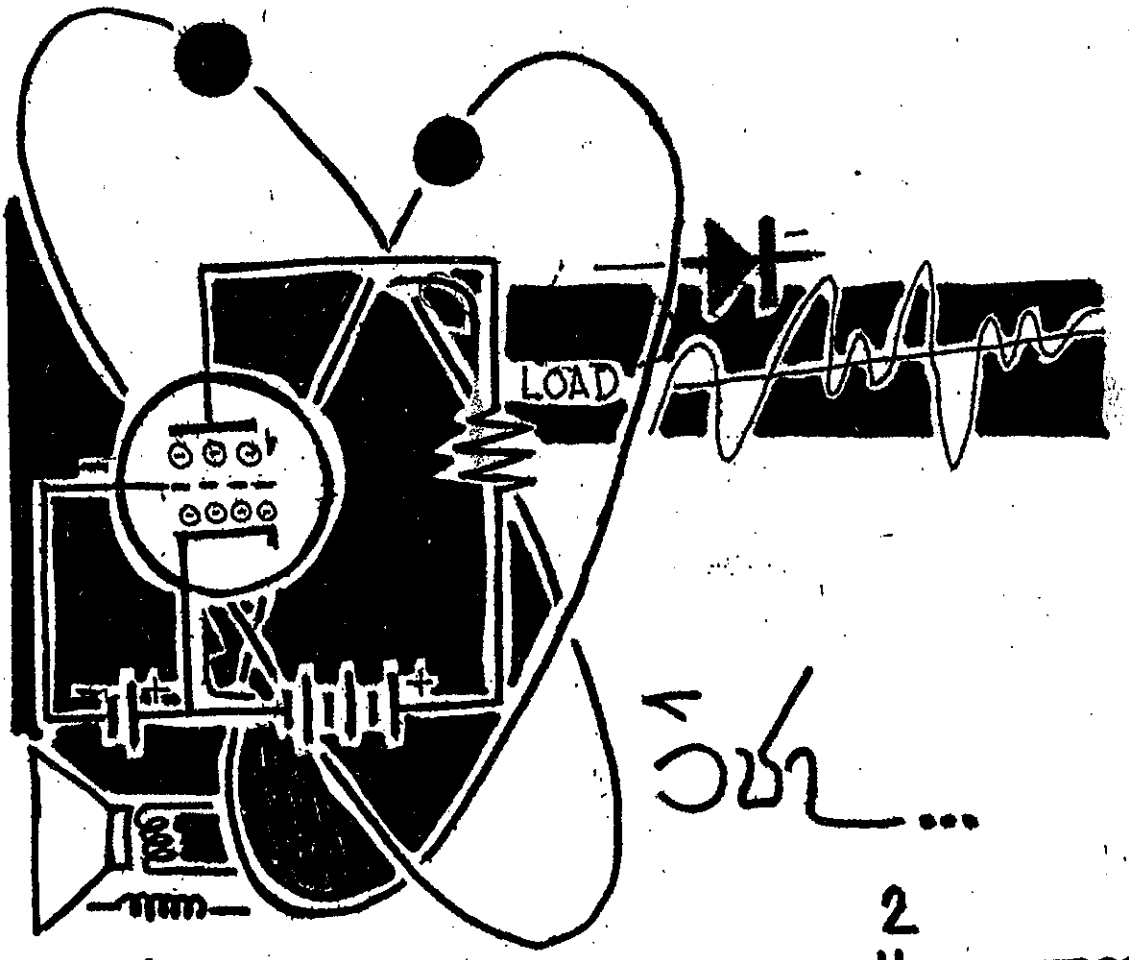


วงจร...

อิเล็กทรอนิคเบื้องต้น

สารบัญ อีเลคทรอนิคเบื้องต้น

เรื่อง	หน้า
๑. หลอดสูญญากาศ (VACCUUM TUBE)	๑
๒. รีซีสเตอร์ (RESISTOR)	๑๐
๓. คาปาซิเตอร์ (CAPACITOR)	๑๘
๔. ระบบสายอากาศ (ANTENNA SYSTEM)	๓๒
๕. คลื่นวิทยุและคลื่นเสียง (R.F. - A.F.)	๓๕
๖. หลอดภาพ (CATHODE - RAY - TUBE)	๓๗
๗. การขยายสัญญาน (SIGNAL AMPLIFIER)	๔๑
๘. ไมโครโฟน	๔๕
๙. การใช้เครื่องมือวัด	๕๑
๑๐. ทรานซิสเตอร์	๕๙
๑๑. เหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้า	๗๘

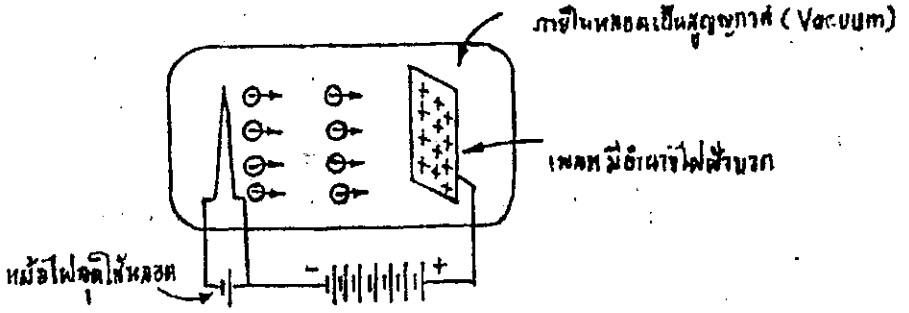
Vacuum Tubes
หลอดสูญญากาศ

หฤษฎีของหลอดสูญญากาศ (Principle of the Vacuum Tube)

ถ้าเผาโลหะหรือสารประกอบของโลหะ เช่น โลหะ Oxide ด้วยอุณหภูมิสูง ๆ ด้วยเปลวไฟหรือด้วยการปล่อยให้กระแสไฟผ่านก็ตาม วัตถุเหล่านี้จะปล่อย Electron ออกในหลอดวิทยุ สิ่งที่ถูกเผาเพื่อให้ปล่อย Electron ออก มีชื่อเรียกว่า Cathode

ถ้าเผา Cathode ในอากาศด้วยอุณหภูมิสูง ๆ Cathode ที่ถูกเผาก็จะไหม้หมดไปในอากาศเนื่องจากมี O_2 อยู่ในอากาศ ด้วยเหตุนี้จึงต้องบรรจุ Cathode เข้าไว้ในหลอดแก้ว หรือหลอดเหล็กก็ตามที่ภายในได้ดูดเอาอากาศออกหมด จนเป็นสูญญากาศ (Vacuum) และ การเผาสิ่งที่อยู่ในหลอดแก้วซึ่งเป็นหลอดสูญญากาศด้วยไฟหรือเปลวไฟยอมไม่สะดวก ฉะนั้นจึงทำ Cathode ให้มีลักษณะอย่างไส้หลอดแล้วใช้กระแสไฟผ่านเผาให้ร้อน

ถ้ามีแผ่นโลหะ ที่มีประจุไฟฟ้าเป็นบวกอยู่ใกล้กับวัตถุที่เป็นตัวปล่อย อิเลคตรอน แผ่นโลหะนั้นก็จะดึง อิเลคตรอน ซึ่งมีประจุเป็นลบไว้ ทำให้จำนวนประจุบวกที่แผ่นโลหะนั้นถูกลบล้างไป นอกแต่จะมีวิธีการที่สามารถถอน อิเลคตรอน ออกได้เร็วเท่ากับที่เข้ามา ซึ่งวิธีนี้จะสามารถทำได้โดยการ ต่อแหล่งไฟฟ้าที่ให้ศักย์คงที่ระหว่างแผ่นโลหะที่มีประจุบวก กับ วัตถุที่เป็นตัวปล่อย อิเลคตรอนตามรูปข้างล่างนี้ วิธีนี้เป็นวิธีที่ใช้กันโดยทั่วไปกับหลอด ๒ ชั้ว (Element) คือหลอด Diode



รูปแสดงอิเลคตรอนวิ่งจากไส้หลอดไปหาเพลท, เมื่อไส้หลอดร้อนและมีไฟลบ, เพลทมีไฟบวก

ในรูปนี้ Cathode เป็นตัวปล่อยอิเลคตรอน ของหลอดสูญญากาศ มีลักษณะคล้ายกับไส้หลอดไฟฟ้าธรรมดา และเผาโดยปล่อยกระแสไฟฟ้าผ่าน โลหะที่มีประจุไฟฟ้าเป็นบวก ของหลอดวิทยุ ตามปกติจะอยู่ล้อมรอบ Cathode เราเรียกว่า Plate หรือ Anode ควรจำไว้ด้วยว่า Electron จะเคลื่อนที่จากลบไปบวกเสมอ

หลอดวิทยุใช้ Cathode ต่างกัน ๒ แบบ แบบแรกคือแบบ Filament หรือ Directly Heated Cathode เป็นแบบที่ใช้กระแสเผา Cathode โดยตรง

อีกแบบหนึ่งเป็นแบบ Indirectly Heated - Cathode เป็นแบบที่ใช้กระแสไฟเผาวัตถุที่ทำเป็นไส้เรียกว่า Heater ก่อน แล้วใช้ความร้อนที่เกิดขึ้นเผา Cathode ต่ออีกทีหนึ่งจนมีอุณหภูมิสูงเพียงพอที่จะปล่อย Electron ได้ Cathode แบบนี้ใช้วัตถุพวกโลหะOxide ทำเป็นปลอกหุ้ม Heater ไว้อีกทีหนึ่งและมีฉนวนขั้นระหว่าง Cathode และ Heater.

<u>การทำงานของหลอด Diode</u>

หลอด Diode เป็นหลอดวิทยุแบบที่ง่ายที่สุด และมีขั้ว (Element) เพียง ๒ ขั้วเท่านั้น คือ Cathode และ Plate การทำงานของหลอดขึ้นอยู่กับความจริงที่ว่า

ถ้าป้อนแรงไฟบวกให้แก่ Plate และลบกับ Cathode จะมีกระแสไฟไหลผ่านหลอดได้ และถ้าป้อนให้แรงไฟลบแก่ Plate และบวกให้กับ Cathode จะไม่มีกระแสไฟไหลผ่านหลอดกระแสที่ไหลเราจะวัดได้โดยใช้ Ammeter (A) เป็นเครื่องมือวัด

<u>Vacuum Tubes</u> แบ่งออกเป็น ๔ ชนิดคือ

๑. Diode Tubes (หลอดไดโอด)

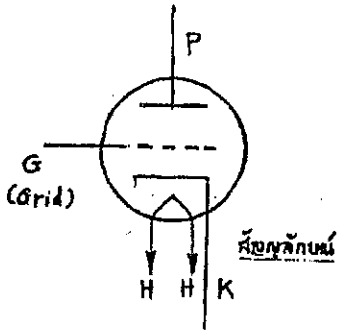
๒. Triode Tubes (หลอดไทรโอด)

๓. Tetrode Tubes (หลอดเทรดโทรด)

๔. Pentode Tubes (หลอดเพนโทด)

<u>Triode Tubes</u>

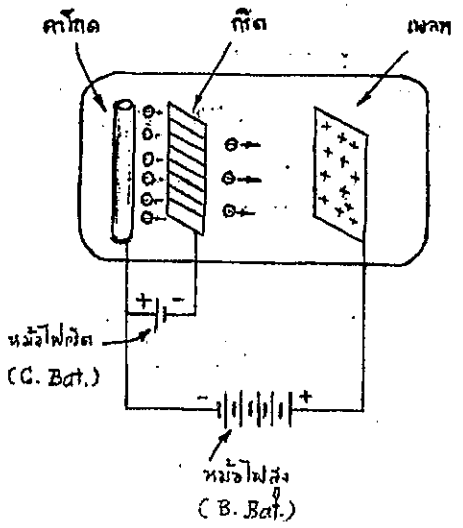
เป็นหลอดที่ผิดกับหลอด Diode ก็คือมีส่วนประกอบภายในเพิ่มขึ้นมาอีกอันหนึ่ง คือ Grid Grid เป็นเส้นลวดเล็ก ๆ ขดเป็นรูปทรงกระบอกอยู่ระหว่าง Cathode กับ Plate ของหลอด ดังนั้น Electron ถูกปล่อยออกมาจาก Cathode ก็จะต้องผ่าน Grid โดยธรรมดาแล้ว Grid อยู่ใกล้กับ Cathode มากกว่า Plate จึงมีอำนาจต่อ Electron ที่ผ่านตัวนั้นมาก

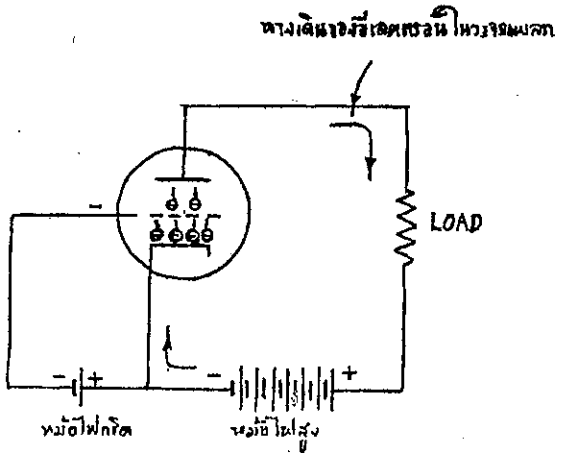


<u>Grid มีหน้าที่อย่างไร</u>

เพื่อศึกษาหน้าที่ของ Grid เมื่อเราให้ศักย์ลบแก่ Grid (เมื่อเทียบกับศักย์ของ Cathode) แม้แต่เพียงเล็กน้อยก็ตาม มันจะทำให้การไหลของ Electron ในหลอดกระทบกระเทือนเกิดการเปลี่ยนแปลงทันที เนื่องจาก Electron เป็นอนุภาคไฟฟ้าที่มีประจุเป็นลบ สิ่งใดที่มีประจุเหมือนกับมันจะผลักกัน ด้วยเหตุนี้เอง เมื่อGrid เกิดมีไฟลบก็จะผลัก Electron ที่ถูกปล่อยออกมาจาก Cathode และขัดขวางมิให้วิ่งไปหา Plate ได้อย่างสะดวก แต่ถึงอย่างไรก็ดี Plate มันมีประจุไฟฟ้าบวกสูงกว่า มันก็จะมีแรงดึงเอา Electron วิ่งมาหาได้แต่ก็ไปไม่ได้สะดวกเหมือนเมื่อไม่มี Grid เพราะ Grid เป็นตัวขัดขวางไม่ให้ Electron วิ่งไปหาเพลทได้มาก

การทำงานของหลอด Triode





รูปวงจรการทำงานของหลอดไทรโอด

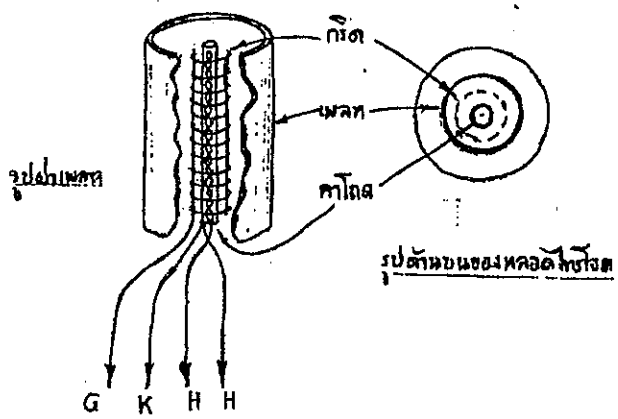
เราทราบแล้วว่า ถ้าแรงไฟลบที่กริดเปลี่ยนแปลงเมื่อไร จะทำให้ระดับการไหลของอิเลคตรอนในวงจร Plate เปลี่ยนแปลง จากการทดลอง ปรากฏว่า แม้แรงไฟที่ Grid จะเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อยก็ทำให้เกิดแรงเคลื่อนตกคร่อม Load ในวงจรของ Plate เปลี่ยนแปลงมาก ซึ่งเนื่องมาจากอิเลคตรอนที่ไหลผ่านLoad เปลี่ยนแปลง

* นี้เป็นต้นกำเนิดของกลักการขยายคลื่นของหลอดไทรโอด หรือหลอดที่มีกริด C_1

ถ้าหากมีคลื่นความถี่กระแสสลับผ่านเข้าทางกริด ก็จะทำให้กริดมีอำนาจไฟฟ้าเป็นบวกบ้าง ลบบ้าง ตามคลื่นความถี่ที่เข้ามา เมื่อกริดเป็นลบมันจะกด Electron ให้ไหลผ่านวงจรลดน้อยลงแต่พอกริดเป็นบวก มันก็จะไม่กด Electron เลย มิหนำซ้ำยังจะรับเอา Electron ไว้อีกด้วยทำให้เกิดมีกระแสไหลในวงจรกริด (ปรากฏการณ์เช่นนี้ก่อให้เกิดเสียงผิดธรรมชาติในการใช้หลอด Triode ขยายเรียกว่า เกิด Distortion คิสตอชั่น

เรามีวิธีแก้ Distortion โดยการใส่หม้อไฟให้แก่กริด (หม้อไฟ C) เข้าไปที่ G_1 โดยให้ G_1 เป็นไฟลบอยู่จำนวนหนึ่งเมื่อเทียบกับ Cathode ซึ่งมีศักย์เป็นลบอยู่แล้ว (ตามรูปข้างบน) ให้สูงพอที่จะหักล้างแรงไฟบวกอันเกิดจากคลื่นสัญญาณทางบวกที่เข้ามาทาง G_1 เช่น

Signal เข้ามาเป็น +3 Volts และ -3 Volts ก็ควรให้ไฟลบที่กริดเข้าไปน้อยกว่า 4 Volts คือ อาจให้เป็น -4 Volts หรือ -5 Volts เป็นอันว่ากริดจะไม่มีโอกาสเป็นบวกได้ จะมีศักย์เป็นลบมากหรือน้อยเท่านั้น รูปคลื่นที่ขยายออกมาก็จะเหมือนสัญญาณเดิมที่เข้ามาทาง G_1 จะไม่เกิด Distortion



รูปแสดงภายในของหลอดไทรโอด และแสดงสัญญลักษณ์ของหลอดไทรโอด

แต่ถ้าเราเพิ่มแรงเคลื่อนไฟฟ้าลบที่ Grid ให้มากขึ้น มันก็ยิ่งจะทวีอำนาจในการลดระดับการไหลของ Electron ขึ้น ปล่อยให้ผ่านไปหาเพลทน้อยลง และจะยิ่งน้อยลงเรื่อยๆ ถ้าเราเพิ่มแรงเคลื่อนไฟฟ้า ลบ ที่ Grid ขึ้นเรื่อย ๆ จนกระทั่งถึงและเคลื่อนขีดหนึ่ง ที่จุดนั้น Electron จาก Cathode จะถูกกดจนไม่สามารถจะลอดผ่าน Grid ไปได้เลย แรงเคลื่อนของไฟ Grid ณ จุดนี้เรียกว่า จุดคัดออฟ (Cut Off)

สรุปได้ว่า Grid เป็นขั้วใหม่ คือขั้วที่ ๓ ของหลอดไทรโอด และมีหน้าที่บังคับการไหลของ Electron ที่จะวิ่งจาก Cathode ไป Plate ได้มากหรือน้อยตามความต้องการ หรือแล้วแต่อำนาจไฟ ลบ ที่ Grid จะสูงหรือจะต่ำเท่านั้น

<u>Tetrode Tubes</u> (หลอด ๔ ขั้ว)

หลอด ๔ ขั้วหรือหลอด Tetrode ต่างกับหลอด ๓ ขั้ว หรือหลอด Triode ตรงที่มีส่วนประกอบเพิ่มขึ้นมาอีกอย่างหนึ่ง เรียกว่า Screen Grid (สกรีนกริด) หรือ Grid ที่ ๒ (G_2) ส่วน Grid ที่กล่าวไว้นั้นในเรื่องของ Triode ต่อไปจะเรียกว่า (Control Grid) หรือ Grid ที่ ๑ (G_1) สกรีนมีลักษณะคล้ายกับคอนโทรลกริด กล่าวคือ ลักษณะของมันเป็นลวดเส้นเล็ก ๆ ขดเป็นรูปกระบอกสวมครอบ G_1 ไว้อีกทีหนึ่ง ดูรูปข้างล่างนี้

<u>สัญญลักษณ์ของหลอด เตตโรด</u>

การทำงานของหลอด Triode นั้น อิเลคตรอนที่วิ่งไปหาเพลท หาได้มีกำลังพอที่จะวิ่งไปถึงเพลททั้งหมดไม่ ทำให้อัตราการขยายของหลอดไทรโอด หรือหลอด ๓ ขั้วนั้นไม่สูงนัก เพราะเพลทอยู่ห่างไป กำลังถึงดูดไม่มีพอ การแก้ปัญหาเรื่องนี้ทำได้ ๒ ประการคือ-

๑. การเพิ่มแรงเคลื่อนไฟบวกที่เพลทให้สูงขึ้นประการหนึ่ง

๒. โดยการเลื่อนตำแหน่งเพลทให้ใกล้ คาโธดเข้ามาอีกประการหนึ่ง

สำหรับประการที่ ๑ นั้น เมื่อเราเพิ่มไฟบวกให้แก่เพลทขึ้นเรื่อย ๆ นั้น พอถึงจุด ๆ หนึ่ง อิเลคตรอนจะไม่เพิ่มจำนวนการไหล แม้จะเพิ่มกำลังไฟให้สูงขึ้นก็ตาม

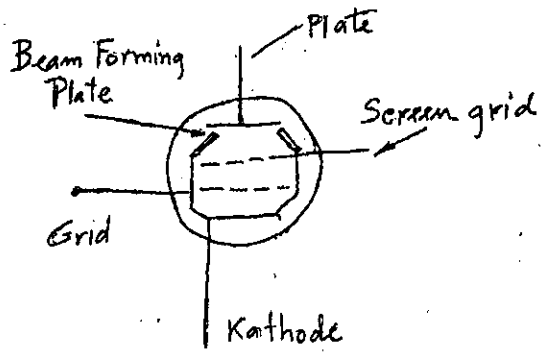
ส่วนประการที่ ๒ นั้น การร่นระยะห่างระหว่างเพลทและคาโถดให้ใกล้เข้ามา ย่อมจะทำให้ระยะห่างระหว่างเพลทและกริดใกล้เข้ามาด้วย เป็นผลให้อัตราการขยายและคุณสมบัติประการอื่น ๆ ของหลอดลดลงด้วย

เมื่อเป็นเช่นนี้จึงมีวิธีการ หาวิธีเร่งกำลังอิเลคตรอนขึ้นโดยการเพิ่มชั้วขั้นใหม่อีกข้อหนึ่ง ซึ่งมีชื่อว่า สกรีนกริด (Screen Grid) สกรีนกริดนี้เราต่อเข้ากับชั้วบวกของไฟสูง (+ B) เช่นเดียวกับเพลทแต่ให้แรงไฟต่ำกว่า สกรีนกริดอยู่ระหว่างคอนโทรลกริด (G_1 กับเพลท

ฉะนั้นจึงมีระยะห่างจาก Cathode ใกล้กว่าระยะห่างของ คาโถดกับเพลท ทำให้มีอำนาจการดึงดูดอิเลคตรอนสูงขึ้น อิเลคตรอนส่วนใหญ่จะวิ่งไปถึงเพลทได้ด้วยกำลังแรง โดย ลอดผ่านสกรีนกริดไปอิเลคตรอนที่พุ่งขึ้นมานั้นมีกำลังวิ่งสูงและแรง ดังนั้น แม้สกรีนกริดจะมีแรงเคลื่อนไฟบวกแต่ก็มีลักษณะเป็นตะแกรงรูโตอย่างหนึ่ง ประกอบกับอิเลคตรอนวิ่งขึ้นมาโดยแรงอีกอย่างหนึ่ง จึงทำให้อิเลคตรอนวิ่งผ่านสกรีนกริด เลยขึ้นไปหาเพลทได้เกือบทั้งหมด

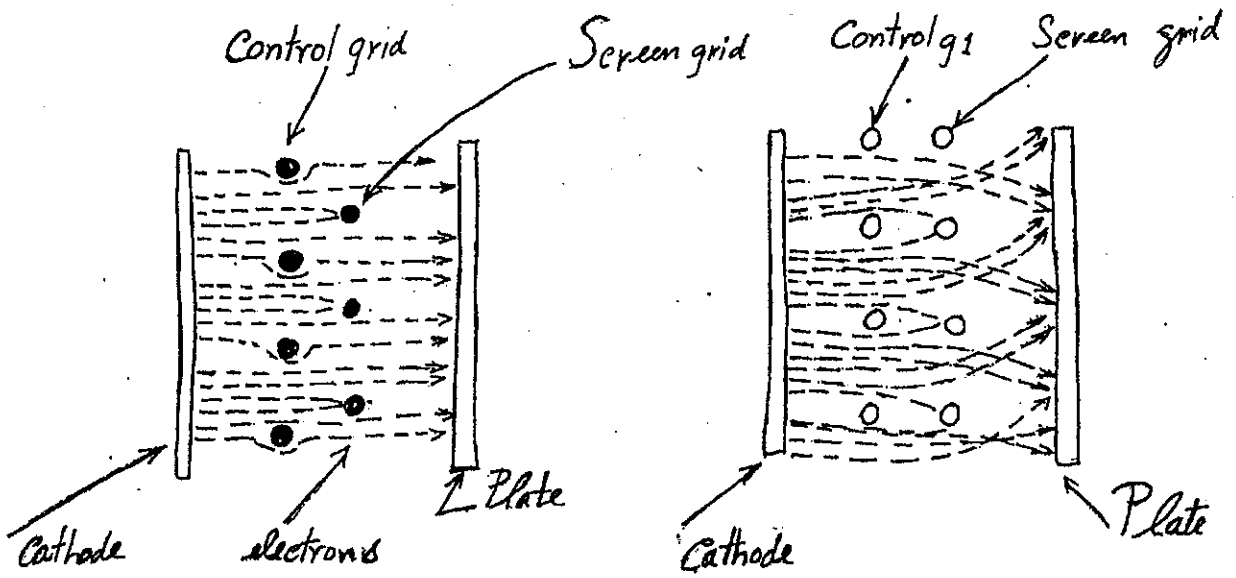
สรุปได้ว่า การใส่สกรีนกริดเข้าไป ทำให้มีอิเลคตรอนไหลผ่านวงจรเพลทได้มากขึ้น

Beam Power Tubes



Beam Power Tube มีข้อดีทั้งสองแบบเลย คือแบบหลอด Tetrode และหลอด Pentode ซึ่งเป็นหลอดที่พิเศษอีกแบบหนึ่ง คืออิเลคตรอน จะวิ่งไปเป็นลำตรงไม่เปะปะเหมือนหลอดชนิดอื่น ลำอิเลคตรอนนี้ใช้เป็นตัวเพิ่มเนื้อหากำลังงานขีดความสามารถให้กับ Plate คือเป็นตัวช่วยส่งหรือปล่อยให้ Electron วิ่งไปหา Plate ได้โดยทางตรง หรือมีทิศทางที่แน่นอน Plate ก็จะได้รับElectron มากเพียงพอและเกิดการขยายกำลังงานได้สูงขึ้น

ส่วนของ A. ในรูปแสดงให้เห็นว่าเส้นลวดสกรีนและคอนโทรลกริดของหลอด Tetrode ธรรมดาที่เป็นผู้กำหนดหนทางผ่านของ Electron ไหล โดยเหตุที่การจัดวางเส้นลวด , อิเลคตรอนผู้ซึ่งเดินผ่านเข้าไปใน Control Grid และอิเลคตรอนบางส่วนที่หักเหไปจากทางเดินของมัน ส่วนมากแล้วมักพุ่งปะทะกับ เส้นลวด Sereen ปรากฏการณ์เช่นนี้ อาจมองเห็นได้ว่าทำให้เกิดกระแส Sereen ซึ่งลบล้างกระแส Plate และมักจะจำกัดค่าของมันไว้เสมอ



ในส่วนของรูป B. เริ่มแตกต่างกันไปจากหลอด Tetrode จะเห็นว่าเส้นลวด Screen ในหลอด Beam Power มีการจัดวางทางเดินของ Electron บ้างเล็กน้อย และเห็นได้รัดแจ้ง กระแส Screen ไหลน้อยลงกว่าในหลอด Tetrode หรือ Pentode แบบธรรมดา (คือไม่มี Beam) และด้วยเหตุนี้ Electron เป็นจำนวนมากจะวิ่งไปถึง Plate ได้มาก , โดยเหตุนั้นทำให้เกิดค่าของกระแสที่ Plate เพิ่มขึ้น

เราอาจให้ความเห็นลงไปได้ว่าเส้นที่ลากให้เห็นนั้นเป็นเส้นแสดงให้เห็นว่าเป็นการเกิดกระแสเพลทที่สูงมาก

ให้จำไว้ว่า Screen และ Control Grid เป็นที่ทำให้เกิดเป็นเส้นแตกต่างกันในทางผ่าน Electron และซึ่งปล่องครอบไว้ Electron วิ่งเป็นลำตรงเข้าไปยัง Plate

ซึ่งการจัดระเบียบแบบนี้ไปแค่เพียงให้กำลังไฟฟ้าที่สูงและใหญ่อย่างเดียว แต่ยังทำให้เกิดการผิดเพี้ยนน้อยมาก (เกิดการ Distortion น้อยนั่นเอง) ที่กล่าวมานี้เป็นผลที่ดีและพิเศษกว่า Tetrode และ Pentode แบบธรรมดา (ที่ไม่มี Beam) โดยใช้ Beam Forming Plates เป็นตัวช่วยส่งกำลังนี้เป็นข้อดีของ Beam Power Tubes

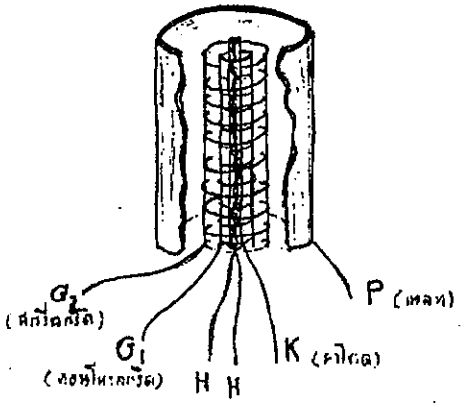
Photo Tubes หลอดโฟโต

ภายในหลอดโฟโตนั้นเป็นปฏิภาคสัดส่วนระหว่างจำนวน Electron ที่ปล่อยออกในหนึ่งหน่วยเวลาโดยความ ความยาวช่วงคลื่นของแสงและความเข้มของแสงมีอีกอย่างหนึ่งคือเป็นสัดส่วนระหว่างพลังงานของ Electron เหล่านั้น และความถี่ของคลื่นแสงความถี่มีขีดจำกัดต่ำมาก , และนอกจากนั้น พลังงานได้แจ้งไปยังพื้นผิวที่ไม่แข็งแรงเพียงพอซึ่งเป็นเหตุให้เปล่งแผ่ Electron หลอด Photo Electric , คล้ายกับความมนุษย์และแสดงอาการไหลตัวไม่เท่ากันทุก ๆ ความยาวของคลื่นหรือความถี่ เหตุผลอันนี้ แสดงตอนถึงหลอดเหล่านั้นว่าทุก ๆ หลอด ได้ให้จำนวนของแสงขึ้นอยู่กับการกระจายของความถี่แสง

