วิธี คือ

การอ่านค่าเป็นรหัสสีบนตัวต้านทาน ซึ่งส่วนมากจะเป็นตัวต้านทานประเภทคาร์บอนฟิล์มคาร์บอน และแบบเส้นลวดที่มีขนาดเล็กในการอ่านค่าความต้านทานที่เป็นรหัสสีมี 2 แบบคือ การอ่านค่าความต้านทานแบบ 4 แถบสี

¹ พันธุ์ศักดิ์ พุฒมานิตพงษ์. ทฤษฎีอิเล็กทรอนิกส์เบื้องต้น. (กรุงเทพฯ: ศสว, 2547),

ตารางที่ 1 รหัสสีของตัวต้านทาน



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

ภาพที่ 7 การอ่านค่าความต้านทานแบบ 4 แถบสี
ที่มา: www.kanchanpisek.or.th, 23 มกราคม 2549

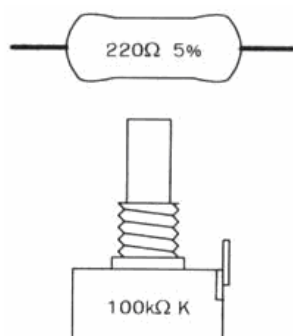
การอ่านค่าความต้านทานแบบ 5 แถบสีนั้น จะมีลักษณะเหมือนกับการอ่านค่าแบบ 4 แถบสี ต่างกันที่จะมีสีที่ 5 เพิ่มขึ้นมา จากตัวเลขที่ 1 และ 2 จะเพิ่มเป็นตัวเลขที่ 3 ขึ้นมาอีกตัว แล้วแถบที่ 4จะเป็นตัวคูณ แถบที่ 5 จะเป็นเปอร์เซ็นต์

หมายเหตุ หน่วยของตัวต้านทานนั้นจะมีหน่วยที่เรียกว่า โอห์มเมกเกอร์

การอ่านจากค่าที่พิมพ์ไว้บนตัวต้านทาน โดยจะบอกเป็นความต้านทาน เปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดและอัตราทนกำลังงานไฟฟ้า ซึ่งส่วนมากจะเป็นตัวต้านทานแบบเส้นลวดหรือตัวต้านทานชนิดเปลี่ยนค่าได้ชนิดต่างๆ

หมายเหตุ ตัวอักษรที่กำกับอยู่บนตัวต้านทาน จะเป็นตัวบอกค่าผิดพลาดเป็นเปอร์เซ็นต์ โดยใช้อักษรดังนี้

| | | |
|---------|------------|-------|
| อักษร J | ค่าผิดพลาด | ± 5% |
| อักษร K | ค่าผิดพลาด | ± 10% |
| อักษร L | ค่าผิดพลาด | ± 15% |
| อักษร M | ค่าผิดพลาด | ± 20% |



ภาพที่ 8 การอ่านค่าตัวต้านทานโดยตรง

ที่มา: www.kanchanpisek.or.th, 23 มกราคม 2549

1.3 การต่อตัวต้านทาน

การต่อตัวต้านทานเพื่อใช้ในการกำหนดค่าความต้านทานที่ต้องการสามารถทำได้โดยการต่อวงจรตัวต้านทาน มีอยู่ 3 แบบคือ

1.3.1 การต่อตัวต้านทานแบบอนุกรม (Series Resistor Circuit)

จะเป็นการต่อวงจรที่ทำให้ตัวต้านทานรวมในวงจรมีค่าเพิ่มขึ้นเท่ากับผลรวมของตัวต้านทานแต่ละตัวในวงจร แต่อัตราทนกำลังไฟฟ้ารวมของวงจรจะมีค่ากับอัตราทนกำลังไฟฟ้าของตัวต้านทานที่มีค่าต่ำสุดในวงจร

สมการหาค่าความต้านทานรวมคือ

$$\text{ค่าความต้านทานรวม}(R_T) = R_1 + R_2 + R_3 + \dots R_N$$

1.3.2 การต่อตัวต้านทานแบบขนาน (Parallel Resistor Circuit)

ในการต่อตัวต้านทานแบบนี้จะให้ความต้านทานรวมของวงจรมีค่าน้อยกว่าตัวต้านทานที่มีค่าน้อยที่สุดในวงจร แต่อัตราทนกำลังไฟฟ้าของวงจรแบบนี้จะมีค่าเพิ่มสูงขึ้นเท่ากับผลรวมอัตราทนกำลังงานไฟฟ้าของตัวต้านทานแต่ละตัวของวงจร

สมการหาค่าความต้านทานรวมคือ

$$\text{ค่าความต้านทานรวม}\left(\frac{1}{R_T}\right) = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \dots \frac{1}{R_N}$$

ถ้าตัวต้านทานแบบขนานใช้ตัวต้านทานเพียง 2 ตัว เราสามารถหาค่าความต้านทานรวมของวงจรได้โดยสมการ

$$\text{ค่าความต้านทานรวม}(R_T) = \frac{R_1 \times R_2}{R_1 + R_2}$$

1.3.3 การต่อตัวต้านทานแบบผสม (Series-Parallel Circuit)

จะเป็นการต่อวงจรในลักษณะของวงจรแบบอนุกรมและขนานร่วมกัน ในการวิเคราะห์เพื่อกำหนดค่าความต้านทานและอัตราทนกำลังงานไฟฟ้าของวงจรจะต้องพิจารณาในแต่ละส่วนคือแยกคำนวณว่าเป็นวงจรอนุกรมและขนาน แล้วจึงหาค่าความต้านทานรวม

2. ตัวเก็บประจุ

ตัวเก็บประจุบางครั้งเรียกว่า คาปาซิเตอร์ (CAPACITOR) หรือคอนเดนเซอร์ (CONDENSER) ใช้ตัวย่อ “C” จัดเป็นอุปกรณ์ทางอิเล็กทรอนิกส์อีกชนิดหนึ่ง ที่มีความสำคัญในการทำงานของวงจรอิเล็กทรอนิกส์ เป็นอุปกรณ์ที่สามารถเก็บแรงดันไฟฟ้า หรือประจุไฟฟ้าไว้ในตัวได้ โดยอาศัยแผ่นเพลทหรือแผ่นโลหะมาวางใกล้กัน และมีฉนวนคั่นกลางแผ่นเพลททั้งสอง ในขณะที่ตัวเก็บประจุทำการเก็บประจุไฟฟ้าไว้ จะเสมือนแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้าแหล่งจ่ายแหล่งหนึ่ง เมื่อทำการจ่ายไฟออกไป แรงดันไฟฟ้าในตัวเก็บประจุจะค่อยๆ ลดลงจนเป็น 0 (ศูนย์) โวลต์

ในขณะที่มีแรงดันไฟฟ้าค่อยๆ เพิ่มขึ้นในตัวเก็บประจุ จะเรียกว่า การประจุหรือชาร์จ (CHARGE) และในขณะที่แรงดันไฟฟ้าค่อยๆ ลดลงในตัวเก็บประจุจะเรียกว่า การคายประจุหรือดีสชาร์จ (DISCHARGE)

2.1 ค่าความจุของตัวเก็บประจุ

ค่าความจุ (CAPACITANCE) ของตัวเก็บประจุ คือ ความสามารถในการสะสมประจุไฟฟ้าไว้ในตัวเก็บประจุได้มากหรือน้อย ค่าความจุนี้จะเปลี่ยนแปลงขึ้นอยู่กับส่วนประกอบสำคัญ 3 ส่วนคือ

พื้นที่ผิวของแผ่นเพลทตัวนำ จะเป็น

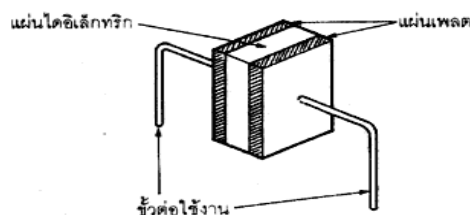
ตัวกำหนดขนาดของค่าความจุในตัวเก็บประจุว่า สามารถเก็บประจุได้มากหรือน้อย แผ่นเพลทตัวนำที่มีพื้นที่มากจะทำให้จำนวนประจุบวก และประจุลบลงไปได้มาก แผ่นเพลทตัวนำที่มีพื้นที่น้อยจะบรรจุประจุบวก ประจุลบลงไปได้ด้นั้น

ตัวเก็บประจุที่ต้องการให้สามารถเก็บประจุไว้ให้ได้มาก จะต้องสร้างให้ตัวเก็บประจุมี

พื้นที่ของแผ่นเพลทตัวนำมาก และถ้าต้องการ

ให้ตัวเก็บประจุที่ต้องการให้สามารถเก็บประจุไว้ได้น้อย จะต้องสร้างเก็บประจุมีพื้นที่ของแผ่นเพลทตัวนำน้อย โดยให้ระยะห่างของแผ่นเพลทตัวนำเท่ากัน

ระยะห่างระหว่างแผ่นเพลทตัวนำทั้งสองแผ่น จะมีผลต่อค่าความจุของตัวเก็บประจุให้สามารถเก็บประจุให้มากหรือน้อยได้ ทั้งนี้เนื่องจากระยะห่างของเพลทตัวนำ จะทำให้อำนาจ



ภาพที่ 9 โครงสร้างของตัวเก็บประจุ

ที่มา: www.ku.ac.th, 17 มกราคม 2549

การดึงดูด และอำนาจการผลักดันระหว่างประจุไฟฟ้ามีค่ามากขึ้น หรือน้อยลง เมื่อวางแผ่นเพลทตัวนำไว้ใกล้กัน ประจุบวกและประจุลบจะมีอำนาจการดึงดูด และอำนาจการผลักดันสูง จะดึงดูดให้ประจุไฟฟ้าที่ต่างกันระหว่างแผ่นเพลทตัวนำทั้งสองเคลื่อนที่เข้าใกล้แผ่นเพลทมากขึ้น และผลักดันประจุไฟฟ้าที่เหมือนกัน ให้เคลื่อนออกห่างจากแผ่นเพลทตัวนำ ทำให้มีประจุไฟฟ้าเก็บไว้ที่แผ่นเพลทตัวนำทั้ง 2 มาก

ในทางตรงข้าม เมื่อนำแผ่นเพลทตัวนำออกห่างจากกัน ประจุบวกและประจุลบจะมีอำนาจการดึงดูดและอำนาจการผลักดันต่ำ จะดึงดูดไฟฟ้าที่ต่างกัน และจะผลักดันประจุไฟฟ้าที่เหมือนกัน ที่แผ่นเพลททั้งสองได้น้อย ทำให้มีประจุไฟฟ้าเก็บไว้ที่แผ่นเพลทตัวนำทั้งสองน้อย เมื่อขนาดแผ่นเพลทตัวนำเท่ากัน

ชนิดของวัสดุที่นำมาทำฉนวนกั้นกลางแผ่นเพลท ฉนวนแต่ละชนิดจะมีคุณสมบัติในการเป็นฉนวนต่อประจุไฟฟ้าได้ไม่เหมือนกัน เมื่อถูกนำมาเป็นฉนวนกั้นกลางแผ่นเพลทตัวนำทั้ง 2 ของตัวเก็บประจุ ย่อมทำให้ค่าความจุที่จะเก็บประจุไว้ในตัวเก็บประจุที่ใช้ฉนวนต่างชนิดไม่เท่ากัน ในกรณีที่เปรียบเทียบกันเมื่อแผ่นเพลทตัวนำวางห่างกันเท่ากัน มีพื้นที่หน้าตัดของตัวนำเท่ากัน แต่ใช้แนวกั้นกลางต่างชนิดกัน โดยจะเปรียบเทียบฉนวนที่เป็นอากาศ เพราะฉนวนที่เป็นอากาศจะมีค่าคงที่ความเป็นฉนวน หรือค่าคงที่ของไดอิเล็กทริก(DIELECTRIC CONSTANT) เท่ากับ 1

ตารางที่ 2 แสดงค่าคงที่ของไดอิเล็กทริกชนิดต่างๆ ที่ความถี่ 1 MHz

| ชนิดของสาร | ค่าคงที่ของไดอิเล็กทริก |
|--------------------------------|-------------------------|
| อากาศ(AIR) | 1 |
| เรซิน(RE SIN) | 2.4-3.2 |
| ยางแข็ง(HARD RUBBER) | 2.9-4.8 |
| ไนลอน(NYLON) | 3.5-3.6 |
| โพลีโพรพิลีน(POLYPROPYLENE) | 2.2-2.3 |
| โพลีสไตรีน(POLYSTYLENE) | 2.5-4 |
| แก้วโซดา-ไลน์(SODA-LINE GLASS) | 7.2 |
| ไมก้า(MICA) | 5.4-8.7 |
| ซิลิกอน(SILICON) | 3.4-4.3 |
| โบรอน ไนไตรด์(BORON NITRIDE) | 4.15 |
| กระดาษ(PAPER) | 4 |

| ชนิดของสาร | ค่าคงที่ของไดอิเล็กทริก |
|---------------------------------|-------------------------|
| ไมลาร์(MYLAR) | 3 |
| แทนทาลัมออกไซด์(TANTALUM OXIDE) | 11 |
| เซรามิก(CELAMIC) | 80-1,200 |

2.2 ชนิดของตัวเก็บประจุ

ชนิดของตัวเก็บประจุแบ่งตามวัสดุการใช้งานแบ่งออกได้ 2 ชนิด คือ

2.2.1 ตัวเก็บประจุชนิดคงที่ Fixed capacitor

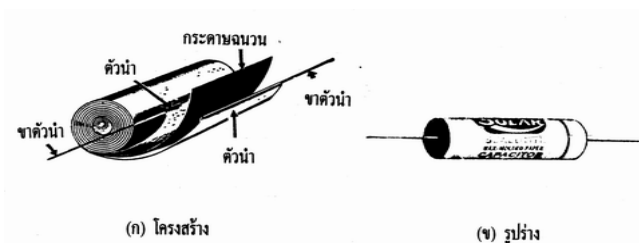
ตัวเก็บประจุชนิดคงที่ Fixed capacitor เป็นตัวเก็บประจุที่มีค่าความจุคงที่ ปรับเปลี่ยนค่าไม่ได้ ค่าความจุ และค่าทนแรงดันไฟฟ้า ตลอดจนค่าความคลาดเคลื่อนของตัวเก็บประจุจะพิมพ์บอกไว้ อาจเป็นตัวเลข เป็นรหัส หรือเป็นแถบสีรหัสก็ได้ ตัวเก็บประจุชนิดค่าคงที่จะมีด้วยกันหลายชนิด โดยจะเรียกชื่อตามชนิดของสารที่มาทำเป็นฉนวนกั้นกลางแผ่นเพลท มีดังนี้



