

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 โดยทั่วไปตัวต้านชนิดค่าคงที่จะมีชื่อเรียกตามวัสดุที่นำมาใช้ทำ 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

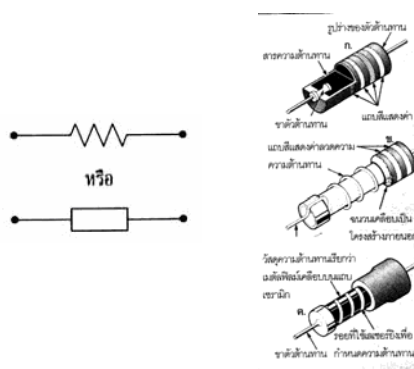
ตัวต้านทานแบบคาร์บอน (Carbon Resistors) เป็นตัวต้านทานที่ทำมาจากผงคาร์บอนผสมกับตัวประสานฟีนอลิกอัดแน่นเป็นแท่งกระบอก ที่ปลายแท่งคาร์บอนทั้งสองข้างจะถูกยึดติดกับโลหะและต่อเส้นลวดออกมาเพื่อเป็นขาต่อใช้งาน ส่วนตัวแท่งคาร์บอนจะถูกเคลือบด้วยฉนวนไฟฟ้าซึ่งค่าของตัวต้านทานจะขึ้นอยู่กับเปอร์เซ็นต์ของคาร์บอนในการผสมใช้งาน

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

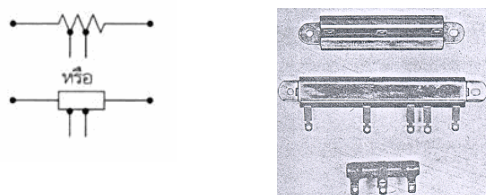


ภาพที่ 1 สัญลักษณ์และรูปร่างของชนิดต้านทานคงที่

ที่มา: www.se-ed.com, 23 มกราคม 2549

1.1.2 ตัวต้านทานชนิดแบ่งค่าได้

เป็นตัวต้านทานแบบเส้นลวดที่ถูกแบ่งเป็นช่วงของความต้านทานออกเป็นความต้านทานสองหรือสามค่าภายในตัวต้านทานตัวเดียว เพื่อความสะดวกในการเลือกใช้งาน

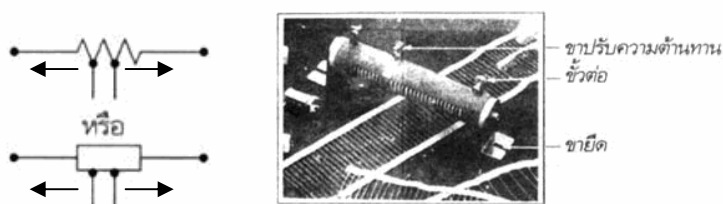


ภาพที่ 2 สัญลักษณ์และรูปร่างของตัวต้านทานชนิดแบ่งค่าได้

ที่มา: www.se-ed.com, 23 มกราคม 2549

1.1.3 ตัวต้านทานชนิดปรับค่าได้

เป็นตัวต้านทานแบบเส้นลวดอีกชนิดหนึ่งที่สามารถปรับตำแหน่งค่าความต้านทานที่ต้องการได้ โดยที่บนตัวต้านทานชนิดนี้จะมีปลอกโลหะสวมอยู่และสามารถเคลื่อนตำแหน่งเพื่อให้ได้ค่าความต้านทานตามที่ต้องการ เสร็จแล้วทำการขันสกรูล๊อคให้จุดสัมผัสของปลอกโลหะกดลงบนขอลวดความต้านทานให้แน่น เพื่อป้องกันการอาร์กของหน้าสัมผัส การใช้งานของตัวต้านทานชนิดปรับค่าได้จะใช้ค่าความต้านทานเฉพาะค่าใดค่าหนึ่งที่ปรับไว้เท่านั้น