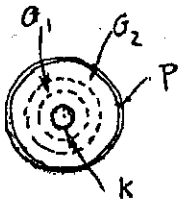
หลอด Photo เป็นมูลฐานเริ่มต้นเช่นเดียวกับหลอด Diode ที่มีเครื่องกำบังไว้มันมีกระเปาะแก้วที่ถอดได้อันหนึ่ง Cathode อันหนึ่งใช้เป็นตัวกระจาย Electron เมื่อแสงสว่างที่จ่ายให้มาก็จะตกลงมา ขึ้นอยู่กับตัวของมันเอง , และเพลท เพลทเดียวซึ่งตัวของมันเป็นตัวดึงดูดเมื่อมีแรงเคลื่อนไฟฟ้าบวกจ่ายมาให้ ความไวของหลอดขึ้นอยู่กับความถี่หรือสีของแสงซึ่งใช้แสดงปฏิกริยากับหลอดและรายละเอียดเป็นจำนวนครั้ง ๆ

ตัวอย่างเช่น หลอด Photo บางหลอดได้เจาะจงไว้เฉพาะว่ามีความไวต่อแสงสีแดง, หรือมีความไวต่อแสงสีน้ำเงิน นี้เป็นคุณสมบัติของ Photo Tubes

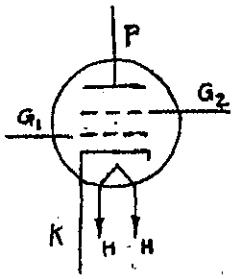
การทำงานของหลอด Tetrode



รูปลักษณะภายในของหลอดเตตโรด



รูปด้านบน



สัญญลักษณ์ของหลอดเตตโรด

วงจรขยายที่ใช้หลอด Tetrode

เพื่อลดความจุระหว่าง Grid กับ Plate จึงใส่ส่วนประกอบ (Element) อันที่ ๔ ซึ่งเรียกว่า Screen Grid เข้าในหลอด Triode Screen Grid อยู่ระหว่าง Grid กับ Plate ของหลอด Screen Grid หรือหลอด Tetrode ซึ่งมี 4 Element ให้สังเกตุการต่อวงจร เมื่อหลอดมี Screen Grid หรือหลอด Tetrode จะเห็นได้ว่า Screen Grid ได้รับแรงไฟบวกซึ่งมีค่าต่ำกว่าแรงไฟ Plate เนื่องจาก Screen Grid เป็นบวกจึงช่วยดึง Element จากCathode (กระแส Plate ไหลมากขึ้น) และขณะเดียวกันก็รับเอา Element บางส่วนเข้าไว้ด้วย ทำให้เกิดกระแสไหลในวงจรของ Screen เรียกว่ากระแส Screen (Screen Current) อย่างไรก็ดีเนื่องจากScreen Grid มีลักษณะคล้ายกับ Grid หรือเรียกว่า Control Grid) ที่ได้ ดังนั้นElement ส่วนมาก จึงวิ่งผ่านช่องระหว่างขดลวดของ Screen ไปหา Plate ซึ่งมีแรงไฟบวกสูงกว่า ดูตามวงจรจะเห็นได้ว่า Screen Grid ถูก Bypass กับด้านลบของวงจร (หรือถูก Bypass ลงดินนั่นเอง) ด้วย Capacitor C_1 ซึ่งเรียกว่า Screen Bypass Capacitor เป็น Capacitor ที่มี Reactance น้อยต่อความถี่ของสัญญาน ดังนั้น Screen Grid จึงทำหน้าที่เป็นตัว Shield (ป้องกันเส้นแรงไฟฟ้า) หรือเป็นฉากกั้นเส้นแรงไฟฟ้าระหว่างGrid กับ Plate ถ้าให้ความจุระหว่าง Grid กับ Plate ลดลง

เนื่องจาก G_2 ต่ออยู่กับ Cathode ด้วย (ตามรูป) ดังนั้นในเวลาทำงานถ้า Screen Grid ไม่มีแรงไฟบวก G_2 ก็จะทำหน้าที่เช่นเดียวกับ Grid (G_1) ของหลอด คือ บังคับการไหลของ Electron ทำให้กระแส Plate ลดน้อยลงจนไม่เพียงพอที่จะทำงานได้ตามต้องการ ดังนั้นค่าของแรงไฟบวกที่ต้องให้แก่ G_2 ของหลอด Tetrode จึงเป็นสิ่งที่กำหนดค่าสูงสุดของกระแสที่จะให้ไหล ในวงจร Plate ถ้าให้แรงไฟแก่ G_2 ไม่เหมาะสม การทำงานของวงจรขยายที่ใช้หลอด Tetrode จะบกพร่อง

หลอด Tetrode นอกจากจะมีความจุระหว่าง Grid และ Plate ต่ำมากแล้ว ยังมีคุณลักษณะที่ดีกว่าหลอด Triode อีกหลายอย่าง คือมี Factor ขยายสูงกว่าและมี Power Sensitivity (ความสามารถในการหวีกำลัง) สูงกว่า โดยธรรมดาหลอด Tetrode ใช้ทำหน้าที่เช่นเดียวกับหลอด Triode โดยเฉพาะใช้ส่วนมากในภาคขยายความถี่วิทยุของเครื่องรับ – เครื่องส่งของวิทยุ

Pentode Tubes (หลอด ๕ ขั้ว)

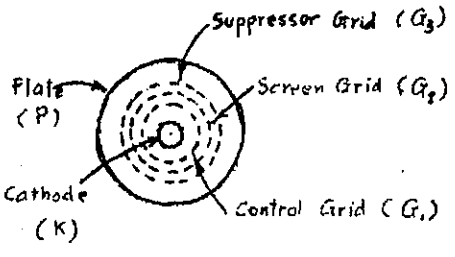
ในหลอดเตตโทรด การที่ Electron มีความเร็วในการวิ่งสูง เพราะมีสกรีนกริดช่วยดึงดูดนั้นทำให้เพลทถูก Electron วิ่งมากระทบอย่างแรง บางครั้งก็จะหลุดกระเด็นออกมา แล้วก็เลยวิ่งไม่เข้าสกรีนกริด ซึ่งมีไฟบวกอยู่เหมือนกัน การที่มี Electron หลุดจาก Plate มาเข้าสกรีนกริดนี้เป็นการไหลของ Electron อีกทางหนึ่ง ซึ่งเกิดสวนทางกันกับทางแรก (คือทางที่ Electron วิ่งจากคาโถดไปหาเพลท)

ดังนั้นเราจึงมีวิธีแก้การเกิด Electron ไหลจากเพลทไปเข้าสกรีนกริดในหลอดนั้นทำได้โดยใส่กริดอันใหม่เข้าไประหว่างสกรีนกริด (G_2 กับ Plate กริดอันใหม่นี้มีชื่อเรียกว่า <u>ซัปเพรสเซอกริด</u> (Suppresor Grid) ตัวย่อใช้เป็น G_3 กริด๓ หรือ Suppressor Grid นี้ ปกติแล้วต่ออยู่กับ Cathode ซึ่งอาจต่ออยู่ภายในหลอดแก้วหรืออาจจะต่อกันภายนอกของหลอดก็มีฉะนั้น G_3 จึงมีศักย์หรือแรงเคลื่อนเป็นลบเช่นเดียวกัน Cathode เมื่อ Electron หลุดตกจาก Plate จะวิ่งมา G_2 ก็จะถูก G_3 ซึ่งมีอำนาจไฟฟ้าลบผลักดันขึ้นไปยังเพลท

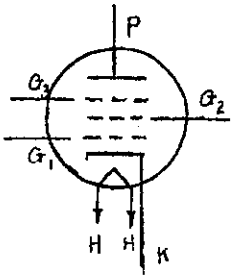
การที่ G_3 มีอำนาจไฟฟ้าลบนี้ <u>อาจทำให้เกิดปัญหาได้ ๒ ประการ คือ</u>

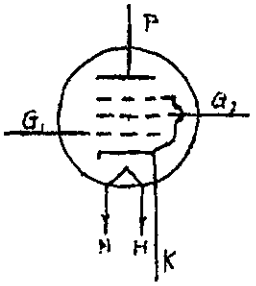
๑. เมื่อ G_3 เป็นลบ มันก็ควรจะกด Electron ไม่ให้ผ่านตัวมันเองขึ้นมาแต่มันกลับกดไม่ได้เพราะว่าระยะนี้อยู่ใกล้กับเพลทมากอยู่แล้ว อำนาจดึงดูดของเพลทแรงพอและ Electron ก็วิ่งมาโดยกำลังแรงแล้ว จึงสามารถลอด G_3 ไปหาเพลทได้

๒. G_3 มี Electron อยู่ในตัวเพราะต่ออยู่กับคาโถด มันก็ควรจะจ่ายอิเลคตรอนเสียเอง แต่มันไม่จ่ายอิเลคตรอน ก็เพราะตัว G_3 ไม่ร้อนเหมือนคาโถดจึงไม่สามารถจะจ่ายอิเลคตรอนได้



รูปด้านบนของหลอดเพนโทด





สัญญลักษณ์ของหลอดเพนโทดแบบ G_3 ต่อกับ K ภายในและภายนอก

รีซีสเตอร์ - RESISTOR

รีซีสเตอร์ เป็นอุปกรณ์ที่สำคัญชนิดหนึ่งในระบบเครื่องมืออีเลคโทรนิคและในระบบไฟฟ้าอีกด้วย รีซีสเตอร์ (ตัวความต้านทาน) เป็นตัวสำหรับใช้ลด (DROP) แรงเคลื่อนไฟฟ้าทั้ง D.C. และ A.C. (เฉพาะ A.C. ไม่ค่อยนิยมใช้ลดแรงเคลื่อนมากนักเพราะ A.C สามารถใช้หม้อแปลงไฟฟ้าลดแรงเคลื่อนได้อยู่แล้ว) นอกจากจะใช้รีซีสเตอร์ลดแรงเคลื่อนไฟฟ้าแล้ว ยังใช้เป็นโหลด (LOAD) ให้กับในวงจรขยาย (VOLTAGE AMPLIFIER) ของระบบอีเลคโทรนิคอีกด้วย ดังจะได้กล่าวในโอกาสต่อไป

รีซีสเตอร์ - RESISTOR แบ่งออกได้เป็น ๓ แบบ คือ

๑. รีซิสเตอร์แบบค่าคงที่ (FIXED RESISTOR)

๒. รีซีสเตอร์แบบปรับค่าได้ (ADJUSTABLE RESISTOR)

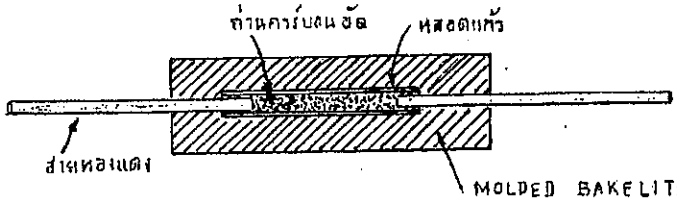
๓. รีซีสเตอร์แบบเปลี่ยนแปลงได้ (VARIABLE RESISTOR)

รีซีสเตอร์ค่าคงที่ - FIXED RESISTOR

แบ่งออกเป็น ๒ อย่างตามแต่ชนิดของวัตถุที่ใช้ทำ

ก. คาร์บอนรีซิสเตอร์ (CARBON RESISTOR)

เป็นรีซีสเตอร์ที่ทำด้วยผงคาร์บอนอัดแน่นบรรจุอยู่ในหลอดแก้วแล้วต่อสายทองแดงออกมาทั้งสองข้าง ตัวหลอดแก้วบรรจุอยู่ภายในของวัตถุประเภทฉนวนที่เรียกว่า MOLDED BAKALITE อีกทีหนึ่ง รีซีสเตอร์แบบนี้สามารถทำให้มีค่าต้านทานได้สูง ๆ ถึงหลายล้านโอห์มได้ แต่ทนความร้อนต่อกำลังไฟฟ้าได้มากนัก อย่างสูงไม่เกิน ๕ วัตต์



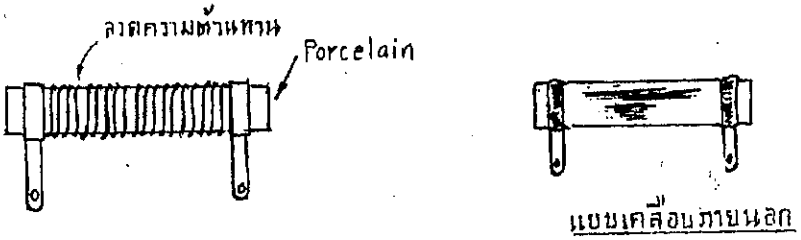
รูปแสดงคาร์บอนรีซิสเตอร์ผ่าซีกให้เห็นภายใน

สัญญลักษณ์รีซิสเตอร์ค่าคงที่

ข. ไวน์เวานด์รีซิสเตอร์หรือตัวต้านทานแบบเส้นลวด WIRE WOUND RESISTOR

เป็นรีซิสเตอร์ที่ทำด้วยเส้นลวดโลหะผสมพันไว้บนแท่งกระเบื้องกลม ปลายทั้งสองข้างของลวดความต้านทานต่อด้วยลวดทองแดงหรือแผ่นโลหะยึดติดอยู่สองปลายของรีซิสเตอร์บางแบบเคลือบภายนอกไว้ด้วยวัตถุธาตุซึ่งเรียกว่า เซอรามิค (CERAMIC) เพื่อใช้เป็นฉนวนป้องกันไฟรั่ว

และป้องกันเส้นลวดรวนตัวเนื่องจากการขยายตัวเมื่อเกิดความร้อน และยังป้องกันมิให้เส้นลวดขาดง่ายเมื่อถูกขีดข่วนจากสิ่งภายนอก รีซิสเตอร์แบบไวน์เวานด์นี้ทนความร้อนได้สูงมากได้เป็นจำนวนร้อย ๆ วัตต์ก็ได้ แต่ค่าความต้านทาน(OHM) ต่ำไม่มีค่าความต้านทานสูงเหมือนแบบคาร์บอนรีซิสเตอร์



รูปแสดง Wire Wound Resistor

สูตรการคำนวณหาขนาดแรงไฟของรีซิสเตอร์

$$W = I^2R$$

W คือ ขนาดทนแรงไฟ คิดเป็น วัตต์

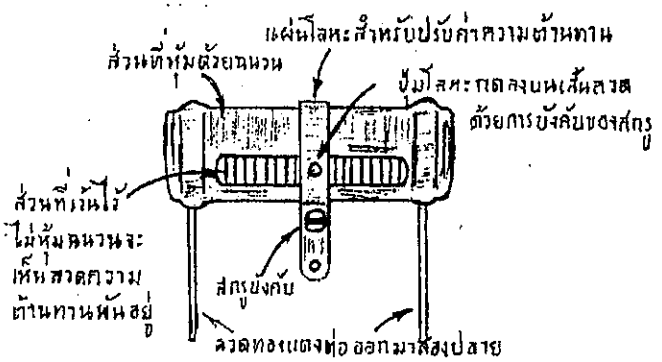
I คือ กระแสผ่านรีซิสเตอร์ เป็น แอมแปร์

R คือ ความต้านทานของรีซิสเตอร์ เป็น โอมห์

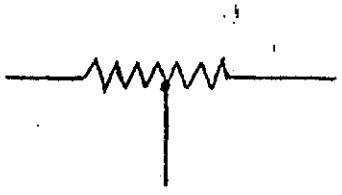
รีซิสเตอร์แบบปรับค่าได้ - ADJUSTABLE - RESISTOR

แบบนี้เป็นแบบที่ใช้เส้นลวดเท่านั้นไม่มีคาร์บอน เมื่อพันเส้นลวดแล้วเวลาเคลือบเซอรามิค (GERAMIC) เขาจะเว้นเป็นช่องว่างยาวตลอดตัวรีซิสเตอร์ เพื่อเอาไว้สำหรับแท๊ปสายออกมา ตัวแท๊ปทำเป็นโลหะแผ่นบาง ๆ เล็ก ๆ รัดไว้โดยรอบ ที่ตัวแผ่นรัดจะมีปุ่มแตะกับเส้นลวดรีซิสเตอร์ และที่ปลายลวดรัดจะมีสกรูขันให้ติดแน่นเมื่อแท๊ปได้ที่แล้ว

รีซิสเตอร์แบบนี้มีค่าความต้านทานไม่มากนักแต่สูงกว่าแบบไวนเวานด์พอสมควรและทนความร้อนได้สูง มี WATT สูงเหมือนกัน



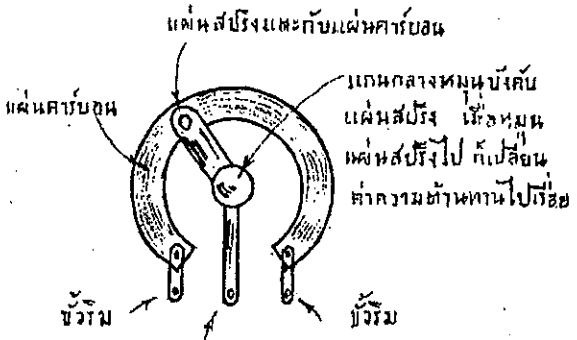
รูปรีซิสเตอร์แบบปรับค่าได้

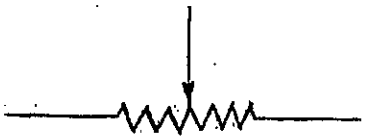


สัญญลักษณ์ของรีซิสเตอร์แบบปรับค่าได้

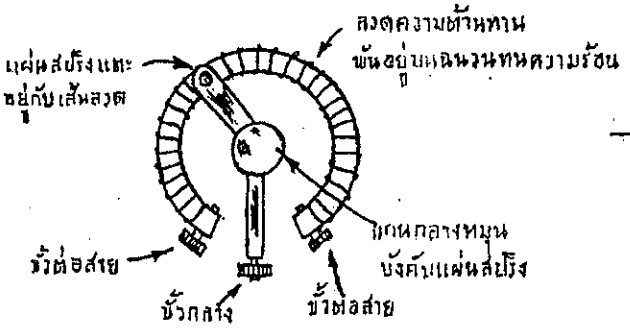
รีซิสเตอร์แบบเปลี่ยนค่าได้ VARIABLE RESISTOR

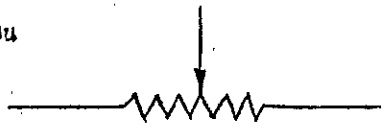
รีซิสเตอร์แบบนี้มีทั้งแบบคาร์บอนและแบบไวน์เวานด์ (ลวดต้านทาน)
แบบใช้เส้นลวดนั้น ลวดความต้านทานพันอยู่บนแผ่นวัตถุทนความร้อนซึ่งขดเป็นวงกลม (บางแบบพันอยู่บนแท่งกระเบื้องยาว แล้วมีแท็ปเลื่อนไปมาได้สดวก) ปลายทั้งสองข้างต่อออกภายนอกด้วยสลักเกลียว ตรงกลางมีแกนหมุน ที่แกนมีแผ่นสปริงยื่นไปแตะกับขอบเส้นลวดความต้านทาน เมื่อเราหมุนแกนไปแผ่นโลหะสปริงนี้ จะเลื่อนไปด้วยโดยแตะกับเส้นลวดไปตลอด.





รูปและสัญญลักษณ์ของ Potentiometer



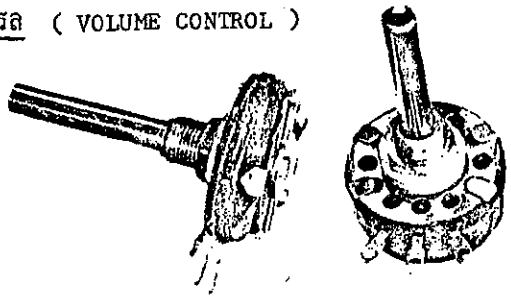


สัญญลักษณ์ของเรโอสตาท

รูปเรโอสตาท หรือรีซิสเตอร์เปลี่ยนค่าได้แบบเส้นลวด

RHEOSTAT เรโอสตาท คือรีซิสเตอร์แบบเปลี่ยนค่าได้เป็นชนิดใช้เส้นลวดความต้านทาน

POTENTIOMETER โปเทนชิโอมิเตอร์ คือรีซิสเตอร์แบบเปลี่ยนค่าได้ แต่เป็นแบบที่ใช้คาร์บอนทำเป็นรูปครึ่งวงกลม และมีแผ่นสปริงแตะเหมือนกับเรโอสตาทแต่แบบคาร์บอนทนกระแสได้ไม่มาก ใช้กระแสผ่านได้นิดหน่อยเท่านั้น ถ้าหากสูงมากจะเกิดไหม้ได้ แบบนี้นิยมใช้เป็นตัวเร่งและลดความดันของเสียงหรือใน TELEVISION อาจใช้เป็นปุ่มปรับได้หลาย ๆ ชนิดแล้วแต่หน้าที่ รีซิสเตอร์แบบนี้มีชื่อเรียกกันทั่ว ๆ ไปว่า วอลลุ่มคอนโทรล (VOLUME CONTROL)



ได้กล่าวมาแล้วเป็น RESISTOR แบบต่าง ๆ แต่การที่จะรู้จำนวนค่าความต้านทานของตัวรีซิสเตอร์นั้นยากเหมือนกัน และง่ายเมื่อมีตัวเลขบอกค่าความต้านทานเป็นจำนวนโอห์มออกมาแจ้งชัด แต่ถ้าไม่มีเลขบอกเราจะรู้ไม่ได้เลย เนื่องจาก RESISTOR แบบใหม่นิยมใช้เป็น CODE สีอ่านแปลออกเป็นค่าความต้านทาน การอ่าน CODE ของสีตัวความต้านทานได้จะต้องเรียนรู้ถึงการอ่านค่าความต้านทานด้วยสี หรือที่เรียกว่า RESISTOR COULOR CODES)

คาร์บอนรีซิสเตอร์หรือตัวต้านทานค่าคงที่ชนิดคาร์บอนนั้น ตามปกติการอ่านค่ามักใช้แต้มสีลงบนตัวรีซิสเตอร์ โดยสีนั้นใช้แทนตัวเลขเป็นแบบสากลตามตารางต่อไปนี้

ตารางสีสากลสำหรับอ่านค่ารีซิสเตอร์

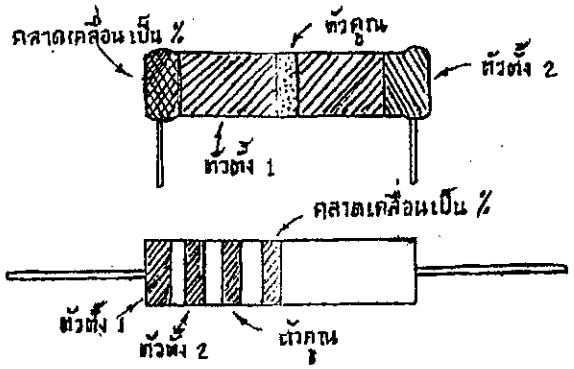
สี	ตัวตั้ง	ตัวคูณ	คลาดเคลื่อนเป็นเปอร์เซ็นต์
ดำ	๐	๑	
น้ำตาล	๑	๑๐	
แดง	๒	๑๐๐	
ส้ม	๓	๑,๐๐๐	
เหลือง	๔	๑๐,๐๐๐	
เขียว	๕	๑๐๐,๐๐๐	
น้ำเงิน	๖	๑๐๐๐,๐๐๐	
ม่วง	๗	๑๐,๐๐๐,๐๐๐	
เทา	๘	๑๐๐,๐๐๐,๐๐๐	
ขาว	๙	๑,๐๐๐,๐๐๐,๐๐๐	
ทอง		๐.๑	±๕
เงิน		๐.๐๑	±๑๐
ไม่มีสี			±๒๐

แบบของคาร์บอนรีซิสเตอร์ที่แต้มสีมา แบ่งออกได้เป็น ๒ พวก คือ

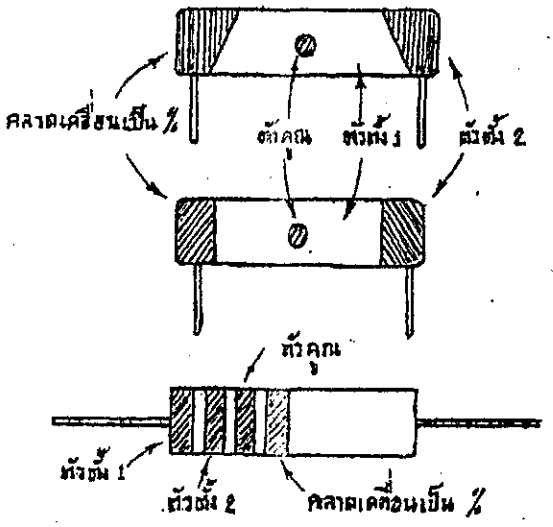
๑. แบบ RMA RADIO MANUFACTUNERS ASSOCIATION
สมาคมผู้ผลิตวิทยุ เป็นแบบสากลนิยมใช้กันทั่วไป

๒. แบบ AWS AMERICAN WAV STANDARD มาตรฐานอเมริกัน สำหรับการสงคราม แบบนี้ไม่ถือเป็นแบบสากล เป็นแบบที่อเมริกันทำขึ้นใช้เฉพาะกิจการวิทยุในกองทัพอเมริกันเท่านั้น

แบบ RMA



แบบ AWS



ตามธรรมดารีซิสเตอร์แบบคาร์บอนนี้จะมีแถบสีคาดบอกไว้บนตัวของรีซิสเตอร์ มีทั้งหมด ๓ แถบ และ ๔ แถบ

ชนิดที่มี ๓ แถบสีคาดอยู่เป็นรีซิสเตอร์ ที่มีความผิดพลาดคลาดเคลื่อนมากไม่นิยมใช้เนื่องจากเมื่อมีกระแสไหลผ่านอาจเปลี่ยนค่าได้ไม่แน่นอน

ชนิดที่มี ๔ แถบสีคาดอยู่เป็นรีซิสเตอร์ที่มีความผิดพลาดน้อยมาก

การอ่านค่าสีของรีซิสเตอร์ ให้ปฏิบัติตามนี้

๑. สังเกตุแถบสีที่ชิดข้างใดข้างหนึ่ง (ไม่ใช่สีเงินและสีทอง)

๒. ให้หันด้านสีชิดขอบตัวรีซิสเตอร์ หันไปทางซ้ายมือตามแนวนอน

๓. แถบสีที่ชิดขอบจะเป็นแถบสีตัวแรก

๔. แถบสีที่แสดงเป็นตัวเลขตัวตั้งจะมี ๒ แถบเท่านั้น คือ แถบสีแรกกับสีแถบที่สองเท่านั้น

๕. แถบสีที่ ๓ จะเป็นแถบสีแสดงตัวเป็นตัวคูณแทนค่าเป็นตัวเลขในตารางสี

๖. แถบสีที่ ๔ เป็นสีเงิน,ทอง แสดงตัวเป็นค่าผิดพลาดแทนค่าเป็นเปอร์เซ็นในตารางสี

ตัวอย่าง คาร์บอนรีซิสเตอร์ตัวหนึ่ง มีแถบสีแถบที่ ๑ แดง, ที่ ๒ ม่วง , ที่ ๓ เหลือง และแถบที่ ๔ สีเงิน รีซิสเตอร์ตัวนี้มีค่ากี่โอห์ม ?