ภาพที่ 10 สัญลักษณ์ตัวเก็บประจุชนิดคงที่

ที่มา: www.chontech.ac.th, 11 กุมภาพันธ์ 2549

1) ตัวเก็บประจุแบบกระดาษ (PAPER CAPACITOR) เป็นตัวเก็บประจุที่ใช้แผ่นโลหะบางๆ 2 แผ่นประกออบแผ่นกระดาษที่เคลือบสารประเภทฉนวน เช่น น้ำมัน ไขพลาสติก นำม้วนเป็นก้อนกลมหรือเหลี่ยม ปลายข้างหนึ่งของแผ่นโลหะบางทั้ง 2 แผ่น ต่อกับสายตัวนำต่อออกมาเป็นขาภายนอก

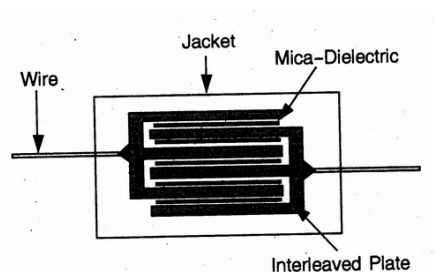


ภาพที่ 11 โครงสร้างและชนิดตัวเก็บประจุแบบกระดาษ

ที่มา: www.skn.ac.th, 23 มกราคม 2549

ตัวถังด้านนอกอาจหุ้มด้วยกระดาษแข็ง พลาสติก หรือโลหะ ค่าความจุที่ผลิตขึ้นมาใช้ประมาณ $0.01\mu\text{F} - 1\mu\text{F}$ อัตราทนแรงดันไฟฟ้าประมาณ $200\text{V} - 1600\text{V}$

2) ตัวเก็บประจุแบบไมก้า (MICA CAPACITOR) ตัวเก็บประจุแบบไมก้านี้จะมีเสถียรภาพต่ออุณหภูมิ และความถี่ มีค่าตัวประกอบการสูญเสียต่ำ และสามารถทำงานได้ดีที่ความถี่สูง จะถูกนำมาใช้ในงานหลายอย่าง เช่น ในวงจรจูนเนอร์ วงจรออสซิลเลเตอร์ วงจรกรองสัญญาณ และวงจรขยาย ความถี่วิทยุกำลังสูง จะไม่มีการผลิตตัวเก็บประจุแบบไมก้าค่าความจุสูงๆ ออกมา เนื่องจากไมก้ามีราคาแพง จะทำให้ค่าใช้จ่ายในการผลิตสูงเกินไป



ภาพที่ 12 โครงสร้างของตัวเก็บประจุแบบไมก้า

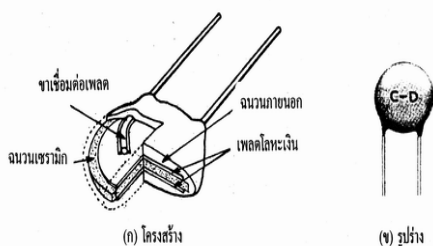
ที่มา: www.skn.ac.th, 23 มกราคม 2549

ตัวเก็บประจุแบบไมก้ายังแบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ

- ก. ชนิดอะลูมิเนียมฟลอยด์ (ALUMINUM FOIL) ใช้แผ่นอะลูมิเนียมบางทำเป็นแผ่นเพลท
- ข. ชนิดโลหะเงิน (SILVER METAL) ใช้แผ่นเงินบริสุทธิ์ทำเป็นแผ่นเพลท

ไมก้าถือได้ว่าเป็นฉนวนที่ดี ทำให้ตัวเก็บประจุชนิดนี้สามารถสร้างให้ทนแรงดันไฟฟ้าได้สูงตั้งแต่ประมาณ $100\text{V} - 2500\text{V}$ มีค่าความจุประมาณ $1\text{pF} - 0.1\mu\text{F}$

3) ตัวเก็บประจุแบบเซรามิก (CERAMIC CAPACITOR) ตัวเก็บประจุชนิดเซรามิก โดยทั่วไปตัวเก็บประจุชนิดนี้มีลักษณะกลมๆ แบนๆ บางครั้งอาจพบแบบสี่เหลี่ยมแบนๆ ส่วนใหญ่ตัวเก็บประจุชนิดนี้มีค่าน้อยกว่า $1\mu\text{F}$ และเป็นตัวเก็บประจุชนิดที่ไม่มีขั้ว (ไม่ต้องคำนึงเวลาใช้งาน) และสามารถทนแรงดันได้ประมาณ $3\text{V} - 6,000\text{V}$ โวลต์ค่าความจุของตัวเก็บประจุชนิดเซรามิกที่มีใช้กันในปัจจุบันอยู่ในช่วง $1\text{pF} - 0.1\mu\text{F}$



ภาพที่ 13 โครงสร้างและรูปร่างตัวเก็บประจุแบบเซรามิก

ที่มา: www.skn.ac.th, 23 มกราคม 2549

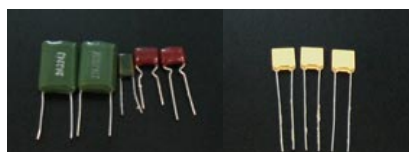
4) ตัวเก็บประจุแบบฟิล์มพลาสติก (PLASTIC FILM CAPACITOR) ตัวเก็บประจุชนิดนี้จะมีโครงสร้างคล้ายกับตัวเก็บประจุแบบกระดาษ เพียงแต่เปลี่ยนฉนวนเป็นพวกฟิล์มพลาสติกที่ทำมาจาก โพลีเอสเตอร์ (POLYPROPYLENE), โพลีไพรโรลีน (POLYPRORYLENE) โพลีคาร์บอเนต (POLYCARBONATE), ไมลาร์ (MYLAR) และอื่นๆ การเรียกชื่อเรียกตามฉนวนที่นำมาคั่นกลาง มีอักษรภาษาอังกฤษกำกับเป็นตัวประจุ อาจมี 2 ตัว หรือ 3 ตัวก็ได้ อักษรตัวสุดท้ายสุดจะเป็นตัวบอกถึงชนิดของฉนวนที่ใช้สร้าง เช่น MKT, MKP, JKS, JKC, FKC, TSC, FKS, KP, KS, เป็นต้น

MKT = T ตัวท้าย แสดงถึงฉนวนที่ใช้ ทำมาจาก โพลีเอสเตอร์

MKP, KP = P ตัวท้าย แสดงถึงฉนวนที่ใช้ ทำมาจาก โพลีโพรไพลีน

MKC, FKC, TSC, = C ตัวท้าย แสดงถึงฉนวนที่ใช้ ทำมาจาก โพลีคาร์บอเนต

MKS, FKS, KS = S ตัวท้าย แสดงถึงฉนวนที่ใช้ ทำมาจาก โพลีสไตรีน



ภาพที่ 14 รูปร่างตัวเก็บประจุแบบฟิล์มพลาสติก

ที่มา: www.skn.ac.th, 23 มกราคม 2549

ตัวเก็บประจุชนิดนี้จะมีค่าความจุโดยประมาณตั้งแต่ 5 pF – 100 μ F และ มีค่าทนแรงดันไฟฟ้าโดยประมาณตั้งแต่ 100 V – 1600 V ซึ่งทั้งค่าความจุ และค่าทนแรงดันไฟฟ้าในตัวเก็บประจุแต่ละชนิดจะมีค่าไม่เท่ากัน

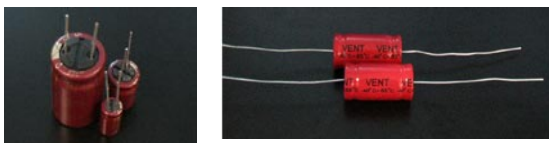
5) ตัวเก็บประจุแบบแทนทาลัม (TANTALUM CAPACITOR) เป็นตัวเก็บประจุชนิดที่มีค่าความจุสูง แต่มีขนาดเล็ก ทนทานต่อการใช้งาน ทนต่ออุณหภูมิและความชื้น และไม่มีการเสี้ยวไหลขณะนำไปใช้งาน โครงสร้างของตัวเก็บประจุแบบนี้คล้ายตัวเก็บประจุแบบอื่นๆ คือ ตัวเก็บประจุแบบแทนทาลัมประกอบด้วยแผ่นบางๆ ของแทนทาลัมที่เคลือบด้วยฉนวนที่มีค่าไดอิเล็กทริกสูงๆ พวกออกไซด์ของฉนวน และถูกเคลือบด้วยสารอิเล็กโทรไลต์ซึ่งหล่อคั่นระหว่างแผ่นบางๆ ของแทนทาลัมที่เคลือบด้วยฉนวนทั้งสองชนิด ต่อลวดตัวนำเชื่อมกับแผ่นบางๆ ของแทนทาลัมทั้งสองออกข้างนอก และเคลือบด้วยสารประเภทพลาสติกภายนอกอีกชั้นหนึ่ง สารอิเล็กโทรไลต์ที่ทำเป็นฉนวนมี 2 แบบ คือ แบบอิเล็กโทรไลต์ของแข็ง (SOLID ELECTROLYTE) ใช้แมงกานีสไดออกไซด์ (MnO_2) และแบบอิเล็กโทรไลต์ของเหลว (LIQUID ELECTROLYTE) ใช้กรดกำมะถัน (H_2SO_4) ค่าความจุของตัวเก็บประจุ แทนทาลัม จะมีค่า ความจุประมาณ $0.1 \mu F - 100 \mu F$ ค่าความทนแรงดันไฟฟ้าประมาณ $6 V - 120 V$



ภาพที่ 15 รูปร่างตัวเก็บประจุแบบแทนทาลัม
ที่มา: www.skn.ac.th, 23 มกราคม 2549

6) ตัวเก็บประจุแบบอิเล็กโทรไลติก (ELECTROLYTIC CAPACITOR)
เป็นตัวเก็บประจุที่สามารถสร้างให้มีค่าความจุสูงๆ ได้ บางครั้งเรียกตัวเก็บประจุแบบอะลูมิเนียม อิเล็กโทรไลติก ตัวเก็บประจุชนิดนี้ประกอบด้วยแผ่นอะลูมิเนียมทำเป็นขั้วบวก จุ่มอยู่ในน้ำยาเคมีที่เป็นสารละลายอิเล็กโทรไลติก ที่นำมาใช้งานมีหลายชนิดด้วยกัน เช่น อีเทอลีน กลีโกล (ETHYLENE GLYCOL), กลีเซอริน (GLYCERINE), บอริก แอซิก ลิกวิด แอมโมเนียม (BORIC ACID LIQUID AMMONIA) ฯลฯ ที่อยู่ในสภาพของเหลวชั้นบรรจุลงในกระบอกอะลูมิเนียม ต่อเป็นขั้วลบของแผ่นเพลท

เมื่อป้อนแรงดันไฟฟ้าให้แก่ตัวเก็บประจุ โดยป้อนแรงดันไฟบวกให้ขั้วบวก และแรงดันไฟลบให้ขั้วลบ สารละลายอิเล็กโทรไลติกจะมีการแยกตัวทางไฟฟ้าขึ้น ทำให้ขั้วบวกของตัวเก็บประจุเกิดฟิล์มอะลูมิเนียมออกไซด์ (ALUMINIUM OXIDE) ขึ้นรอบแผ่นบวก เป็นฉนวนที่บางกั้นระหว่างแผ่นเพลทบวกกับแผ่นเพลทลบ เกิดเป็นตัวเก็บประจุ สามารถประจุแรงดันไฟฟ้าไว้ได้ จะมีค่าความจุมากกว่าตัวเก็บประจุแบบอื่นๆ



ภาพที่ 16 รูปร่างตัวเก็บประจุแบบอิเล็กทรอนิกส์

ที่มา: www.skn.ac.th, 23 มกราคม 2549

2.2.2 ตัวเก็บประจุแบบปรับค่าได้ Variable capacitor

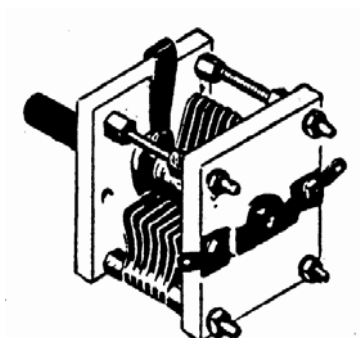
เป็น Capacitor ชนิดที่มีค่าคงที่ ซึ่งจะมีการนำวัสดุต่างๆ มาสร้างขึ้นเป็น Capacitor โดยทั่วไปจะมีค่าความจุไม่มากนัก โดยประมาณไม่เกิน 1 ไมโครฟารัด (μF)



ภาพที่ 17 สัญลักษณ์ตัวเก็บประจุปรับค่าได้

ที่มา: www.chontech.ac.th, 11 กุมภาพันธ์ 2549

Variable Capacitor เป็น Capacitor ที่เปลี่ยนค่าความจุได้ แบบนี้จะพบเห็นอยู่บ่อย ๆ ในเครื่องรับวิทยุต่าง ๆ ซึ่งเป็นตัวเลือกหาสถานีวิทยุ โดยมีแกนหมุน Trimmer หรือ Padder เป็น Capacitor ชนิดปรับค่าได้ ซึ่งคล้าย ๆ กับ Variable Capacitor แต่จะมีขนาดเล็กกว่าการใช้ Capacitor แบบนี้ถ้าต่อในวงจรแบบอนุกรมกับวงจรเรียกว่า Padder Capacitor ถ้านำมาต่อขนานกับวงจรเรียกว่า Trimmer