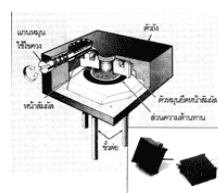
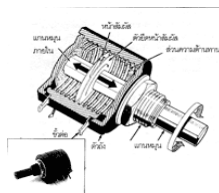
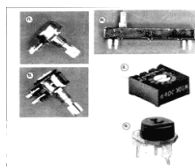


ภาพที่ 3 สัญลักษณ์และรูปร่างของตัวต้านทานชนิดปรับค่าได้

ที่มา: www.se-ed.com, 23 มกราคม 2549

1.1.4 ตัวต้านทานชนิดเปลี่ยนค่าได้

เป็นตัวต้านทานที่สามารถเปลี่ยนค่าความต้านทานได้ โดยการใช้แกนหมุนหรือเลื่อนแกน ซึ่งใช้วัสดุที่นำมาใช้ทำตัวต้านทานชนิดเปลี่ยนค่าได้จะใช้วัสดุประเภทเดียวกันกับตัวต้านทานชนิดค่าคงที่คือ เส้นลวด หรือคาร์บอน

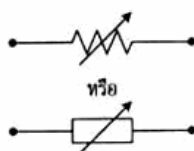


ตัวต้านทานปรับค่าได้

ตัวต้านทานปรับค่าได้

แบบทริมพ็อด (Trim pot)

แบบหลายรอบ



ภาพที่ 4 สัญลักษณ์และรูปร่างของตัวต้านทานชนิดเปลี่ยนค่าได้

ที่มา: www.se-ed.com, 23 มกราคม 2549

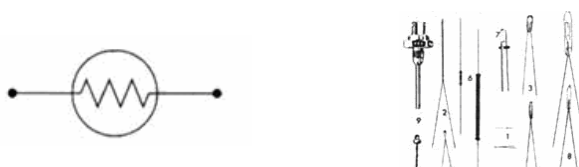
ส่วนในตัวต้านทานปรับค่าได้จะมีอยู่หลายประเภท เช่น แบบหมุน ซึ่งมีทั้งแบบธรรมดาที่หมุนได้รอบเดียวที่ใช้กันทั่วไป และแบบ พิเศษที่หมุนได้หลายรอบ (Trimmer Potentiometer) และแบบสไลด์ ซึ่งมีรูปร่างและโครงสร้างของบางแบบ ดังในรูป ตรงกลางวงแหวนจะมีแขนสัมผัส (Contact Arm) ที่ปรับค่าความต้านทานให้อยู่ในตำแหน่งใดๆ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

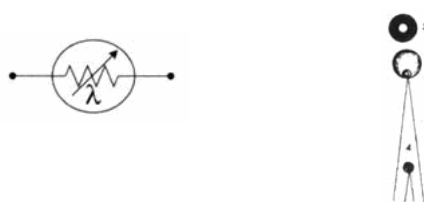


ภาพที่ 5 สัญลักษณ์และรูปร่างของตัวต้านทานความร้อน

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

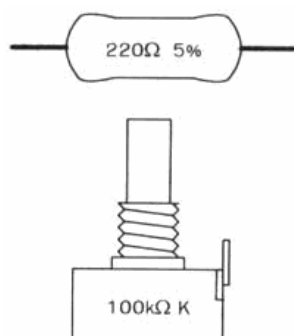
การอ่านค่าความต้านทานแบบ 5 แถบสีนั้น จะมีลักษณะเหมือนกับการอ่านค่าแบบ 4 แถบสี ต่างกันที่จะมีสีที่ 5 เพิ่มขึ้นมา จากตัวเลขที่ 1 และ 2 จะเพิ่มเป็นตัวเลขที่ 3 ขึ้นมาอีกตัว แล้วแถบที่ 4จะเป็นตัวคูณ แถบที่ 5 จะเป็นเปอร์เซ็นต์