แถบที่ ๑ เป็นตัวตั้งที่ ๑ สีแดง = ๒

แถบที่ ๒ เป็นตัวตั้งที่ ๒ สีม่วง = ๗

แถบที่ ๓ เป็นตัวคูณ สีเหลือง = ๑๐,๐๐๐

แถบที่ ๔ คลาดเคลื่อน สีเงิน = ± ๑๐ %

ดังนั้น รีซิสเตอร์ตัวนี้มีค่า ๒๗๐,๐๐๐ โอห์ม คลาดเคลื่อน ± ๑๐ %

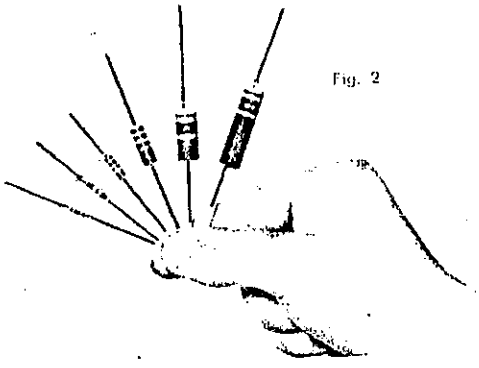
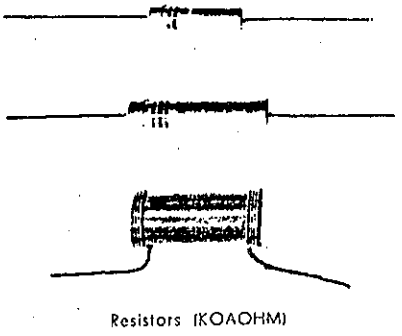
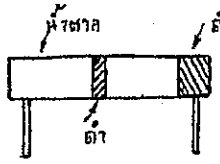
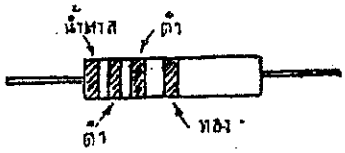
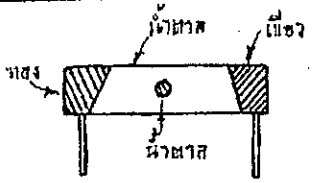
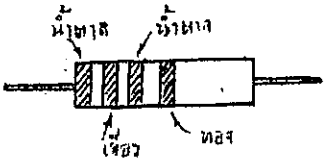
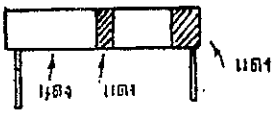
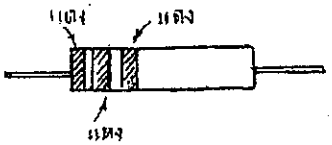
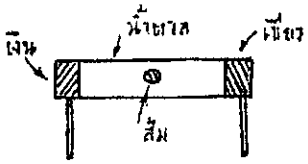
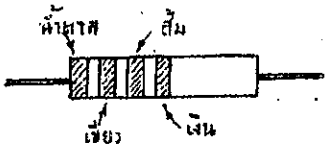
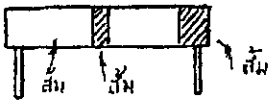
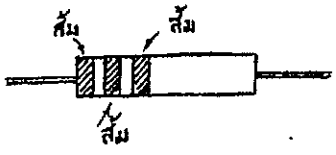
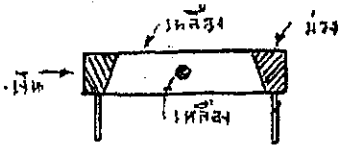
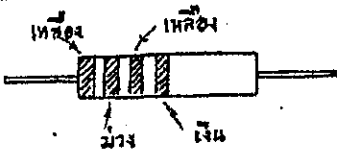
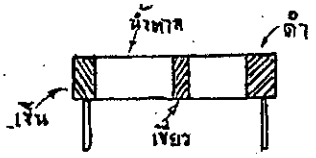
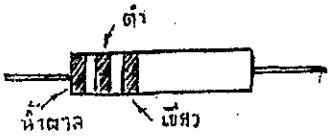


Fig. 2

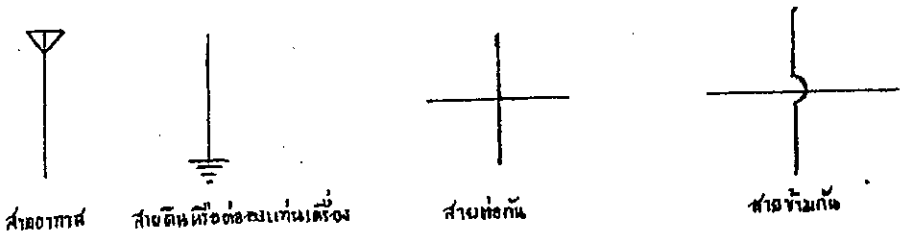


Resistors (KOAOHM)

ตัวอย่างการอ่านค่าเรซิสเตอร์ด้วยสี

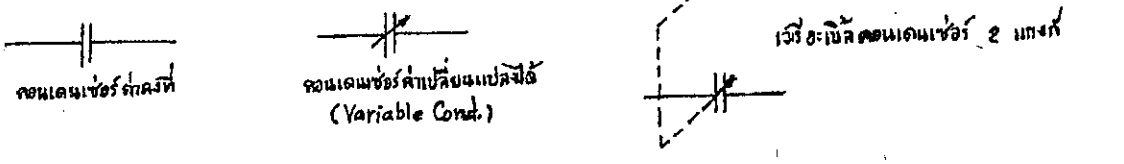
 10 Ω ± 20 %	 10 Ω ± 5 %
 150 Ω ± 5 %	 150 Ω ± 5 %
(สีแดงตลอดตัว)  2200 Ω ± 20 %	 2200 Ω ± 20 %
 15 KΩ ± 10 %	 15 KΩ ± 10 %
(สีส้มตลอดตัว)  33 KΩ ± 20 %	 33 KΩ ± 20 %
 470 KΩ ± 10 %	 470 KΩ ± 10 %
 1 Meg Ω ± 10 %	 1 Meg Ω ± 20 %

สัญญลักษณ์ (SYMBOL)

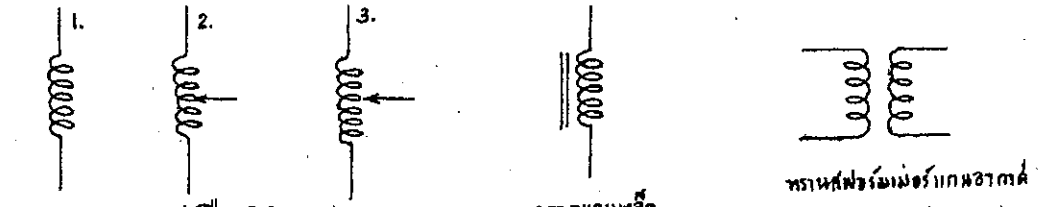


สายอากาศ สายดินหรือต่อลงเท่นเครื่อง สายต่อกัน สายข้ามกัน

รีซิสเตอร์ค่าคงที่ รีซิสเตอร์ค่าปรับได้ รีซิสเตอร์ค่าเปลี่ยนแปลงได้ (Potentiometer or Rheostat)



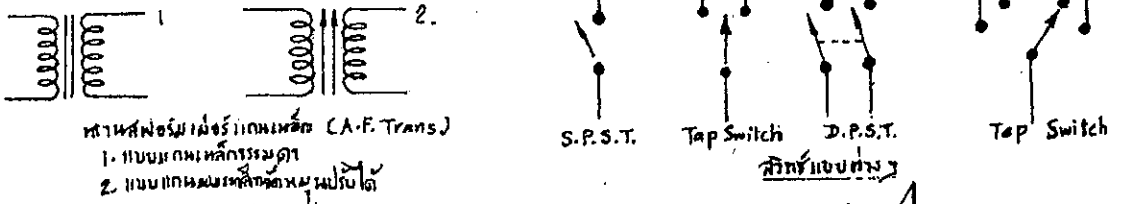
คอนเดนเซอร์ค่าคงที่ คอนเดนเซอร์ค่าเปลี่ยนแปลงได้ (Variable Cond.) เวียะเบิ้ลคอนเดนเซอร์ 2 แกง



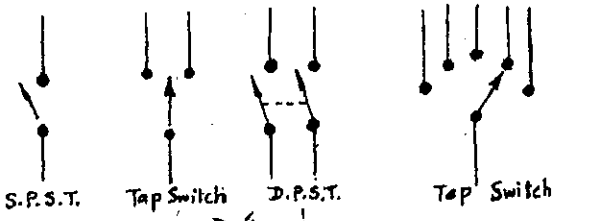
ขดลวดแกนอากาศ หรือ R.F. Choke
1. แบบคงที่
2. แบบแท็ปคงที่
3. แบบแท็ปเปลี่ยนได้

ขดลวดแกนเหล็ก (A.F. Choke)

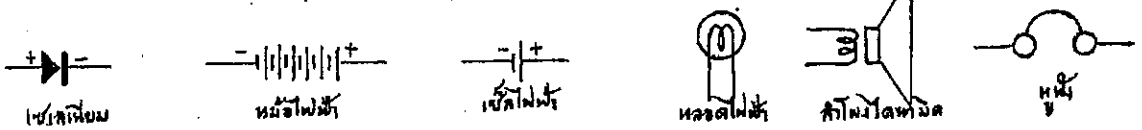
ทรานสฟอร์มเมอร์แกนอากาศ (R.F. Transformer)



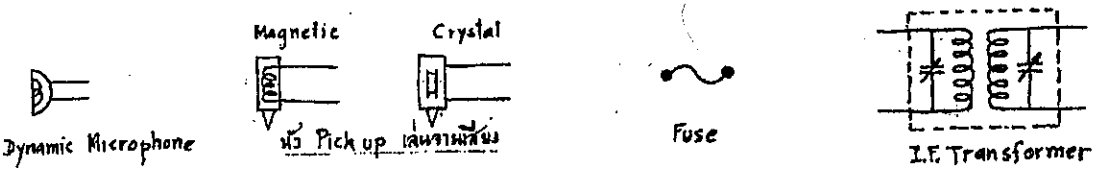
ทรานสฟอร์มเมอร์แกนเหล็ก (A.F. Trans)
1. แบบแกนเหล็กธรรมดา
2. แบบแกนผงเหล็กอัดหมุนปรับได้



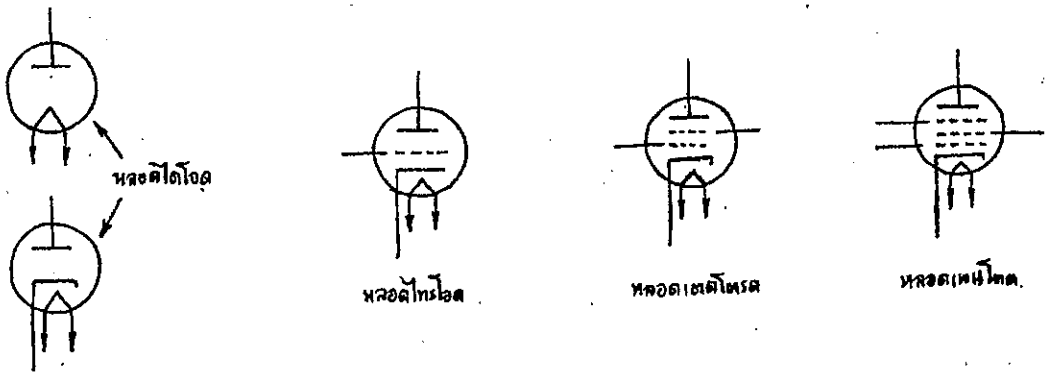
S.P.S.T. Tap Switch D.P.S.T. Tap Switch
สวิทช์แบบต่าง ๆ



เซเลเนียม หม้อไฟฟ้า เซ็ลไฟฟ้า หลอดไฟฟ้า ลำโพงไดนามิค หูฟัง



Dynamic Microphone หัว Pick up เสนราเมียม Fuse I.F. Transformer



หลอดไดโอด หลอดไทรโอด หลอดเตตโทรด หลอดเพนโทด

คาปาซิเตอร์หรือคอนเดนเซอร์ (CAPACITOR OR CONDENSER)

ถ้าเรามีแผ่นโลหะ ๒ แผ่นมาวางเรียงคู่กันอยู่และต่อสายไปยังขั้วทั้งสองของหม้อไฟฟ้าหม้อหนึ่งแล้ว แผ่นโลหะทั้งสองนี้สามารถจะรับประจุกระแสไฟฟ้าไว้ได้ นี่เป็นไปตามธรรมชาติซึ่งเราเรียกอำนาจในการรับประจุของแผ่นโลหะทั้งสองนี้ว่า ความจุหรือคาปาซิเต้นซ์ (CAPACITANCE)

ตัวแผ่นโลหะทั้งสองนี้ เรียกว่า คาปาซิเตอร์ (CAPACITOR) หรือ คอนเดนเซอร์ (CONDENSER)

ถ้าเราปลดสายไฟออกจากแผ่นโลหะทั้งสอง จะมีกระแสค้างอยู่ภายในตัวของ คอนเดนเซอร์ แต่ถ้าหากเรานำเอาปลายทั้งสองของ คอนเดนเซอร์มาแตะกันเข้าแล้ว จะเกิดประกายไฟแลบแปลบหรืออาจจะเกิดเป็นเสียงดัง นั่นคือ กระแสที่คอนเดนเซอร์รับประจุไว้ถูกคายออกหรือ DISCHARGE

พูดให้สั้นและง่ายเข้า คอนเดนเซอร์ก็คือแผ่นโลหะ ๒ แผ่น หรือ ๒ ชุดมาวางเรียงกัน ระหว่างแผ่นมีฉนวนกั้น เรียกว่า แผ่นกั้นหรือ ไดอีเลคตริค (DI - ELECTRIC) แผ่นกั้นหรือ ไดอีเลคตริคนี้ใช้กันหลายอย่าง เช่น กระดาษ,ไมก้า ฯลฯ

ถ้าไม่มีฉนวนกั้นเลยเราเรียกว่า ไดอีเลคตริคเป็นอากาศ (AIR - DI - ELECTRIC)

ฟาราด (FARAD) ใช้ตัวย่อว่า f,fd,f เป็นค่าความจุของคอนเดนเซอร์นั้น ๆ ถ้าหากว่าแผ่นโลหะทั้งสองที่วางใกล้กันเกิดมีเนื้อที่ของแผ่นใหญ่มากหรือวางใกล้กันมากก็จะมีค่าความจุ (CAPACITANCE) สูง แต่ว่าคอนเดนเซอร์ที่มีขนาดความจุ ๑ ฟาราดนั้นจะต้องเป็นคอนเดนเซอร์ที่มีขนาดใหญ่โตมากและจะหาดูยากเพราะไม่มีบริษัทใดสร้าง เนื่องจากต้องใช้แผ่นโลหะที่มีขนาดใหญ่โตเหลือเกิน ดังนั้นจึงจำแนกออกเป็นค่าความจุให้น้อยลงมา ดังนี้

๑. ฟาราด = ๑,๐๐๐,๐๐๐ ไมโครฟาราด

๒. ไมโครฟาราด = ๑,๐๐๐,๐๐๐ ไมโครไมโครฟาราด

หรือ ๑. ไมโครไมโครฟาราด = $\frac{๑}{๑,๐๐๐,๐๐๐}$ ไมโครฟาราด

= ๐.๐๐๐๐๐๑ ไมโครฟาราด

(๑ ไมโคร หมายถึง ๑ ในล้าน , ๑ ไมโครไมโคร หมายถึง ๑ ในล้านล้าน)

MICROFARAD - ไมโครฟาราด ใช้ตัวย่อว่า MF, mfd uf

MICROMICROFARAD - ไมโครไมโครฟาราด ใช้ตัวย่อว่า MMF , mmfd

คุณสมบัติของคอนเดนเซอร์ (CONDENSER)

ก. รับประจุและคายประจุไฟฟ้ากระแสตรง (D,C หรือ DIRECT - CURRENT)

ข. มีความต้านทานสูงต่อไฟฟ้ากระแสตรง (ไฟฟ้ากระแสตรงผ่านไม่ได้)

ค. มีความต้านทานต่ำต่อกระแสสลับ (ALTERNATING CURRENT) คือ ยอมให้กระแสไฟฟ้าสลับผ่านได้ ยิ่งกระแสสลับที่มีความถี่สูง (HIGH FREQUENCY) ก็ยิ่งผ่านคอนเดนเซอร์ได้ดีกว่ากระแสสลับความถี่ต่ำ

ชนิดของคอนเดนเซอร์ (TYPE OF CONDENSER) แบ่งออกได้เป็น ๓ ชนิด คือ

๑. คอนเดนเซอร์ค่าคงที่ (FIXED CONDENSER)
๒. คอนเดนเซอร์ปรับค่าได้ (ADJUSTABLE CONDENSER)
๓. คอนเดนเซอร์เปลี่ยนค่าได้ (VARIABLE CONDENSER)

FIXED CONDENSER แบ่งออกได้ดังนี้

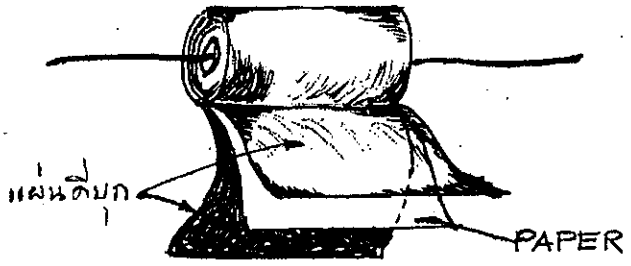
๑. เปเป้อร์ คอนเดนเซอร์ (PAPER CONDENSER)
๒. ไมก้า คอนเดนเซอร์ (MICA CONDENSER)
๓. อีเล็คโทรลิติค คอนเดนเซอร์ (ELECTROLYTIC CONDENSER)
๔. เซอรามิคคอนเดนเซอร์ (CERAMIC CONDENSER)

จำพวก ๔ ชนิดนี้ มีชื่อเรียกต่างกัน ก็เนื่องจากแผ่นกั้นของคอนเดนเซอร์ ทำไม่เหมือนกัน และมีความสำคัญต่างกัน ดังนั้นเราจึงเรียกชื่อ คอนเดนเซอร์แต่ละชนิดนี้ ตามชื่อของแผ่นกั้น (DI - ELECTRIC)

เปเป้อร์ คอนเดนเซอร์ PAPER - CONDENSER

เป็น คอนเดนเซอร์ ชนิดที่ใช้กระดาษชุบไขเป็นแผ่นกันหรือได - อีเลคตริคแผ่นโลหะ ๒ แผ่นที่นำมาใช้ทำเป็นแผ่นดีบุก รีดจนบางมาก คั่นกลางด้วยกระดาษชุบไข แล้วนำมาม้วนเข้าเป็นท่อนกลม จากแผ่นโลหะทั้งสองแต่ละข้างมีสายต่อออกมาทั้งสองข้าง ตัวคอนเดนเซอร์หุ้มด้วยฉนวนไฟฟ้าชนิดต่าง ๆ แล้วแต่บริษัทผู้ผลิต ดังเช่น หุ้มด้วยกระดาษอาบขี้ผึ้ง , กระเบื้องเคลือบ , ยางแอสฟัลต์, ขี้ผึ้ง

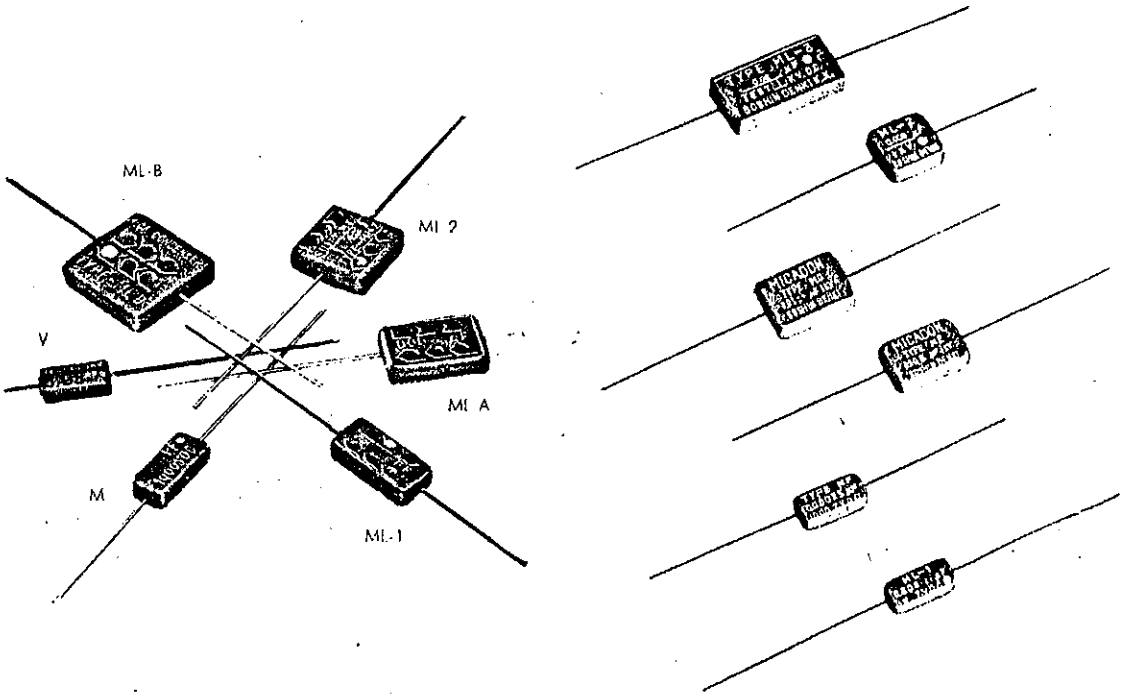
รูปร่างของเปเป้อร์คอนเดนเซอร์ ส่วนมากทำเป็นท่อนกลมเล็ก ๆ ค่าความจุไม่สูงนักจะเขียนบอกไว้ที่ข้าง ๆ ตัวของคอนเดนเซอร์ ดังรูป



ไมก้า คอนเดนเซอร์ MICA - CONDENSER

เป็น คอนเดนเซอร์ที่ใช้แผ่นไมก้า เป็นแผ่นกั้นหรือไดอีเลคตริค ส่วนมากทำเป็นรูปสี่เหลี่ยมแบน เพราะแผ่นไมก้ามีสมบัติแข็งกรอบ จะนำมาม้วนเหมือนกระดาษไขไม่ได้ ดังนั้นค่าความจุ (CAPACITANCE) ของคอนเดนเซอร์แบบไมก้านี้จึงไม่ค่อยสูงนัก อย่างสูงไม่เกิน ๐.๐๕ ไมโครฟาราด แต่มีอัตราทนแรงไฟได้สูงมาก นิยมใช้ในวงจรที่มีแรงไฟสูงมาก ๆ ไมก้าคอนเดนเซอร์ บริษัทผู้ผลิตจะพิมพ์บอกค่าความจุอัตราทนแรงไฟ และความคลาดเคลื่อนไว้บนตัวของมัน ซึ่งเป็นฉนวนหุ้มอยู่ (ฉนวนทำจากพวก เมกาไลท์) หรือบางทีก็ใช้สีแต้มบอกเป็นโค๊ดที่ตัวคอนเดนเซอร์ และสามารถอ่านออกได้ไม่ยากนัก จะได้อธิบายในขั้นต่อไป

Mica Capacitors



รูปไมก้าคอนเดนเซอร์อ่านค่าความจุ,อัตราทนแรงไฟและคลาดเคลื่อนด้วยสี

ข้อดีของไมก้าคอนเดนเซอร์

- การรั่วไหล หรือที่เรียกว่า ซึม (LEAK) น้อยที่สุด
- ทนแรงไฟได้สูงมาก (HIGH VOLTAGE)
- ทนความร้อนได้มากกว่าแบบอื่น ๆ ที่มีขนาดความจุเท่ากัน

อีเลคโตรลิติคคอนเดนเซอร์ ELECTROLYTIC CONDENSER

เรียกกันทั่ว ๆ ไปว่า คอนเดนเซอร์แบบอีเลคโตรไลท์ ใช้น้ำยาอีเลคโตรไลท์ เป็นแผ่นข้างหนึ่งแผ่นโลหะ และอีกแผ่นหนึ่งเป็นแผ่นโลหะมีเยื่อบาง ๆ (FILM) หุ้มอยู่ เยื่อบาง ๆ นี้คือ ไดอีเลคตริค หรือแผ่นกั้น คอนเดนเซอร์แบบนี้สามารถทำให้มีความจุได้สูงนับเป็นร้อย ๆ ไมโครฟาราด โดยทั้ง ๆ ที่ตัวเองมีขนาดเล็กก็ตาม ซึ่งถ้าเป็นเปเปอร์คอนเดนเซอร์แล้ว ขนาดเพียง ๒๐ ไมโครฟาราด ก็จะมีขนาดใหญ่โตมากทีเดียว

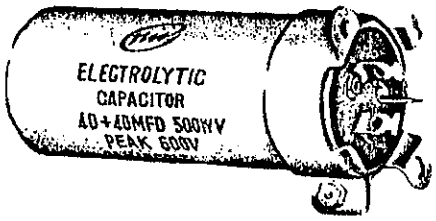
ลักษณะของอีเลคโตรลิติคคอนเดนเซอร์ ส่วนมากจะบรรจุในกระป๋องอะลูมิเนียมทรงกลมยาว จะมีขั้วบอกไว้เด่นชัดว่า ขั้วใดเป็นขั้วบวกและลบ

การต่อขั้วของอีเลคโตรลิติค คอนเดนเซอร์ไปใช้งาน ต้องระมัดระวังให้มากที่สุด ถ้าหากต่อขั้วผิดจะทำให้ กระแสไฟเข้าไปทำลายเยื่อที่เป็น ไดอีเลคตริคจะทำให้ชำรุดเสียหายได้

การพิจารณาเพื่อรู้จักลักษณะของคอนเดนเซอร์แบบนี้ มักดูเครื่องหมายบวกและลบก่อน (คอนเดนเซอร์แบบอื่น ๆ ไม่มีเครื่องหมายบวกและลบ) ต่อไปก็ดูค่าความจุเป็นไมโครฟาราด ถ้าคอนเดนเซอร์แบบนี้มีขั้วบวกและลบ ก็แสดงว่าเป็นอีเลคโตรลิติคแน่นอน

คอนเดนเซอร์แบบนี้บางทีจะบรรจุหลาย ๆ ตัวไว้ในกระป๋องอะลูมิเนียมเดียวกันเป็นหลาย ๆ ตัว แต่ละตัวจะมีขั้วบวกแต่ละขั้วลบจะร่วมกันอยู่ในกระป๋องอะลูมิเนียม

ELECTROLYTIC CAPACITOR



1. Uses

With polarized D.C. electrolytic capacitor in radio, television, electric welding, electronic photoflash device, and the other electronic apparatus.

2. Characters

These capacitors have heritage of dependability and long-life performance that stems from being built in a factory which was constructed especially and exclusively for the manufacture of contamination-free electrolyte.

All products are inspected with (JIS C6411, JIS C6440 for D.C.).

Range: Working voltage 3 to 500 V.D.C.
Rated capacity 1 to 5,000 MFD
(limited by W.V.)

Type: Tubular, Lug terminal & Box.

Electrolytic Capacitor

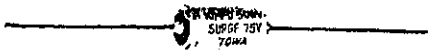
TYPE-SMT

Newly developed, metal cased, Subminiature electrolytics offering extremely low electrical leakage and excellent shelf-life characteristics.

Designed for printed circuits, portable equipment and transistorized assemblies.

TYPE-T

Popular tubular aluminum cased electrolytics. Internal riveted construction. Also available with solder lug terminals. Supplied with insulating sleeves.

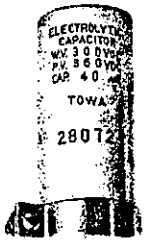


TYPE-BT

Hermetically sealed bathtub type especially designed to withstand vibration and shock. Available in electrolytic and paper capacitor types for government and commercial use.

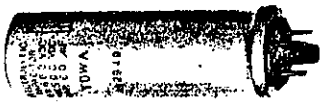
TYPE-CUM

Low leakage high capacity electrolytic for power filter packs, voltage stabilization. Case size 25ϕ, 30ϕ, 35ϕ.



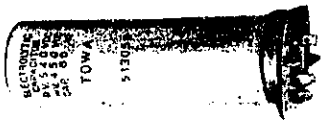
TYPE-CP

Hermetically sealed plug-in octal type. Especially useful in fixed or mobile communications equipment. Case size 30ϕ, 35ϕ.



TYPE-CPR

Standardized twist-prong type. Case size 25ϕ, 35ϕ



TYPE-MS-1 TYPE-MS-2

MS electrolytic capacitor designed to be extremely low loss angle, long life for all motor starter. The Type MS-1 is provided with solder lug terminals. The Type MS-2 being equipped with screw types.

Otherwise the two units are identical in construction and operation characteristics.

Insulating tubes are supplied with both types.

เซอรามิค คอนเดนเซอร์ CERAMIC CONDENSER

ตามรูปเป็นรูปลักษณะของ เซอรามิค คอนเดนเซอร์แบบต่าง ๆ คอนเดนเซอร์แบบนี้ ใช้วัตถุธาตุอย่างหนึ่ง เรียกว่า เซอรามิค (จัดอยู่ในพวกกระเบื้อง) เป็นได – อีเลคตริคค่าความจุอาจใกล้เคียงกับแบบ เปเปอร์คอนเดนเซอร์มาก

Ultra-small Ceramic Condenser

This is designed to be used for small equipment such as transistor radios. We are sure that the small size will satisfy your expectations.

Model US

Permissible Capacity Tolerance: ± 5 %, ± 10 %, ± 20 %

Q: Over 750, Insulation Resistance: Over 3000MΩ

Rated Working Voltage: D.C. 75 V

CERAMIC CAPACITOR

1. Uses

This is a capacitor which is cart wheel-formed with high dielectrics of titanium dioxide as main materials. This is used as a large KVAR capacitor for high frequency in communicators, such as oscillation, resonance, coupling and by-pass circuits of power transmitter or high frequency heater or so.

2. Characters

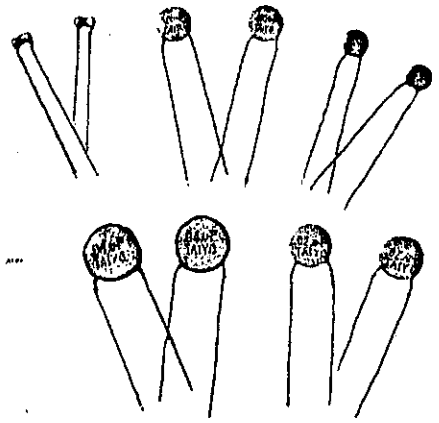
A. Its electrical characteristics are Hi-Q and very stable during long time and scarcely deteriorate by humidity.

B. Large KVAR capacity ones can be made in small size.

C. It may be used at high temperature (100°).

D. Dielectric loss and capacity change by temperature variation are little.

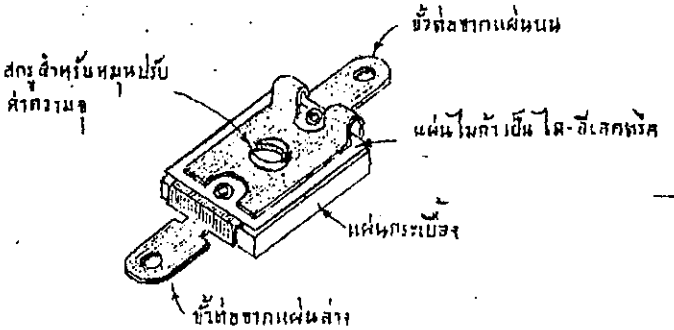
E. Kinds: 20 PF ~ 1,500 PF
Power capacity: 1.5 KVAR ~ 50 KVAR



คอนเดนเซอร์แบบปรับค่าได้ ADJUSTABLE CONDENSER

หรือที่เรียกกันว่า TRIMMER ทริมเมอร์ มีใช้ในวงจรที่ต้องการปรับค่าความจุเป็นครั้งคราว โดยเฉพาะใช้ใน วงจรภาคขยายความถี่วิทยุ (RADIO FREQUENCY AMPLIFIER) ของเครื่องรับวิทยุ ลักษณะเป็นแผ่นโลหะบาง ๆ วางซ้อนกันหลาย ๆ อัน แต่ละอันมีแผ่นไมก้าวางรองเป็นแผ่นกั้น หรือได – อีเลคตริคนั่นเอง แต่ละแผ่นของโลหะจะมี ๒ ชุด แต่ละชุดจะมีหลาย ๆ แผ่น ตรงกลางจะมีสกรูหัวผ่าขันไว้เพื่อให้แผ่นโลหะทั้งสองชุดที่มีแผ่นกั้นได้มีโอกาสใกล้กันและห่างกันได้โดย ADJUST ที่สกรูหัวผ่านั่นเอง การปรับแต่งแบบนี้ก็เพื่อต้องการให้มีโอกาสเปลี่ยนแปลงค่าความจุได้ ดังรูป

คอนเดนเซอร์แบบปรับค่าได้ – Adjustable Condenser

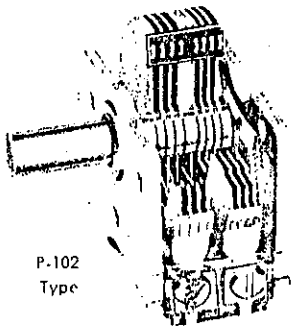


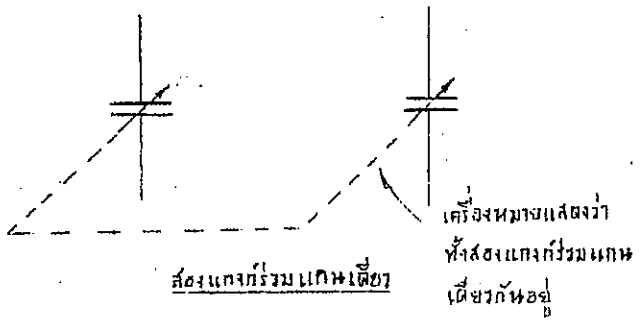
รูปลักษณะและสัญญลักษณ์ของทริมเมอร์ (Trimmer)

คอนเดนเซอร์แบบเปลี่ยนค่าได้ VARIABLE CONDENSER

ที่เรียกกันว่า แวริเอเบิ้ลคอนเดนเซอร์ (VARIABLE CONDENSER) มีใช้ในวงจรที่มีการเปลี่ยนค่าความจุอยู่เสมอ เช่นในวงจรจูน (TUNER) ของเครื่องรับวิทยุเมื่อเวลาหมุนหาคลื่นสถานีส่งวิทยุนั่นเอง โดยเราหมุนให้คอนเดนเซอร์แบบนี้เปลี่ยนค่าไปได้ และในเครื่องส่งวิทยุก็มีใช้ในวงจรจูนออกสายอากาศ

ลักษณะของแวริเอเบิล คอนเดนเซอร์ เป็นแผ่นโลหะ ๒ ชุด ๆละ หลาย ๆแผ่นซ้อนกันอยู่ ชุดหนึ่งเคลื่อนที่โดยหมุนเคลื่อนเข้าออกได้ด้วยแกนหมุน แต่ละชุดไม่ติดกัน ถึงแม้จะ- หมุนแกนเคลื่อนที่ให้ซ้อนกันจนเต็มแผ่นแล้วก็ตาม ชุดอยู่กับที่จะลอยตัวโดยมีฉนวนเป็นตัวยึดตรึงไว้กับ FLAME - ของคอนเดนเซอร์ แผ่นฉนวนนี้เป็นพวกเบกาไลท์หรือกระเบื้อง ดังรูป





สัญญลักษณ์ของ Variable Condenser

อัตราทนแรงไฟของคอนเดนเซอร์ WORKING VOLTAGE RATING

คอนเดนเซอร์ทุกตัวจะมี อัตราทนแรงไฟ บอกไว้เป็นจำนวนแรงเคลื่อนไฟฟ้ากระแสตรง (V.D.C) สูงสุดที่ คอนเดนเซอร์แต่ละตัวนั้นจะใช้การได้โดยปลอดภัย เราจะนำคอนเดนเซอร์ที่มี อัตราทนแรงไฟต่ำไปใช้ที่แรงไฟสูง ๆ ไม่ได้จะทำให้ชำรุด แต่ถ้าทำเอา อัตราทนแรงไฟสูง ๆ มาใช้กับแรงไฟต่ำ ๆ นั้นได้และปลอดภัยต่อการชำรุด คือไม่ทำให้แผ่นกั้นหรือ ไดอีเลคตริค ไม่ทะลุหรือเกิด SHORT CIRCUITได้

อัตราทนแรงไฟใช้งาน หรือ WORKING VOLTAGE ตัวย่อใช้ W.V.