ภาพที่ 18 รูปร่างตัวเก็บประจุปรับค่าได้

ที่มา: www.skn.ac.th, 23 มกราคม 2549

2.3 การอ่านค่าความจุตัวเก็บประจุ

ค่าความจุของตัวเก็บประจุ จะบอกไว้ที่ตัวเก็บประจุนั้นๆ โดยพิมพ์ติดไว้ ทั้งค่าความจุ ค่าแรงดันไฟฟ้า และค่าความคลาดเคลื่อนที่คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ การบอกค่าดังกล่าวจะบอกไว้หลายลักษณะดังนี้คือ บอกเป็นค่าความจุอ่านค่าได้เลย บอกเป็นรหัสตัวเลข และบอกเป็นแถบสี เราเรียกหน่วยของคาปาซิแตนซ์เป็น ฟารัด (Farad ; F) ตามชื่อของนักฟิสิกส์ชาวอังกฤษ คือ ไมเคิล ฟาราเดย์

ค่าความจุเป็นตัวเลข การบอกค่าความจุแบบนี้ นอยมบอกค่าความจุในหน่วยพิโคฟารัด (pF) และไมโครฟารัด (μ F) ตัวเก็บประจุบางตัวก็จะบอกหน่วยกำกับไว้ แต่บางตัวอาจจะไม่บอกหน่วยกำกับไว้ บอกเฉพาะความจุตัวเลขเท่านั้น

ตัวเก็บประจุที่ไม่นิยมบอกหน่วยกำกับ บอกเฉพาะตัวเลขความจุ มักเป็นตัวเก็บประจุขนาดเล็กแบบไม่มีขั้ว การจะทราบหน่วยมีค่าเป็นพิโคฟารัด (pF) หรือไมโครฟารัด (μ F) นั้น ให้ดูจากตัวเลขที่เขียนกำกับไว้ ถ้าตัวเลขที่เขียนกำกับไว้มีค่าตั้งแต่ 1 ขึ้นไป เช่น 1, 10, 100, 500, ฯลฯ จะมีหน่วยเป็นพิโคฟารัด (pF) และถ้าตัวเลขที่เขียนกำกับไว้มีค่าน้อยกว่าเลข 1 ลงมา เช่น 0.01, 0.047, 0.1, ฯลฯ จะมีหน่วยเป็นไมโครฟารัด (μ F)

ค่าเปอร์เซ็นต์ผิดพลาด อาจบอกเป็นเปอร์เซ็นต์ออกมาเลย เช่น 1%, 2%, 3%, 5%, 10%, 15%, 20%, แต่บางตัวอาจถูกบอกค่าเป็นตัวอักษรภาษาอังกฤษ เช่น F, G, H, J, K, L, M, ตัวอักษรที่กำกับไว้มีค่าดังนี้

F ผิดพลาด \pm 1%

G ผิดพลาด \pm 2%

H ผิดพลาด \pm 3%

J ผิดพลาด \pm 5%

K ผิดพลาด \pm 10%

L ผิดพลาด \pm 15%

M ผิดพลาด \pm 20%

ตัวอย่างที่ 1

3,000 \pm 10% = ความจุ 3,000 pF ผิดพลาด \pm 10%

.001 20% 2KV = ความจุ 0.001 μ F ผิดพลาด \pm 20% ทนแรงดันได้ 2KV

.033 M 630 = ความจุ 0.003 μ F ผิดพลาด \pm 20% ทนแรงดันได้ 630V

10 J 50 = ความจุ 10 pF ผิดพลาด \pm 5% ทนแรงดันได้ 50V

3,300 μ F 350V = ความจุ 3,300 μ F ทนแรงดันได้ 350V

ค่าความจุรหัตเป็นตัวเลข การบอกค่าความจุแบบนี้คล้ายกับแบบแรกๆ คือ จะบอกค่าออกมาเป็นตัวเลข แต่แตกต่างกันตรงที่ตัวเลขที่บอกไว้ไม่เป็นทศนิยม ไม่ขึ้นต้นด้วยเลขศูนย์ นิยมใช้กับตัวเก็บประจุแบบไม่มีขั้ว ค่าความจุต่างๆ การอ่านค่าความจุ ให้อ่านตัวเลขปกติจากซ้ายไปขวา ตัวเลข 2 ตัวแรกด้านซ้าย เป็นตัวเลขบอกค่า ตัวเลขตัวที่ 3 เป็นตัวเลขบอกจำนวนเลขศูนย์ที่ต้องเติมเข้าไป และจะมีหน่วยเป็นพิโคฟารัด (pF) เสมอ ตัวเก็บประจุแบบนี้บางตัวอาจมีตัวอักษรภาษาอังกฤษกำกับไว้เป็นค่าความคลาดเคลื่อนหรือผิดพลาดของตัวเก็บประจุนั้นๆ มีตัวอักษร F, G, H, J, K, L, M, เช่นเดียวกับการอ่านแบบที่ 1 และมีค่าความผิดพลาดเช่นเดียวกับแบบที่ 1 ทุกประการ

ค่าความจุเป็นแถบสี ค่าความจุที่บอกเป็นแบบแถบสี ในปัจจุบันจะพบได้น้อย และไม่นิยมใช้งาน เพราะยุ่งยากในการอ่านค่า ไม่มีมาตรฐานที่แน่นอน แล้วแต่บริษัทผู้ผลิตเป็นผู้กำหนด การอ่านแถบสีจะใช้ค่าของสีเหมือนกับค่าของตัวต้านทาน ค่าของแถบสีจะบอกถึงค่าตามอนุทวีคูณ ตัวเก็บประจุที่บอกลักษณะนี้จะเป็นตัวเก็บประจุขนาดเล็กชนิดไม่มีขั้ว ค่าต้านทาน บอกเป็นจุดสี่เรียงสลับ หรือบอกแบบโค้ดสีแนวตั้ง โดยจะมีค่าตามแถบสีดังตาราง

ตารางที่ 3 แสดงโค้ดสีของตัวเก็บประจุ

| สี | ตัวเลข ตัวที่ 1 | ตัวเลข ตัวที่ 2 | ตัวคูณ(จำนวน ศูนย์) | ค่า ผิดพลาด±% | ค่าทน แรงดัน (V) |
|---------|--------------------|--------------------|------------------------|------------------|---------------------|
| ดำ | 0 | 0 | 1 | 20 | - |
| น้ำตาล | 1 | 1 | 10 | 1 | 100 |
| แดง | 2 | 2 | 100 | 2 | 200 |
| ส้ม | 3 | 3 | 1,000 | 3 | 300 |
| เหลือง | 4 | 4 | 10,000 | 4 | 400 |
| เขียว | 5 | 5 | 100,000 | 5 | 500 |
| น้ำเงิน | 6 | 6 | 1,000,000 | 6 | 600 |
| ม่วง | 7 | 7 | 10,000,000 | 7 | 700 |
| เทา | 8 | 8 | 100,000,000 | 8 | 800 |
| ขาว | 9 | 9 | 1,000,000,000 | 9 | 900 |
| ทอง | - | - | 0.01 | 5 | 1000 |
| เงิน | - | - | | 10 | 2000 |

2.4 การต่อตัวเก็บประจุ

การต่อตัวเก็บประจุเพื่อใช้ในการกำหนดค่าความต้านทานที่ต้องการสามารถทำได้โดยการต่อวงจรตัวต้านทาน มีอยู่ 2 แบบคือ

2.3.1 การต่อตัวเก็บประจุแบบอนุกรม

การต่อตัวเก็บประจุแบบอนุกรม ก็คือ การเอาตัวเก็บประจุมาเรียงต่อแบบเป็นลำดับ ทำให้ฉนวนของตัวเก็บประจุมีความหนามากขึ้น แผ่นเพลททั้ง 2 ของตัวเก็บประจุห่างกัน ค่าความจุของเก็บประจุจะลดลง ค่าความจุรวมของวงจรมีค่าน้อยกว่าค่าความจุตัวที่ค่าความจุน้อยที่สุดในวงจร ส่วนค่าทนแรงดันไฟฟ้ารวมจะมีค่าเท่ากับค่าแรงดันไฟฟ้าของตัวเก็บประจุแต่ละตัวรวมกัน

สมการการหาค่าความจุรวม

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

ถ้าตัวเก็บประจุ 2 ตัวต่ออนุกรมกัน จะใช้สมการดังนี้

$$C_T = \frac{C_1 \times C_2}{C_1 + C_2}$$

ค่าทนแรงดันไฟฟ้ารวมจะได้

$$V_T = V_1 + V_2 + V_3 + \dots + V_N$$

2.3.2 การต่อตัวเก็บประจุแบบขนาน

การต่อตัวเก็บประจุแบบขนาน ก็คือ การเอาตัวเก็บประจุมาต่อคร่อมเข้าด้วยกัน โดยรวมปลายขาของตัวเก็บประจุทุกตัวไว้ที่จุดๆ เดียวกัน และรวมปลายขาอีกขาหนึ่งของตัวเก็บประจุทุกตัวไว้ที่อีกจุดหนึ่ง เป็นการเพิ่มพื้นที่ของแผ่นเพลทในตัวเก็บประจุ ทำให้ตัวเก็บประจุมีค่า ความจุเพิ่มขึ้น ค่าความจุรวมของวงจรเท่ากับผลบวกของค่าความจุของตัวเก็บประจุแต่ละตัวรวมกัน ส่วนค่าทนแรงดันไฟฟ้ารวม จะมีค่าเท่ากับค่าทนแรงดันไฟฟ้าของตัวเก็บประจุตัวที่มีค่าทนแรงดันไฟฟ้าน้อยที่สุด

สมการการหาค่าความจุรวม

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

ค่าทนแรงดันไฟฟ้ารวมจะได้

$$V_T = V \text{ ต่ำสุด}$$

3. ตัวเหนี่ยวนำ

ตัวเหนี่ยวนำหรืออินดักเตอร์(INDUCTOR) หรือขดลวด ใช้ตัวย่อ “L” เป็นอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ชนิดหนึ่ง ที่มีบทบาทในการทำงาน ในการใช้กับเครื่องมือและอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ มีการใช้งานอย่างกว้างขวางทั่วไปดังนี้ ในเครื่องรับ-ส่งวิทยุ เครื่องรับโทรทัศน์ เรดาร์ ดาวเทียม เป็นต้น

3.1 ชนิดของตัวเหนี่ยวนำ

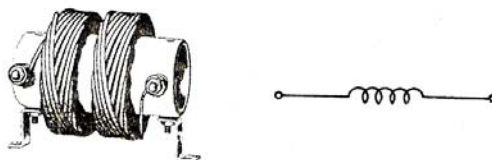
ชนิดของตัวเหนี่ยวนำโดยแบ่งตามลักษณะการเหนี่ยวนำ แบ่งออกได้เป็น 2 ชนิด คือ การเหนี่ยวนำในตัวเอง และการเหนี่ยวนำข้ามขด การเหนี่ยวนำทั้ง 2 ชนิดคือ การเหนี่ยวนำที่เกิดจากการป้อนกระแสไฟฟ้าไหลผ่านเข้าไปในตัวเหนี่ยวนำ ซึ่งจะทำให้เกิดสนามแม่เหล็กขึ้น ซึ่งถ้าเป็นการเหนี่ยวนำในตัวเอง สนามแม่เหล็กดังกล่าวจะมีการยุบตัวขึ้น พองตัวอยู่ในตัวเอง ทำให้เกิดแรงดันชักนำขึ้น แรงดันชักนำนี้จะเป็นตัวเสริมและหักล้างแรงดันที่ป้อนเข้ามา ประโยชน์ดังกล่าวนี้เอง ทำให้การนำตัวเหนี่ยวนำชนิดเหนี่ยวนำตัวเองไปใช้งาน กำเนิดความถี่ กรองความถี่ ดักความถี่ ตลอดจนนำไปใช้เป็นตัวกำจัดสัญญาณรบกวนต่างๆ

ถ้าเป็นการเหนี่ยวนำข้ามขด ตัวเหนี่ยวนำชนิดนี้จะมีขดลวดที่ถูกพันอยู่มากกว่าหนึ่งขด ขดหนึ่งจะเป็นขดทางเข้าหรือขดอินพุท ทำหน้าที่รับแรงดันที่ป้อนเข้ามา ทำให้เกิดสนามแม่เหล็กของตัวออก ขณะกระจายแรงดันเข้ามาสนามแม่เหล็กก็จะยุบตัวลง ส่วนขดลวดขดอื่นๆ ถือได้ว่าเป็นขดลวดทางออกหรือทางเอาท์พุท ทำหน้าที่รับการชักนำของสนามแม่เหล็กที่เกิดจากขดลวดอินพุท ขณะที่ขดลวดอินพุทพองตัวออก ขดลวดทางเอาท์พุทจะมีสนามแม่เหล็กตัดผ่านเกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำ (INDUCED ELECTRO MOTIVE FORCE) หรือเรียกสั้นๆว่า emf. ทางขดเอาท์พุทจะเกิดแรงดันไฟฟ้าขึ้น สามารถจ่ายออกไปใช้งานได้ ค่าแรงดันไฟฟ้าที่เกิดขึ้นทางขดเอาท์พุท จะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับจำนวนรอบของขดลวดที่พัน พันจำนวนรอบน้อยแรงดันไฟฟ้าเกิดน้อย พันจำนวนรอบมากแรงดันไฟฟ้ามาก นำหลักการนี้ไปใช้เป็นตัวแปลงแรงดันให้มากหรือน้อยลง เรียกว่า หม้อแปลง

3.1.1 การเหนี่ยวนำในตัวเอง

ตัวเหนี่ยวนำประเภทนี้มีขดลวดพันอยู่เพียงขดเดียว ซึ่งจะถูกรเรียกว่า ไช้ค หรือ คอยล์ โครงสร้างจะประกอบด้วยเส้นลวดทองแดงอาบน้ำยาฉนวน พันเป็นขดลวดอยู่บนแกนหรือฐานต่างๆกัน การเรียกชื่อตัวเหนี่ยวนำประเภทนี้จะเรียกตามชื่อของแกนที่เป็นฐานของขดลวดนั้นๆแบ่งออกได้เป็น