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 แต่อัตราทงกำลังไฟฟ้าของวงจรแบบนี้จะมีค่าเพิ่มสูงขึ้นเท่ากับผลรวมอัตราทงกำลังงานไฟฟ้าของตัวต้านทานแต่ละตัวของวงจร

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 ในการวิเคราะห์เพื่อกำหนดค่าความต้านทานและอัตราทงกำลังงานไฟฟ้าของวงจรจะต้องพิจารณาในแต่ละส่วนคือแยกคำนวณว่าเป็นวงจรอนุกรมและขนาน 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

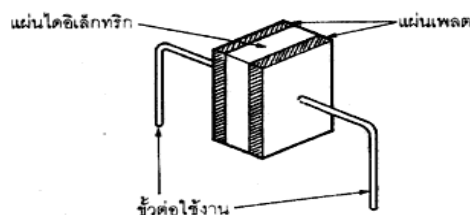
ค่าความจุ (CAPACITANCE) ของตัวเก็บประจุ คือ ความสามารถในการสะสมประจุไฟฟ้าไว้ในตัวเก็บประจุได้มากหรือน้อย ค่าความจุนี้จะเปลี่ยนแปลงขึ้นอยู่กับส่วนประกอบสำคัญ 3 ส่วนคือ

พื้นที่ผิวของแผ่นเพลทตัวนำ จะเป็น

ตัวกำหนดขนาดของค่าความจุในตัวเก็บประจุว่า สามารถเก็บประจุได้มากหรือน้อย แผ่นเพลทตัวนำ ที่มีพื้นที่มากจะทำให้จำนวนประจุบวก และประจุลบลงไปได้มาก แผ่นเพลทตัวนำที่มีพื้นที่น้อยจะบรรจุประจุบวก ประจุลบลงไปได้ด้นั้น ตัวเก็บประจุที่ต้องการให้สามารถเก็บประจุไว้ให้ได้มาก จะต้องสร้างให้ตัวเก็บประจุมีพื้นที่ของแผ่นเพลทตัวนำมาก 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(POLYPOPYLENE)	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

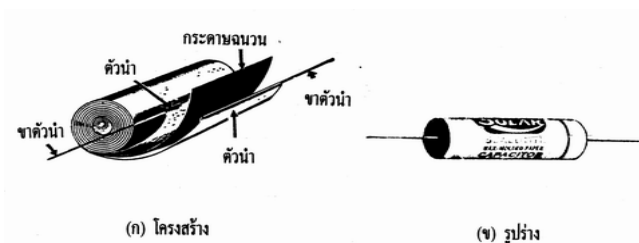
ตัวเก็บประจุชนิดคงที่ Fixed capacitor เป็นตัวเก็บประจุที่มีค่าความจุคงที่ ปรับเปลี่ยนค่าไม่ได้ ค่าความจุ และค่าทนแรงดันไฟฟ้า ตลอดจนค่าความคลาดเคลื่อนของตัวเก็บประจุจะพิมพ์บอกไว้ อาจเป็นตัวเลข เป็นรหัส หรือเป็นแถบสีรหัสก็ได้ ตัวเก็บประจุชนิดค่าคงที่จะมีด้วยกันหลายชนิด โดยจะเรียกชื่อตามชนิดของสารที่มาทำเป็นฉนวนกั้นกลางแผ่นเพลท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