อัตราทนแรงไฟสูงสุดที่จะใช้ได้หรือ TESTING VOLTAGE ตัวย่อใช้ T.V. ที่ตัวของคอนเดนเซอร์อาจบอกไว้เป็น W.V. หรือ T.V. ก็ได้

การต่อคอนเดนเซอร์อย่างอันดับและขนาน

ถ้าเรานำคอนเดนเซอร์มาต่อกันแบบอันดับ (SERIES) จะเกิดผลคือ ค่าความจุของคอนเดนเซอร์จะลดลง แต่ อัตราทนแรงไฟจะเพิ่มขึ้น อัตราทนแรงไฟรอบจะเท่ากับผลบวกของอัตราทนแรงไฟของแต่ละตัวที่นำมาต่อ

การอ่านค่าความจุคอนเดนเซอร์ด้วยสี

(ค่าทั้งหมดที่อ่านได้เป็น MMF.ทั้งสิ้น)

สี	ตัวตั้ง	ตัวคูณ		อัตราทนแรงไฟ (V.D.C.)	คลาดเคลื่อน %	
		RMA ไมก้า, เซอร์รามิค AWS ไมก้า, เปเปอร์	AWS เซอรามิค		RMA) ไมก้า, AWS) เปเปอร์	RMA เซอรามิค
ดำ	๐	๑	๑		๒๐	๒๐
น้ำตาล	๑	๑๐	๑๐	๑๐๐	๑	๑
แดง	๒	๑๐๐	๑๐๐	๒๐๐	๒	๒
ส้ม	๓	๑,๐๐๐	๑๐๐๐	๓๐๐	๓	๓
เหลือง	๔	๑๐,๐๐๐		๔๐๐	๔	๔
เขียว	๕	๑๐๐,๐๐๐		๕๐๐	๕	๕
น้ำเงิน	๖	๑,๐๐๐,๐๐๐		๖๐๐	๖	๖
ม่วง	๗	๑๐,๐๐๐,๐๐๐		๗๐๐	๗	๗
เทา	๘	๑๐๐,๐๐๐,๐๐๐	๐.๐๑	๘๐๐	๘	๒.๕
ขาว	๙	๑,๐๐๐,๐๐๐,๐๐๐	๐.๑	๙๐๐	๙	๑๐
ทอง		๐.๑		๑๐๐๐	๕	
เงิน		๐.๐๑		๒๐๐๐	๑๐	
ไม่มีสี				๕๐๐	๒๐	

การอ่านค่าของคอนเดนเซอร์ด้วยสี มีมากมายหลายแบบ ยากแก่การจดจำได้นำมากล่าวไว้ในที่นี้ ๖ แบบด้วยกัน

แบบที่ ๑

ตัวอย่าง จุดซ้ายเขียว, จุดกลางดำ, จุดขวาดำ จงหาค่าความจุของไมก้าตัวนี้

แบบที่ ๑	จุดซ้าย	จุดกลาง	จุดขวา
	เขียว	ดำ	ดำ
	ตัวตั้งที่ ๑	ตัวตั้งที่ ๒	ตัวคูณ
	๕	๐	๑

ฉะนั้น คอนเดนเซอร์ ตัวนี้มีความจุ ๕๐ X ๑ = ๕๐ ไมโครไมโครฟาราด

แบบที่ ๒

ตัวอย่าง จงหาค่าต่าง ๆ ของไมก้าคอนเดนเซอร์ตัวหนึ่ง (RMA ๖ จุด) ดังนี้

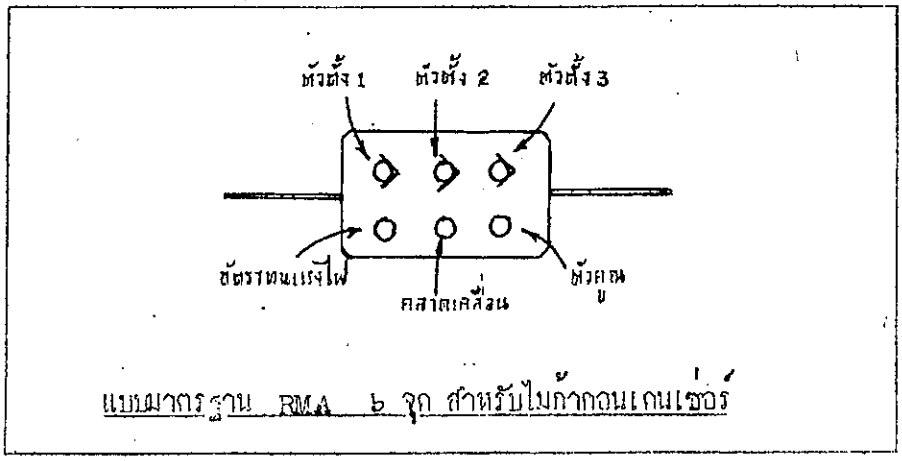
	จุดซ้าย	จุดกลาง	จุดขวา
แถวบน	แดง	เขียว	เขียว
แถวล่าง	ทอง	เหลือง	น้ำตาล
แถวบน	ตัวตั้งที่ ๑	ตัวตั้งที่ ๒	ตัวตั้งที่ ๓
แถวล่าง	อัตราทนแรงไฟ	คลาดเคลื่อน	ตัวคูณ

ตัวตั้งทั้งสาม คือ ๒๕๕ คูณด้วย ๑๐

ฉะนั้นค่าความจุ = ๒๕๕๐ mmfd คลาดเคลื่อน ± ๔% ทนแรงเคลื่อนไฟฟ้าได้ ๑๐๐๐ V.D.C.

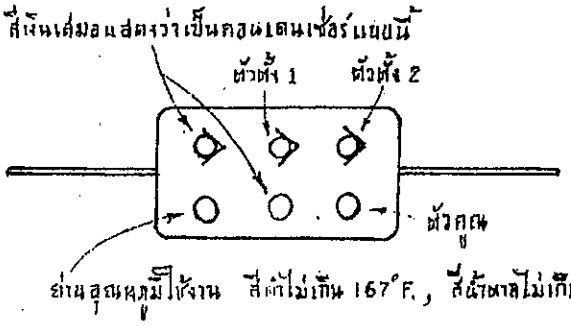
รูปแบบที่ ๒

แบบที่ ๒



แบบมาตรฐาน RMA ๖ จุด สำหรับไมก้าคอนเดนเซอร์

แบบที่ ๓



แบบมาตรฐาน AWS ๖ จุด เปเป้อร์คอนเดนเซอร์

ตัวอย่าง จงหาความจุของเปเปอร์คอนเดนเซอร์มาตรฐาน AWS ๖ จุด ดังนี้

	ซ้าย	กลาง	ขวา
แถวบน	เงิน	น้ำตาล	ดำ
แถวล่าง	ดำ	เงิน	น้ำตาล

จุดกลางแถวล่าง และจุดซ้ายแถวบนสีเงินเสมอ แสดงว่าเป็น เปเปอร์คอนเดนเซอร์มาตรฐาน AWS ๖ จุด

วิธีคิดหาค่า

แถวบน จุดกลางสีน้ำตาล เป็นตัวตั้งที่ ๑ = ๑

จุดขวา สีดำ เป็นตัวตั้งที่ ๒ = ๐

แถวล่าง จุดขวาสีน้ำตาล เป็นตัวคูณ = ๑๐

จุดซ้ายสีดำ เป็นย่านอุณหภูมิใช้งานไม่เกิน 167^{0} F

ดังนั้น ค่าความจุของคอนเดนเซอร์ตัวนี้ = 10 X 10 = 100 mmfd

หรือ 0.0001 mfd

แบบที่ ๔

การคำนวณหาค่าความจุของคอนเดนเซอร์ที่ต่อแบบอันดับหาได้เช่นเดียวกันกับตัวต้านทาน (RESISTOR) ที่ต่อขนาน คือ

$$\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3}$$

ตัวอย่าง สมมุติว่า CONDENSER ขนาดความจุ 100 mfd , 200 mfd , 300 mfd ต่ออันดับ

$$\frac{1}{C} = \frac{1}{100} + \frac{1}{200} + \frac{1}{300}$$

$$= \frac{11}{600}$$

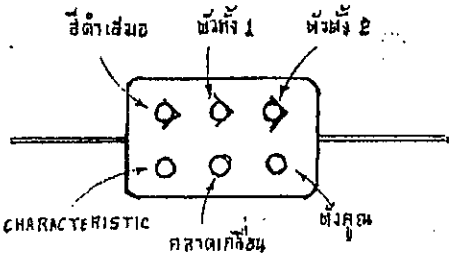
$$\therefore C = \frac{600}{11} = \underline{54.5 \text{ mfd}}$$

แต่ถ้า CONDENSER ขนาดความจุ 100 mfd 200 mfd 300 mfd มีอัตราทนแรงไฟ 200 V.D.C ต่อกันแบบอันดับ จะได้อัตราทนแรงไฟรวม = 200 + 200 + 200

= 600 V.D.C

ข้อควรจำ ถ้า เรานำคอนเดนเซอร์มาต่ออนุกรมกันโดยมีขนาดความจุต่างกัน และมีอัตราทนแรงไฟเท่ากัน จะได้ค่าความจุรวมน้อยกว่าตัวที่น้อยที่สุด และอัตราทนแรงไฟรวมจะได้เท่ากันทุกตัวรวมกัน

ถ้านำคอนเดนเซอร์มาต่อขนานกัน ความจุรวมจะได้เท่ากับทุกตัวบวกกันและอัตราทนแรงไฟจะเท่ากับตัวเดียว แต่ถ้าอัตราทนแรงไฟต่างกันก็จะได้อัตราทนแรงไฟเท่ากับตัวที่น้อยที่สุดเพียงตัวเดียว



แบบมาตรฐาน AWS ๖ จุด สำหรับไมก้าคอนเดนเซอร์

แถวบนจุดซ้ายซึ่งเป็นสีดำเสมอ เป็นสีที่บอกให้รู้ว่าเป็นแบบ AWS ทนแรงไฟได้ ๕๐๐ V.D.C. ทุกตัว ยกเว้น AWS แบบ CM35 ขนาด ๖๘๐๐ , ๗๕๐๐ , ๘๒๐๐ mmfd.และแบบ CM4 ขนาด ๕๐๐๐, ๑๐๐๐๐ mmfd. จะทนแรงไฟได้เพียง ๓๐๐ V.D.C.เท่านั้น

ตัวอย่าง จงหาค่าความจุและคลาดเคลื่อนของไมก้า คอนเดนเซอร์ AWS ๖ จุด มีสีดังนี้

	ซ้าย	กลาง	ขวา
แถวบน		น้ำเงิน	ดำ
แถวล่าง		ทอง	แดง

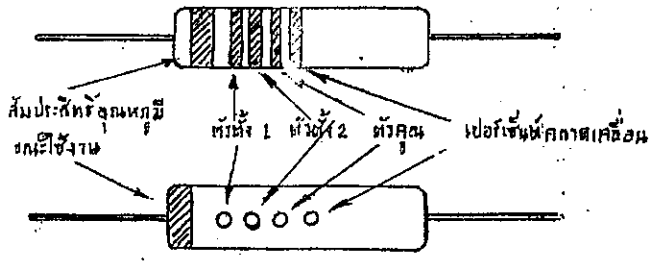
(แถวบนจุดซ้ายต้องเป็นสีดำเสมอ และแถวล่างจุดซ้ายเป็นจุดแสดงหรือคุณสมบัติทางใช้งาน ซึ่งยกเว้นไม่นำมากล่าว)

แถวบน	จุดกลางสีน้ำเงิน	เป็นตัวตั้งที่ ๑	ตรงกับ	๖
	จุดขวา สีดำ	เป็นตัวตั้งที่ ๒	ตรงกับ	๐
แถวล่าง	จุดขวา สีแดง	เป็นตัวคูณ	ตรงกับ	๑๐๐
	จุดกลางสีทอง	เป็นเปอร์เซ็นต์คลาดเคลื่อน		๕ %
	ตัวตั้ง ๒ ตัว	คือ	๖๐	
	ตัวคูณ	คือ	๑๐๐	

ดังนั้นค่าความจุ จะเท่ากับ ๖๐ คูณด้วย ๑๐๐ เท่ากับ ๖๐๐๐ mmfd,

หรือ ๐.๐๐๖ mfd ,

แบบที่ ๕



แบบ AWS ชนิด Tubular Ceramic (เซอรามิค)

(ทนแรงไฟ ๕๐๐ V.D.C.)

ตัวอย่าง จงหาค่าความจุ และเปอร์เซ็นความคลาดเคลื่อนของเซอรามิคคอนเดนเซอร์ (AWS)

แถบที่ ๑ เป็นสัมประสิทธิ์อุณหภูมิไม่นำมาคิด

แถบที่ ๒ สีเหลือง แถบที่ ๓ สีม่วง แถบที่ ๔ สีแดง แถบที่ ๕ สีเขียว

แทนค่า แถบที่ ๒ สีเหลือง เป็นตัวตั้งที่ ๑ ตรงกับ ๔

แถบที่ ๓ สีม่วง เป็นตัวตั้งที่ ๒ ตรงกับ ๗

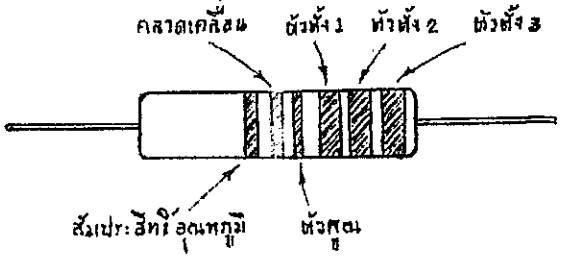
แถบที่ ๔ สีแดง เป็นตัวคูณ ตรงกับ ๑๐๐

ดังนั้น ค่าความจุของ คอนเดนเซอร์นี้ คือ ๔๗ คูณด้วย ๑๐๐ เท่ากับ ๔๗๐๐ mmfd

หรือ ๐.๐๐๔๗ mfd

แถบที่ ๕ สีเขียว เป็นเปอร์เซ็นต์ ความคลาดเคลื่อน ± ๕ %

แบบที่ ๖



แบบ RMA สำหรับ Tubular Ceramic (เซอรามิค)

(ทนแรงไฟ ๕๐๐ V.D.C.)

ตัวอย่าง จงหาค่าความจุและเปอร์เซ็นต์ ความคลาดเคลื่อนของเซอรามิค คอนเดนเซอร์

(RMA) ซึ่งมี แถบสีที่ ๑ สีส้ม แถบที่ ๒ สีแดง แถบที่ ๓ สีน้ำตาล แถบที่ ๔ สีแดง

แถบที่ ๕ สีเทา

แถบที่ ๓ สีน้ำตาล เป็นตัวตั้งที่ ๑ ตรงกับเลข ๑

แถบที่ ๒ สีแดง เป็นตัวตั้งที่ ๒ ตรงกับเลข ๒

แถบที่ ๑ สีส้ม เป็นตัวตั้งที่ ๓ ตรงกับเลข ๓

แถบที่ ๔ สีแดง เป็นตัวคูณ ตรงกับ ๑๐๐

ดังนั้น ค่าความจุของคอนเดนเซอร์ ตัวนี้ คือ ๑๒๓ X ๑๐๐ เท่ากับ ๑๒๓๐๐ mmfd

หรือ ๐.๐๑๒๓ mfd.

แถบที่ ๕ สีเทา เป็นเปอร์เซ็นต์ ความคลาดเคลื่อน ± 2.5 %

แบบของคอนเดนเซอร์ ที่มีจุดสีแต้มมาแบ่งออกเป็น ๒ พวก คือ

๑. แบบ RMA ย่อมาจาก RADIO MANUFACTURERS ASSOCIATION
เปลว่า สมาคมผู้ผลิตวิทยุ แบบนี้ถือเป็นแบบสากลใช้ทั่ว ๆ ไป

๒. แบบ AWS ย่อมาจาก AMERICAN WAR STANDARD
เปลว่า มาตรฐานอเมริกันสำหรับการสงคราม ไม่ใช่แบบสากล เป็นแบบที่ผลิตขึ้นใช้ในขอบเขตจำเพาะกิจการวิทยุในกองทัพอเมริกันเท่านั้น ไม่ค่อยเคยเห็นและไม่ค่อยจะมีขายมากนัก

%%%%%%%%%%%%%%%%

ระบบสายอากาศ

(THE ANTENNA SYSTEM)

สายอากาศ (ANTENNA)

สายอากาศเป็นอุปกรณ์ที่สำคัญอีกชนิดหนึ่งในเรื่องของอีเลคโทรนิค เป็นต้นว่า เครื่องรับและเครื่องส่งวิทยุและโทรทัศน์ ตลอดจนเครื่อง เรดาร์ก็จำเป็นจะต้องใช้สายอากาศทั้งสิ้น บางครั้งเราอาจจะพบว่าสายอากาศไม่จำเป็นก็รับฟังได้ เช่น เครื่องรับวิทยุแบบทรานซิสเตอร์ แต่บางครั้งก็จำเป็นต้องมีอีกเหมือนกัน เหตุที่มีหรือไม่มีสายอากาศนั้น เป็นเรื่องที่พูดกันยาก แต่ทางที่ถูกต้องแล้วจำเป็นต้องมีสายอากาศ เพราะเหตุว่า ในระบบเครื่องส่งแล้วละก็สายอากาศสำคัญที่สุดเนื่องจากว่า สายอากาศเปรียบเหมือนสายไฟที่มีกระแสสูงสุดและอันตรายมาก จำเป็นต้องขึงไว้ให้สูงและมีความยาวอยู่ในอัตราพอดี มิใช่ว่าจะยาวเท่าไรก็ได้หรือสูงมาก ๆ ก็ได้ ไม่ใช่เช่นนั้น ความยาวของสายอากาศเป็นความสัมพันธ์กับกำลังส่งของเครื่องส่งมากที่สุด

สายอากาศมีความสัมพันธ์กับความถี่วิทยุ (FREQUENCY)

เหตุที่เป็นเช่นนี้ก็คือ ความถี่ (FREQUENCY) ต่ำ ๆ จะต้องใช้สายอากาศยาว แต่ความถี่สูง ๆ จะใช้สายอากาศสั้น ๆ ดังจะเห็นได้จากระบบสื่อสารของอากาศยานบางชนิดใช้ ANTENNA สั้น ๆ รูปร่างลักษณะแตกต่างกันไปแล้วแต่จะออกแบบ

ความสำคัญของสายอากาศ

๑. ใช้เป็นตัวรับคลื่นวิทยุหรือสัญญาณจากเครื่องส่งที่ส่งออก แล้วป้อนให้กับเครื่องรับวิทยุ

๒. ใช้เป็นตัวกระจายคลื่นวิทยุหรือสัญญาณจากเครื่องส่งให้แผ่ออกทั่วทุกทิศ บางครั้งอาจจะมีทิศทางในทางใดทางหนึ่งก็ได้

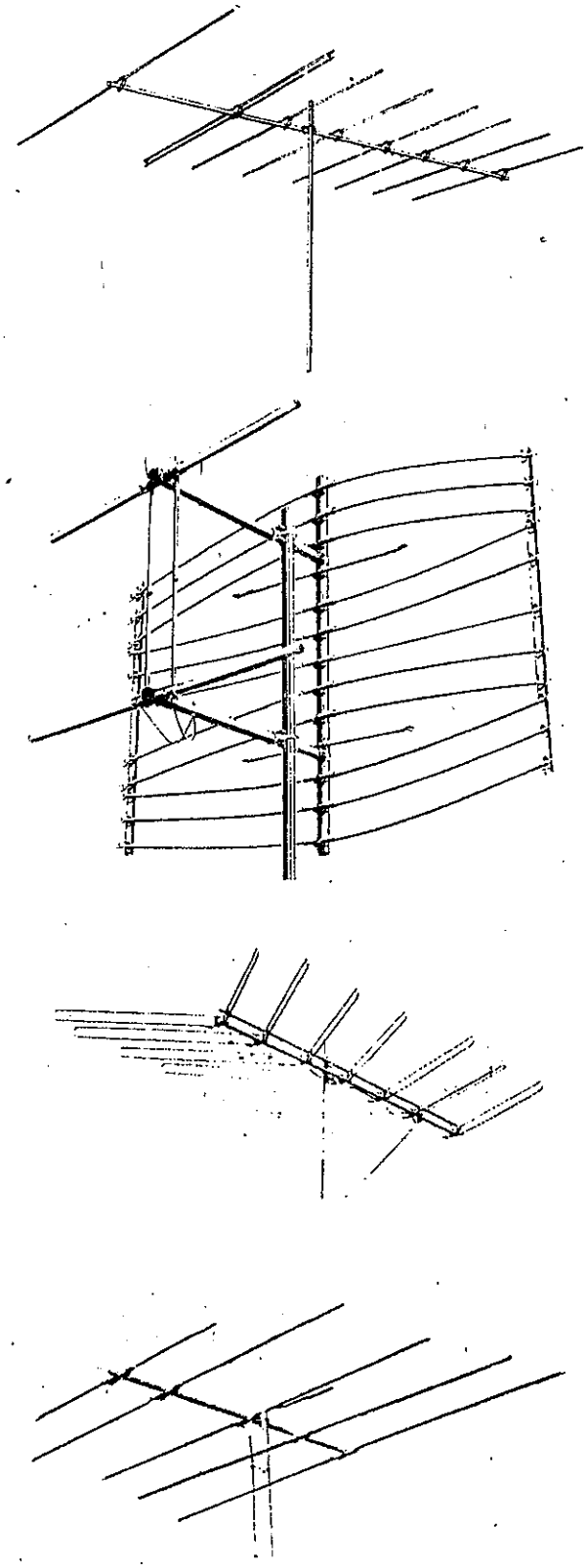
สายอากาศแบ่งออกเป็นพวกดังนี้

๑. สายอากาศคลื่นยาว LONG WAVE ANTENNA

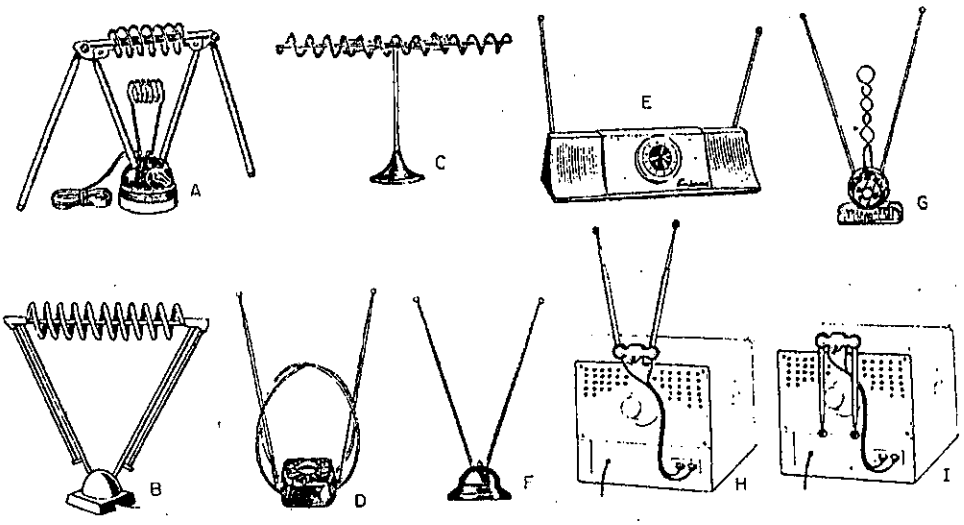
๒. สายอากาศคลื่นสั้น SHORT WAVE ANTENNA

LONG WAVE ANTENNA
- คลื่นยาวมาก ประเภทความถี่ต่ำ
- คลื่นยาว ประเภทความถี่ปานกลาง

SHORT WAVE ANTENNA
- คลื่นสั้น ประเภทความถี่สูง
- คลื่นสั้นมาก ประเภทความถี่สูงมาก (V.H.F.)
- คลื่นสั้นพิเศษ ประเภทความถี่สูงพิเศษ (U.H.F.)

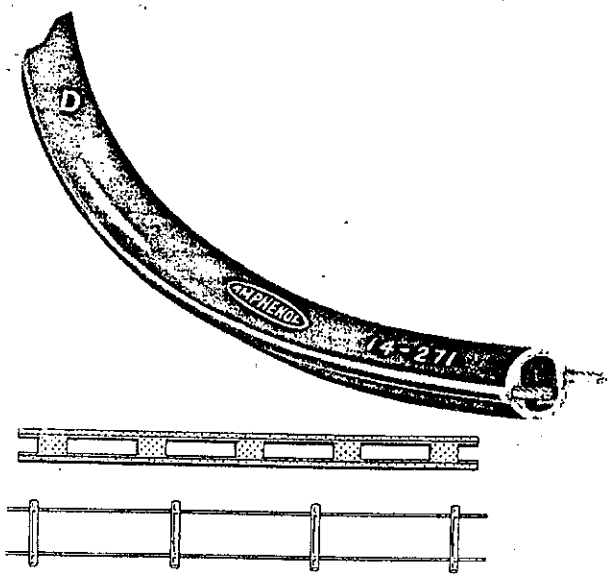


Four representative high-gain antenna arrays. These are designed specifically for weak signal (i.e., fringe) areas. Their signal gain is high and they are quite sharply directional.



A variety of indoor antennas.

TRANSMISSION LINES เป็นสายอากาศอีกชนิดหนึ่ง แต่ไม่ใช่สายอากาศที่แท้ เป็นแต่เพียงทำหน้าที่ช่วยส่งกำลังงานให้กับสายอากาศเท่านั้น แต่มีความสำคัญมากพอสมควร เพราะกำลังงานที่สายอากาศจะแผ่กระจายได้มากน้อยเท่าไรก็ขึ้นอยู่กับสายส่งกำลังอันนี้ หรือบางครั้งอาจจะพบว่า เครื่องรับโทรทัศน์ ภาพไม่ชัดเจนเป็นเงาซ้อนกันบ้างแล้วแต่จะเกิดขึ้น อันนี้ก็ขึ้นอยู่กับสาย TRANSMISSION LINES อันนี้เหมือนกัน ดังนั้นจึงมีความสำคัญอยู่มากเหมือนกัน เรื่องราวมีมากมายขออธิบายเพียงย่อ ๆ พอเข้าใจ

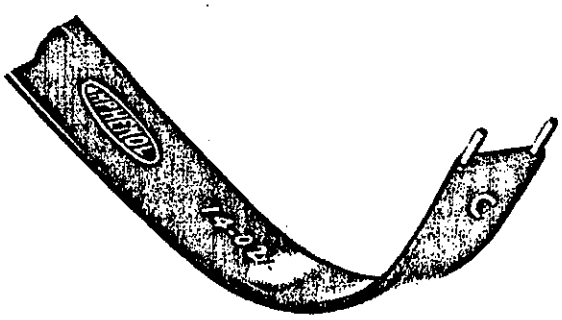


Three types of parallel-wire transmission lines.

-A-

-B-

Shielded transmission lines. (A) Parallel-wire, shielded; (B) Coaxial or concentric cable.



The 300-ohm polyethylene parallel-wire transmission line.