1) **ตัวเหนี่ยวนำแกนอากาศ** เป็นตัวเหนี่ยวนำที่แกนหรือฐานรอง ทำมาจากวัสดุที่เป็นฉนวน เช่น พลาสติก ไฟเบอร์ พันลวดๆไว้โดยไม่มีอะไรรองรับ หรือพันบนตัวต้านทานพวกคาร์บอน ซึ่งจะใช้งานกับความถี่สูง เช่น ความถี่วิทยุ (RF) มักจะเรียกตัวเหนี่ยวนำประเภทนี้ว่า อาร์เอฟ ไซค์

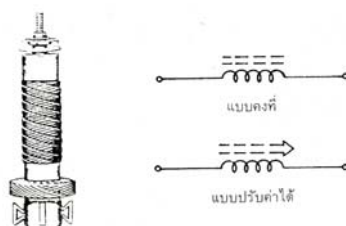


ภาพที่ 19 รูปร่างและสัญลักษณ์ตัวเหนี่ยวนำชนิดแกนอากาศ

ที่มา: พันธุ์ศักดิ์ พุฒิमानิตพงศ์ 2541 : 174

ตัวเหนี่ยวนำแกนอากาศจะให้ค่าความเหนี่ยวนำต่ำ เพราะแกนไม่สามารถเสริมค่าความเหนี่ยวนำได้ ในปัจจุบัน ไซค์ หรือคอยล์แกนอากาศ ได้ถูกสร้างขึ้นให้มีขนาดเล็กลง เพื่อใช้งานกับพวกความถี่สูง โดยใช้แกนเป็นพวกเซรามิค และถูกบรรจุอยู่ในฉนวนพลาสติกอย่างมิดชิด ทำหน้าที่เป็นวงจรฟิลเตอร์สัญญาณรบกวนที่ความถี่สูง

2) **ตัวเหนี่ยวนำแกนผงเหล็กอัด** เป็นตัวเหนี่ยวนำที่แกนเป็นผงเหล็กชนิดอัดแน่น แกนจะทำมาจากผงเหล็กผสมกับกาวอัดแน่นเป็นแท่ง นิยมใช้งานกับพวกความถี่ในย่านความถี่วิทยุ และทำให้ตัวเหนี่ยวนำมีค่าความเหนี่ยวนำสูงขึ้น โดยมีขนาดเล็กลง

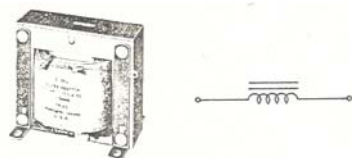


ภาพที่ 20 รูปร่างและสัญลักษณ์ตัวเหนี่ยวนำชนิดแกนผงเหล็กอัด

ที่มา: พันธุ์ศักดิ์ พุฒิमानิตพงศ์ 2541 : 174

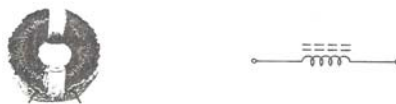
3) **ตัวเหนี่ยวนำแกนเหล็กแผ่น** เป็นตัวเหนี่ยวนำที่ทำด้วยเหล็กแผ่น โดยเหล็กแผ่นจะถูกผ่านบางๆ และเคลือบฉนวนเหล็กแต่ละแผ่นไว้เรียกว่า การแลมมิเนชัน เพื่อช่วยลดการสูญเสียเนื่องจากกระแสไหลวน ช่วยเพิ่มความเหนี่ยวนำให้มากขึ้น การใช้งานจะนิยมใช้งานกับพวกความถี่ต่ำ ในย่านความถี่เสียงหรือความถี่เอเอฟ (AF) เรียกตัวเหนี่ยวนำนี้ว่า เอเอฟ ไซค์ (AF

CHOKE) เช่น ใช้เป็นตัวกรองไฟกระแสสลับที่ผ่านการแปลงไฟเป็นไฟตรงที่เรียบ ซึ่งจะทำหน้าที่เป็นฟิวเตอร์



ภาพที่ 21 รูปร่างและสัญลักษณ์ตัวเหนี่ยวนำชนิดแกนเหล็กแผ่นแบบผ่านบางๆ
ที่มา: พันธุ์ศักดิ์ พุฒิमानิตพงศ์ 2541 : 175

4) **ตัวเหนี่ยวนำแกนทอรอยด์** เป็นตัวเหนี่ยวนำที่แกนทำมาจากผงเหล็กอัด หรือเฟอร์ไรท์ โดยสร้างขึ้นเป็นวงแหวนรูปโดนัท ขดลวดที่พันรอบแกนทอรอยด์ ข้อดีของการใช้แกนทอรอยด์คือ เส้นแรงแม่เหล็กจะไม่แพร่กระจายออกไปภายนอก และสนามแม่เหล็กจากภายนอกก็ไม่เข้ามารบกวน นอกจากนี้ยังสามารถทำให้ขนาดของตัวเหนี่ยวนำเล็กลง แต่มีค่าความเหนี่ยวนำมากขึ้น สามารถวางลงได้ในวงจรโดยไม่ต้องคำนึงถึงการรบกวนที่จะเกิดขึ้น การใช้งานนิยมใช้งานในวงจรอิเล็กทรอนิกส์ความถี่สูง ที่ต้องการค่าความเหนี่ยวนำสูงและสนามแม่เหล็กรบกวนต่ำ



ภาพที่ 22 รูปร่างและสัญลักษณ์ตัวเหนี่ยวนำชนิดแกนทอรอยด์
ที่มา: พันธุ์ศักดิ์ พุฒิमानิตพงศ์ 2541 : 175

5) **ตัวเหนี่ยวนำแกนเฟอร์ไรท์แบบถ้วย** เป็นตัวเหนี่ยวนำที่แกนทำด้วยเฟอร์ไรท์ ส่วนประกอบของเฟอร์ไรท์มีหลายชนิดด้วยกัน เช่น แมกนีเซียมกับสังกะสี, ทองแดงกับสังกะสี, ทองแดงกับแมกนีเซียม, นิกเกิลกับสังกะสี, แมงกานีสกับสังกะสี, แมงกานีสกับแมกนีเซียม เป็นต้น แต่ละแบบจะให้ความเข้มของค่าความเหนี่ยวนำต่างกัน แบบเฟอร์ไรท์ดีกว่าแบบแผ่นเหล็กตรงที่สามารถสร้างให้มีรูปร่างต่างๆ ได้ตามต้องการ สามารถนำไปใช้งานได้ทั้งความถี่ต่ำและความถี่สูง ความถี่ต่ำสามารถผ่านตัวเหนี่ยวนำแกนเฟอร์ไรท์ได้ดี ที่ความถี่สูงจะเกิดการสูญเสียสัญญาณน้อย



ภาพที่ 23 รูปร่างและสัญลักษณ์ตัวเหนี่ยวนำชนิดแกนอากาศ

ที่มา: พันธุ์ศักดิ์ พุฒิमानิตพงศ์ 2541 : 176

3.1.2 การเหนี่ยวนำข้ามขด

ตัวเหนี่ยวนำประเภทนี้ จะมีขดลวดพันอยู่บนแกนหรือฐานรองมากกว่าหนึ่งขด เช่น 2 ขด, 3 ขด, 4 ขด เป็นต้น โดยจะแบ่งเป็นขดทางเข้าหรืออินพุทเรียกว่า ขดปฐมภูมิ (PRIMARY) และขดทางออกหรือเอาต์พุทเรียกว่า ขดทุติยภูมิ (SECONDARY) ตัวเหนี่ยวนำประเภทนี้จะถูกเรียกว่า หม้อแปลง หรือทรานส์ฟอร์มเมอร์ (TRANSFORMER) การใช้งานของหม้อแปลงจะใช้เป็นตัวเชื่อมต่อระหว่างวงจร เพื่อให้เกิดการส่งผ่านที่สูงสุดเรียกว่า แมทซิ่ง (MATCHING) หรือใช้เป็นตัวเพิ่มลดระดับแรงดันไฟฟ้า โดยอาศัยค่าของการเหนี่ยวนำร่วมระหว่างขดลวดทั้ง 2 ขด ผ่านแกนของหม้อแปลง การเรียกชื่อหม้อแปลงจะเรียกตามชื่อของแกนที่เป็นฐานรองรับขดลวด แบ่งได้เป็น

1) หม้อแปลงแกนอากาศ เป็นหม้อแปลงที่ขดลวดทุกขดถูกพันบนแกนที่เป็นฉนวน เช่น พลาสติก ไฟเบอร์ ฯลฯ นิยมใช้งานกับย่านความถี่สูง เพราะมีความเหนี่ยวนำต่ำ



ภาพที่ 24 รูปร่างและสัญลักษณ์ตัวเหนี่ยวนำชนิดแกนอากาศ

ที่มา: พันธุ์ศักดิ์ พุฒิमानิตพงศ์ 2541 : 176

2) หม้อแปลงแกนผงเหล็กหรือแกนเฟอร์ไรท์ เป็นหม้อแปลงที่แกนของขดลวดทำมาจากผงเหล็กหรือเฟอร์ไรท์อัดเป็นแท่ง หรืออาจเป็นส่วนผสมของสาร 2 ชนิด เช่น ผงแมกนีเซียมกับผงสังกะสีอัดเป็นแท่ง หรือผงแมกนีสิียมกับผงแมกนีเซียมอัดเป็นแท่ง ซึ่งขึ้นอยู่กับการผลิต นิยมใช้งานกับพวกความถี่สูง ในเครื่องรับ-ส่งวิทยุ ย่านวิทยุ AM, วิทยุ FM, ฯลฯ เช่น ใช้งานเป็นภาคอาร์เอฟ (RF), ภาคไอเอฟ(IF), และภาคออสซิลเลเตอร์(OSC), จะมีใช้ทั้งแบบคงที่และปรับค่าได้

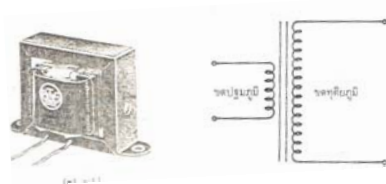


ภาพที่ 25 รูปร่างและสัญลักษณ์ตัวเหนี่ยวนำชนิดหม้อแปลงเหล็กอัด

ที่มา: พันธุ์ศักดิ์ พุฒิमानิตพงศ์ 2541 : 177

3)หม้อแปลงแกนเหล็ก เป็นหม้อแปลงที่แกนของขดลวดทำมาจากแผ่นเหล็กฝานบางๆ และเคลือบด้วยฉนวนที่ผิวแผ่นเหล็กทุกแผ่น นำมาซ้อนกันเป็นแกน การนำไปใช้งานจะนำไปใช้กับความถี่ต่ำ ทำหน้าที่เป็นตัวแปลงไฟ เพื่อเพิ่มระดับแรงดันไฟฟ้าที่จะจ่ายไปใช้งานการเรียกชื่อหม้อแปลงประเภทนี้เรียกตามชื่อลักษณะการใช้งานของหม้อแปลง คือ

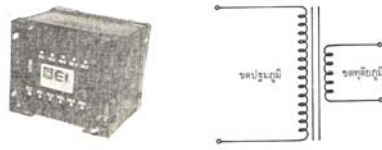
สเต็ปอัพทรานส์ฟอร์มเมอร์ เป็นหม้อแปลงแกนเหล็กที่ทำหน้าที่เพิ่มแรงดันไฟฟ้าทางด้านออกให้สูงกว่าแรงดันไฟฟ้าที่ป้อนเข้ามา คือขดทางปฐมภูมิจะมีจำนวนรอบของการพันขดลวดน้อยกว่าจำนวนรอบของขดลวดทางทุติยภูมิ



ภาพที่ 26 รูปร่างและสัญลักษณ์ตัวเหนี่ยวนำสเต็ปอัพ ทรานส์ฟอร์มเมอร์

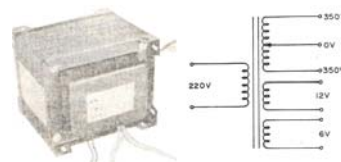
ที่มา: พันธุ์ศักดิ์ พุฒิमानิตพงศ์ 2541 : 177

สเต็ปดาวน์ ทรานส์ฟอร์มเมอร์ เป็นหม้อแปลงแกนเหล็กที่ทำหน้าที่ลดแรงดันไฟฟ้าทางด้านออกให้ต่ำกว่าแรงดันไฟฟ้าที่ป้อนเข้ามา คือขดทางปฐมภูมิจะมีจำนวนรอบของการพันขดลวดมากกว่าจำนวนรอบของขดลวดทางทุติยภูมิ



ภาพที่ 27 รูปร่างและสัญลักษณ์ตัวเหนี่ยวนำสเต็ปดาวน์ ทรานส์ฟอร์มเมอร์
ที่มา: พันธุ์ศักดิ์ พุฒิमानิตพงศ์ 2541 : 178

เพาเวอร์ทรานส์ฟอร์มเมอร์ เป็นหม้อแปลงแกนเหล็กที่มีลักษณะการพันขดลวดหลายขด รวมอยู่บนแกนเดียวกัน ในขดทางออกหรือขดทุติยภูมิจะมีการพันขดลวดทั้งแบบสเต็ปอัพและแบบสเต็ปดาวน์ รวมอยู่ในตัวเดียวกัน



ภาพที่ 28 รูปร่างและสัญลักษณ์ตัวเหนี่ยวนำเพาเวอร์ ทรานส์ฟอร์มเมอร์
ที่มา: พันธุ์ศักดิ์ พุฒิमानิตพงศ์ 2541 : 178

ออโตทรานส์ฟอร์มเมอร์ เป็นหม้อแปลงแกนเหล็กที่มีการพันขดลวดอยู่บนแกนเพียงขดเดียว แต่มีการแท็ปแยกขั้วออกมากกว่าหนึ่งขด มีระดับแรงดันไฟฟ้าที่ต่างกัน



ภาพที่ 29 รูปร่างและสัญลักษณ์ตัวเหนี่ยวนำออโต้ทรานส์ฟอร์มเมอร์
ที่มา: พันธุ์ศักดิ์ พุฒิमानิตพงศ์ 2541 : 179