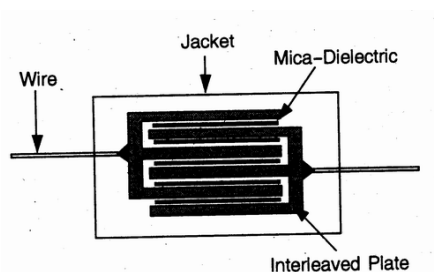


ภาพที่ 11 โครงสร้างและชนิดตัวเก็บประจุแบบกระดาษ

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

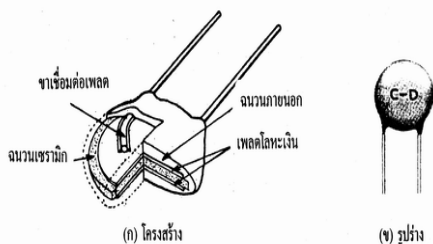
ที่มา: www.skn.ac.th, 23 มกราคม 2549

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

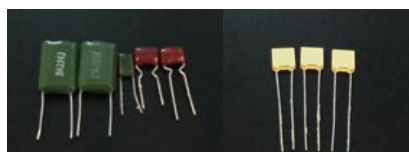
4) ตัวเก็บประจุแบบฟิล์มพลาสติก (PLASTIC FILM CAPACITOR) ตัวเก็บประจุชนิดนี้จะมีโครงสร้างคล้ายกับตัวเก็บประจุแบบกระดาษ เพียงแต่เปลี่ยนฉนวนเป็นพวกฟิล์มพลาสติกที่ทำมาจาก โพลีเอสเตอร์ (POLYPROPYLENE), โพลีไพรอรีน (POLYPRORYLENE) โพลีคาร์บอเนต (POLYCARBONATE), ไมลาร์ (MYLAR) และอื่นๆ การเรียกชื่อเรียกตามฉนวนที่นำมาคั่นกลาง 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

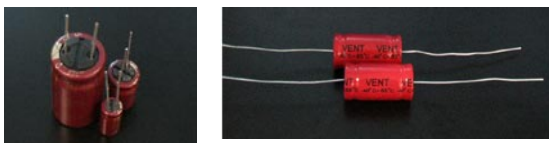
5) ตัวเก็บประจุแบบแทนทาลัม (TANTALUM CAPACITOR) เป็นตัวเก็บประจุชนิดที่มีค่าความจุสูง แต่มีขนาดเล็ก ทนทานต่อการใช้งาน ทนต่ออุณหภูมิและความชื้น และไม่มีการเสี้ยวไหลขณะนำไปใช้งาน โครงสร้างของตัวเก็บประจุแบบนี้คล้ายตัวเก็บประจุแบบอื่นๆ คือ ตัวเก็บประจุแบบแทนทาลัมประกอบด้วยแผ่นบางๆ ของแทนทาลัมที่เคลือบด้วยฉนวนที่มีค่าไดอิเล็กทริกสูงๆ 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 รูปร่างตัวเก็บประจุแบบอิเล็กโทรไลติก

ที่มา: www.skn.ac.th, 23 มกราคม 2549

2.2.2 ตัวเก็บประจุแบบปรับค่าได้ Variable capacitor

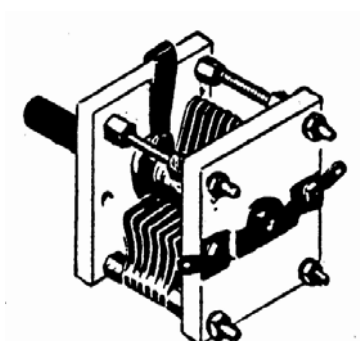
เป็น Capacitor ชนิดที่มีค่าคงที่ ซึ่งจะมีการนำวัสดุต่างๆ มาสร้างขึ้นเป็น Capacitor โดยทั่วไปจะมีค่าความจุไม่มากนัก โดยประมาณไม่เกิน 1 ไมโครฟารัด (μF)



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 ค่าของแถบสีจะบอกถึงค่าตามอนุกรมมิ ตัวเก็บประจุที่บอกลักษณะนี้จะเป็นตัวเก็บประจุขนาดเล็กชนิดไม่มีขั้ว ค่าต้านทาน บอกเป็นจุดสีเรียงสลับ 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