คลื่นวิทยุและคลื่นเสียง

คลื่นความถี่วิทยุ หรือ ราดิโอฟรีเควนซี่ (RADIO FREQUENCY) ใช้ย่อว่า R - F

คลื่นความถี่เสียง หรือ ออดิโอฟรีเควนซี่ (AUDIO FREQUENCY) ใช้ย่อว่า A - F

คลื่นวิทยุหรือคลื่นพา หรือ แคเรียเวฟ (CARRIER WAVE) ใช้ย่อว่า C - W

คลื่นวิทยุและคลื่นเสียง เป็นคลื่นกระแสสลับทั้งสองอย่าง แต่เป็นกระแสสลับที่มีความสูงมาก แต่คลื่นวิทยุมีความถี่สูงกว่าความถี่เสียง

คลื่นเสียง ที่มนุษย์เราสามารถใช้หูรับฟังได้และได้ยิน ตั้งแต่ ๑๕ ถึง ๒๐,๐๐๐ ไซเกิลต่อวินาที

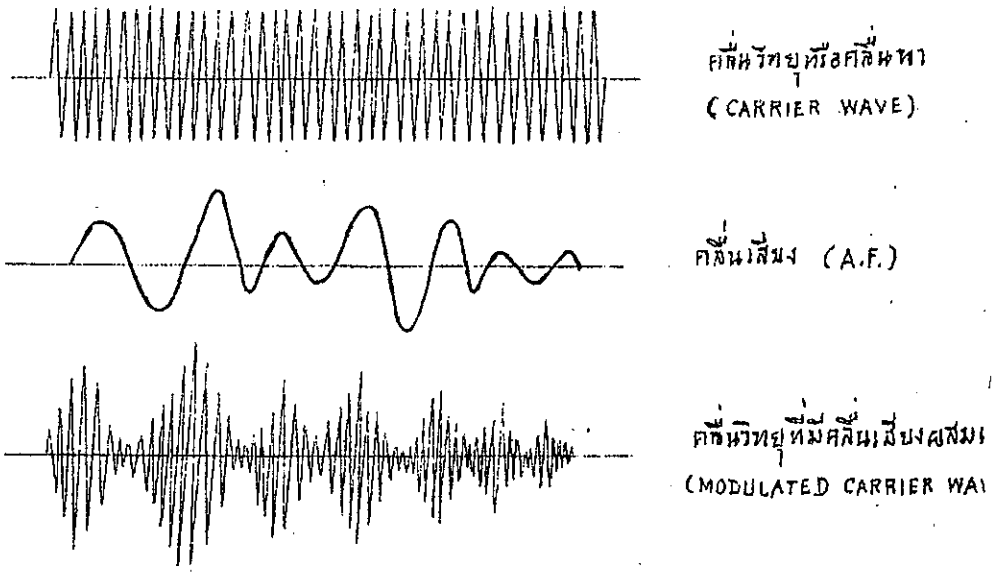
คลื่นวิทยุ มีความถี่เริ่มจาก ๒๐ กิโลไซเกิล ถึง ๓,๐๐๐ เมกกะไซเกิล

ย่านความถี่ (แบนด์)	ขนาดความถี่ต่อวินาที	เทียบความยาวคลื่นเป็นเมตร	หมายเหตุ
ความถี่ต่ำ	30 Kc. - 300 Kc.	๑๐๐๐ ม. - ๑๐,๐๐๐ ม.	คลื่นยาวมาก
ความถี่ปานกลาง	300 Kc. - 3000 Kc.	๑๐๐ ม. - ๑๐๐๐ ม.	คลื่นยาว
ความถี่สูง	3000 Kc.- 30 Mc.	๑๐ ม. - ๑๐๐ ม.	คลื่นสั้น
ความถี่สูงมาก	30 Mc. - 300 Mc.	๑ ม. - ๑๐ ม.	คลื่นสั้นมาก
ความถี่สูงพิเศษ	300 Mc. - 3000 Mc.	๑/๑๐ ม. - ๑ ม.	คลื่นสั้นพิเศษ

คลื่นวิทยุมีชื่อเรียกอีกชื่อหนึ่งว่า แคเรียเวฟ (CARRIER WAVE) เป็นตัวที่นำหรือพาเอาคลื่นเสียงมาอีกทีหนึ่ง เพราะคลื่นเสียงไม่สามารถจะแพร่ไปในอากาศได้เช่นเดียวกับคลื่นวิทยุหรือคลื่นพา (CARRIER WAVE) จึงจำเป็นต้องอาศัยคลื่นวิทยุเป็นตัวนำไป

การผสมคลื่น คือการผสมคลื่นความถี่เสียงเข้ากับคลื่นความถี่วิทยุหรือคลื่นพา เรียกว่า การมอดูเลชั่น (MODULATION)

คลื่นพาที่มีคลื่นความถี่เสียงผสมแล้ว เรียกว่า มอดูเลเตดแคเรียเวฟ (MODULATED CARRIER WAVE)



AMPLITUDE MODULATION ใช้ย่อว่า A.M. คือการนำเอาคลื่นเสียงผสมกับคลื่นวิทยุแล้วไปทำให้ความสูงของคลื่น (AMPLITUDE) วิทยุสูง ๆ ต่ำ ๆ ตามรูปของคลื่นเสียง

FREQUENCY MODULATION ใช้ย่อว่า F.M. คือการนำเอาคลื่นเสียงไปทำให้ความถี่วิทยุเปลี่ยนแปลง แต่ความสูงของคลื่นคงที่

การแยกคลื่นเสียงออกจากคลื่นวิทยุ เรียกว่า การดีเทคหรือดีเทคชั่น (DETECTION)

ความยาวคลื่น (WAVE LENGTH) คือ ระยะจากยอดคลื่นหนึ่งถึงยอดอีกคลื่นหนึ่งคิดเป็นเมตร

ความสูงของคลื่น (AMPLITUDE) คือ ระยะจากแกนกลางถึงยอดคลื่น เป็นระยะที่แสดงถึงความแรงของสัญญาน

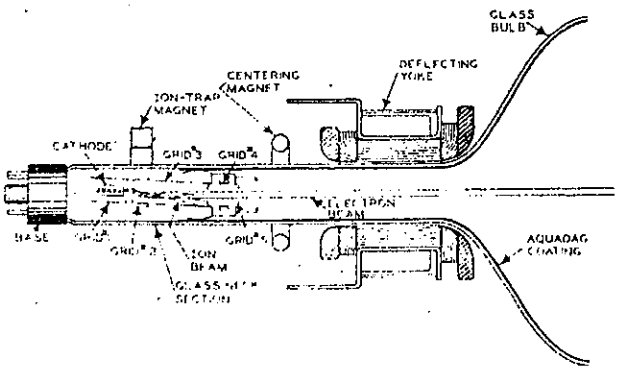
๑ ไซเกิล (CYCLE) คือ การที่อีเลคตรอนเวิ่งไป ๑ ครั้ง และวิ่งกลับ ๑ ครั้ง

ความถี่หรือฟรีเควนซี่ (FREQUENCY) คือ จำนวนไซเกิลต่อ ๑ วินาที

CATHODE - RAY - TUBE (CRT)

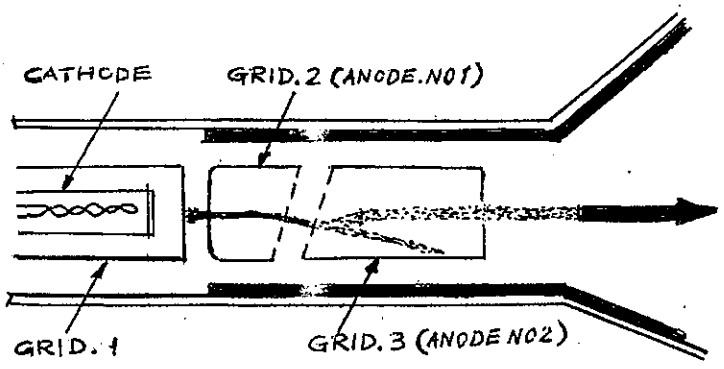
CATHODE - RAY - TUBE เป็นหลอดสูญญากาศอีกประเภทหนึ่งสามารถเปล่งลำแสงออกมาปรากฏอยู่ที่หน้าจอ (SCREEN) ได้และมีการเปลี่ยนแปลงลำแสงในลักษณะต่าง ๆ กัน คือ มี มืดและสว่างไม่เท่ากัน อุปกรณ์ภายในหรือที่เรียกว่า อีเลคโตรท คือ มี คอนโทรลกริด, สกรีนกริด (อะโนดที่ ๑) อะโนดที่ ๒ (สัปเพรสเซอริกริด) คาโถด แต่ไม่มีเพลทเหมือนหลอดสูญญากาศประเภทหลอดขยายสัญญานทั่ว ๆ ไป ลักษณะของหลอดคล้ายกับ SPORT LIGHT หน้าจอฉาบไว้ด้วยวัตถุเรืองแสง เมื่อมีอีเลคตรอนยิงตรงไปกระทบหน้าจอ จะทำให้เกิดเรืองแสงออกสว่างคล้ายกับหลอดไฟนีออน

การทำงานของ CATHODE - RAY - TUBE ก็คล้ายกับหลอดขยายสัญญานเหมือนกัน เพราะต้องทำให้คาโถดเกิดความร้อนแล้วจึงจะปล่อยอีเลคตรอนได้เช่นเดียวกัน



Internal structure of new electrostatic focus tube. Deflection is accomplished magnetically.

อีเลคโทรดทั้งหมดที่บรรจุไว้ภายในหลอดเราเรียกว่า "อีเลคตรอนกัน" ELECTRON GUN หมายถึง ELECTRON ที่ถูกยิงพุ่งตรงไปปรากฏอยู่ที่ฉาก (หน้าจอ) เรืองแสงของ CATHODE-RAY-TUBE



ชิ้นส่วนประกอบของ ELECTRON GUN

FILAMENT AND CATHODE FILAMENT และ CATHODE รวมอยู่ใน UNIT เดียวกันดังในรูป CATHODE มีรูปร่างเหมือนโลหะเล็ก ๆ บรรจุอยู่ ปลายข้างหนึ่งจะเปิดเพื่อเปิดโอกาสให้ FILAMENT สามารถอยู่ข้างใน CATHODE ปลายอีกด้านหนึ่งของ CATHODE มีรูปร่างคล้ายถ้วย ซึ่งมันเต็มไปด้วย BARIUM OXIDE หรือ THORIUM OXIDE ใช้เป็นตัวผสมเพิ่มจำนวน ELECTRON ซึ่งจะออกไปด้วยความร้อนจาก CATHODE เมื่อ CATHODE ได้รับความร้อนจาก FILAMENT อีเลคตรอนก็เคลื่อนพรุ่งหลุดออกไปจาก BARIUM OXIDE หรือ THORIUM OXIDE เหมือนก้อนเมฆหรือจากผิวหน้าบริเวณรอบ ๆ CATHODE

GRID GRID รูปร่างคล้ายแผ่นตะกั่วบาง ๆ คลุมอยู่กับ CATHODE มีรูเจาะไว้ทางด้านปลายของ GRID ทำไว้เป็นทางผ่านซึ่งอีเลคตรอนเคลื่อนที่ไปสู่ ANODE ตัวแรก GRID นี้เป็นตัวควบคุมให้จำนวนอีเลคตรอนพุ่งตรงไปยังวัตถุเรืองแสงที่ SCREEN การควบคุมนี้เริ่มต้นจาก GRID ทำให้ GRID เป็น NEGATIVE เมื่อเทียบกับ CATHODE ถ้าเป็นลบมาก GRID ก็จะยอมให้อีเลคตรอนบางตัวผ่านพ้นช่องทางของ GRID ไปได้ หมายถึงว่า ถ้า GRID เป็นลบมากบ้างน้อยบ้างก็จะทำให้เกิดเป็นเงาทึบบ้างใสบ้างไปปรากฏที่วัตถุเรืองแสงหน้าจอ

FIRST AND SECOND ANODES FIRST ANODE เป็นรูปทรงกระบอกเล็ก ตรงกลางจะเจาะรูไว้ทั้งหัวและท้าย SECOND ANODE มีลักษณะโตกว่าและมีช่องเจาะรูตรงกลางไว้ช่องเดียว ซึ่งเหมือนกับ FIRST ANODE มีรูเจาะ ๒ รู ส่วน SECOND ANODE เจาะไว้รูเดียว ตัดทิ้งเสียครึ่งหนึ่ง ดังจะเห็นจากรูป ANODE ทั้งคู่นี้จะเป็นตัว FOCUS ให้อีเลคตรอนเข้มและเหลมคม

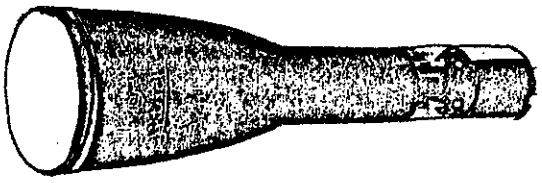
CATHODE-RAY-TUBES แบ่งออกเป็น ๓ ชนิด

๑. หลอดภาพชนิด ELECTROSTATIC DEFLECTION

ELECTROSTATIC FOCUSSING

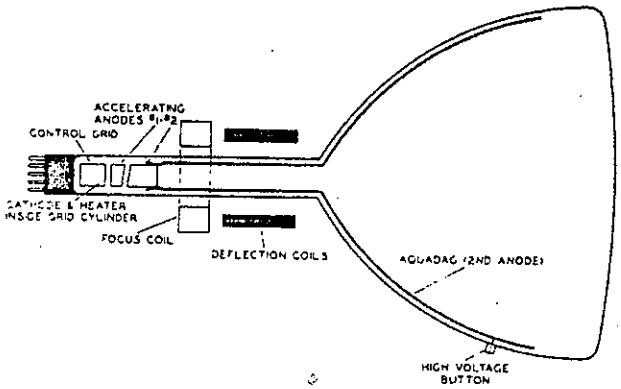
Cathode Ray Tubes

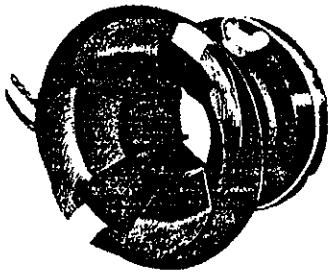
These tubes are produced in various types ranging in size from 1″ to 7″ for such purposes as general observation, after-glow observation, photographing, etc. The 7″ to 16″ cathode ray tubes for Radar use are also produced.



๒. หลอดภาพชนิด ELECTROMAGNETIC DEFLECTION

ELECTROMAGNETIC FOCUSSING



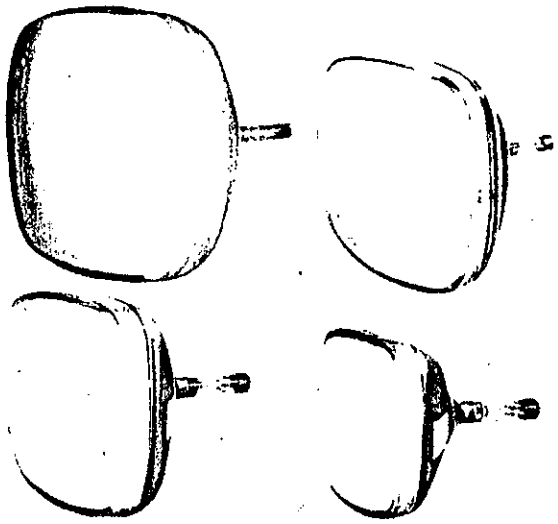


Deflection Yoke
90° & 110°

The internal construction of an electromagnetic deflection and focus tube.

๓. หลอดภาพชนิด ELECTROSTATIC FOCUSSING

ELECTROMAGMETIC DEFLECTION



แบบที่ ๓ นิยมใช้กันมากในปัจจุบัน เพราะเหตุว่า

๑. การ FOCUS ไม่ต้องใช้ COIL เป็นตัว FOCUS คือใช้ FOCUS ภายในหลอดเลย

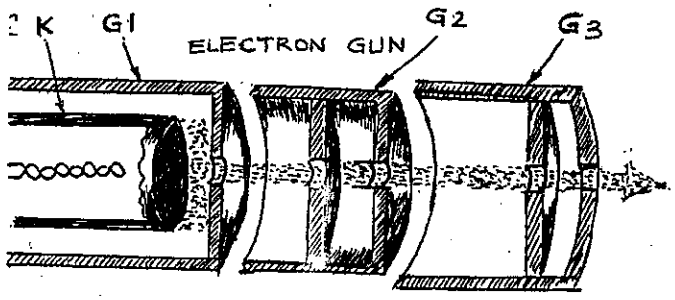
๒. ถึงแม้ CURRENT จะไหลผ่านหลอดได้มากก็สามารถ SCAN ได้

หลอดภาพแบบนี้ปัจจุบันมี ๙๐° และ ๑๑๐°

แบบที่ ๑ นั้นมีใช้ในเครื่องมือชนิดหนึ่งเรียกว่า OSCILLOSCOPE เป็นหลอดชนิด FOCUS ภายในของหลอดภาพและการ DEFLECTION ก็ทำไว้ภายในหลอดเสร็จเรียบร้อย

แบบที่ ๒ ไม่นิยมใช้เพราะเป็นหลอดแบบโบราณล้าสมัย ยุ่งยากแก่การ FOCUS และ DEFLECTION

ELECTRON GUN คือ ELEMENT ต่าง ๆ ภายในหลอดรวมกันเรียกว่า ELECTRON GUN ประกอบด้วย FILAMENT, CATHODE, GRID, FIRST ANODE, SECOND ANODE.



การขยายสัญญาณ

การขยายสัญญาณ คืออะไร บางคนอาจไม่ทราบเลยว่า คำว่า "สัญญาณ" นั้นคงจะเหมือนกับสัญญาณแบบที่เขาบอกกันด้วยการตีฆ้อง หรือเป่าแตรอะไร ๆ แบบนั้นกระมัง แต่สัญญาณในทาง Electronic นั้น เป็นสัญญาณไฟฟ้าในแบบคลื่นวิทยุ หรือคลื่นเสียงนั่นเอง หรือจะเรียกให้ไพเราะหน่อยก็คือ Signal ที่นี้ Signal นั้นคืออะไร ? มาจากไหน ? ก็เป็นเรื่องที่แปลกปลาดอีกเหมือนกัน Signal นั้น ก็คือเสียงที่เราได้ยินจากหูนั่นเองแต่มีรูปร่างเป็นคลื่น ๆ คล้ายไฟฟ้ากระแสสลับมีความสูงบ้างต่ำบ้างเหมือนกันเราพูดคุยกันจะได้ยินดังบ้างค่อยบ้าง ที่นี้เสียงที่เราพูดนี้ก็กระจายออกเป็นคลื่นกระแสสลับที่ยังไม่ต่ำอยู่ ถ้าเราจะตะโกนให้ดัง ๆ ก็ไม่ไหว ดังนั้นจึงมีวิธีเอาคลื่นเสียงของเรานี้ไปขยายให้ใหญ่และดังมาก ๆ ได้โดยเอาเสียงของเราไปเปลี่ยนให้เป็นพลังงานไฟฟ้าเสียก่อน เครื่องมือนั้นก็คือ ไมโครโฟนนั่นเอง มันจะสั่นตามเสียงโดยส่วนประกอบภายในของไมโครโฟนแล้วออกมาเป็นแรงเคลื่อนไฟฟ้ากระแสสลับซึ่งมี Voltage ต่ำมาก ต่อไปเราก็ต้องขยายหรือทำให้ Voltage ต่ำนี้สูงได้อีกก็โดยอาศัยหลอดสุญญากาศเป็นตัวขยายให้ต่อไป

การขยายแบ่งออกเป็น ๒ ชนิด คือ

๑. วงจรขยายแรงเคลื่อน (Voltage Amplifier)

๒. วงจรขยายกำลัง (Power Amplifier)

<u>วงจรขยายแรงเคลื่อน</u> (Voltage Amplifier)

เป็นวงจรที่มุ่งหมายจะทำให้แรงเคลื่อนของสัญญาณที่ถูกขยาย มีค่าสูงคร่อม Load ในวงจร Plate วงจรแบบนี้สังเกตุได้โดยดู Load ของวงจรเพลท เพราะ Load ในวงจรเพลทมีค่าความต้านทานสูง (Resistor) หรือ (Impedamce) สูง ทั้งนี้แล้วแต่โหลดจะเป็น Resistor , Choke หรือทรานสฟอร์เมอร์ หรือจะพูดให้เข้าใจง่ายอีกอย่างหนึ่งก็คือการขยายแรงเคลื่อนต่ำ ๆ ให้มีแรงเคลื่อนสูง ๆ ได้ โดยอาศัยหลอดสุญญากาศแบบ Triode ส่ง Signal Ac Volt ขนาดต่ำ ๆ เข้าที่วงจรกริดของหลอดและจะขยายให้สูงได้โดยการทำงานของหลอดในวงจรของเพลท

<u>วงจรขยายกำลัง</u> (Power Amplifier)

เป็นวงจรที่มุ่งหมายจ่ายกำลังจำนวนมากให้แก่โหลดในวงจรเพลท เนื่องจาก Power เป็นผลคูณของกระแสกับแรงเคลื่อน (W = IxE) ฉะนั้นในวงจรขยายกำลังจึงต้องมีทั้งแรงไฟเอ้าท์พุทคร่อมโหลดสูง และกระแสผ่าน Load ก็สูงด้วย วงจรขยายกำลังนี้สังเกตุได้ด้วย (Load) ของวงจรเพลท มักมีอิมพีแดนซ์ต่ำ ปกติมักเป็นหลอดขยายสุดท้าย

CLASSIFICATION OF AMPLIFIERS

การแบ่งแยกประเภทของขยายเสียง

การขยายเสียงแบ่ง ชั้น (Class)ออกได้ ๔ Class และการแบ่งชั้นหรือ Class การขยายกำหนดจาก ค่าของแรงไฟอบ (Bias) ที่ grid 1 หรือ Control Gridนั่นเอง

การขยายคลาส เอ (Class A Amplification)

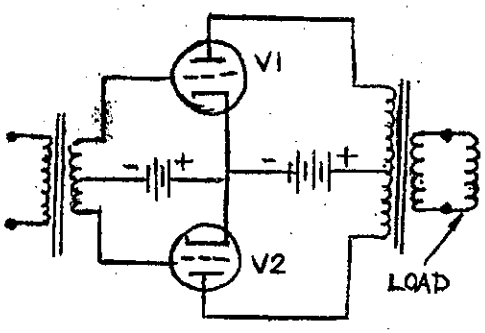
คือ การให้ Bias แก่ Grid ในอัตราพอดีที่ทำให้กระแสในวงจรเพลทไหลตลอดไซเกิลของแรงไฟสัญญาณ ที่ผ่านเข้ามา กล่าวคือ ไบอัสไม่ต่ำจนเกินไปจนทำให้กระแสไหลในวงจรGrid แรงไฟสัญญาณทางบวกถูกป้อนเข้ามา และมีไม่สูงจนเกินไปซึ่งจะทำให้ถึงจุด Cut off ได้เมื่อแรงไฟสัญญาณทางลบถูกป้อนเข้ามา ซึ่งบางที ถึงแม้จะไม่สูงจนถึงจุดคัทออฟ แต่ก็อาจทำให้เกิดเสียงผิดเพี้ยน (Distortion) ได้

การขยายในแบบ Class A นี้สัญญาณที่ป้อนเข้ามามีรูปร่างอย่างไร ก็จะขยายออกทาง Out Put เหมือนเดิมแต่ได้ใหญ่กว่า In Put

การขยายแบบ Class B (Class B Amplification)

คือการให้ไฟอบ (Biass) แก่ Grid ในอัตราสูงพอดีจุด Cut Off คือจุดที่ไม่มีกระแสเพลทไหลเลย เมื่อมีสัญญาณเข้ามาที่ Grid ก็จะทำให้มีกระแสไหลได้เฉพาะในครึ่งไซเกิลบวกของสัญญาณเท่านั้น คือว่า เมื่อมี Signal เฉพาะครึ่งไซเกิลบวกเข้ามาที่ Grid จะทำให้เกิดมีแรงไฟลบต่ำลงจึงมีกระแสเพลทไหล เกิดการขยายในครึ่งไซเกิล แต่พอสัญญาณไซเกิลลบเข้ามาที่ Grid ก็ทำให้มี Bias เป็นลบอยู่เกือบถึงจุด Cut Off อยู่แล้ว ครั้นมี Signal ครึ่งไซเกิลลบเข้ามาก็จะรวมกันแรงไฟลบเป็นลบสูงขึ้นอีก ตอนนี้กระแสเพลทจะไม่ไหล ดังนั้น จะเห็นว่าการขยาย Class นี้ จะขยายได้เฉพาะไซเกิลบวกเท่านั้น ดังนั้นจึงทำให้ Signal ที่เข้ามาทาง Grid ในรูปคลื่นครบถ้วน แต่เมื่อถูกขยายออกทาง Grid แล้วจะเหลือเพียง ครึ่งรูปคลื่นเท่านั้น ด้วยเหตุนี้เองจึงไม่นิยมใช้เพราะทำให้เกิดเสียงผิดเพี้ยน หรือ (Distortion) สูง

การขยายแบบ Class B นี้ ให้ประสิทธิภาพการขยาย[illegible] แต่มีการเพี้ยนมาก จึงไม่นิยมใช้ขยายใน Class B นี้ แต่เพื่อหลีกเลี่ยงไม่ให้เกิดความผิดเพี้ยนของเสียงที่ผิดเพี้ยน (Distortion) ก็โดยใช้หลอดขยายแบบ ๒ หลอด ทำการขยายในแบบหลอดละครึ่ง Cycle คือในครึ่ง Cycle แรกหลอดบนทำการขยายได้ รูปคลื่นออกมาที่ Plate Load ในแบบครึ่งคลื่นต่อมาขยะเดียวกัน หลอดที่ ๒ ก็จะทำการขยายในครึ่ง Cycle หลัง หรืออาจพูดได้ใหม่ว่า V_1 ขยายในครึ่ง Cycle บวก และหลอด V_2 ขยายในครึ่ง Cycle ลบ เป็นอันว่า การขยายแบบนี้เราจะได้สัญญาณที่ขยายแล้วออกมาครบเหมือนเดิม และก็ยังได้ประสิทธิภาพสูงด้วย และยังมีคุณภาพเสียงดี ฟังชัดเจน หลอด ๒ หลอด ที่นำมาใช้พร้อมกันนี้ มิได้นำมาต่อกันในแบบขนาน แต่เป็นการต่อใช้งานร่วมกันในแบบที่เรียกว่า แบบ พุช - พูล



(Push Pull)

รูปวงจรขยายแบบ พุช - พูล (Push- Pull)

ตามรูปจะสังเกตุเห็นว่า หางเดินอีเลคตรอนในวงจรเพลทหลัง ๒ นั้นกลับหางกันอยู่ เมื่อสัญญาณในครึ่ง Cycle บวกเข้าไปใน Grid ของหลอดใดหลอดหนึ่ง หลอดนั้นจะมีกระแสไหลผ่านเกิดการขยายได้ (ขดลวดครึ่งหนึ่งของขดไพรมารี่ของเอ้าพุทหรานส์ฟอร์เมอร์มีกระแสไหลผ่าน) ส่วนอีกหลอดหนึ่งนั้นไม่ขยายเพราะขณะที่หลอดแรกมีสัญญาณครึ่ง Cycle บวกเข้าไปนั้น หลอดที่ ๒ จะได้รับสัญญาณในครึ่ง Cycle ลบ ทำให้มีกระแสไหลในวงจรเพลทของหลอดที่ ๒ และไม่มีการขยายในหลอดนี้

ต่อมาหลอดแรกจะรับสัญญาณในครึ่ง Cycle ลบบ้าง จึงไม่มีการขยาย ขณะเดียวกันหลอดที่ ๒ จะรับสัญญาณครึ่ง Cycle บวกบ้างและมีการขยาย ดังนี้จะเห็นได้ว่าหลอดทั้ง ๒ นี้ ผลัดกันทำงานหลอดละครึ่ง Cycle คลื่นครึ่งหนึ่งที่ขาดหายไปเมื่อใช้ขยายหลอดเดียวและคลื่นกลับเข้มปกติ ถ้าหากเราใช้หลอด ขยาย (Push Pull)

จงสังเกตุว่า ครึ่ง Cycle บวกของหลอดหนึ่งเป็นครึ่ง Cycle ลบของหลอดหนึ่งปลายต่อของขดลวด Secondary ของอินพุทหรานส์ฟอร์เมอร์ สองปลาย ที่ต่อไปเข้ากริดของหลอดทั้ง ๒ นั้นกลับหางกันอยู่

วงจรขยายแบบ Push Pull นี้ ใช้ในการขยายกำลังของความถี่เสียงทั้งในเครื่องส่งวิทยุ เครื่องขยายเสียง เครื่องรับวิทยุ (ในเครื่องรับไม่นิยม)

วงจรขยายคลาส B จะเป็นหลอดเดียวไม่มีใช้ในวงจรขยายความถี่เสียง

การขยายคลาส เอ - บี (Class AB Amplifier)

เป็นการขยายที่อยู่ครึ่ง ระหว่าง Class Aและ Class B กล่าวคือ มีการขยายที่ได้รูปคลื่นเกือบเหมือนเดิม คล้าย Class A แต่ได้ประสิทธิภาพการขยายสูงเหมือนเกือบเท่า Calss B การขยาย Class AB นี้ทำได้โดยการให้ Bias แก่หลอดในระดับไม่สูงถึงจุด Cut Off แต่ก็ไม่ต่ำจนกลายเป็น Class A การขยาย Class AB นี้ก็ยังมีเสียงเพี้ยนอยู่บ้าง แต่ไม่มากเหมือน Class B ตามปกติแล้วการขยาย Class AB ที่นิยมใช้ขยายอยู่ในวงจรขยายความถี่เสียง (วงจรขยายกำลัง) โดยใช้หลอดขยาย ๒ หลอด แบบ Push-Pull เราจะได้ไฟเดลลิตี้ (Fidelity) สูงดีกว่า Class B แต่ก็ได้ประสิทธิภาพการขยายต่ำกว่า Class B เล็กน้อย (การขยาย Class AB นี้ ไม่นิยมใช้ในวงจรขยายความถี่วิทยุ เพราะประสิทธิภาพสู้ Class B หรือ Class C ไม่ได้)

(ไฟเดลลิตี้ - Fidelity คือการเหมือนเดิม การขยายที่มีไฟเดลลิตี้สูง - High Fidelity หรือเรียกย่อย ๆ ว่าHi Fi นั้นเป็นการขยายที่ได้รูปคลื่นสัญญาณเหมือนเดิมมากที่สุด ทั้งความถี่ต่ำ และความถี่สูงสุด การเพี้ยนมีน้อยที่สุด เสียงชัดเจนใกล้เสียงธรรมชาติมากที่สุดทั้งเสียงสูงและเสียงต่ำ)

การขยาย Class C (Class C Amplifier)

การขยาย Class C เป็นการขยายที่ให้ Bias แก่ Grid ของหลอดขยายเกินกว่าค่า Cut Off มาก ๆ มากเกือบถึง ๒ เท่าของค่า Cut Off ด้วยซ้ำไปตามปกติถ้าไม่มีสัญญาณเข้ามาที่ Grid ก็จะไม่มีกระแสเพลทไหลเลย จุดประสงค์ของการขยาย Class C นี้ ก็เพื่อจะได้ประสิทธิภาพการขยายสูง ไม่นำไปใช้ในวงจรขยายความถี่เสียงเลย เพราะจะเกิดเสียงเพี้ยนสูง การขยาย Class C นิยมใช้ในวงจรขยายกำลังของความถี่วิทยุในเครื่องส่งวิทยุเท่านั้น

สรุป การขยาย Class A ใช้เป็น Voltage Amplifier แต่อย่างเดียวหรือไม่ก็ใช้เป็น Amplifier แต่อย่างเดียว สำหรับ Drive Amplifier ใน Stage ต่อไป ทั้งในเครื่องรับและเครื่องส่งวิทยุธรรมดาใช้ใน Class A ทุก Stage นอกจาก Stage ปลาย

Class A ให้ – Voltage gaim ที่ไม่มี Distortion

– มี Plate Efficiency ต่ำไม่เหมาะที่จะใช้เป็น Power Amp.

Class B แบบ Push - Pull

ให้ – ประสิทธิภาพการขยายสูงกว่า Class A

Distortion (เสียงเพี้ยน) ต่ำ

Class AB มักเป็นเครื่องขยายเสียงหลอดขยายสุดท้าย ๒ หลอดคู่

ประสิทธิภาพเสียงดีกว่า Class B แต่ประสิทธิภาพการขยายสูงกว่าClass A

Class C ให้ประสิทธิภาพการขยายสูงที่สุด ประสิทธิภาพเสียงเพี้ยนมาก

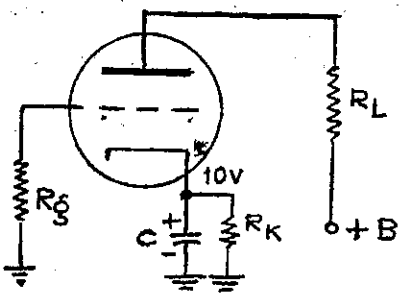
ใช้เป็นวงจรขยายความถี่วิทยุของเครื่องส่งเท่านั้น

วิธีให้ Bias Grid

๑. ใช้ Battery

๒. ใช้ Cathode Resistor

การให้ Bias แก่ Grid โดยใช้ Cathode Resistor ก็โดยการใส่ Resistor ไว้กับ Cathode แบบ Series เมื่อ Cathode ได้รับความร้อนจากการเผาของไส้หลอด ก็จะทำให้เกิดกระแสไหลผ่าน Cathode เกิดเป็นโวลท์เตทตกคร่อมอยู่ที่ Resistor นี้ถ้าเราใส่ R ไว้ที่ Grid กับ Ground ก็จะเป็นทางผ่านของไฟลบไปยัง Grid เมื่อเทียบกับ Cathode หรือจะพูดอีกอย่างหนึ่งได้ว่า Cathode มีโวลท์เตท ตกคร่อม R เท่าไรก็ถือว่า Grid มีไฟลบเท่านั้น



ธรรมดาเราจะมี C ต่อคร่อม R ไว้ด้วยเพื่อป้องกันมิให้ Bias Voltage เปลี่ยนแปลงไปเพราะ Signal เรียกว่า Bypass Condenser

การให้ Bias แก่หลอดต้องรู้ด้วยว่าหลอด

แต่ละหลอกต้องการ Bias เท่าไรและ Rk จะต้องมีค่าเท่าไร C (จะมีค่าเท่าไร ต้องดูจาก Table ของหลอกในคู่มือของหลอก (R.C.A. Manual) หรือคู่มือหลอก R.C.A.