ทอรอยด์ ทรานส์ฟอร์มเมอร์ เป็นหม้อแปลงแกนเหล็กที่สร้างขึ้นมาในรูปร่างกลมเหมือนโดนัท มีข้อดีกว่าแบบแปลงแกนเหล็กธรรมดาตรงที่มีการสูญเสียต่ำ ความเข้มของ

สนามแม่เหล็กสูง ทำให้ค่าความเหนี่ยวนำสูง มีขนาดเล็กกะทัดรัด นิยมนำไปใช้งานอย่างกว้างขวาง ทั่วไป เช่น เครื่องขยายเสียงวัตต์สูง ในที่ที่ต้องการเนื้อที่จำกัด เช่น รถยนต์ เครื่องบิน เป็นต้น



ภาพที่ 30 รูปร่างและสัญลักษณ์ตัวเหนี่ยวนำทอรอยด์ ทรานเฟอร์เมอร์
ที่มา: พันธุ์ศักดิ์ พุฒิमानิตพงศ์ 2541 : 179

3.2 การหาค่าตัวเหนี่ยวนำ

3.2.1 การหาค่าตัวเหนี่ยวนำในขด

ตัวเหนี่ยวนำได้ถูกนำขึ้นมาใช้ในวงจรอิเล็กทรอนิกส์ และวงจรไฟฟ้าอย่างแพร่หลาย ในวงจรอิเล็กทรอนิกส์อาจกล่าวได้ว่าประกอบด้วยตัวเหนี่ยวนำหลายๆ ส่วนของวงจรก็ว่าได้ เพียงแต่ค่าความเหนี่ยวนำบางส่วนอาจน้อยมากจนไม่ต้องมาคำนึงถึง ค่าความเหนี่ยวนำของเส้นลวดตัวนำจะขึ้นอยู่กับองค์ประกอบต่างๆ ดังนี้

1. จำนวนรอบ (N) หรือความยาวของขดลวด การพันขดลวดให้มีจำนวนรอบมากค่าความเหนี่ยวนำจะมีค่ามาก ถ้าพันขดลวดมีจำนวนน้อย ค่าความเหนี่ยวนำจะมีค่าน้อย โดยปกติค่าความเหนี่ยวนำ (L) จะเพิ่มขึ้นเป็นสัดส่วนกำลังสองของจำนวนรอบที่พัน (N^2)
2. พื้นที่หน้าตัดของแกน (A) ที่ขดลวดพันอยู่ ถ้าแกนที่พันขดลวดเป็นแกนชนิดเดียวกัน ความเหนี่ยวนำ จะเพิ่มขึ้นตามขนาดหน้าตัดของแกนนั้น
3. ค่าความซึมซาบของแกน (PERMEABILITY ; μ_r) ที่ใช้ในการพันขดลวด เช่น ใช้แกนอากาศจะมีค่าซึมซาบ (μ_r) เท่ากับ 1 ส่วนแกนอื่นๆ ก็จะมีค่าความซึมซาบ (μ_r) แตกต่างกันไป เช่นแกนเหล็กจะมีค่าความซึมซาบ (μ_r) เท่ากับ 100 เป็นต้น
4. ความยาวของการพันลวด (l) เมื่อกำหนดให้จำนวนรอบของขดลวดที่พันเท่าเดิมการพันบนแกนที่ยาวจะทำให้ระยะห่างระหว่างรอบมาก ค่าความเหนี่ยวนำจะมีค่าน้อย ถ้าพันขดลวดบนแกนที่สั้น ขดลวดจะพันรอบชิดกัน ทำให้เส้นแรงแม่เหล็กมีจำนวนมาก ส่งผลให้ค่าเหนี่ยวนำมีค่ามาก

จากที่กล่าวมาสามารถนำมาคำนวณได้โดยใช้สูตร

$$L = \mu_r \times \frac{N^2 \times A}{I} \times 1.26 \times 10^{-6}$$

L = ความเหนี่ยวนำ หน่วย เฮนรี (H)

μ_r = ความซึมซาบของแกน ไม่มีหน่วย

A = พื้นที่หน้าตัดของแกน หน่วย ตารางเซนติเมตร (Cm^2)

I = ความยาวของแกน หน่วย เซนติเมตร

N = จำนวนรอบของขดลวด หน่วย รอบ

3.2.2 การหาค่าความเหนี่ยวนำระหว่างขดลวด 2 ขด

เมื่อนำขดลวดตัวนำ 2 ขดมาวางใกล้กัน แล้วจ่ายแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าให้กับขดลวดตัวนำขดหนึ่ง เมื่อกระแสไฟฟ้าในขดแรกเปลี่ยนแปลงจะทำให้เส้นแรงแม่เหล็กเปลี่ยนแปลง สามารถยุบตัวตัดกับขดลวดตัวนำขดที่สองที่วางใกล้ๆ ทำให้ขดลวดทำให้ขดลวดตัวนำขดที่สองเกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้าชักนำขึ้นได้ เรียกการเกิดสภาวะเช่นนี้ว่าการเหนี่ยวนำ

การเกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้าชักนำขึ้นนี้ เนื่องจากการเชื่อมต่อของสนามแม่เหล็ก ซึ่งการเหนี่ยวนำระหว่างขดลวดตัวนำทั้งสองจะมีประสิทธิภาพดีเฉพาะเพียงใดขึ้นอยู่กับองค์ประกอบ ดังนี้

1. ระยะความห่างระหว่างขดลวดทั้งสอง คือ ถ้าวางขดลวดใกล้กัน ค่าความเหนี่ยวนำจะสูง ถ้าวางห่างกันค่าความเหนี่ยวนำจะต่ำ
2. แกนที่ใช้สำหรับพันขดลวด มีค่าความซึมซาบของแกนมากน้อยเพียงไร ถ้าความซึมซาบมีค่ามากค่าความเหนี่ยวนำก็สูง ถ้าความซึมซาบมีค่าน้อยค่าความเหนี่ยวนำก็ต่ำ
3. จำนวนรอบของขดลวด ขดลวดจำนวนรอบมาก ค่าความเหนี่ยวนำจะสูงและแรงดันสูงด้วย ขดลวดจำนวนรอบน้อย ค่าความเหนี่ยวนำจะต่ำและแรงดันจะต่ำด้วย
4. ตำแหน่งการวางขดลวดทั้งสอง คือ ถ้าวางขดลวดทั้งสองตั้งฉากกัน จะไม่เกิดค่าความเหนี่ยวนำ แต่ถ้าวางขดลวดทั้งสองขนานกันจะทำให้ค่าความเหนี่ยวนำเพิ่มขึ้น

ผลทั้งหมดที่กล่าวมาเป็นการเหนี่ยวนำขดลวดตั้งแต่ 2 ขด จะเรียกการเหนี่ยวนำนี้ว่า ค่าความเหนี่ยวนำร่วมหรือมิวชวน อินดักแตนซ์ (MUTUAL INDUCTANC) ใช้ตัวย่อ L_M

เราสามารถคำนวณหาค่าความเหนี่ยวนำร่วม (L_M) ระหว่างขดลวด 2 ขดได้จากความสัมพันธ์ระหว่าง ขดลวดทางปฐม (L_1) กับขดลวดปฐมภูมิ (L_2) และค่าสัมประสิทธิ์ของตัวเหนี่ยวนำ (K) เขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$L_M = K \sqrt{L_1 \times L_2}$$

L_M = ค่าความเหนี่ยวนำขดลวด หน่วย เฮนรี (H)

L_1 = ขดลวดปฐมภูมิ หน่วย เฮนรี (H)

L_2 = ขดลวดทุติยภูมิ หน่วย เฮนรี (H)

K = สัมประสิทธิ์ของการเหนี่ยวนำระหว่างขดลวดทั้งสอง ไม่มีหน่วย

3.3 การต่อตัวเหนี่ยวนำ

การต่อตัวเหนี่ยวนำเพื่อนำไปใช้งาน สามารถต่อได้ทั้งแบบอนุกรมและแบบขนาน โดยจะมีคุณสมบัติการต่อวงจรเหมือนกับการต่อวงจรต่อกันแบบอนุกรมและแบบขนานมาเขียนแทนได้

3.3.1 การต่อตัวต้านทานแบบอนุกรม

การต่อแบบนี้ค่าความเหนี่ยวนำรวมกับค่าความเหนี่ยวนำแต่ละตัวรวมกัน

โดยมีสมการการหาค่าความเหนี่ยวนำรวมคือ

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

กรณีตัวเหนี่ยวนำ 2 ตัวต่อแบบอนุกรมและวางไว้ชิดกัน ค่าความเหนี่ยวนำระหว่างขดลวดทั้งสองจะมีผลต่อค่าความเหนี่ยวนำรวมในวงจร กล่าวคือ ถ้าต่อขดลวดทั้งสองให้มีกระแสไฟฟ้าไหลไปทิศทางเดียวกัน และเส้นแรงแม่เหล็กทุกเส้นที่เกิดขึ้นระหว่างขดลวดทั้งสองเกิดขึ้นเสริมแรงซึ่งกันและกัน เปรียบเสมือนเป็นขดลวดเดียวกัน จะทำให้ค่าความเหนี่ยวนำเพิ่มมากขึ้นไปอีก เรียกการต่อแบบนี้ว่าการต่อแบบเสริม (SERIES AIDING)

การต่อแบบอนุกรมเสริม ค่าความเหนี่ยวนำรวมจะมีค่า

$$L_T = L_1 + L_2 + 2L_M$$

ถ้าการต่อขดลวดทั้ง 2 ขด มีทิศทางกระแสไฟฟ้าสวนทางกัน และเส้นแรงแม่เหล็กที่เกิดขึ้นหักล้างกัน จะทำให้ค่าความเหนี่ยวนำรวม (L_M) จะหักล้างกับค่าความเหนี่ยวนำขดลวดทั้งสอง เรียกการต่อแบบนี้ว่าหักล้าง (SERIES OPPOSING)

การต่อแบบอนุกรมเสริม ค่าความเหนี่ยวนำรวมจะมีค่า

$$L_T = L_1 + L_2 - 2L_M$$

$$L_M = \text{ค่าความเหนี่ยวนำขดลวด} \quad \text{หน่วย เฮนรี่ (H)}$$

$$L_1 L_2 = \text{ค่าความเหนี่ยวนำขดลวดแต่ละขด} \quad \text{หน่วย เฮนรี่ (H)}$$

$$L_T = \text{ค่าความเหนี่ยวนำรวมของวงจร} \quad \text{หน่วย เฮนรี่ (H)}$$

3.3.2 การต่อตัวเหนี่ยวนำแบบขนาน

การต่อแบบนี้ค่าความเหนี่ยวนำรวมจะมีค่าน้อยกว่าตัวเหนี่ยวนำที่น้อยที่สุดในวงจร

สมการการหาค่าความเหนี่ยวนำรวมของวงจร

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

กรณีที่ตัวเหนี่ยวนำทั้ง 2 ตัวต่อขนานกัน และวางชิดกัน โดยจ่ายแรงดันไฟฟ้าให้เกิดสนามแม่เหล็กของทั้ง 2 เสริมกัน ทำให้ค่าความเหนี่ยวนำรวมเสริมกับค่าความเหนี่ยวนำของแต่ละขด

สามารถเขียนค่าสมการของค่าความเหนี่ยวนำได้ดังนี้

$$\frac{1}{L_T} = \frac{1}{L_1 + L_M} + \frac{1}{L_2 + L_M}$$

กรณีที่ตัวเหนี่ยวนำทั้ง 2 ตัวต่อขนานกัน และวางชิดกัน โดยจ่ายแรงดันไฟฟ้าให้เกิดสนามแม่เหล็กของทั้ง 2 แบบหักล้างกันกัน ทำให้ค่าความเหนี่ยวนำหักล้างกับค่าความเหนี่ยวนำของแต่ละขด

สามารถเขียนค่าสมการของค่าความเหนี่ยวนำได้ดังนี้

$$\frac{1}{L_T} = \frac{1}{L_1 - L_M} + \frac{1}{L_2 - L_M}$$

4. ไดโอด

ไดโอด เป็นอุปกรณ์ที่ทำจากสารกึ่งตัวนำ p-n สามารถควบคุมให้กระแสไฟฟ้าจากภายนอกไหลผ่านตัวมันได้ทิศทางเดียว ไดโอดประกอบด้วยขั้ว 2 ขั้ว คือ แอโนด (Anode ; A) ซึ่งต่ออยู่กับสารกึ่งตัวนำชนิด p และ แคโทด (Cathode ; K) ซึ่งต่ออยู่กับสารกึ่งตัวนำชนิด n โดยใช้ตัวย่อ “D”

4.1 โครงสร้าง สัญลักษณ์และกราฟคุณสมบัติ

ไดโอดเกิดจากการนำสารกึ่งตัวนำชนิด n-type และ p-type มาต่อกัน ซึ่งจุดที่สารกึ่งตัวนำทั้งสองสัมผัสกันเรียกว่า รอยต่อ (Junction) โดยรอยต่อนี้จะยอมให้อิเล็กตรอนอิสระที่มีอยู่มากในด้าน n-region เคลื่อนที่ข้ามไปรวมกับโฮลในด้าน p-region ดังแสดงในรูป (ก) และเนื่องจากอิเล็กตรอนจาก n-region เคลื่อนที่ข้ามรอยต่อไปรวมกับโฮลในด้าน p-region จึงทำให้เกิดประจุไฟฟ้าลบใน p-region ขึ้น และทั้งบริเวณที่อิเล็กตรอนเคลื่อนที่ออกมาจาก n-region ให้เป็นประจุไฟฟ้าบวก ดังแสดงในรูป (ข) จากปรากฏการณ์นี้จึงทำให้พื้นที่หรือชั้นของรอยต่อซึ่งประกอบขึ้นจากประจุไฟฟ้าบวกด้านหนึ่ง และประจุไฟฟ้าลบอีกด้านหนึ่ง ซึ่งชั้นของรอยต่อที่เกิดขึ้นนี้เรียกว่า "Depletion Region" ซึ่งเมื่อชั้นของรอยต่อเริ่มก่อตัวขึ้นก็จะไปมีผลทำให้ไม่มีการรวมตัวระหว่างอิเล็กตรอนอิสระ และ โฮลข้ามรอยต่ออีกต่อไป กล่าวอีกนัยหนึ่งก็คือ ประจุไฟฟ้าลบใน p-region ที่อยู่ใกล้กับบริเวณรอยต่อจะผลักอิเล็กตรอนอิสระจาก n-region ไม่ให้เข้ามารวมอีก จากปฏิกิริยานี้จะเป็นการป้องกันไม่ให้ Depletion Region ขยายกว้างออกไปอีก