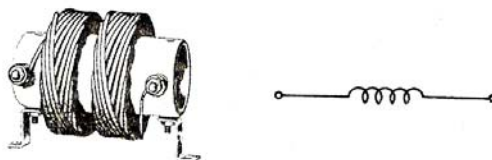
ชนิดของตัวเหนี่ยวนำโดยแบ่งตามลักษณะการเหนี่ยวนำ แบ่งออกได้เป็น 2 ชนิด คือ การเหนี่ยวนำในตัวเอง และการเหนี่ยวนำข้ามขด การเหนี่ยวนำทั้ง 2 ชนิดคือ การเหนี่ยวนำที่เกิดจากการป้อนกระแสไฟฟ้าไหลผ่านเข้าไปในตัวเหนี่ยวนำ ซึ่งจะทำให้เกิดสนามแม่เหล็กขึ้น ซึ่งถ้าเป็นการเหนี่ยวนำในตัวเอง สนามแม่เหล็กดังกล่าวจะมีการยุบตัวขึ้น 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 ซึ่งจะถูกรู้จักว่า ไช้ค หรือ คอยล์ โครงสร้างจะประกอบด้วยเส้นลวดทองแดงอาบน้ำยาฉนวน พันเป็นขดลวดอยู่บนแกนหรือฐานต่างๆกัน การเรียกชื่อตัวเหนี่ยวนำประเภทนี้จะเรียกตามชื่อของแกนที่เป็นฐานของขดลวดนั้นๆแบ่งออกได้เป็น

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

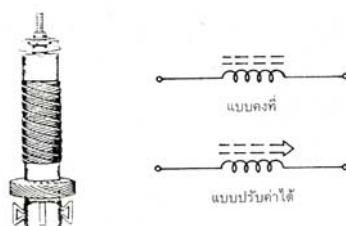


ภาพที่ 19 รูปร่างและสัญลักษณ์ตัวเหนี่ยวนำชนิดแกนอากาศ

ที่มา: พันธุ์ศักดิ์ พุฒิमानิตพงศ์ 2541 : 174

ตัวเหนี่ยวนำแกนอากาศจะให้ค่าความเหนี่ยวนำต่ำ เพราะแกนไม่สามารถเสริมค่าความเหนี่ยวนำได้ ในปัจจุบัน ไซค์ หรือคอยล์แกนอากาศ ได้ถูกสร้างขึ้นให้มีขนาดเล็กลง เพื่อใช้งานกับพวกความถี่สูง โดยใช้แกนเป็นพวกเซรามิค และถูกบรรจุอยู่ในฉนวนพลาสติกอย่างมิดชิด ทำหน้าที่เป็นวงจรฟิลเตอร์สัญญาณรบกวนที่ความถี่สูง

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

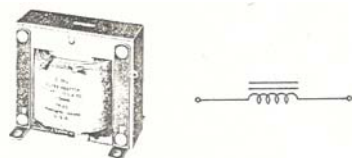


ภาพที่ 20 รูปร่างและสัญลักษณ์ตัวเหนี่ยวนำชนิดแกนผงเหล็กอัด

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

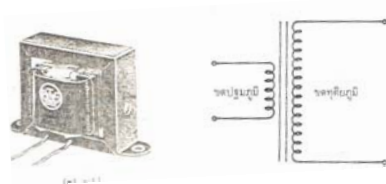


ภาพที่ 25 รูปร่างและสัญลักษณ์ตัวเหนี่ยวนำชนิดหม้อแปลงเหล็กอัด

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

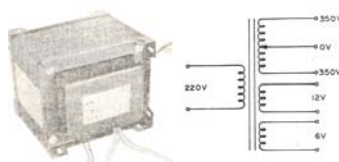
สเต็ปดาวน์ ทรานส์ฟอร์มเมอร์ เป็นหม้อแปลงแกนเหล็กที่ทำหน้าที่ลดแรงดันไฟฟ้าทางด้านออกให้ต่ำกว่าแรงดันไฟฟ้าที่ป้อนเข้ามา คือขดทางปฐมภูมิจะมีจำนวนรอบของการพันขดลวดมากกว่าจำนวนรอบของขดลวดทางทุติยภูมิ