ไมโครโฟน - MICROPHONE

ไมโครโฟน เป็นอุปกรณ์ของอิเลคโทรนิคอีกชนิดหนึ่ง ที่ทำหน้าที่รับพลังสัญญาณเสียงทั่วๆ ไป แล้วมาเปลี่ยนเป็นพลังงานไฟฟ้าแบบกระแสสลับ

Frequency Response ไมโครโฟน เป็นตัวเปลี่ยนเสียง ซึ่งมีความถี่ต่าง ๆ (Frequency) ให้เป็น A.C. Current และทำงานในย่าน Frequency Audio Frequency,Out Put ที่ได้จากทุกความถี่ ต้องเปลี่ยนแปลงไม่เกินกว่า ๒ - ๓ D.B. โดยเฉพาะในย่าน 200 - 2500 Cycles.

ไมโครโฟน ทุกคนคงได้พบและได้ใช้งานกันทุกคนมาแล้ว แต่หารู้ไม่ว่าหน้าที่และความสำคัญของไมโครโฟนนั้น ๆ มีความหมายอย่างไร ทุกคนคงไม่ทราบ รู้แต่เพียงว่านำมาใช้ประโยชน์ในทางพูดให้ได้ยินดัง ๆ ได้เท่านั้น ความจริงแล้วไมโครโฟนเป็นตัวถ่ายทอดเสียงจากคนพูดผู้นั้นให้ไปถูกขยายในระบบอิเลคโทรนิคแล้วกระจายออกให้ผู้อื่นได้ยินได้ เหมือนกับคนที่พูดนั้นมาพูดอยู่ใกล้ ๆ และสามารถจะรู้ได้ด้วยว่าใครเป็นคนพูด และเป็นเสียงของใครแต่ทั่ว ๆ ไปแล้วจำกันไม่ค่อยได้ดีนัก และอีกประการหนึ่ง การนำไมโครโฟนมาใช้งานในสถานที่ต่าง ๆ กันก็ไม่มีใครทราบอีกว่า จะใช้อย่างไร แบบไหนชนิดอะไร จึงจะเหมาะสมกับสถานที่นั้น ๆ นี่เป็นความจำเป็นและสำคัญมากดังจะได้ชี้แจงให้ทราบต่อไปนี้

ชนิดของไมโครโฟน - (Kind of Microphones)

ชนิดของไมโครโฟนมีอยู่มากมายหลายแบบ แต่ละแบบมีความหมายแตกต่างกันจะจำแนกออกให้ทราบได้ดังนี้

๑. ไดนามิค (Dynamic) ไมโครโฟน

๒. คริสตอล (Crystal)ไมโครโฟน

๓. เซรามิค(Ceramic) ไมโครโฟน

๔. คาร์บอน (Carbon) ไมโครโฟน

๕. เวโลซิตี้ (Velocity) ไมโครโฟน

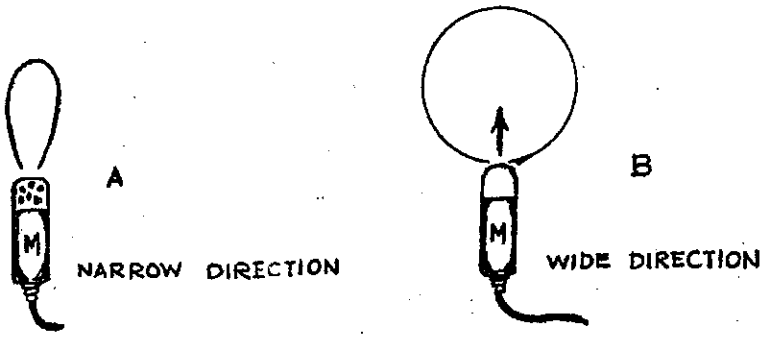
๖. คาปาซิเตอร์ (Capacitor) ไมโครโฟน

แบบของไมโครโฟน - (Type of Microphone)

แบบของไมโครโฟนยังแบ่งออกได้อีกหลายแบบ ดังนี้

๑. One - direction เป็นแบบที่รับเสียงได้ทิศทางเดียว ใช้กับ ละคร, คนตรีบนเวทีเท่านั้น และจำแนกออกเป็น Narrow Direction และ Wide Direction

Narrow Direction - รับเสียงเป็นมุมแคบตามรูป A
- ใช้ในห้อง Studio ที่ไม่ปิดทึบมีเสียงรบกวน
- ต้องหันหน้าให้ตรงกับผู้พูดมิฉะนั้นเสียงจะไม่เข้า

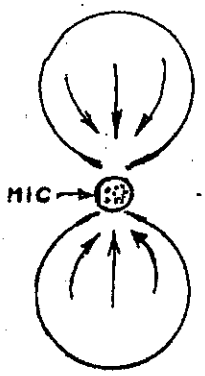


WIDE DIRECTION รูป B - รับเสียงได้เป็นมุมกว้าง

- ใช้ในห้อง Studio ทั่วไป

---

๒. Bi - direction microphone



- มีทิศทางที่รับเสียงได้ดีที่สุด ๒ ทิศทาง
- ทิศทางด้านข้างจะเบามาก
- ใช้ในห้อง Studio ที่ไม่ปิดทึบ
- ใช้สนทนาน้อย ๆ คน หรือผู้ประกาศ

---

๓. Poly - direction or Non - direction

- ใช้เก็บเสียงได้ทุกออกทุกมุม
- ใช้สำหรับงานที่ต้องการเสียงทุกทิศทาง
- ใช้วงดนตรีใหญ่ ในห้องปิดทึบ

<u>Fidelity Response</u> หมายถึงความถี่ของเสียงทุกความถี่ ไมโครโฟนที่ดีสามารถจะรับไว้ได้หมด มักใช้ในห้อง Studio

<u>Impedance</u> มี ๓ ชนิด คือ

High Impedance (ตั้งแต่ 10000 Ohms ขึ้นไป)

Medium Impedance (ตั้งแต่ 150 - 600 Ohm)

Low Impedance (ตั้งแต่ 4 - 150 Ohm)

เรื่อง Impedance นี้จำเป็นและสำคัญมาก เพราะถ้าหากว่าไม่เหมาะสม (Match) แล้วจะไม่ดัง เช่น High Impedance Microphone ไปต่อกับเครื่องขยายเสียง Low Impedance จะไม่ดัง

<u>การใช้ Microphone</u>

ไมโครโฟนสำหรับกระจายเสียง ใช้แบบ Low หรือ Medium Impedance

ไมโครโฟนสำหรับขยายเสียง ใช้แบบ High Impedance

เหตุที่ใช้แบบนี้ก็เพราะว่า

ก. Microphone Low หรือ Medium ป้องกันไม่ให้ Radio Frequency Feed Back ไปเข้าเครื่องขยายได้

ข. Microphone Low หรือ Medium เสียงแหลมผ่านได้มาก เพราะแรงเคลื่อนต่ำ Capacitance ไม่สามารถจะตัดความถี่สูง ๆ ออกไปได้ ดังนั้นจึงใช้ Microphone แบบ Low หรือ Medium ในวงจรกระจายเสียง

ค. High Impedance Microphone ใช้ได้ง่ายราคาถูกจึงใช้กับงานขยายเสียง

MICROPHONE มี ๒ พวก คือ

๑. Low - Impedance Mic.

๒. High - Impedance Mic.

วิธีสังเกตุ - Low - Impedance จะมี Transformer ต่ออยู่ภายในตัวของมันเอง

- High - Impedance ไม่มี Transformer ต่ออยู่ภายใน เนื่องจากว่าตัวของ Mic นั้นมี Internal Resistance สูง

๑. Low Impedance Microphone ได้แก่พวก.-

- Carbon Mic
- Velocity Mic
- Dynamic Mic

๒. High Impedance Microphone ได้แก่พวก.-

- Crystal Mic
- Ceramic Mic
- Capacitor Mic

Carbon Microphone

ทำงานโดยอาศัยการเปลี่ยนแปลง ความต้านทานของ Carbon ที่บรรจุไว้ภายในไมโครโฟน อย่างหลวม การเปลี่ยนแปลงความต้านทานจะเกิดขึ้นเมื่อมี Sound Wave มากระทบแผ่น Diaphram เป็นเหตุให้ Current ไหลเปลี่ยนแปลงไปตามSound Wave

ข้อดี	ข้อเสีย
- Fidelity ดี	- Distortion มาก
- Gain สูง	- Currant จะไหลอยู่ประมาณ
- เป็นชนิด Low Impedonce	5 - 100 Ma
	- ต้องมี Source ภายนอก

Crystal Microphone

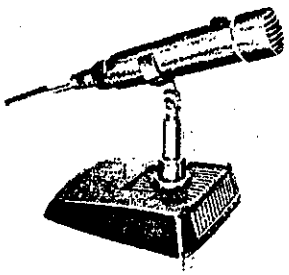
การทำงานของ Mic แบบนี้ไม่ต้องอาศัย Source ภายนอก แต่จะทำงานได้โดย คุณสมบัติของ Crystal แต่ต้องมี Resistor ต่ออยู่ในวงจรของ Mic เพื่อจะเอา Voltage ที่ตกไปป้อนให้แก่ Grid ของ Amplifier สำหรับ Out Put Voltage ที่ได้ จะมีมากพอที่จะ Drive ให้กับ Grid ของ Audio Valtage Amplifier

ข้อดี

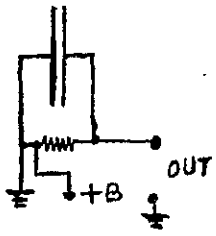
- สำหรับ Low Frequency ไม่ค่อย Effect
- ไม่ต้องใช้ Source ภายนอก
- มีน้ำหนัก เบา
- ใช้ในสถานที่ทั่วไปสำหรับ Recording Equipment
- ทนความร้อนได้ ถึง 125 °F

ข้อเสีย

- High Frequency จะEffect



Capacitor Microphone



การทำงานของ Capacitor Microphone อาศัยการเปลี่ยนแปลงของ แผ่น Plate ของ Condenser ซึ่งจะทำให้ความจุเกิดการเปลี่ยนแปลง แต่ต้องมี Source ให้กับ Mic Resistor มีค่าความต้านทานสูงมาก ซึ่งจะต่อขนานอยู่กับ Mic เมื่อ Plate เกิดการสั่นตาม Sound Wave จะทำให้ Current ไหล เปลี่ยนแปลง (R) จะเกิด Voltage Drop ที่ R., และเป็น Voltage ที่จะ Drive ให้กับ Amplifier.

ข้อดี

- เป็นพวก High Impedance
- Response Curve ดีมาก

ข้อเสีย

- ต้องมี Source ภายนอกเลี้ยงประมาณ 200 V. D.C.

Ceramic Microphone

การทำงานของ Mic แบบนี้เหมือนกันกับแบบ Crystal Mic ทุกประการ

Dyramic Microphone

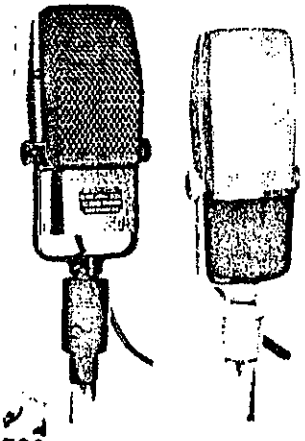
ใช้ขดลวด (Coil) ที่มี Impedance ต่ำ ติดอยู่กับแผ่น Diaphragm เมื่อมี Sound Wave เข้ามาจะทำให้แผ่น Diaphragm และ Coil เกิดสั่นขึ้นไปตาม Sound Wave การสั่นของ Coil ในสนามแม่เหล็ก จะทำให้เกิด Current ที่มีการเปลี่ยนแปลงตาม Sound Wave ไหลอยู่ใน Coil

สำหรับ Dynamic Mic เป็นพวก Low Impedance ดังนั้นจึงมี Out Put ต่ำ จึงจำเป็นต้องใช้ Matching Out Put Transformer เป็น Step Up เพื่อทำให้ Out Put Voltage สูงขึ้น

ข้อดีโดยทั่วไป

- ราคาพอสมควร
- มี Out Put ออกสูง
- Response Curve ที่ดีอยู่ระหว่าง 40 - 10 KC.
- Sensitivity ดี
- รูปร่างไม่ใหญ่โต
- ไม่ Effect ต่ออุณหภูมิ เมื่อเปลี่ยนแปลง
- ใช้ได้ทั้งภายในและนอก Studio
- Impedance ต่ำมาก
- Fidelity ดี
- ความทนทานพอสมควร
- มีน้ำหนักไม่มาก
- ไม่ต้องใช้ Source ภายนอก

Velocity Microphone



การทำงานอาศัยหลักการของ Electro - Magnetic เหมือนกับแบบ Dynamic แต่ใช้ Ribbon ซึ่งทำด้วย Corugated (โลหะผสม) ติดอยู่ระหว่างขั้วแม่เหล็กที่มีกำลังสูง เมื่อมี Sound Wave เข้าไปจะทำให้ Ribbon Varies ไปตาม Sound Wave การ Varies ของ Ribbon จะตัดกับเส้นแรงแม่เหล็กทำให้เกิด Current ที่มีการเปลี่ยนแปลงตาม Sound Wave

ข้อดี

- มีคุณภาพดีกว่าไมโครโฟนทุก ๆ แบบ
- มี Frequency Response Curve ดีมาก
- Fidelity ดีกว่า ไมโครโฟนทุก ๆ แบบยกเว้น Capacitor Micro
- ส่วนประกอบง่ายกว่าทุก ๆ แบบ
- ไม่ต้องใช้ Source ภายนอก

ข้อเสีย

- ราคาแพงมาก
- Out Put ต่ำ
- เป็นแบบ Low Impedance
- ไม่ทนต่อการกระทบกระเทือน
- ใช้เฉพาะห้อง Studio

xxxxxxxxxxxxxx

การใช้เครื่องมือวัด

เครื่องมือใช้วัดในเรื่องของ ELECTRONIC นี้ก็มี.-

๑. VOLT, OHM และ MILLIAM METER (V.O.M. METER)

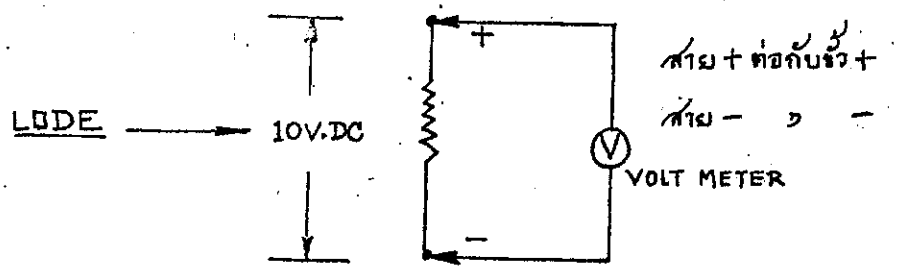
๒. SIGNAL GENERATOR OR SIGNAL TRACING

๓. OSCILLOSCOPE

แต่ในขั้นนี้จะขอกล่าวแต่การใช้ VOLT, OHM และ MILLIAM METER เท่านั้น VOLT, OHM และ MILLIAM METER นี้ก็เป็นเครื่องมือที่รวมอยู่ใน SET เดียวกัน คือมีทั้ง VOLT METER, OHM METER และ MILLIAM METER การใช้เครื่องมือก็ใช้ในหน้าที่ต่างกัน คือ.-

๑. VOLT METER เป็นเครื่องมือที่ใช้สำหรับวัดแรงเคลื่อนไฟฟ้าซึ่งมีทั้ง AC และDC ถ้าจะใช้วัดแรงเคลื่อนที่เป็น AC ก็จะตั้งสวิทช์ไว้ที่ตำแหน่ง AC และจะใช้วัดในจำนวนแรงเคลื่อนต่ำหรือสูงนั้นที่ SELECTOR SWITCH จะบอกตำแหน่งเอาไว้ตามต้องการแต่ข้อสำคัญให้ตั้งไว้ที่ตำแหน่งที่สูงกว่าจำนวนแรงเคลื่อนที่เราจะใช้วัด สมมุติว่าจะใช้วัด AC. 110 V เราจะต้องตั้งไว้ในตำแหน่ง AC 250 V AC การอ่านค่าก็อ่านที่ SCALE ของ AC โดยที่ SCALE บนหน้าปัดของ METER จะแบ่งไว้เป็น ช่องใหญ่ เราก็จะได้ออกมาใน ๑ ช่องใหญ่จะเท่ากับ 25 V ถ้าเป็น 110 V — ก็จะได้ ๔ ช่องใหญ่ และจะแบ่งเป็นขีดย่อยของช่องใหญ่ไว้เป็น ๕ ขีดเล็ก ในที่นี้ก็จะได้อีก ๒ ขีดเล็ก ๆ คือ 10 V รวมเป็น110 V ACการวัด VOLT ต้องต่อสายวัดให้ถูกต้องตามขั้วของไฟฟ้า (เฉพาะไฟ DC จะมีขั้ว + และ - กำกับไว้)

วิธีการวัด ให้ต่อสายวัดคร่อมอยู่กับ LOAD ดังแสดงในรูป อันนี้โดยการวัด (DC. VOLT)

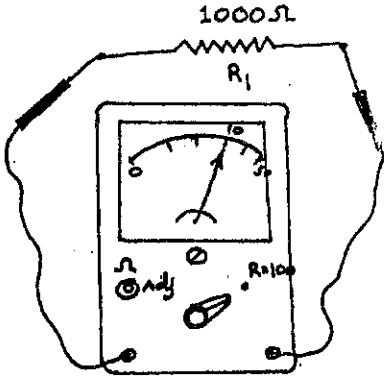


๒. OHM METER เป็นเครื่องมือวัดค่าความต้านทาน (RESISTOR) ของแต่ละตัวว่ามีความต้านทานจำนวนกี่โอห์ม หรือใช้ทดสอบว่าสายไฟขาดหรือไม่หรือว่าหลอดไฟ, ขดลวดใน TRANSFORMER ขาดหรือไม่ การวัด OHM ต้องวัดในขณะที่ไม่มี LOAD เกี่ยวข้องและไม่มี VOLTAGE อยู่ใน LOAD สรุปแล้วว่าการวัด OHM ให้วัดขณะที่ไม่มีแรงเคลื่อน AC และ DC หรือกระแสอยู่เลย

วิธีการวัดเช่นเดียวกับการวัด VOLT โดยต่อคร่อมกับตัวที่เราจะวัดและตั้ง SELECTOR SWITCH ไว้ในตำแหน่ง Ω และจะแบ่งไว้หลาย RANGE คือ RANGE R X 1,R X 10,R X 100,RX 1000 และ RX 10000 ทุก RANGE จะมีความหมายทั้งนั้นเพราะเป็นตัวคูณค่าที่อ่านได้จาก SCALE ที่หน้าปัดของ METER ก่อนจะใช้วัดต้องตั้ง RANGE ให้ถูกต้องและจะต้อง ZERO เข็มให้อยู่ที่ ๐ เสียก่อน

โดยใช้ปลายสายวัดแตะกันทั้ง ๒ เส้น เข็มจะตกลงที่ ๐ ถ้าไม่ลงให้ปรับที่ปุ่ม ADJUST ให้ลงที่ ๐ เสียก่อนแล้วจึงใช้วัดความต้านทานได้

สมมุติว่ามีความต้านทานอยู่ตัวหนึ่งมีค่า 1000 Ω อยากจะทราบว่าจะจริงหรือไม่เราก็ตั้ง SELECTOR SW. ไว้ในตำแหน่ง R X 100 เอาปลายสายวัดแตะกัน SET ZERO OHM ให้ถึง ๐ เสียก่อน เมื่อได้แล้วก็นำเอาสายวัดจับกับปลายของ R ซึ่งมีความต้านทาน 1000 Ω เข็ม METER จะชี้ที่เลข ๑๐ เราก็ใช้ตำแหน่งที่วัดโดย R X 100 คูณกับจำนวนที่วัดได้ คือ ๑๐ ก็จะได้ 1000 Ω พอดี นี้เป็นการวัดค่าความต้านทาน

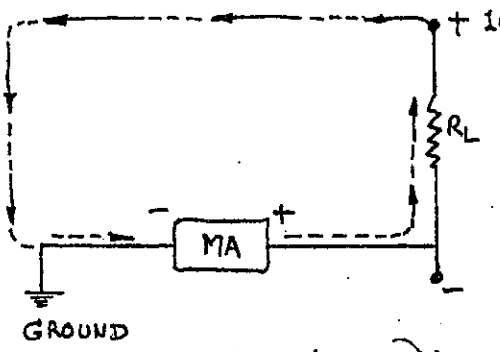


๑๐ = ค่าที่อ่านได้บน SCALE
R×๑๐๐ = ตัวคูณที่อ่านได้บน SCALE
= ๑๐×๑๐๐
= ๑๐๐๐ โอห์มคือ R_1

รูปแสดงวิธีวัด Ω

๓. MILLIAM METER ใช้วัดจำนวนกระแสภายในวงจรหรือที่ LOAD ต้องการซึ่งมีหน่วยเป็นมิลลิแอมแปร์ทางELECTRONIC มิลลิแอมนี้ใช้วัดได้เฉพาะ D.C. CURRENT เท่านั้น SCALE สูงสุดที่แบ่งไว้จะวัดได้เพียง 250 MA เท่านั้นหรือบางชนิดอาจจะเพิ่มขึ้นเป็นจำนวนสูง ๆ ขึ้นไปอีกก็ได้ การวัด MA นี้โดยต่อ SERIES กับ LOAD เท่านั้นเนื่องจากต้องการรู้จำนวนของกระแสที่ไหลผ่าน LOAD

วิธีการวัด ก็เหมือนกับการวัด Ω (โดยวิธีการ SELECTOR SW.) แต่ต้องให้อยู่ในตำแหน่ง D.C.MA เท่านั้น การเสียบรูสายวัดเหมือนกัน แต่เวลาวัดจะต้องจัดขั้วให้ถูกต้อง ต้องรู้ด้วยว่ากระแส ไหลไปทางไหน



R_L = LOAD RESISTOR

วิธีการวัดกระแสไฟฟ้า D.C.

การ CHECK CAPACITOR

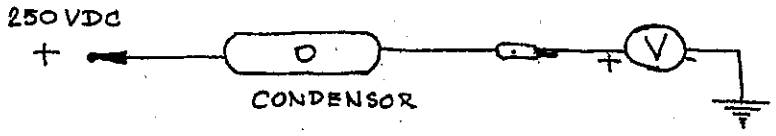
ปกติเราทราบดีแล้วว่า CAPACITOR นั้นจะเก็บประจุไฟฟ้า D.C. + เอาไว้ในตัวของมันได้เท่ากับจำนวนที่จ่ายให้มันและจะปล่อยให้ AC ผ่านตัวมันไปได้ แต่ว่า ถ้ามันเกิดเสียหรือรั่วเก็บไฟไม่อยู่ (หมายถึง DC) เราก็อาจจะทำการตรวจดูว่าเสียด้วยเหตุใด จะเสียเกิดจากเสื่อมคุณภาพหรือเกิด SHORT ภายในของมันเอง เราก็มีวิธี CHECK ว่า C นี้ LEAK หรือรั่วเท่านั้น โดยการใช้วัดด้วยวิธีแบบเดียวกับการวัด

ถ้า C เสียหรือรั่วเข็ม METER จะชี้ค้างอยู่เหมือนกับวัด Ω .เนื่องจาก BATT. ภายใน METER มีขั้วไฟที่ถูกต้องและมีกระแสไฟไหลผ่าน C ได้ และ VOLT ก็จะผ่านได้โดยตัวของ C เกิดรั่วทำให้เกิด VOLTAGE D.C รั่วผ่านตัวมันได้ก็เปรียบเหมือนว่าภายในตัวของ C จะ

เป็นตัวต้านทาน (R) ไปเสียแล้ว

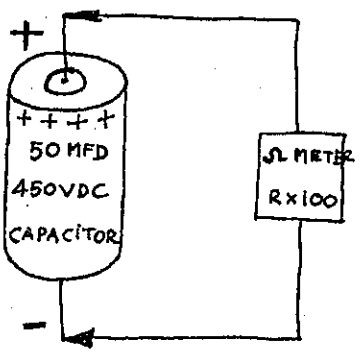
ถ้า C ดี ไม่รั่วเมื่อเราต่อสายวัดแล้วมันจะ CHARGE DC VOLT เข้าตัวมันและจะ DISCHARGE กลับต่อเมื่อเราเปลี่ยนขั้วสายวัดใหม่ แล้วเข็มจะตีกลับแสดงว่า C ดี

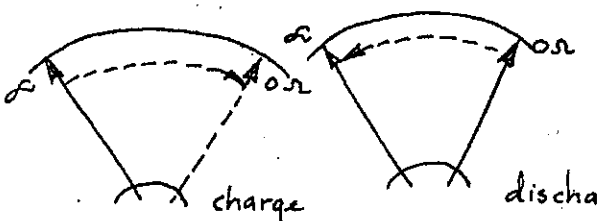
อีกวิธีหนึ่งเป็นวิธี TEST กับ VOLTAGE เรียกว่า TESTING VOLTAGE คือใช้ C วัดกับ DC VOLT ที่มีแรงเคลื่อนสูง ๆ ตามที่ตัว C บอกเอาไว้ข้าง ๆ ตัวดังรูป การวัดแบบนี้แม่นอนมากสำหรับ C ที่มีค่าความจุน้อย ๆ ถ้า C รั่ว VOLTAGE จะผ่านตัวของมันมาได้แล้วจะมาปรากฏอยู่ที่ VOLT METER แล้วแต่จะรั่วหรือ LEAK มากน้อยเท่าไร



การ TEST ว่า C รั่วหรือไม่

ขอให้จำไว้ว่า C จะกั้น DC ยอมให้ AC ผ่านไปได้เท่านั้น ถ้า DC ผ่านได้แสดงว่า C LEAK หรือรั่วแล้วใช้ต่อไปไม่ได้ ถ้า C ที่มีความจุมากเช่น ๕๐ ไมโครฟาราดเราใช้วัดแบบ CHARGE และ DISCHARGE แบบวัด Ω นั่นเองเพราะมันแสดงให้เห็นได้ง่าย ถ้าไม่ CHARGE เลยก็แสดงว่า C นั้นไม่มีความจุหรือมีน้อยที่สุด ถ้า CHARGE แล้วเข็ม METER ไม่ลงแสดงว่ารั่วหรือ CHORT ใช้ต่อไปไม่ได้



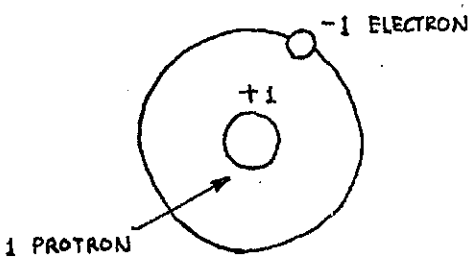


ถ้า C ปกติ ไม่รั่ว เข็ม METER จะ CHARGE ไปตามมาก
แล้วจะ DISCHARGE กลับมาที่เดิม คือ INFINITY (∞)

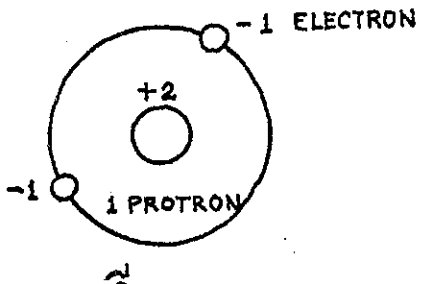
SOLID - STATE DEVICES

ใน ค.ศ. ๑๙๔๘ นักวิทยาศาสตร์ ชื่อ จอห์น บาร์ดีน และดับบลิว เอ็ช แบรทเทน แห่งห้องทดลอง เบลเทเลโฟน ได้ค้นพบว่าสามารถใช้คริสตอลในกิจการอีเลคตรอนิคส์ได้ นับว่าเป็นก้าวใหม่และเป็นผลดีต่อวงการอีเลคโทรนิคส์เป็นอย่างมาก ทั้งนี้เนื่องจาก ทรานซิสเตอร์ได้สร้างขึ้นจากคริสตัล (CRYTAL) ซึ่งไม่ต้องการไฟจุดใส้ทำให้ เป็นการประหยัดค่าใช้จ่ายลงมา นอกจากนี้ยังมีขนาดเล็กกว่า มีความทนทานกว่า อายุยืนกว่า และประสิทธิภาพสูงกว่าเป็นต้น ด้วยผลดีต่าง ๆ ของทรานซิสเตอร์เมื่อเปรียบเทียบกับหลอดทำให้เครื่องอีเลคโทรนิคส์ต่าง ๆ ในปัจจุบันเป็นส่วนมากใช้ทรานซิสเตอร์แทน หลอดตามวงจรที่ทรานซิสเตอร์สามารถทำงานแทนได้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งเครื่องรับวิทยุในปัจจุบันนี้นิยมใช้ทรานซิสเตอร์แทนหลอดทั้งสิ้น

โครงสร้างประมาณ (ATOMIC STRUCTURE) ราทราบแล้วว่า สสารหรือวัตถุต่าง ๆ ในโลกนี้สามารถจะแบ่งแยกลงไปได้เป็นส่วนเล็ก ๆ และเล็กที่สุดจนไม่สามารถมองเห็นได้ เช่นแบ่งเป็น อณู และปรมาณู เป็นต้น สำหรับปรมาณูนั้น เป็นส่วนที่เล็กที่สุดที่ทรงคุณภาพของการเป็นธาตุชนิดนั้น ๆ อยู่ภายในปรมาณูนั้นประกอบด้วย โปรตอน (PROTON) ซึ่งเป็นประจุบวกอยู่ในนิวเคลียส์ และมีอีเลคตรอน ซึ่งเป็นประจุลบหมุนอยู่รอบ ๆ เท่ากับจำนวน โปรตอนที่ปรากฏประจุบวกอยู่ เช่นปรมาณูของไฮโดรเจน ซึ่งมีโปรตอนอยู่ในนิวเคลียส์ ๑ ตัว ก็จะมีอีเลคตรอนหมุนรอบอยู่หนึ่งตัวดังรูป



นิวเคลียส์



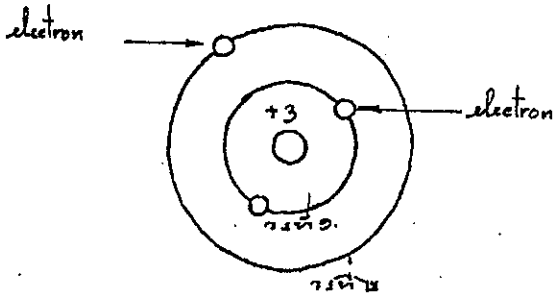
อีเลคตรอน

โครงสร้างปรมาณูของไฮโดรเจน

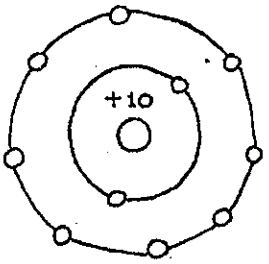
โครงสร้างปรมาณูของฮีเลี่ยม

สำหรับฮีเลี่ยมนั้น มีนิวเคลียส์ มีประจุบวก ๒ ตัว แสดงโดย โปรตอน ๒ ตัว และมี ELECTRON จำนวนเท่ากับจำนวนโปรตอน หมุนรอบอยู่คือ ELECTRON ๒ ตัว