ประจุไฟฟ้าบวก และประจุไฟฟ้าลบที่บริเวณรอยต่อนี้จะมีศักย์ไฟฟ้าสะสมในตัวระดับหนึ่งและเนื่องด้วยประจุทั้งสองมีขั้วตรงกันข้ามกัน จึงทำให้เกิดความต่างศักย์ไฟฟ้าหรือแรงดันไฟฟ้าปรากฏคร่อมรอยต่อ ซึ่งความต่างศักย์ไฟฟ้านี้มีชื่อเรียกว่า กำแพงศักย์ไฟฟ้า (Barrier Potential) หรือ กำแพงแรงดันไฟฟ้า (Barrier Voltage) ดังแสดงในรูป โดยขนาดของกำแพงแรงดันไฟฟ้าที่บริเวณรอยต่อ P-N สำหรับซิลิกอนไดโอดจะมีค่าประมาณ 0.7 V และถ้าเป็นของเยอรมันเนียมไดโอดจะมีค่าประมาณ 0.3 V

ไดโอดประกอบด้วยขั้วต่อ 2 ขั้ว มีชื่อเรียกว่า แอโนด (Anode) และแคโทด (Cathod) โดยมีสัญลักษณ์ ดังแสดงในรูปที่ 32



ภาพที่ 31 โครงสร้างของไดโอด

ที่มา:www.ku.ac.th

17 มกราคม 2549



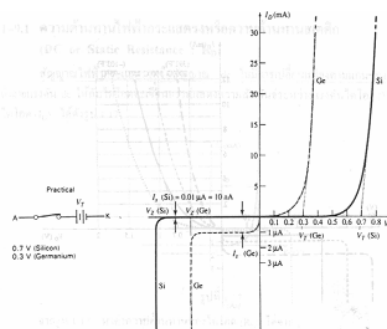
ภาพที่ 32 สัญลักษณ์ของไดโอด

ที่มา : www.ku.ac.th, 17 มกราคม 2549

โดยปกติแล้วไดโอดถูกออกแบบให้มีรูปลักษณะที่แตกต่างกัน 3 แบบ ดังแสดงในรูป ซึ่งรูปลักษณะเช่นนี้จะช่วยป้องกันไม่ให้ไดโอดเสียหายง่าย สำหรับขนาดของไดโอดจะแสดงถึงอัตราทนกระแสไฟฟ้าที่ไดโอดยอมให้ไหลผ่านได้ ส่วนแถบคาบดลิตาที่พิมพ์อยู่ที่ขอบด้านใดด้านหนึ่ง จะแสดงถึงขั้วคาโทด

ไดโอดในทางปฏิบัติมีการแพร่กระจายของพาหะส่วนน้อยที่บริเวณรอยต่ออยู่จำนวนหนึ่ง ดังนั้น ถ้าต่อไบอัสตรงให้กับไดโอดในทางปฏิบัติก็จะเกิด แรงดันเสมือน ($V_{Ge} \approx 0.3V$; $V_{Si} \approx 0.7V$) ซึ่งด้านแรงดันไฟฟ้าที่จ่ายเพื่อการไบอัสตรง ดังรูป

ขนาดของแรงดันเสมือนจึงเป็นตัวบอกจุดทำงาน ดังนั้น จึงเรียก แรงดันเสมือน อีกอย่างหนึ่งว่า แรงดันในการเปิด (Turn-on Voltage ; V_t)



ภาพที่ 33 กราฟคุณสมบัติของไดโอด

ที่มา : www.ku.ac.th, 17 มกราคม 2549

กรณีไบอัสกลับ เราทราบว่า Depletion Region จะขยายกว้างขึ้น แต่ก็ยังมีพาหะข้างน้อยแพร่กระจายที่รอยต่ออยู่จำนวนหนึ่ง แต่ก็ยังมีกระแสรั่วไหลอยู่จำนวนหนึ่ง เรียกว่า กระแสรั่วไหล (Leakage Current) เมื่อเพิ่มแรงดันไฟฟ้าขึ้นเรื่อยๆ กระแสรั่วไหลจะเพิ่มขึ้นจนถึงจุดที่ไดโอดนำกระแสเพิ่มขึ้นมาก ระดับกระแสที่จุดนี้ เรียกว่า กระแสอิ่มตัวย้อนกลับ (Reverse Saturation Current ; I_s) แรงดันไฟฟ้าที่จุดนี้ เรียกว่า แรงดันพังทลาย (Breakdown Voltage)

4.2 การทำงานของไดโอด

ไดโอดจะทำงานเหมือนสวิตช์ โดยถ้าศักย์ไฟฟ้าทางด้านแอนโอดเป็นบวกเมื่อเทียบกับคาโทด ไดโอดจะปิดสวิตช์ดัง สถานะการทำงานของไดโอดลักษณะนี้ เรียกว่า ไดโอดอยู่ในสถานะ ON หรือไบอัสตรง (Forward Bias) ในทางตรงกันข้าม ถ้าศักย์ไฟฟ้าทางด้านแอนโอดเป็นลบเมื่อเทียบกับคาโทด ไดโอดจะเปิดสวิตช์ สถานะการทำงานของไดโอดลักษณะนี้เรียกว่า ไดโอดอยู่ในสถานะ OFF หรือไบอัสกลับ (Reverse Bias)

4.3 การต่อไดโอด

ด้วยไดโอดเป็นสารกึ่งตัวนำชนิดรอยต่อ P-N ดังนั้นการที่จะทำให้ไดโอดทำงานจะต้องให้ขนาดแรงดันไฟฟ้า และชนิดของขั้วที่ถูกต้องแก่ไดโอด แรงดันไฟฟ้าที่ให้กับไดโอดเรียกว่า แรงดันไบอัส (Bias Voltage) แรงดันไบอัสทำหน้าที่ควบคุมความกว้างของส่วนที่เป็น Depletion Region ซึ่งเป็นความต้านทานที่เกิดขึ้นที่บริเวณรอยต่อ ดังนั้นจึงเสมือนเป็นการควบคุมปริมาณกระแสไฟฟ้าที่จะไหลผ่านไดโอดนั่นเอง

4.3.1 ไบอัสตรง (Forward Bias)

การจัดไบอัสตรงให้กับไดโอด จากที่ทราบมาแล้วว่าการทำงานของไดโอดถูกกำหนดโดยชนิดของขั้วไฟฟ้า จากรูปจะเห็นว่าขั้วลบของแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้าต่อเข้ากับ n-region และขั้วบวกของแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้าต่อเข้ากับส่วนที่เป็น p-region ของไดโอด อิเล็กตรอนอิสระจะถูกผลักออกจากส่วน n-region เนื่องจากอิทธิพลของขั้วลบของแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้า และถูกดึงไปยังขั้วบวกของแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้า การไหลของอิเล็กตรอนนี้จะเกิดขึ้นได้ก็ต่อเมื่อขนาดของแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้ามากพอที่จะเอาชนะกำแพงแรงดันที่อยู่ที่บริเวณรอยต่อ ซึ่งสำหรับซิลิกอน ไดโอดแรงดันของแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้าเท่ากับ 0.7 V หรือมากกว่า ในขณะที่เยอรมันเนียมไดโอดเท่ากับ 0.3 V หรือมากกว่า ไดโอดจะยังคงนำกระแสอยู่ตลอดเวลาถ้ายังได้รับการไบอัสที่ถูกต้องอยู่ ดังแสดงในรูป แสดงทิศทางการไหลของกระแสทางตรง (Forward Current, I_F) หรือเป็นกระแสอิเล็กตรอน ซึ่งจะไหลจากขั้วลบของแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้าไปยัง n-region และ p-region ตามลำดับ จากนั้นจึงไหลต่อไปยังขั้วบวกของแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้า สำหรับการไหลของกระแสโซลหรือที่เรียกว่า กระแสนิยม (Conventional Current) จะไหลในทิศทางตรงกันข้ามกับทิศทางการไหลของกระแสอิเล็กตรอน ดังแสดงในรูป (ข) จึงสรุปได้ว่า การไหลของกระแสอิเล็กตรอนจะไหลจากขั้วลบไปยังขั้วบวก ในขณะที่กระแสโซลหรือกระแสนิยมจะไหลจากขั้วบวกไปยังขั้วลบ การที่ทราบถึงแรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อมไดโอด ($V_{Si} = 0.7 \text{ V}$, $V_{Ge} = 0.3 \text{ V}$) ขนาดของแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้าและค่าความต้านทานของวงจรก็สามารถคำนวณหาปริมาณกระแสทางตรงได้

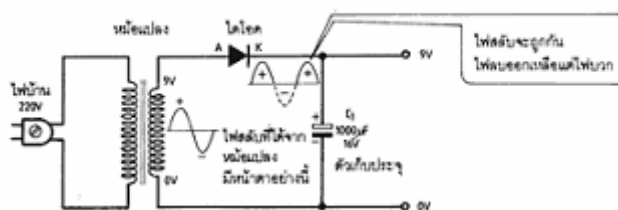
4.3.2 ไบอัสกลับ (Reverse Bias)

แสดงการต่อไดโอดแบบไบอัสกลับ โดยการต่อขั้วบวกของแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้าเข้ากับ n-region และขั้วลบเข้ากับ p-region ของไดโอด การต่อแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้าในลักษณะนี้จะทำให้อิเล็กตรอนอิสระใน n-region ถูกดึงให้เคลื่อนที่ไปยังขั้วบวก ในขณะที่เดียวกัน โฮลก็จะถูกดึงจากขั้วลบเช่นกัน จากเหตุผลดังกล่าวจึงส่งผลให้บริเวณ Depletion Region ขยายกว้างมากขึ้น จนทำให้แรงดันไฟฟ้าภายในมีค่าเท่ากับแรงดันไฟฟ้าของแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้าแต่มีขั้วตรงกันข้าม จึงส่งผลให้ไดโอดไม่นำกระแสไฟฟ้าในที่สุด

4.4 การนำไดโอดไปใช้งาน

จากที่กล่าวมาข้างต้นคงพอจะได้รับความรู้เกี่ยวกับคุณสมบัติของไดโอดกันพอสมควร เนื้อหาต่อไปจะเป็นการนำไดโอดไปใช้งาน

โดยส่วนใหญ่แล้วไดโอดจะใช้งานด้านการแปลงไฟสลับเป็นไฟตรง หรือวงจรเรกติไฟเออร์ ทำหน้าที่แปลงแรงดันไฟสลับให้เป็นไฟตรง โดยใช้ไดโอด การทำงานอาศัยคุณสมบัติการจ่ายไบอัสตรงและกลับให้ตัวไดโอด เพื่อให้ไดโอดนพกระแสและหยุดนำกระแส ตามสภาวะไบอัสดังกล่าว



ภาพที่ 35 แสดงการนำไดโอดไปใช้งานในวงจรจ่ายแปลงไฟสลับเป็นไฟตรง

ที่มา : www.ku.ac.th, 17 มกราคม 2549

จากรูปเป็นการทำงานของไดโอด (เป็นวงจรเรกติฟลายแบบครึ่งคลื่น) เมื่อนำไปใช้กับวงจรไฟสลับไดโอดจะทำงานตามคุณสมบัติการจ่ายไบอัสให้ตัวไดโอดคือ ไบอัสตรงไดโอดนำกระแส ไบอัสกลับไดโอดไม่นำกระแสสลับกันไป จากรูปนั้น หันขาคาโทดออกเอาท์พุท เมื่อแรงดันอินพุตเข้ามาเป็นบวกไดโอดได้รับไบอัสตรงนำกระแส สัญญาณเอาท์พุทจึงได้เป็นบวก เมื่อแรงดันอินพุตเป็นลบ ไดโอดได้รับไบอัสกลับไม่นำกระแส เอาท์พุทจึงเป็นศูนย์ เอาท์พุทก็จะได้เป็นแรงดันไฟตรงที่เป็นบวก

นอกจากนำไดโอดไปใช้งานในวงจรแปลงไฟสลับให้เป็นไฟตรงแบบครึ่งคลื่นแล้ว (วงจรเรกติฟลายแบบครึ่งคลื่น) ยังสามารถนำไดโอดไปใช้ในวงจรอิเล็กทรอนิกส์อื่นๆอีก เช่น วงจรเรกติฟ

ลายแบบเต็มคลื่น, วงจรเร็กติไฟลายแบบบริดจ์, วงจรเพิ่มแรงดันเป็นสองเท่าแบบเต็มคลื่น, วงจรเพิ่มแรงดันเป็นสามเท่าแบบเต็มคลื่น, วงจรเพิ่มแรงดันเป็นสี่เท่าแบบเต็มคลื่น, วงจรเพิ่มแรงดันเป็น n เท่า, วงจรตัดสัญญาณ, วงจรยกระดับสัญญาณ เป็นต้น

5. ทรานซิสเตอร์

ทรานซิสเตอร์ (Transistor) ถูกผลิตใช้งานมาตั้งแต่ปี พ.ศ.2490 ได้ถูกพัฒนาเรื่อยมาจนถึงปัจจุบัน ทรานซิสเตอร์ที่นิยมผลิตขึ้นมาใช้งานจะเป็นแบบรอยต่อ หรือจังก์ชันทรานซิสเตอร์ เพราะสร้างง่าย และให้ประสิทธิภาพสูงใช้งานได้ดี ทรานซิสเตอร์เป็นอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำชนิดหนึ่ง โดยใช้ตัวย่อว่า TR หรือ Q อุปกรณ์อีกตัวหนึ่งที่เรียกได้ว่าเป็นหัวใจของวงจร และมีความสำคัญที่เราควรทราบ ทรานซิสเตอร์เรียกได้ว่ามันมีสายพันธุเดียวกับพวกไดโอด* ซึ่งอยู่ในตระกูลสารกึ่งตัวนำ (semiconductor) (สารกึ่งตัวนำคืออะไร อธิบายแบบย่อๆ ได้ว่าเป็นสารที่สามารถ ทำให้เป็นฉนวนหรือตัวนำก็ได้)