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

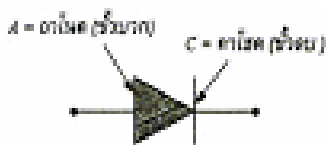
ไดโอดประกอบด้วยขั้วต่อ 2 ขั้ว มีชื่อเรียกว่า แอโนด (Anode) และแคโทด (Cathod) โดยมีสัญลักษณ์ ดังแสดงในรูปที่ 32



ภาพที่ 31 โครงสร้างของไดโอด

ที่มา:www.ku.ac.th

17 มกราคม 2549



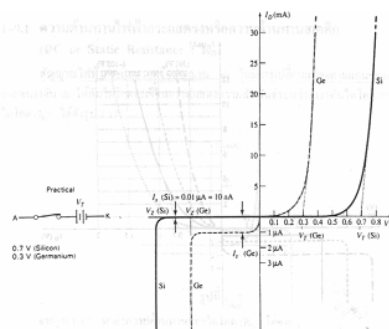
ภาพที่ 32 สัญลักษณ์ของไดโอด

ที่มา : www.ku.ac.th, 17 มกราคม 2549

โดยปกติแล้วไดโอดถูกออกแบบให้มีรูปลักษณะที่แตกต่างกัน 3 แบบ ดังแสดงในรูป ซึ่งรูปลักษณะเช่นนี้จะช่วยป้องกันไม่ให้ไดโอดเสียหายง่าย สำหรับขนาดของไดโอดจะแสดงถึงอัตราทนกระแสไฟฟ้าที่ไดโอดยอมให้ไหลผ่านได้ ส่วนแถบคาบาคิดาที่พิมพ์อยู่ที่ขอบด้านใดด้านหนึ่ง 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 สถานะการทำงานของไดโอดลักษณะนี้เรียกว่า 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 ซึ่งสำหรับซิลิกอนไดโอดแรงดันของแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้าเท่ากับ 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 สำหรับการไหลของกระแสโฮลหรือที่เรียกว่า กระแสนิยม (Conventional Current) จะไหลในทิศทางตรงกันข้ามกับทิศทางการไหลของกระแสอิเล็กตรอน ดังแสดงในรูป (ข) จึงสรุปได้ว่า การไหลของกระแสอิเล็กตรอนจะไหลจากขั้วลบไปยังขั้วบวก ในขณะที่กระแสโฮลหรือกระแสนิยมจะไหลจากขั้วบวกไปยังขั้วลบ การที่ทราบถึงแรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อมไดโอด ($V_{Si} = 0.7 \text{ V}$, $V_{Ge} = 0.3 \text{ V}$) ขนาดของแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้าและค่าความต้านทานของวงจรก็สามารถคำนวณหาปริมาณกระแสทางตรงได้

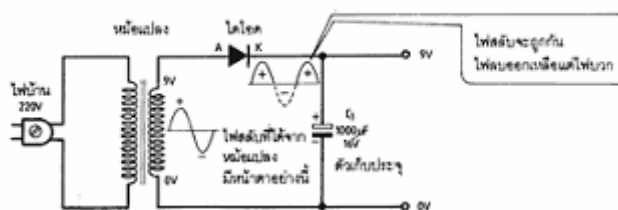
4.3.2 ไบอัสกลับ (Reverse Bias)

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

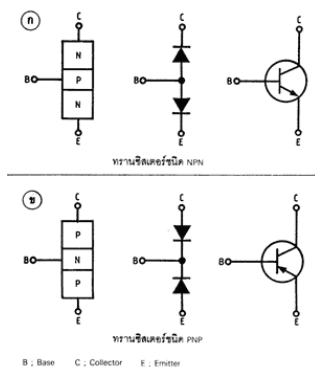
5.1 โครงสร้างและสัญลักษณ์ของทรานซิสเตอร์