อีเลคตรอน ที่หมุนรอบนิวเคลียส์ จะอยู่ห่างหรือใกล้ขึ้นอยู่กับระดับของกำลังงาน (ENERGY LEVELS) ซึ่งเกิดจากการยึดเหนี่ยวระหว่าง โปรตอนกับ อีเลคตรอน ทำให้เกิดเป็นวงขึ้นในระดับที่แน่นอน และมิใช่จะมีเพียงวงเดียว อาจมีหลายวงก็ได้แล้วแต่ชนิดของปรมาณู ซึ่งมีปริมาณของอีเลคตรอน ๓ ตัว หมุนรอบอยู่ตามรูป



โครงสร้างปรมาณูของลิทเธียม



โครงสร้างปรมาณูของนีออน

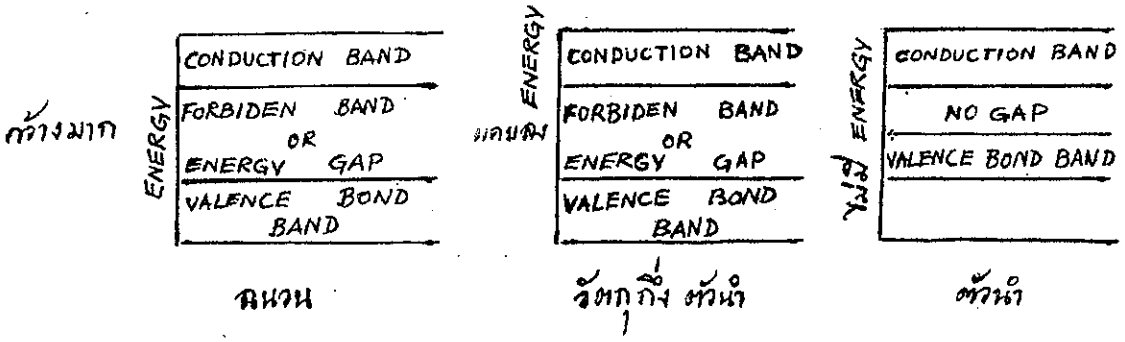
<u>การนำอิเลคตรอนออกจากปรมาณู</u> ปรมาณูของธาตุบางอย่างที่มี ELECTRON ในวงนอกสุดไม่ครบจำนวนนั้นสามารถนำออกได้ง่าย เนื่องจากเป็นปรมาณูที่ไม่มั่นคง และแรงยึดเหนี่ยวระหว่าง ELECTRON กับประจุบวกในนิวเคลียส์ไม่สู้มากนัก เพราะอยู่ในระยะห่างจากนิวเคลียส์มากที่สุด ไม่เหมือนในวงต้น ๆ กำลังที่ใช้ในการดึง ELECTRON ออกจากวง ได้แก่ เส้นแรงไฟฟ้า ความร้อนแสง และการกระแทกแรง ๆ โดย ELECTRON เป็นต้น ซึ่งเราทราบกันแล้วโดยอาการเหล่านี้เกิดขึ้นในหลอดสูญญากาศ และหลอดประจุแก๊ส เช่นการเผาไส้ให้คาโถดร้อนจนจ่าย ELECTRON ออกจากเส้นแรงไฟฟ้า ที่เพลทจะดึง ELECTRON ไปยังเพลท ทำให้เกิดกระแสไหล การที่ ELECTRON หลุดออกจากวงได้ ก็เนื่องจากกำลังงานที่เราใส่เข้าไป มีกำลังสูงกว่าการยึดเหนี่ยวระหว่าง ELECTRON กับประจุบวกในนิวเคลียส์ จึงสามารถนำเอา ELECTRON หลุดออกมาได้

การที่ ELECTRON หลุดออกไปจากวงของปรมาณู ก็ทำให้ปรมาณูนั้นเหลือประจุบวกอยู่ ทำให้ปรมาณูนั้นมีลักษณะเป็นไอออน คือไอออนบวก และสามารถรับ ELECTRON จากธาตุอื่นมาเพิ่มเติมได้ บางครั้งปรมาณูอาจได้รับ ELECTRON เกินจำนวนมากก็ได้ทำให้ปรมาณูนั้นมีประจุลบและเรียกว่าไอออนลบ และสามารถจ่าย ELECTRON ออกไปได้ในธาตุอื่น

<u>วัตถุกึ่งตัวนำ</u> (SEMICONDUCTOR) วัตถุต่าง ๆ ในทางไฟฟ้าตามที่เราเข้าใจแล้วเป็นส่วนมากนั้นแบ่งเป็นประเภทตัวนำ และฉนวน แต่ในเรื่องเกี่ยวกับทรานซิสเตอร์แล้วเราจะพบว่าวัตถุอีกประเภทหนึ่งเป็นประเภทวัตถุกึ่งตัวนำ ซึ่งมีความต้านทานอยู่กึ่งฉนวนและตัวนำ RESISTIVITY ของวัตถุกึ่งตัวนำนี้มีขนาด ๑๐^{๓} โอห์ม - ซม. (๑) เมื่อเปรียบเทียบกับตัวนำซึ่งมีขนาด ๑๐$^{-๖}$ โอห์ม - ซม. และ ๑๐^{๖} โอห์ม - ซม. สำหรับฉนวน และลักษณะการเปลี่ยนแปลง RESISTIVITY ของฉนวนและวัตถุกึ่งตัวนำจะลดลงอย่างรวดเร็วตามอุณหภูมิ สำหรับของตัวนำนั้นจะเพิ่มขึ้นอย่างช้า ๆ

ตามอุณหภูมิ – วัตถุกึ่งตัวนำที่ใช้กันมากในวงการ ELECTRON ปัจจุบันนี้มี แคดเมี่ยมซัลไฟด์ คอปเปอร์ออกไซด์ คอปเปอร์ซัลไฟด์ เยอร์มันเนียม เลดซัลไฟด์ ซิลิเนียม ซิลิคอล และซิลิตคอนคาร์ไบน์เป็นต้น

การเปรียบเทียบระหว่างฉนวน วัตถุกึ่งตัวนำและตัวนำนั้น เราอาจพิจารณาได้จากกำลังงานที่จะดึงเอา ELECTRON ออกไปอยู่ในย่านมีกระแสไฟไหลได้ตามรูปต่อไปนี้



จากรูปแสดงถึงกำลังงานที่จะดึง ELECTRON จากย่านต่าง ๆ ในปรมาณูของวัตถุต่าง ๆ นั้น จะเห็นได้ว่าวัตถุต่าง ๆ จะมีย่านต่าง ๆ ที่กำลังงานจะต้องมีอำนาจผ่านไปได้ตามชนิดของวัตถุนั้น ๆ เช่น ฉนวนย่านต่ำสุดคือย่าน วาเลนซ์บอนด์ ซึ่งเป็นย่านที่ปรมาณูของฉนวนอยู่ในสภาพปกติ ประกอบด้วยนิวเคลียส์และอีเลคตารอนหมุนรอบๆ ตามวงต่าง ๆ เมื่อมีกำลังงานมากขึ้น ELECTRON จะถูกดึงผ่านย่านหวงห้าม (FORBIDDEN BAND) ไปยังย่านมีกระแสไฟไหลได้โดยไม่หยุดอยู่ระหว่างย่านหวงห้าม ทั้งนี้ก็โดยต้องใช้กำลังงานเป็นจำนวนมากในการที่จะดึง ELECTRON จากย่าน วาเลนซ์บอนด์ ไปยังย่านมีกระแสไฟไหล โดยผ่านอำนาจของย่านหวงห้ามไปได้ ซึ่งฉนวนก็มีย่านหวงห้ามกว้างมาก ดังนั้นจึงต้องใช้กำลังงานสูงมากที่จะทำให้มีกระแสไฟไหลได้เพียงเล็กน้อยเท่านั้น

สำหรับวัตถุกึ่งตัวนำนั้นจะสังเกตุได้ว่า ย่านหวงห้ามนั้นแคบกว่าของฉนวน ดังนั้นกำลังงานที่จะใช้ในการดึง ELECTRON ให้ไปปรากฏในย่านมีกระแสไฟไหลน้อยกว่า ดังนั้นถ้าเราใส่แรงดันไฟฟ้าเข้าไปในวัตถุกึ่งตัวนำนี้ก็จะมีกระแสไฟไหลได้มากกว่าในฉนวน แต่ก็ยังน้อยกว่าตัวนำ

สำหรับตัวนำนั้นเนื่องจากไม่มีย่านหวงห้าม ดังนั้นถ้าเราใส่กำลังงานเข้าไปเพียงเล็กน้อยก็สามารถ ดึง ELECTRON ไปยังย่านมีกระแสไฟไหลได้ทันที

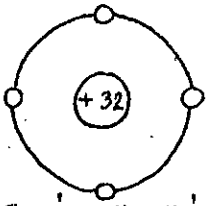
กำลังงานที่ใช้ดึง ELECTRON นั้นมีหน่วยเป็นอีเลคตรอนโวลท์ (ELECTRON VOLTS) หมายถึงกำลังงานที่ ELECTRON ได้รับต่อความต่างศักย์ ๑ โวลท์ ดังนั้นความกว้างของย่านหวงห้ามของฉนวนก็จะมีประมาณ ๑ ELECTRON VOLTS หรือมากกว่าของวัตถุกึ่งตัวนำจะมีประมาณ ๐.๑ ELECTRON VOLTS เช่นของเยอร์มันเนียม ส่วนของตัวนำนั้นเนื่องจากย่านหวงห้ามไม่มี จึงต้องการกำลังเพียงประมาณ ๐.๐๕ ELECTRON VOLT ในการดึง ELECTRON ไม่อยู่ที่ย่านกระแสไฟไหล

เยอร์มันเนียม เป็นวัตถุกึ่งตัวนำ ซึ่งมีความสำคัญมากเกี่ยวกับ การสร้างทรานซิสเตอร์ ตามปกติแล้ว เยอร์มันเนียมนี้เป็นตัวนำที่เลวแต่ ถ้าเราผสมสิ่งแปลกปลอมเข้าไปด้วย ก็จะช่วยให้กระแสไฟในเยอร์มันเนียมไหลมากขึ้น เยอร์มันเนียมถูกค้นพบโดยนักฟิสิกส์ชื่อ คลีเมนส์วิง เคลอ ในปี ค.ศ. ๑๘๘๖ และได้ขนานนามว่าให้เป็นเกียรติแก่ประเทศเยอร์มัน บ้านเกิดของ วิง เคลอ

ตัวนำอีกชนิดหนึ่งที่มีความสำคัญเกี่ยวกับทรานซิสเตอร์ก็คือ ซิลิคอน ซึ่งสามารถทนความร้อนต่ำ

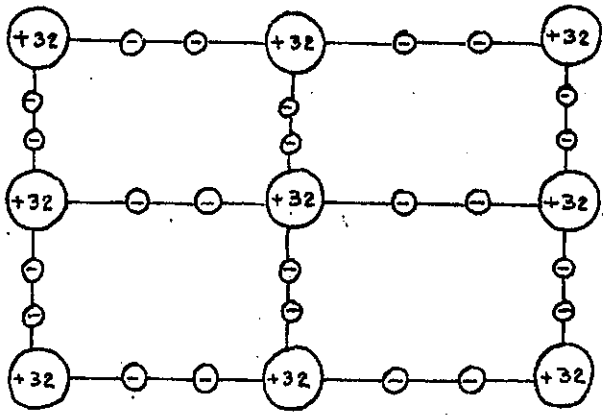
<u>หลักการทำงานของทรานซิสเตอร์</u>

<u>เยอร์มันเนียมคริสตัล</u> เยอร์มันเนียมมี ATOMIC NUMBER ๓๒ ซึ่งหมายความว่า ELECTRON ที่หมุนรอบวงต่าง ๆ นั้นจะบรรจุเต็มที่ในวงที่ ๑, ๒ และ ๓ คือ ๒ ตัว ๘ ตัว และ ๑๘ ตัว ตามลำดับ ELECTRON ที่เหลือ ๔ ตัว จะปรากฏในวงที่ ๔ ตามรูป



วงที่ ๔ โครงสร้างปรมาณูของเยอร์มันเนียม แสดงเฉพาะอีเลคตรอนในวงนอกสุด

อีเลคตรอนที่เหลืออยู่ ๔ ตัว ไม่เต็มตามจำนวนในวงที่ ๔ นั้น เรียกว่า วาเลนซ์อีเลคตรอน (VALENCE ELECTRON) เยอร์มันเนียมที่ใช้ในกิจการของทรานซิสเตอร์นั้นเป็นของแข็ง ซึ่งอยู่ในลักษณะของคริสตัล ซึ่งปรมาณูเรียงกันอย่างมีระเบียบ ถ้าจะเขียนรูปแสดงก็จะได้ดังนี้



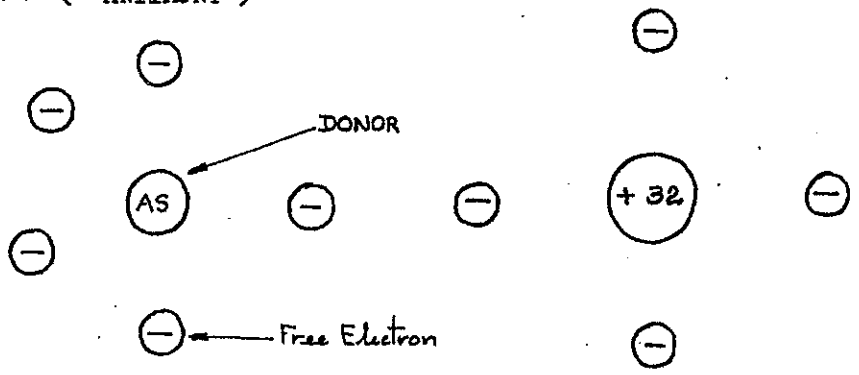
โครงสร้างของเยอร์มันเนียมคริสตัล

<u>อีเลคตรอนและโฮล (ELECTRON AND HOLES)</u> ELECTRON สามารถเคลื่อนไหวได้ว่องไว เนื่องจากมีน้ำหนักเบาและสามารถเคลื่อนที่จากจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่งได้ ดังนั้น ELECTRON จึงวิ่งไปมาอยู่ใน CRYSTAL ได้ เมื่อมีกำลังใส่เข้าไป ถ้า ELECTRON ในวงของปรมาณูหลุดออกไปก็จะทำให้เกิดประจุบวกขึ้น การที่เป็นเช่นนี้ เราเรียกว่า เกิดเป็นโฮลขึ้น (HOLES)

HOLE ก็คือ ELECTRON ที่หลุดหายไป หรือจะพูดเสียใหม่ว่า HOLE เกิดขึ้นได้เมื่อปรมาณูต่าง ๆ สูญเสีย ELECTRON ไป ทำให้เกิดประจุบวกและสามารถเคลื่อนที่ได้โดยอาการ

เยอร์มันเนียมประเภทเอ็น (N - TYPE GERMANIUM)

ตามปรกติในเยอร์มันเนียม CRYSTAL นั้นจะมี HOLE และ ELECTRON อิสระอยู่บ้าง ดังนั้นเพื่อเป็นการเพิ่มปริมาณ ELECTRON หรือ HOLE อิสระให้มากขึ้นก็โดยใส่สิ่งแปลกปลอม (IMPURITY) เข้าไปเพียงเล็กน้อย ประมาณ ๑ ในล้านส่วนเป็นต้น สิ่งแปลกปลอมนั้นก็จะเข้าไปร่วมวงกับปรมาณูของเยอร์มันเนียม สิ่งแปลกปลอมเหล่านี้ได้แก่ - อาร์เซนิค (ARSENIC) AS คือ แอนติโมนี (ANTIMONY)

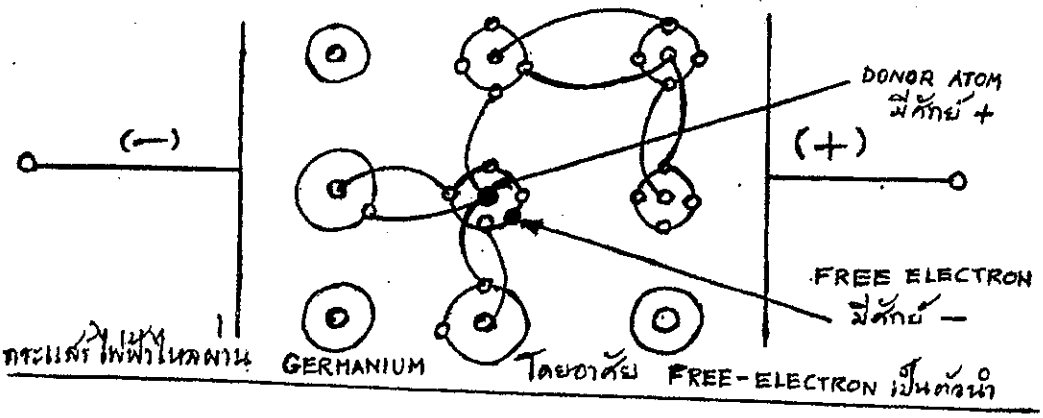


จากรูปแสดงถึงการเติมสิ่งแปลกปลอมได้แก่อาร์เซนิคเข้าไปผสมอยู่ในเยอร์มันเนียม คลิสตัล อาร์เซนิคมีวาเลนซ์อีเลคตรอนอยู่ ๕ ตัว เมื่อปรมาณูของ ARSENIC เข้าไปรวมกับปรมาณูของเยอร์มันเนียม ELECTRON ๔ ตัว ของ ARSENIC ก็จะเข้าไปรวมกับ ELECTRON ของเยอร์มันเนียม เพื่อรวมเป็น ๘ ตัว ซึ่งทำให้ปรมาณูของ ARSENIC มีความมั่นคงขึ้น ด้วย ELECTRON นอกสุดจำนวน ๘ ตัวนี้เอง ดังนั้น ELECTRON ตัวที่ ๕ ที่เหลืออยู่ก็คงจะลอยตัวอยู่ และคงอยู่ด้วยแรงดึงดูดของประจุบวกในนิวเคลียส์ของ ARSENIC แต่ก็มีกำลังอ่อนมากสามารถดึงออกไปได้ โดยง่ายซึ่งในการนี้ทำให้เยอร์มันเนียม CRYSTAL มี ELECTRON อิสระ ซึ่งมีประจุเป็นลบ และสามารถจ่ายออกไปได้เมื่อมีกำลังดึงออกไป เราเรียก เยอร์มันเนียมคลิสตัลประเภทนี้ว่า ประเภท (N - TYPE) สิ่งแปลกปลอมที่ผสมเข้าไปเราเรียกว่าโดนอร์ (DONOR)

การไหลของกระแสไฟภายใน GERMANIUM N - TYPE นี้เกิดจากการเคลื่อนตัวของ ELECTRON ซึ่งมีประจุเป็นลบ เป็นหลัก

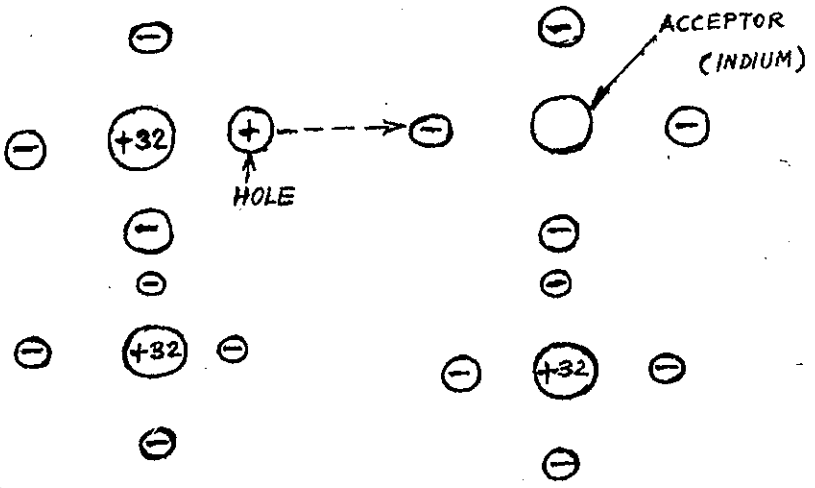
DONOR - โดย ARSENIC ผสมกับ GERMANIUM มีศักดิ์เป็นบวก ขณะที่ FREE - ELECTRON มันไหลไป DONOR มีศักดิ์เป็นบวก +

FREE - ELECTRON ก็คือ ELECTRON อิสระนี่เอง มันจะอยู่อย่างเฉย ๆ คือมันลอยอยู่เฉย ๆ กระแสไฟฟ้าจะไหลได้ก็ต้อง FREE ELECTRON เป็นตัวนำ

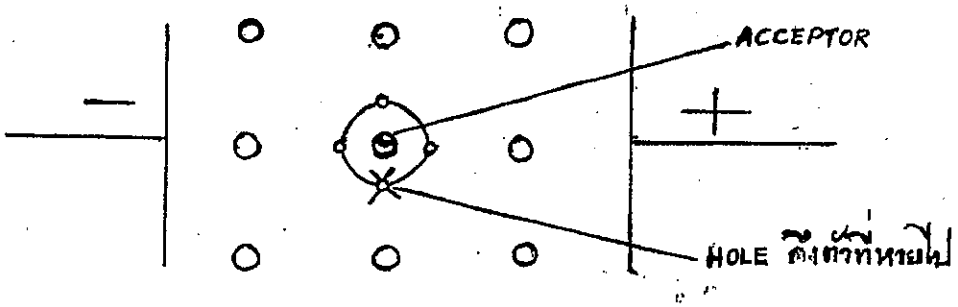


เยอร์มันเนียมประเภทที่ (P - TYPE GERMANIUM)

ในกรณีเยอร์มันเนียมประเภท N ถ้าเราใส่สิ่งแปลกปลอมเช่นอาร์เซนิค ซึ่งมี VALENCE ELECTRON ๕ ตัวเข้าไปทำให้เยอร์มันเนียมนั้นมีอีเลคตรอนอิสระปรากฏขึ้นและในทำนองเดียวกันถ้าเราใส่สิ่งแปลกปลอมซึ่งมี VALENCE ELECTRON ๓ ตัวเข้าไป เราก็จะได้ HOLE ปรากฏขึ้น



สิ่งแปลกปลอมที่ทำให้เกิด HOLE นั้นได้แก่ บอรอน(BORON) แคลเลี่ยม (GALLIUM) และ อินเดียม(INDIUM) เป็นต้น และได้ชื่อว่า ACCEPTOR เมื่อสิ่งแปลกปลอมเหล่านี้เข้าไปร่วมในเยอร์มันเนียม คริสตัล(GERMANIUM CRYSTAL) เช่นถ้าใส่ ELECTRON เข้าไปในปรมาณูของ INDIUM ซึ่งมี VALENCE ELECTRON อยู่ ๓ ตัว ก็ต้องการ ELECTRON อีก ๑ ตัว เพื่อให้ครบวง จึงจะดึงเอา ELECTRON จากปรมาณูของ GERMANIUM ทำให้เกิด HOLE ขึ้นและปรมาณูที่เกิด HOLE ขึ้นนี้ก็สามารถดึง ELECTRON จากปรมาณูอื่นได้ เมื่อมีกำลังงานเช่นเส้นแรงไฟฟ้าปรากฏขึ้นทำให้ HOLE เปลี่ยนไป อาการนี้ก็คือการเกิดกระแสไฟไหล อันเกิดจากการเคลื่อนที่ของ HOLE เป็นหลัก



P - TYPE GERMANIUM มี INDIUM (In) ATOMIC NUMBER = 31

∴ VALENCE = ๓ ตัว

ตามรูปข้างบน ATOM ตัวกลางเป็นรู เพราะขาด ELECTRON ไป ๑ ตัว ตัวที่ขาดเราเรียกว่า HOLE มีคุณสมบัติทางไฟฟ้าเป็น + (บวก)

P - TYPE เราเอา INDIUM ผสมกับ GERMANIUM ๑: ๑๐๐๐๐๐๐ ส่วน ACCEPTOR มี CHART เป็น - ACCEPTOR ภายในมีอยู่ ๓ ตัว แต่ภายนอกมีการทำงานอยู่ ๔ ตัว จึงขาดไป ๑ ตัว เลยเหลือ ๑ จึงมีศักย์เป็นลบ HOLE เคลื่อนจากทางบวกไปทางลบ โฮล (HOLE) พยายามดึง ELECTRON เข้าตัวมัน

P-TYPE อาศัย HOLE เป็นตัวนำกระแสไฟฟ้าให้ไหลผ่าน สรุปแล้วกระแสไฟฟ้าไหลผ่านได้ โดยอาศัย HOLE เป็นตัวนำ แต่เมื่อพูดถึงภายนอกแล้วกระแสไฟฟ้าไหลจากลบไปบวกเหมือนกัน ผิดกันแต่ภายในเท่านั้น คือ N - TYPE อาศัย FREE - ELECTRON เป็นตัวนำ P - TYPE อาศัย HOLE เป็นตัวนำ

GERMANIUM ทั้ง ๒ ประเภทนี้นำมาประกอบกันขึ้นเป็น ทรานซิสเตอร์ (TRANSISTOR) การไหลของกระแสไฟใน GERMANIUM นั้นก็ขึ้นอยู่กับประเภทของ GERMANIUM คือ

N - TYPE - ELECTRON ไหล และประเภท P-TYPE - HOLE ไหล ซึ่งการไหลของ HOLE หรือ ELECTRON ก็คือการไหลของ ของกระแสไฟฟ้านั่นเอง แต่ก็ถือว่าเป็นหลักสำหรับการสังเกตุเท่านั้น N ซึ่งหมายถึงประเภทของเคริเออร์(CARRIER) ว่าเป็น HOLE หรือ ELECTRON

ใน GERMANIUM ประเภท N - TYPE อาจมี HOLE ปรากฏอยู่ได้เนื่องจากได้รับกำลังงานจากความร้อนหรือแสง แต่ก็เป็นจำนวนน้อย และในทำนองเดียวกัน ใน GERMANIUM ประเภท P - TYPE ก็จะมี ELECTRON อิสระปรากฏอยู่อันเกิดจากกำลังงานดังกล่าวแล้ว และมีจำนวนน้อยเช่นกัน จึงถือว่าเป็นส่วนน้อย และส่วนใหญ่นั้นเกิดจากการผสมของสิ่งแปลกปลอม กระแสไฟอันเกิดจากส่วนย่อย และส่วนใหญ่นั้นเกิดจากการผสมของสิ่งแปลกปลอม กระแสไฟอันเกิดจากส่วนย่อย และส่วนใหญ่นั้นจะมีทิศทางตรงกันข้าม

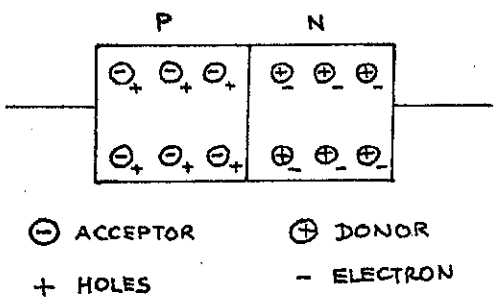
DIODE มี JUNCTION DIODE

POINT CONTACT DIODE

JUNCTION DIODE ถ้าเราเอา GERMANIUM ประเภท P - TYPE และประเภท N - TYPE มาแตะกันเข้าก็จะเกิดเป็น GERMANIUM DIODE ประเภท PN JUNCTION ขึ้น

POINT CONTACT DIODE ก็คือก้อนแร่สมัยก่อนที่เอาสายไฟทองแดงเที่ยวเหยาหาแง่ของมัน

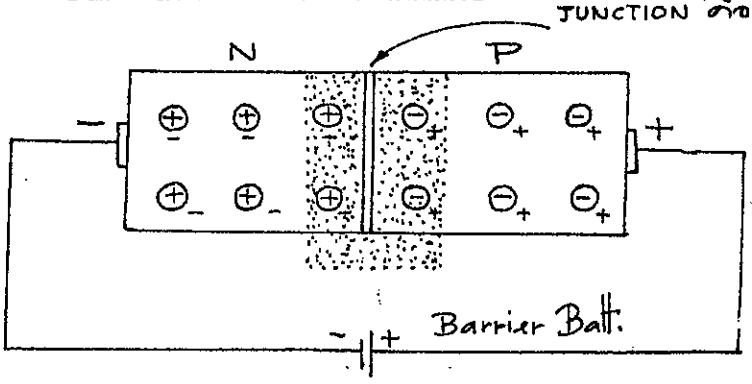
JUNCTION DIODE



ตามรูป GERMANIUM ประเภท P มีเครื่องหมายลบอยู่ในวงกลมซึ่งหมายถึง ACCEPTOR ซึ่งดึงเอาประจุลบจากปรมาณูข้างเคียงเพื่อให้ครบวง และเครื่องหมายบวกหมายถึง HOLE ซึ่งเป็นประจุบวกปรากฏอยู่ สำหรับเยอรมันเนียมประเภท N นั้นมีเครื่องหมายบวกอยู่ในวงกลม ซึ่งหมายถึง DONOR

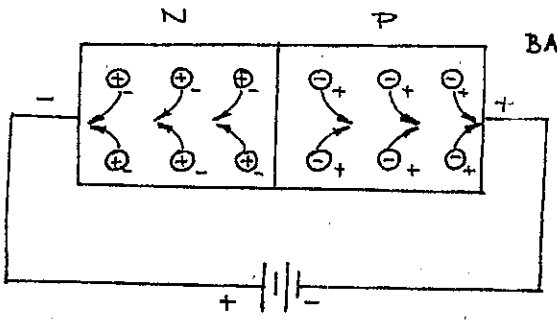
DONOR ซึ่งมี ELECTRON หลุดออกไป ทำให้ปรากฏประจุบวกอยู่ และเครื่องหมาย ก็หมายถึง PREE - ELECTRON (อีเลคตรอนอิสระ) ซึ่งเป็นประจุลบ

ในกรณีที่เรานำเอ เยอร์มันเนียมทั้ง ๒ ประเภทมาแตะกัน และเนื่องจากที่มีประจุที่เป็นอิสระอยู่ห่างกัน ดังนั้น ELECTRON ในเยอร์มันเนียมประเภท N ก็จะพยายามเดินทางเข้าไปรวมตัวกับประจุบวกใน GERMANIUM ประเภท P - TYPE และในทำนองเดียวกัน HOLE ใน GERMANIUM P - TYPE - - - ก็จะพยายามเดินทางเข้าไปรวมตัวกับประจุลบใน N - TYPE : GERNANIUM แต่เนื่องจากใน P - TYPE GERMANIUM มีประจุลบของ ACCEPTOR ปรากฏอยู่ ดังนั้นจึงมีกำลังผลัก ELECTRON N ประเภท N ไม่ให้ข้ามแดนเข้าไปได้ และเช่นเดียวกับประจุบวกของ DONOR ใน N-TYPE ก็จะเป็นตัวผลัก HOLE ไม่ให้ข้ามแดน คือส่วนที่แตะกันนั้นไปได้ แต่ถึงอย่างไรก็ตาม อาจจะมีกำลังงานความร้อน ซึ่งสามารถทำให้ HOLE หรือ ELECTRON ฝ่าแรงผลักข้ามแดนไปได้บ้าง แต่ก็มีจำนวนน้อยเหลือเกิน ส่วนใหญ่ก็คงอยู่ภายใน GERMANIUM แต่ละประเภทนั่นเอง