ทรานซิสเตอร์สามารถแบ่งชนิดได้หลายอย่าง เช่น แบ่งตามรูปแบบตามสารที่ใช้ทำ แต่ในที่นี้เราแบ่งชนิดของทรานซิสเตอร์ตามโครงสร้างได้ 2 ชนิด คือ NPN และ PNP

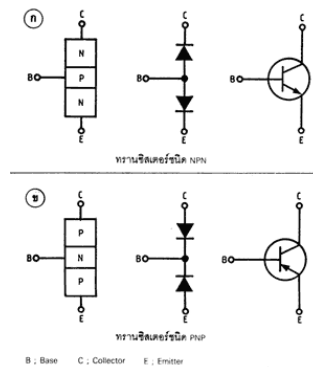
5.1 โครงสร้างและสัญลักษณ์ของทรานซิสเตอร์

โครงสร้างของทรานซิสเตอร์ประกอบด้วย สารกึ่งตัวนำ 2 ชนิด ประกบกัน 3 ชั้นวางสลับกันระหว่าง สาร P (P-type) และ สาร N (N-type) จากนั้นต่อขาออกมาใช้งานลักษณะการซ้อนกันนี้ ถูกนำมาแบ่งเป็นชนิดของทรานซิสเตอร์

ทรานซิสเตอร์ชนิด NPN โครงสร้างของมันก็คือ สาร P ประกอบด้วยสาร N ทั้งสองข้าง ดังรูปที่ 1(ก) จากนั้นต่อขาจากสารกึ่งตัวนำทั้งสามชั้นออกมาใช้งาน ขาที่ต่อจากชั้นสารที่อยู่ตรงกลางเรียกว่า ขาเบส (B,Base) ส่วนขาริมทั้งสอง คือขาคอลเล็กเตอร์ (C,Collector) และขาอีมิเตอร์ (E,Emitter)

ทรานซิสเตอร์ชนิด PNP โครงสร้างประกอบด้วย สาร N ประกบด้วยสาร P ขาที่ต่อออกจากชั้นสารที่อยู่ตรงกลางเรียกว่า ขาเบส (B) สองขาที่เหลือคือ ขาคอลเล็กเตอร์ (C) และขาอีมิเตอร์ (E) ดังรูป

*ดูรายละเอียดเรื่องไดโอด ในบทที่ 4



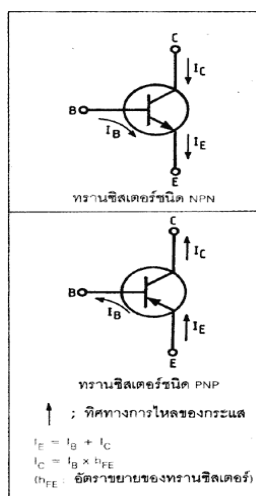
ภาพที่ 36 โครงสร้างและสัญลักษณ์ของทรานซิสเตอร์ชนิด NPN และ PNP
ที่มา: พันธุ์ศักดิ์ พุฒิमानิตพงศ์ 2542 : 157

ถึงแม้สารที่ถูกต้องจะเป็นขา C และ E เป็นชนิดเดียวกันก็ตาม แต่ที่จริงแล้วคุณสมบัติทางไฟฟ้าของมันต่างกัน เพราะฉะนั้น “จึงจำเป็นอย่างยิ่งในเวลาประกอบทรานซิสเตอร์ลงในโครงการงาน ต้องดูตำแหน่งขาให้ถูกต้อง ถ้าคุณประกอบผิดก็อาจทำให้วงจรที่คุณสร้างเสียหายได้”¹

ความแตกต่างของ 2 ชนิด ทรานซิสเตอร์มีสองชนิดเป็นการแบ่งทางโครงสร้างของมัน ทั้งนี้ก็จะมาคู่กันว่าทรานซิสเตอร์ ทั้งสองชนิดนี้มันเหมือนหรือแตกต่างกันอย่างไร ด้วยโครงสร้างที่แตกต่างกันนี้ พอจะเปรียบเทียบได้กับไดโอดสองตัวต่อกัน ซึ่งทำให้เราเข้าใจโครงการสร้างของมันดีขึ้นในรูปที่ 5.2 ได้แสดงทิศทางของกระแสที่ไหลเข้าออกจากตัวทรานซิสเตอร์

สังเกตได้ว่า กระแสไหลจากทิศทางของหัวลูกศรของทรานซิสเตอร์ (กระแสในที่นี้หมายถึง กระแสนิยมที่ไหลจากขั้วบวกไปขั้วลบ) ทรานซิสเตอร์ทั้งสองชนิดมีทิศทางกระแสกลับกัน จากรูปกล่าวได้ว่า กระแสที่ไหลผ่านขา E จะมีค่าเท่ากับกระแสที่ขา C รวมกับที่ขา B เป็นกระแสที่ไหลผ่านทรานซิสเตอร์ แต่กระแสที่ขา C เท่ากับกระแสที่ขา B คูณด้วยอัตราขยายของทรานซิสเตอร์ (hFE) ดังสมการในรูปที่ 2 เพราะฉะนั้นกระแสที่ไหลผ่านทรานซิสเตอร์ จึงถูกควบคุมโดยกระแสที่ไหลผ่านขา B นั่นเอง

¹ พันธุ์ศักดิ์ พุฒิमानิตพงศ์, ทฤษฎีเซมิคอนดักเตอร์ สารกึ่งตัวนำและวงจรรวม, พิมพ์ครั้งที่ 2 (กรุงเทพฯ: สถาบันอิเล็กทรอนิกส์กรุงเทพรังสิต, 2547), หน้า 23



ภาพที่ 37 อธิบายทิศทางการไหลของกระแสในทรานซิสเตอร์ทั้งสองชนิด

ที่มา: www.chontech.ac.th, 11 กุมภาพันธ์ 2549

ประเทศญี่ปุ่นผู้ผลิตชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์รายใหญ่ของโลก ใช้รหัสบอกชนิดของทรานซิสเตอร์ โดยดูจากเบอร์ทรานซิสเตอร์จาก ตัวอักษรที่ตามหลัง 2S... เช่น 2SC1815 เป็นทรานซิสเตอร์ชนิด NPN ใช้ในย่านความถี่สูง นอกจากอักษร C แล้วยังมีอักษรตัวอื่น อีกด้วยดังนี้

- A : PNP ใช้ในย่านความถี่สูง
- B : PNP ใช้ในย่านความถี่ต่ำ
- C : NPN ใช้ในย่านความถี่สูง
- D : NPN ใช้ในย่านความถี่ต่ำ

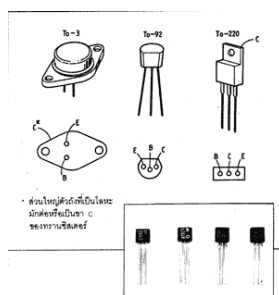
ถ้าเป็นทรานซิสเตอร์ของผู้ผลิตในอเมริกา เบอร์ของทรานซิสเตอร์จะขึ้นต้นด้วย 2N และตามด้วยหมายเลข (หมายเลข 2 ที่นำหน้าเบอร์ หมายถึง 2 รอยต่อ)

ทรานซิสเตอร์ถูกนำไปใช้ในวงจรต่างๆ อย่างมากมาย ด้วยหลักการให้กระแสที่ขา B เป็นตัวควบคุมกระแสที่ไหลผ่านทางขา C และ E ที่เห็นและคุ้นเคยกันมากที่สุดอย่างหนึ่งคือ วงจรขยายเสียง และส่วนใหญ่โรงงานในวารสารอิเล็กทรอนิกส์สมัครเล่น ก็ใช้ทรานซิสเตอร์ เพราะฉะนั้นควรจะทำความเข้าใจเรื่องราวเกี่ยวกับตัวมันให้ดี

ในบางวงจรอาจเห็นว่าทรานซิสเตอร์ ถูกเปรียบเทียบกับสวิตช์หรืออาจจะเป็นตัวขยาย เป็นเพราะเราสามารถจัดไบแอส ให้มันทำงานเหมือนกับเลือกทำให้มันเป็นสวิตช์หรือตัวขยายก็ได้

การไบแอส การทำให้สิ่งประดิษฐ์อิเล็กทรอนิกส์อยู่ในสภาพที่พร้อมจะทำงานได้ พูดง่ายๆ ก็คือ การป้อนแรงดันให้กับขาต่างๆ ของอุปกรณ์จนมีช่วงทำงานที่เหมาะสม

รูปร่าง รูปร่างหน้าตาของทรานซิสเตอร์แสดงดังรูปที่ 5.3 พวกทรานซิสเตอร์กำลังหรือทรานซิสเตอร์ที่ทนกำลังได้สูงๆ (สังเกตได้จากตัวถัง ที่เป็น โลหะ) พวกนี้จะต้องมีการระบายความร้อนที่ดีเพราะ “ทรานซิสเตอร์ เป็นอุปกรณ์ที่ไวต่ออุณหภูมิที่ตัวมันสูงเกินที่กำหนดทรานซิสเตอร์ประเภทนี้จึงจำเป็นจะต้องติดแผ่นระบายความร้อน (heat sink) เสมอ เมื่อใช้งาน เช่น ทรานซิสเตอร์ในภาคสุดท้ายของเครื่องขยายเสียง จำเป็นจะต้องติดแผ่นระบายความร้อน”¹



ภาพที่ 38 แสดงรูปร่างของทรานซิสเตอร์กับตำแหน่งขา

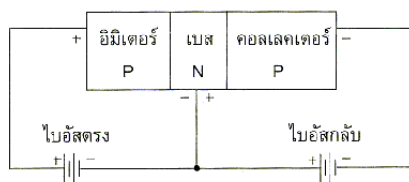
ที่มา: www.chontech.ac.th, 11 กุมภาพันธ์ 2549

ทรานซิสเตอร์มีรูปร่างหน้าตาแตกต่างกัน แล้วเราจะรู้ได้อย่างไรว่าขาไหนเป็นขา B, C และ E โดยทั่วไปผู้ผลิตอาจจะไม่เขียน หรือพิมพ์ติดไว้บนตัวทรานซิสเตอร์ แต่อาจจะมีการหัดหรือสัญลักษณ์ให้เป็นที่สังเกต หรือไม่ก็เป็นเปิดดูตำแหน่งจากได้จากคู่มือของตัวมัน แต่ควรจะตรวจสอบอีกทีด้วยการวัดด้วยโอห์มมิเตอร์ ในการประกอบโครงงานที่ใช้ทรานซิสเตอร์นั้น คุณควรจะตรวจสอบดูขาของทรานซิสเตอร์ให้ถูกต้องเสียก่อน จึงลงมือประกอบ และข้อควรระวังอีกประการหนึ่งคือ การบัดกรีความร้อนจากปลายหัวแร้ง อาจทำให้ทรานซิสเตอร์เสียได้ เพราะฉะนั้นจึงไม่ควรบัดกรีทรานซิสเตอร์แช่ไว้นานๆ จนทำให้มันร้อน

5.2 การไบอัสทรานซิสเตอร์

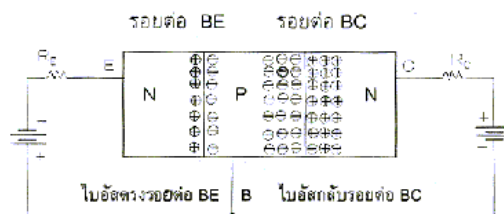
จากการที่ทราบแล้วว่าไดโอดชนิดรอยต่อ P-N เมื่อได้รับการไบอัสตรง จะยอมให้กระแสไฟฟ้าไหลผ่านได้ แต่ถ้าได้รับการไบอัสกลับไดโอดจะแสดงคุณสมบัติด้านการไหลของกระแสไฟฟ้า สำหรับทรานซิสเตอร์ก็เช่นเดียวกัน จะต้องได้รับการไบอัสที่เหมาะสมจึงจะทำให้ทรานซิสเตอร์ทำงานได้ถูกต้อง

¹ พันธุ์ศักดิ์ พุฒมานิตพงศ์, ทฤษฎีเซมิคอนดักเตอร์ สารกึ่งตัวนำและวงจร, พิมพ์ครั้งที่ 2 (กรุงเทพฯ: สถาบันอิเล็กทรอนิกส์กรุงเทพรังสิต, 2547), หน้า 31



ภาพที่ 39 การไบอัสทรานซิสเตอร์ชนิด PNP
ที่มา: www.chontech.ac.th, 11 กุมภาพันธ์ 2549

จะเห็นว่าขาเบสและอิมิตเตอร์ได้รับการไบอัสตรง ขณะที่ขาเบสและคอลเลคเตอร์ได้รับการไบอัสกลับ เพราะว่าขาเบสกับขาอิมิตเตอร์เป็นวงจรอินพุต และขาเบสกับคอลเลคเตอร์เป็นวงจรเอาต์พุตการทำงานของทรานซิสเตอร์ ไม่ว่าจะเป็นทรานซิสเตอร์ชนิด NPN หรือ PNP ก็ตาม ทรานซิสเตอร์จะสามารถทำงานได้ขึ้นอยู่กับ การจ่ายไบอัสให้ โดย NPN และ PNP นั้นจะจ่ายไบอัสตรงข้ามกันในที่นี้จะอธิบายเพียง NPN เพียงอย่างเดียวของให้เข้าใจว่า PNP นั้นเหมือน NPN ทุกประการทำงานที่สัปดาห์ตรงข้ามกัน



ภาพที่ 40 พิจารณาการทำงานของทรานซิสเตอร์ชนิด NPN
ที่มา: www.chontech.ac.th, 11 กุมภาพันธ์ 2549