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

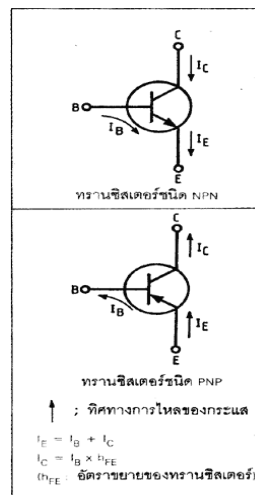
ที่มา: พันธุ์ศักดิ์ พุฒิमानิตพงศ์ 2542 : 157

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 กระแสนิยมนที่ไหลจากขั้วบวกไปขั้วลบ) 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

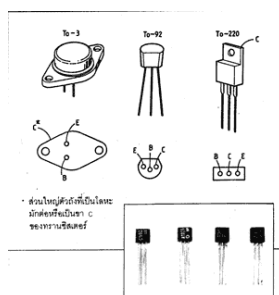
ถ้าเป็นทรานซิสเตอร์ของผู้ผลิตในอเมริกา เบอร์ของทรานซิสเตอร์จะขึ้นต้นด้วย 2N และตามด้วยหมายเลข (หมายเลข 2 ที่นำหน้าเบอร์ หมายถึง 2 รอยต่อ)

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

ในบางวงจรอาจเห็นว่าทรานซิสเตอร์ ถูกเปรียบเทียบกับสวิตช์หรืออาจจะเป็นตัวขยาย เป็นเพราะเราสามารถจัดไบแอส ให้มันทำงานเหมือนกับเลือกทำให้มันเป็นสวิตช์หรือตัวขยายก็ได้

การไบแอส การทำให้สิ่งประดิษฐ์อิเล็กทรอนิกส์อยู่ในสภาพที่พร้อมจะทำงานได้ พูดง่าย ๆ ก็คือ การป้อนแรงดันให้กับขาต่างๆ ของอุปกรณ์จนมีช่วงทำงานที่เหมาะสม

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



ภาพที่ 38 แสดงรูปร่างของทรานซิสเตอร์กับตำแหน่งขา

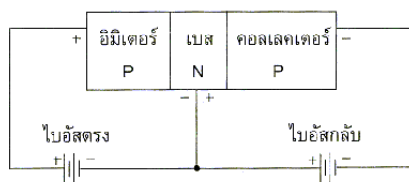
ที่มา: www.chontech.ac.th, 11 กุมภาพันธ์ 2549

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

5.2 การไบอัสทรานซิสเตอร์

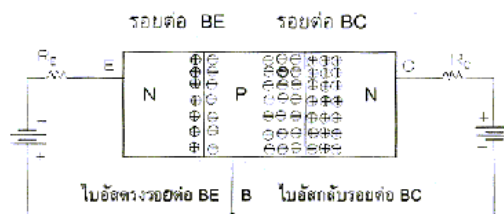
จากการที่ทราบแล้วว่าไดโอดชนิดรอยต่อ P-N เมื่อได้รับการไบอัสตรง จะยอมให้กระแสไฟฟ้าไหลผ่านได้ แต่ถ้าได้รับการไบอัสกลับไดโอดจะแสดงคุณสมบัติด้านการไหลของกระแสไฟฟ้า สำหรับทรานซิสเตอร์ก็เช่นเดียวกัน จะต้องได้รับการไบอัสที่เหมาะสมจึงจะทำให้ทรานซิสเตอร์ทำงานได้ถูกต้อง

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 จะทำให้บริเวณปลดพาหะที่รอยต่อ BE แคลลงและที่รอยต่อ ระหว่างรอยต่อ BC ได้รับไบอัสกลับจะทำให้บริเวณปลดพาหะที่รอยต่อ BC มีความกว้างขึ้น จึงเกิดกระแสจำนวนเล็กน้อยไหลข้ามรอยต่อ BE จึงเรียกกระแสนี้ว่า กระแสเบส (I_B) เป็นผลให้มีอิเล็กตรอนจำนวนหนึ่งเคลื่อนที่ในรอยต่อ BE ในขณะที่เดียวกันที่คอลเลคเตอร์บริเวณรอยต่อ 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	ตารางธาตุ(ไทย1) 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	