เมื่อให้ไบอัสตรงกับรอยต่อ BE จะทำให้บริเวณปลอดพาหะที่รอยต่อ BE แคลลงและที่รอยต่อ ระหว่างรอยต่อ BC ได้รับไบอัสกลับจะทำให้บริเวณปลอดพาหะที่รอยต่อ BC มีความกว้างขึ้น จึงเกิดกระแสจำนวนเล็กน้อยไหลข้ามรอยต่อ BE จึงเรียกกระแสนี้ว่า กระแสเบส (I_B) เป็นผลให้มีอิเล็กตรอนจำนวนหนึ่งเคลื่อนที่ในรอยต่อ BE ในขณะที่เวลาที่คอลเลคเตอร์บริเวณรอยต่อ BC จะมีประจุพาหะบวกอยู่จำนวนมากจะพยายามดึงอิเล็กตรอนที่เบสข้ามรอยต่อ BC ทำให้เกิดกระแสคอลเลคเตอร์ (I_C) ไหลเป็นจำนวนมาก และไหลออกจากคอลเลคเตอร์มารวมกับกระแสเบส (I_B) กระแสทั้งสองจำนวนนี้จะไหลไปสู่ขาอิมิตเตอร์เป็นกระแสอิมิตเตอร์ (I_E) เป็นไปตามสมการ ; $I_E = I_B + I_C$

5.3 การทำงานของทรานซิสเตอร์ (Transistor Construction and Operation)

ได้กล่าวมาแล้วว่าทรานซิสเตอร์ประกอบด้วยสารกึ่งตัวนำ 3 ชั้นต่อเชื่อมกัน ดังนั้นจึงมีรอยต่อ pn จำนวน 2 ตำแหน่ง ตำแหน่งที่มีมิเตอร์กับเบสเชื่อมกันเป็นรอยต่อ pn เรียกว่า รอยต่ออิมิตเตอร์-เบส (Emitter Base Junction) ส่วนตำแหน่งที่ คอลเลคเตอร์กับเบสต่อเชื่อมกันเรียกว่า รอยต่อคอลเลคเตอร์-เบส (Collector Base Junction) เขียนแทนได้ด้วย ค่าเทียบเคียงของไดโอด 2 ตัวต่อกัน เมื่อนำหลักการ มาร่วมพิจารณา ทำให้ทราบว่า การที่จะนำทรานซิสเตอร์ไปใช้งานได้นั้น ต้องต่อแรงดัน ไฟฟ้าเพื่อทำการไบอัสที่รอยต่อหรือไดโอดเทียบเคียงทั้งสอง เนื่องจาก ทรานซิสเตอร์ มี 3 ขั้ว การต่อแรงดัน ไฟฟ้าที่ขั้วเพื่อให้ทรานซิสเตอร์ทำงานจึงเป็นไปได้ 3 แบบคือ

5.3.1 การทำงานที่บริเวณคัตออฟ

การต่อแหล่งจ่ายไฟฟ้าให้ทรานซิสเตอร์ทำงานในบริเวณคัตออฟเป็นการไบอัสกลับที่ รอยต่อทั้ง 2 ตำแหน่ง ซึ่งจะทำให้กระแสที่ไหลผ่านขั้วทั้งสามมีค่าใกล้ศูนย์

จากการต่อวงจรในลักษณะดังกล่าวบริเวณปลดพาหะทั้งสองบริเวณจะขยายกว้างขึ้น จึงมีเพียงกระแสย้อน กลับ (Reverse Current) กระแสรั่วไหลปริมาณต่ำมากเท่านั้นที่ไหลจาก คอลเลคเตอร์ไปยังอิมิตเตอร์ได้

5.3.2 การทำงานที่บริเวณอิมิต

ถ้าค่า I_B เพิ่มขึ้น I_C ก็จะเพิ่มขึ้นด้วย เมื่อ I_C เพิ่มขึ้นจนถึงค่าสูงสุด หรือ เรียกว่า ทรานซิสเตอร์เกิดการอิมิต ณ ตำแหน่งนี้ค่า I_C จะเพิ่มตามค่า I_B ไม่ได้อีกแล้ว

การหาค่า I_C ทำได้โดยใช้ V_{CC} หารด้วยผลรวมของความต้านทานที่ขั้วคอลเลคเตอร์ (R_C) กับความต้านทาน ที่ขั้วอิมิตเตอร์ (R_E) สมมติขณะ ที่ V_{CE} ของทรานซิสเตอร์มีค่า 0 V (สภาพในอุดมคติ) I_C จะขึ้นอยู่กับค่า V_{CC} , R_C และ R_E ดังนี้

$$I_C = V_{CC} / (R_C + R_E)$$

การต่อแหล่งจ่ายไฟฟ้าให้ทรานซิสเตอร์ทำงานในบริเวณอิมิต เป็นการไบอัสตรงที่ รอยต่อทั้ง 2 ตำแหน่ง ของทรานซิสเตอร์ สมมติค่า V_{CE} ของทรานซิสเตอร์ขณะอิมิต มีค่า 0.3 V (ซึ่งต่ำกว่า V_{BE} ที่มีค่า 0.7 V) บริเวณรอยต่อคอลเลคเตอร์-เบส จะได้รับการไบอัสตรงด้วยผลต่าง ระหว่างแรงดัน V_{BE} กับ V_{CE} (เท่ากับ 0.4 V) กระแสไฟฟ้า I_E , I_C และ I_B จะมีทิศทาง

5.3.3 การทำงานที่บริเวณแอกติฟ

การต่อแหล่งจ่ายไฟฟ้าให้ทรานซิสเตอร์ทำงานในบริเวณแอกติฟเป็นการแอกติฟเป็นการ ไบอัสตรงที่รอยต่อ อิมิตเตอร์-เบส และไบอัสกลับที่รอยต่อคอลเลคเตอร์-เบส

การอธิบายหลักการการทำงานของทรานซิสเตอร์ในบริเวณนี้จะง่ายขึ้น ถ้าพิจารณาเฉพาะ รอยต่ออิมิตเตอร์-เบส โดยแทนด้วยสัญลักษณ์ของไดโอด ดังรูป b [สมมติ V_{BE} มีค่ามากพอที่จะทำ

ให้ไดโอดทำงาน (Si ประมาณ 0.7 V และ Ge ประมาณ 0.3 V)]

รอยต่อคอลเลกเตอร์-เบสได้รับการไบอัสกลับ ทำให้บริเวณปลอดพาหะกว้างกว่าที่รอยต่อ อิมิตเตอร์-เบสซึ่ง ได้รับการไบอัสตรง ดังนั้น ความต้านทานที่เบส (R_B) จึงมีค่าสูง เมื่อพิจารณาใน รูปของไดโอดจะเห็นว่า IB เป็นกระแสที่มีค่าต่ำมาก เมื่อเทียบกับกระแสคอลเลกเตอร์ (I_C) และเป็น ส่วนหนึ่งของ I_E ดังนั้น I_E ส่วนใหญ่จึงเป็นกระแส I_C ซึ่งผ่านรอยต่อคอลเลกเตอร์เบสของ ทรานซิสเตอร์

5.4 การต่อทรานซิสเตอร์ใช้งาน

ถึงแม้ว่าทรานซิสเตอร์จะถูกนำไปใช้งานในวงจรต่าง ๆ มากมาย แต่วงจรเหล่านั้นก็ยังสามารถที่จะจัดแยกออกเป็นกลุ่มได้ 3 รูปแบบ ดังนี้

5.4.1 วงจรอิมิตเตอร์ร่วม C- E (Common - Emitter)

สัญญาณอินพุตจะถูกป้อนเข้ามาระหว่างขาเบส และขาอิมิตเตอร์ ในขณะที่สัญญาณ เอาต์พุตจะปรากฏระหว่างขาคอลเลกเตอร์และขาอิมิตเตอร์ จากการจัดรูปแบบของวงจรในลักษณะ นี้ จะเห็นว่าสัญญาณอินพุตจะเป็นตัวควบคุมกระแสเบสของทรานซิสเตอร์ซึ่งก็จะเป็นการควบคุม กระแสคอลเลกเตอร์ซึ่งเป็นเอาต์พุตของวงจรด้วย ส่วนขาอิมิตเตอร์จะขาร่วม (Common)

5.4.2 วงจรเบสร่วม C-B (Common-Bars)

สัญญาณอินพุตจะถูกป้อนเข้าระหว่างขาอิมิตเตอร์และขาเบส โดยสัญญาณเอาต์พุตจะไป ปรากฏคร่อมอยู่ระหว่างขาคอลเลกเตอร์และขาเบส ส่วนขาเบสของวงจรรูปแบบนี้จะใช้เป็นขาร่วม (common) ของอินพุตและเอาต์พุต

5.4.3 วงจรคอลเลกเตอร์ร่วม C-C (Common-Collector)

โดยสัญญาณอินพุตจะถูกป้อนเข้ามาระหว่างขาเบส และขาคอลเลกเตอร์ส่วนสัญญาณ เอาต์พุตที่ได้จะไปปรากฏคร่อมขาอิมิตเตอร์ และขาคอลเลกเตอร์โดยจะใช้ขาคอลเลกเตอร์เป็นขาร่วม (Common) ของทั้งอินพุตและเอาต์พุต

| หนังสืออิเล็กทรอนิกส์ | |
|--------------------------|-------------------------------|
| ฟิสิกส์ 1(ภาคกลศาสตร์(| ฟิสิกส์ 1 (ความร้อน) |
| ฟิสิกส์ 2 | กลศาสตร์เวกเตอร์ |
| โลหะวิทยาฟิสิกส์ | เอกสารคำสอนฟิสิกส์ 1 |
| ฟิสิกส์ 2 (บรรยาย(| แก้ปัญหาฟิสิกส์ด้วยภาษา C |
| ฟิสิกส์พิศวง | สอนฟิสิกส์ผ่านทางอินเทอร์เน็ต |
| ทดสอบออนไลน์ | วิดีโอการเรียนการสอน |
| หน้าแรกในอดีต | แผ่นใสการเรียนการสอน |
| เอกสารการสอน PDF | กิจกรรมการทดลองทางวิทยาศาสตร์ |
| แบบฝึกหัดออนไลน์ | สุดยอดสิ่งประดิษฐ์ |
| การทดลองเสมือน | |
| บทความพิเศษ | ตารางธาตุไทย1) 2 (Eng) |
| พจนานุกรมฟิสิกส์ | ลับสมองกับปัญหาฟิสิกส์ |
| ธรรมชาติมหัศจรรย์ | สูตรพื้นฐานฟิสิกส์ |
| การทดลองมหัศจรรย์ | ดาราศาสตร์ราชมงคล |
| แบบฝึกหัดกลาง | |
| แบบฝึกหัดโลหะวิทยา | แบบทดสอบ |
| ความรู้รอบตัวทั่วไป | อะไรเอ่ย ? |
| ทดสอบ)เกมเศรษฐี(| คติปริศนา |
| ข้อสอบเอนทรานซ์ | เฉลยกลศาสตร์เวกเตอร์ |
| คำศัพท์ประจำสัปดาห์ | |
| ความรู้รอบตัว | |
| การประดิษฐ์ของโลก | ผู้ได้รับโนเบลสาขาฟิสิกส์ |
| นักวิทยาศาสตร์เทศ | นักวิทยาศาสตร์ไทย |
| ดาราศาสตร์พิศวง | การทำงานของอุปกรณ์ทางฟิสิกส์ |
| การทำงานของอุปกรณ์ต่าง ๆ | |

|  การเรียนรู้การสอนฟิสิกส์ 1 ผ่านทางอินเทอร์เน็ต  | |
|---|---|
| 1. การวัด | 2. เวกเตอร์ |
| 3. การเคลื่อนที่แบบหนึ่งมิติ | 4. การเคลื่อนที่บนระนาบ |
| 5. กฎการเคลื่อนที่ของนิวตัน | 6. การประยุกต์กฎการเคลื่อนที่ของนิวตัน |
| 7. งานและพลังงาน | 8. การดลและโมเมนตัม |
| 9. การหมุน | 10. สมดุลของวัตถุแข็งเกร็ง |
| 11. การเคลื่อนที่แบบคาบ | 12. ความยืดหยุ่น |
| 13. กลศาสตร์ของไหล | 14. ปริมาณความร้อน และ กลไกการถ่ายโอนความร้อน |
| 15. กฎข้อที่หนึ่งและสองของเทอร์โมไดนามิก | 16. คุณสมบัติเชิงโมเลกุลของสสาร |
| 17. คลื่น | 18. การสั่น และคลื่นเสียง |
|  การเรียนรู้การสอนฟิสิกส์ 2 ผ่านทางอินเทอร์เน็ต  | |
| 1. ไฟฟ้าสถิต | 2. สนามไฟฟ้า |
| 3. ความกว้างของสายฟ้า | 4. ตัวเก็บประจุและการต่อตัวต้านทาน |
| 5. ศักย์ไฟฟ้า | 6. กระแสไฟฟ้า |
| 7. สนามแม่เหล็ก | 8. การเหนี่ยวนำ |
| 9. ไฟฟ้ากระแสสลับ | 10. ทรานซิสเตอร์ |
| 11. สนามแม่เหล็กไฟฟ้าและเสาอากาศ | 12. แสงและการมองเห็น |
| 13. ทฤษฎีสัมพัทธภาพ | 14. กลศาสตร์ควอนตัม |
| 15. โครงสร้างของอะตอม | 16. นิวเคลียร์ |
|  การเรียนรู้การสอนฟิสิกส์ทั่วไป ผ่านทางอินเทอร์เน็ต  | |
| 1. จลศาสตร์ (kinematic) | 2. จลพลศาสตร์ (kinetics) |
| 3. งานและโมเมนตัม | 4. ซิมเปิลฮาร์โมนิก คลื่น และเสียง |
| 5. ของไหลกับความร้อน | 6. ไฟฟ้าสถิตกับกระแสไฟฟ้า |
| 7. แม่เหล็กไฟฟ้า | 8. คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้ากับแสง |
| 9. ทฤษฎีสัมพัทธภาพ อะตอม และนิวเคลียร์ | |