ตรงกลางบริเวณรอยต่อเหมือนกับมี BATT. อันหนึ่งต่ออยู่โดยมีขั้วลบอยู่ทาง N ขั้วบวกอยู่ทาง P เมื่อ PREE - ELECTION จะพยายามดันเข้าไปรวมตัวอยู่ HOLE มันจะถูก ACCEPTRON ดันไว้เมื่อเราเอา BATT. มาต่อเข้าโดยเอาขั้ว - ต่อเข้าทาง N และขั้วบวกต่อทาง P FREE - ELECTRON จะถูกแรงเคลื่อนไฟฟ้าจาก BATT. แรงกว่าดันเอา FREE - ELECTRON ที่มีศักย์เป็น (-) ดันเข้าไปชิดบริเวณรอยต่อ เพราะ (-) กับ (-) ย่อมดันกัน เมื่อ HOLE มีศักย์เป็น บวก ถูกแรงดันจาก BATT. + ก็ดันมารวมอยู่ใกล้ ๆ บริเวณรอยต่อ FREE - ELECTRON จะกระเด็นมารวมกับ HOLE เมื่อ FREE ELECTRON หายไปเสีย ๑ ตัว ตัวต่อไปก็เข้ามาแทนที่เช่นนี้เรื่อย ๆ ไป ELECTRON ที่ไหลมารวมกับ HOLE ก็จะมีศักดิ์เป็น (-) เสมอ เพราะมันไหลครบวงจร การต่อแบบนี้เราเรียกว่าต่อแบบ " FORE WARD BIASING "

N เปรียบเหมือน NEGATIVE คือลบ หรือ N - TYPE นั่นเอง ดังนั้นเราจึงถือว่ามันเป็นลบไป

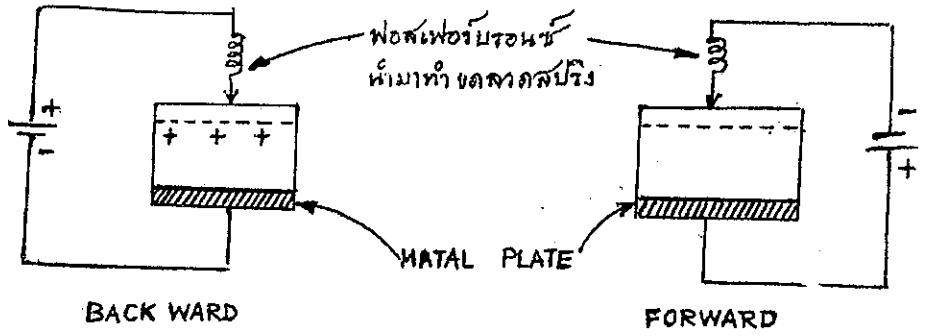


ถ้าเราต่อขั้ว BATT. ผิดคือเอา - ของ BATT. ต่อกับ บวกของ P - TYPE และ บวกของ BATT. ต่อกับ - ของ N-TYPE กระแสจะไหลน้อยในทางปฏิบัติ เมื่อเราต่อแบบนี้แล้ว FREE-ELECTRON ก็จะมารวมกับศักย์บวก HOLE ซึ่งมีศักย์เป็นบวกจะไปรวมกับ ELECTRON (-) ของขั้ว BATT. ผลสุดท้าย กระแสในตัวของมันเกือบจะไม่มีกระแสไหลเลย และต่อแบบนี้เรียกว่า BACKWARD BIASING จากการที่เราเอา VOLTAGE สูง ๆ ใส่เข้าไปมันจะทนไม่ไหว คือทะลุไปเลย ดังนั้นเราจึงต้องใช้ VOLTAGE ต่ำและ CURRENT ต่ำ ๆ ให้มันจึงจะทำงานได้ ดังนั้นเราจึงใช้มันเป็นตัว RECTIFIER ได้ที่มี VOLTAGE ต่ำ ๆ และกระแสต่ำ ๆ

สรุปได้ว่า ถ้าเราต่อ VOLTAGE เข้ากับ GERMANIUM ในแบบ FORWARD คงทำให้กระแสไฟไหลแรง และความต้านทานต่ำ ถ้าต่อแบบ BACKWARD จะทำให้กระแสไฟไหลน้อยมาก และมีความต้านทานสูง

POINT CONTACT DIODE

GERMANIUM DIODE ชนิด POINT CONTACT ประกอบขึ้นด้วยแท่ง GERMANIUM ประเภท N มีลักษณะเป็นแท่งสี่เหลี่ยม และใช้เส้นลวดมีลักษณะเป็นหนวดแมวทำด้วย PHOSPHOR-BRONZE หรือ BERRILLIUM - COPPER ให้ปลายกดติดกับแท่ง GERMANIUM บริเวณกึ่งกลางแท่ง ในด้านตรงข้ามมีแผ่นโลหะแป๊ะติด เพื่อต่อสายออกไปอีกข้างหนึ่ง



ถ้าเราใส่ BATT เข้าไปจะทำให้เกิดความร้อนที่ปลายของขดลวดสปริง ทำให้ปลายของขดลวดแตะกับผิวของ N - TYPE GERMANIUM ชั่วระยะเวลาอันสั้น บริเวณผิวด้านบนจะมี ELECTRON อยู่รอบ ๆ

ข้อดี JUNCTION ทนกระแสได้สูง INTERNAL CAPACITANCE สูง

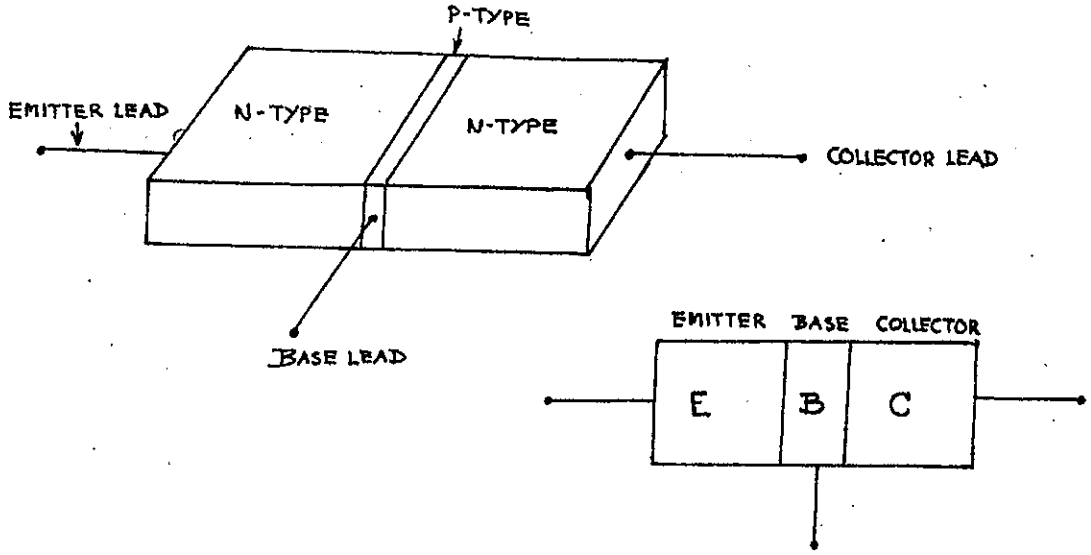
ข้อดี POINT CONTACT ทนกระแสต่ำ INTERNAL CAPACITANCE ต่ำ

JUNCTION TRANSISTORS แยกได้เป็น ๒ ชนิด

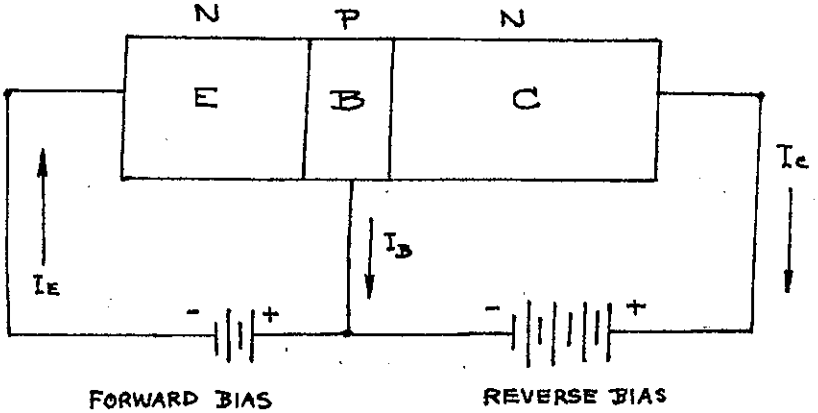
๑. แบบ NPN TRANSISTOR

๒. แบบ PNP TRANSISTOR

JUNCTION TRANSISTORS แบบ NPN ประกอบด้วยแผ่น P- TYPE GERMANIUM บาง ๆ อยู่ระหว่าง N - TYPE GERMANIUM ซึ่งมีขนาดกว้างกว่า และมีขั้วหรือสายต่อออกไปจากแผ่น GERMANIUM ต่าง ๆ เหล่านี้



แผ่น N - GERMANIUM ที่อยู่ทางซ้ายมือทำหน้าที่เป็นเอ็มมิทเตอร์ แสดงภาวะว่ามี ELECTRON อิสระปรากฏอยู่ แผ่นกลางซึ่งบางกว่าเป็น P - GERMANIUM ทำหน้าที่เป็นเบส แสดงภาวะว่ามี HOLE เกินกำหนด และขวามือคือ N-GERMANIUM ทำหน้าที่เป็นคอลเลคเตอร์ ไบอัสของทรานซิสเตอร์

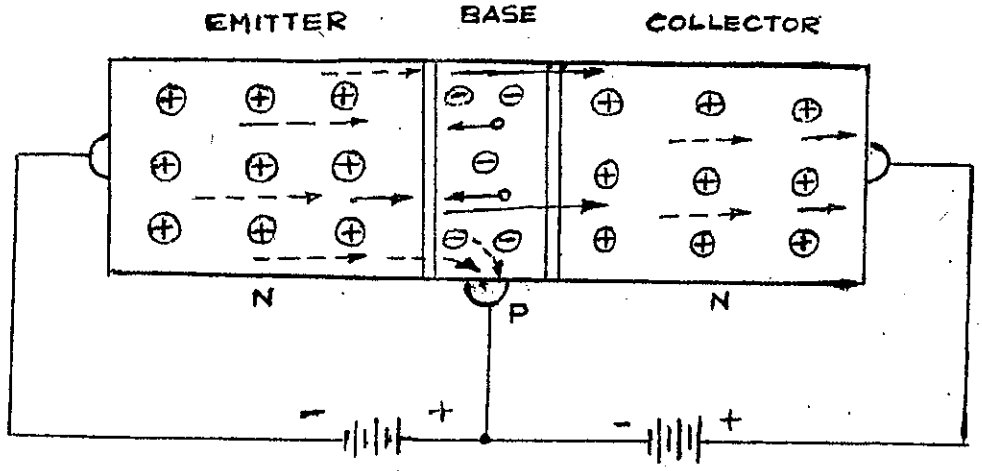


เมื่อเราต่อ BIAS เข้ากับ EMITTER กับ BASE และระหว่าง COLLECTOR กับ BASE ตามรูป กระแสไฟก็จะไหลระหว่าง EMITTER กับ BASE ในลักษณะ FORWARD BIAS แต่เนื่องจาก BASE ถูกสร้างขึ้นโดยให้มีขนาดบางมาก ดังนั้น ELECTRON ที่มาจาก EMITTER ก็จะรวมตัวกับ HOLE ใน BASE บ้าง ส่วนที่เหลือก็จะถูกอำนาจของเส้นแรงไฟฟ้า บวกดึงผ่านไปยัง COLLECTOR แล้วกลับไปสู่ EMITTER EMITTER โดยผ่านทาง BATT. ซึ่งต่ออยู่ในลักษณะมีขั้วเสริมกันแต่ถ้าหาก BASE มีขนาดโตมากขึ้น กระแสไฟก็จะไหลใน BASE มากขึ้น เนื่องจาก ELECTRON รวมตัวกับ HOLE มากขึ้น และเหลือจำนวนน้อยลงที่จะถูกดึงไปยัง COLLECTOR แต่การสร้างของ TRANSISTOR นั้น BASE มีความบางมาก ดังนั้น ELECTRON ส่วนใหญ่จาก EMITTER จะเดินทางไป COLLECTOR และจำนวนน้อยก็จะรวมตัวกับ HOLE ใน BASE ทำให้กระแสไฟใน BASE น้อยมากอาจจะเป็น ๙๕ - ๙๙ % ไปยัง COLLECTOR และเหลือ ๑ - ๕ % สำหรับรวมตัวกับ HOLE ปริมาณของ ELECTRON จาก EMITTER นั้นขึ้นอยู่กับ VOLTAGE ระหว่าง EMITTER กับ BASE ถ้า VOLTAGE ต่ำลง ปริมาณของ ELECTRON ก็จะต่ำลง เมื่อเปรียบเทียบกับหลอด ELECTRON จะเห็นได้ว่า PLATE เป็นตัวรับ ELECTRON จากคาโถด และปริมาณของ ELECTRON จะถูกควบคุมโดยกริดโวลเตจ (GRID VOLTAGE) สำหรับในทรานซิสเตอร์นั้นกระแสไฟ EMITTER และ COLLECTOR เปลี่ยนแปลงหรือควบคุมได้โดยโวลเตจระหว่าง BASE กับ EMITTER

กฎการให้ BIAS ทรานซิสเตอร์มีอยู่ ๒ ข้อ คือ

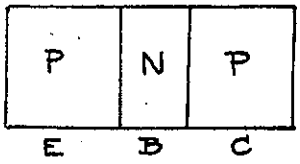
๑. EMITTER ต้อง BIAS แบบ FORWARD หรือทางที่มีความต้านทานต่ำ

๒. COLLECTOR ต้อง BIAS ชนิด REVERS หรือทางที่มีความต้านทานสูง



N P N TRANSISTOR

P N P TRANSISTORS ทรานซิสเตอร์แบบ P N P ก็คล้ายกับแบบ P N P ก็คือแบบ P N P นั้น มีแผ่น N - TYPE GERMANIUM และ P - TYPE GERMANIUM นำมาเตะกันโดยเรียงตามชื่อคือ N P N สำหรับแบบ P N P นี้ก็มีแผ่น P- TYPE GERMANIUM ไว้ทั้งซ้ายและขวา ส่วนตรงกลางก็จะวางไว้ด้วยแผ่น N - TYPE GERMANIUM

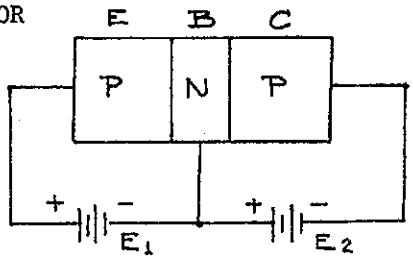


E = EMITTER

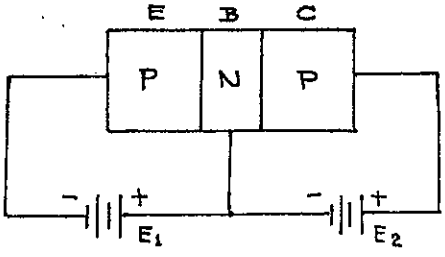
B = BASE

C = COLLECTOR

จากรูปแสดงถึงลักษณะทรานซิสเตอร์แบบ P N P ซึ่งประกอบด้วยแผ่น GERMNIUM แบบ P - TYPE ทางซ้ายมือเป็น EMITTER GERMANIUM ประเภท N - TYPE เป็น BASE และมีขนาดบางมาก GERMANIUM ประเภท P - TYPE อยู่ทางขวาทำหน้าที่เป็น COLLECTOR



FORWARD

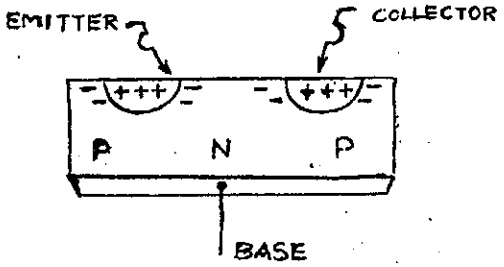


REVERSE

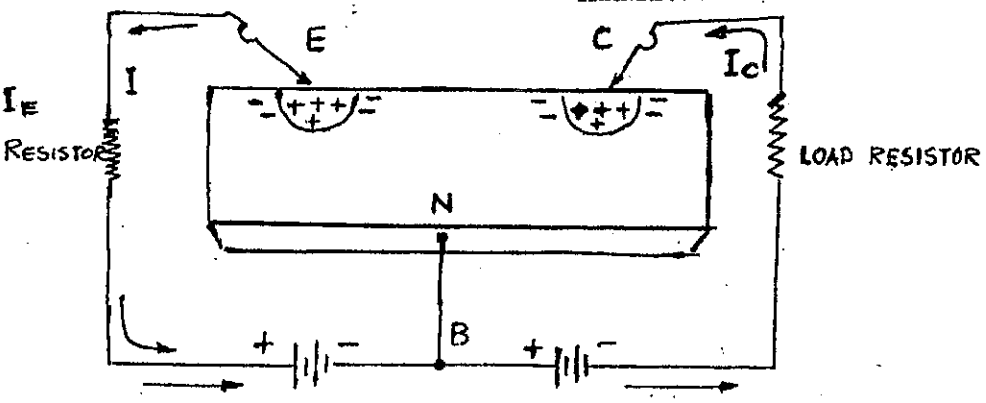
การให้ BIAS ทรานซิสเตอร์แบบ PNP ก็ทำตามกฎคือ ที่ E เป็น BIAS แบบ FORWARD โดยต่อขั้วบวกของ BATT เข้ากับ E และขั้วลบของ BATT เข้ากับ B สำหรับทาง C นั้นต่อ BIAS แบบ REVERSE คือขั้วลบของ BATT ต่อกับ C และขั้วบวกต่อกับ BATT ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบถึงขั้ว BATT. ที่ใช้เป็น BAIS สำหรับ TRANSISTOR แบบ NPN กับ PNP แล้วก็จะเห็นว่ามีขั้วตรงกันข้าม

การไหลของกระแสภายในตัวทรานซิสเตอร์แบบ PNP นี้เป็นไปโดยอาการของ HOLE คือเมื่อ HOLE เคลื่อนตัวจาก E ไปยัง B ก็จะรวมตัวกับ ELECTRON ของ BASE บ้าง ทำให้เกิดกระแสไฟ BASE แต่ก็เป็นเพียงจำนวนน้อย ส่วน HOLE ที่เหลือเป็นส่วนมาก นั้นก็จะถูกเส้นแรงไฟฟ้าลบที่ขั้วของ C ดึงผ่าน B ไปยัง C เนื่องจาก B มีความบางมาก เมื่อ HOLE เคลื่อนตัวไปถึง C ก็จะรวมตัวกับ ELECTRON จาก BATT และในขณะเดียวกัน ELECTRON จำนวนเท่ากับ HOLE ที่รวมตัวก็จะหลุดออกจาก E เข้าไปยังขั้ว + ของ BATT ทำให้เกิด HOLE ใหม่ ซึ่งจะเห็นว่ากระแสที่ไหลภายนอกทรานซิสเตอร์นั้นเป็นไปโดยอาการของ ELECTRON ถึงแม้กระแสไฟภายในทรานซิสเตอร์จะเป็นไปโดยอาการของ HOLE

POINT CONTACT TRANSISTOR ก็สร้างขึ้นคล้าย ๆ กับ DIODE เต่ใช้เส้นลวดฟอสเฟอร์บรอนซ์ ๒ อันแหย่ติดกับแท่ง N - TYPE GERMANIUM ห่างกันประมาณ ๒ มิล (๑ มิล = ๑๐ - ๓ นิ้ว) ลวดแต่ละเส้นมีเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ ๐.๕ มิล สำหรับแท่ง N - TYPE GERMANIUM หนาประมาณ ๒๐ มิล กว้าง - ยาวประมาณ ๕๐ ตารางมิล ลวดเส้นหนึ่งมีหน้าที่เป็น EMITTER อีกเส้นหนึ่งเป็น COLLECTER สำหรับแท่ง GERMANIUM ทำหน้าที่เป็น BASE มีแผ่นโลหะแปะติดเมื่อต่อสายไปใช้งาน



วิธีการต่อไป ก็เช่นเดียวกับ DIODE คือปล่อยกระแสไฟผ่านเส้นลวดเข้าไปในแท่ง GERMANIUM ทำให้เกิดหย่อมของ GERMANIUM ประเภท P ขึ้นบริเวณปลายแตะเส้นลวด ทำให้เกิดเป็น P - TYPE TRANSISTOR ขึ้นมา



การต่อ BIAS เข้ากับ POINT CONTACT TRANSISTOR แบบ GERMANIUM นี้ก็เช่นเดียวกับชนิด JUNCTION แบบ P N P ความต้านทานที่ต่ออยู่กับ E ก็เพื่อกำจัดปริมาณของกระแสไฟ ความต้านทานที่ต่อกับ ก็เพื่อเป็น LOAD การต่อแบบนี้ทำให้เกิดกระแสไหลใน E และ C เป็นไปตามอาการไหลของกระแสไฟสำหรับ P N P ดังกล่าวแล้ว ซึ่งกระแสไฟใน C ควรจะน้อยกว่ากระแสใน E เช่นใน TRANSISTOR ชนิด JUNCTION แต่ปรากฏว่ากระแสไฟ C สูงกว่า E เช่นตัวอย่างการเปลี่ยนแปลงของกระแส E ๑ มิลลิแอมป์ ทำให้กระแส C เปลี่ยน ๒ ถึง ๓ มิลลิแอมป์ สำหรับ POINT CONTACT TRANSISTOR

ถ้ามีคลื่นสัญญาณใส่เข้าที่ E ก็จะเกิด VOLTAGE ทางออกที่ C มีเฟสเดียวกัน ตามอาการเช่นเดียวกับ JUNCTION TRANSISTOR แบบ P N P

CURRENT AMPLIFICATION สำหรับ TRANSISTOR เรียกว่า (แอลฟา) หมายถึง อัตราส่วนการเปลี่ยนของกระแสไฟ COLLECTOR ต่อการเปลี่ยนแปลงของกระแสไฟ EMITTER สำหรับ POINT CONTACT TRANSISTOR จะมีค่าระหว่าง ๒ - ๓ ส่วน JUNCTION TRANSISTOR มีค่าน้อยกว่า ๑ คือประมาณ ๐.๙๕ - ๐.๙๙ ถ้าเราพิจารณาถึงการขยาย VOLTAGE และทาง POWER ของ POINT CONTACT นี้จะเห็นได้ดังต่อไปนี้

ความต้านทาน E จะมีค่าประมาณ ๓๐๐

" C " ๒๐,๐๐๐

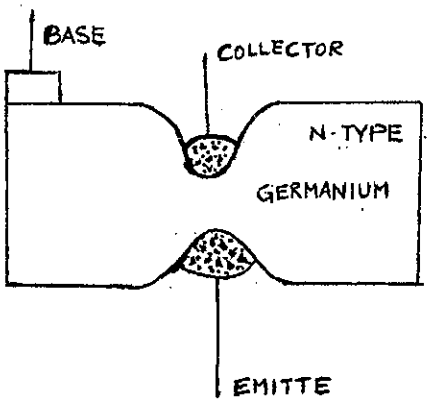
ที่กล่าวมานี้เป็นการเปรียบเทียบระหว่าง JUNCTION TRANSISTORกับ POINT CONTACT TRANSISTOR และหลอด ELECTRON เกี่ยวกับการใช้งานและผลของการใช้งานต่าง ๆ ตลอดจนข้อแตกต่างระหว่างทั้งสองแบบ

กำลัง (POWER) JUNCTION TRANSISTOR สามารถจ่ายกำลังได้สูงกว่า POINT CONTACT TRANSISTOR เพราะ JUNCTION มีเนื้อที่โตและกว้างกว่า POINT CONTACT จึงทำให้กระแสไฟไหลผ่านได้สะดวก กระจายความร้อนไปได้ง่าย ส่วน POINT CONTACT มีเนื้อที่เล็ก การไหลของกระแสลำบาก ทำให้เกิดความร้อนได้เร็ว การขยายของ POINT ,CONTACT ขยายได้น้อยมากเป็นเพียงร้อยๆ มิลลิวัตต์เท่านั้นเอง ส่วน JUNCTION ขยายไว้สูงมากมีกำลังถึง ๔๐ วัตต์ หรืออาจสูงกว่านี้ TRANSISTOR แบบ JUNCTION นี้มีปลอกโลหะเป็นรูปกลีบ ๆ กรอบอยู่ เพื่อเป็นตัวระบายความร้อนให้เร็วขึ้น

เสียงรบกวน (NOISE) เมื่อพิจารณาถึงเรื่องเสียงแล้ว แบบ JUNCTION นี้มีเสียงรบกวนอยู่ระหว่าง ๑๐ - ๓๐ เดซิเบล ปกติแล้วอยู่ในราว ๒๐ เดซิเบล ส่วนแบบ POINT CONTACT จะมีมากกว่าประมาณ ๒ - ๓ เท่า แต่ปัจจุบันนี้มีการปรับปรุงให้เสียงรบกวนน้อยลง เหลืออยู่ประมาณ ๑๐ เดซิเบล ปริมาณของเสียงรบกวนนี้จะลดลงเมื่อความถี่สูงขึ้น และจะมากขึ้นเมื่อความถี่ลดลง

<u>แอลลอยจังค์ชั่นทรานซิสเตอร์</u> (ALLOY JUNCTION TRANSISTOR)

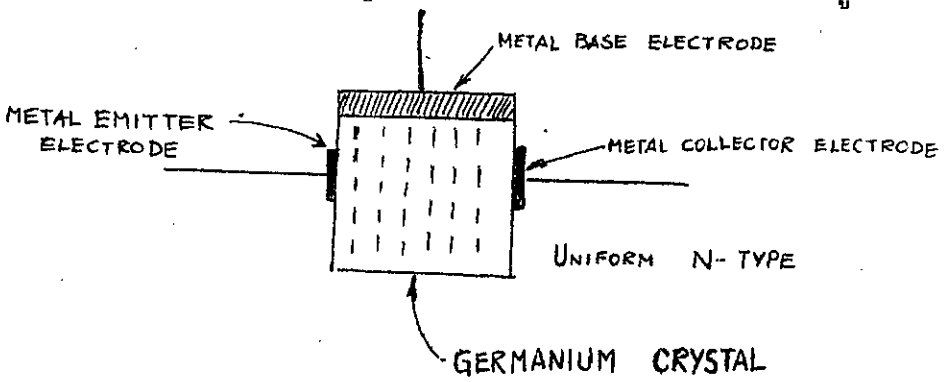
ทรานซิสเตอร์ประเภทนี้ บริษัท RCA เป็นผู้ประดิษฐ์ขึ้น ดังรูป



แบบนี้ประกอบขึ้นด้วยแผ่น BASE ซึ่งเป็นแผ่น N - TYPE GERMANIUM ค่อนข้างหนาและเจาะรูเล็ก ๆ จากนั้นเอา INDIUM ใส่ลงไปในรูข้างหนึ่ง และบริเวณตรงกันข้ามอีกข้างหนึ่ง จากนั้นก็ใส่ความร้อนให้ INDIUM ละลาย (ความร้อนไม่เกินจุดละลายของ GERMANIUM) INDIUM ก็จะหลอมตัวเข้าไปใน GERMANIUM จนมีระยะห่างระหว่าง INDIUM ทั้งสองข้าง

ตามต้องการ เนื่องจาก INDIUM เป็นธาตุที่มีปรมาณูประเภท ACCEPTOR ดังนั้น TRANSISTOR นี้จึงเป็น PNP TRANSISTOR เพื่อป้องกันชำรุดและความชื้นก็นำไปบรรจุในหลอดโลหะ หรือพลาสติค เพื่อความปลอดภัยอีกขั้นหนึ่ง การสร้างโดยวิธีนี้ทำให้เกิดผลต่าง ๆ คือ ระยะห่างระหว่าง E กับ C - เข้าอยู่ในราว ๐.๐๐๕ นิ้ว และเป็นการลดเวลาการเดินทาง (TRANSIT TIME) และนอกจากนั้น RESISTANCE ของ B ต่ำลง เนื่องจากแผ่น GERMANIUM ที่ B นั้น มีขนาดค่อนข้างหนาโดยทั่วไป เว้นแต่บริเวณส่วนแตะระหว่าง E กับ C เท่านั้น อีกอย่างหนึ่งก็คือ เส้นผ่าศูนย์กลางของ E และ C มีขนาดประมาณ ๐.๐๑๐ และ ๐.๐๑๕ นิ้วตามลำดับ ดังนั้นจึงเป็นการลดอาการที่เกิดจาก CAPACITANCE ผลต่าง ๆ เหล่านี้ ทำให้ความถี่ RESPONSE สูงขึ้น ทรานซิสเตอร์แบบนี้ บางครั้งเรียกแบบแอลลอย (ALLOY) หรือแบบดีฟิวชั่น (DIFFUSION) จะเป็น NPN หรือ PNP ก็ได้ ที่กล่าวมานี้เป็นแบบ PNP สำหรับแบบ NPN นั้นก็ใช้แผ่น GERMANIUM ประเภท P และใช้ธาตุที่มี VALENCE ELECTRON 5 ตัว (ประเภท DONOR) แทน INDIUM

เซอร์เฟส - เบริเออร์ ทรานซิสเตอร์ (SURFACE BARRIER TRANSISTOR) เป็น TRANSISTOR ที่ใช้อยู่ในย่านความถี่สูงได้เก่แบบนี้ บริษัท PHILCO เป็นผู้ผลิตขึ้นตามรูป



TRANSISTOR แบบนี้ประกอบด้วยแท่ง N - TYPE GERMANIUM มีแผ่นโลหะเปะติดโดยอาศัยปฏิกริยาทางไฟฟ้าและเคมีประกบกัน ทั้งสองด้าน ทำหน้าที่เป็น E & C และมีโลหะติดกันกับด้านบนเพื่อเป็น B ลักษณะผิดกันกับแบบ JUNCTION เนื่องจากมีแผ่นโลหะ ซึ่งทำหน้าที่เป็น E กับ C นั้น เป็นแต่เพียงเปะติดไว้เฉย ๆ ไม่มีปรมาณูจากโลหะเข้าไปใน GERMANIUM เลย นอกจาก TRANSISTOR แบบต่าง ๆ ที่ใช้สำหรับความถี่สูงดังกล่าวแล้ว ยังมีแบบอื่น ๆ อีกเช่น DRIFFTRANSISTOR, SPACISTOR, PNIPและ NPIN TRANSISTOR เป็นต้น

ความถี่คัทออฟ (CUT OFF FREQUENCY) ความถี่คัทออฟเป็นความถี่ที่กำหนดการใช้งานของ TRANSISTOR เกี่ยวกับ FREQUENCY โดยถือจุดที่ α ตกลงเหลือ ๐.๗๐๗ (ตก๓ DB) เรียก α_c เมื่อเทียบกับค่าในย่าน LOW FREQ. ที่กำหนด เช่นอาจเป็น ณ ๑๐๐๐ CYCLE หรือ ๒๗๐ CYCLE แล้วแต่กำหนด ดังนั้นการใช้งานของ TRANS. ในย่านความถี่ต่าง ๆ ถ้าเป็นวงจรเครื่องทีวี ก็ต้องใช้ในย่านต่ำกว่า CUT OFF FREQ.

ความรู้สึกต่ออุณหภูมิ (TEMPERATURE EFFECTS) ทรานซิสเตอร์เป็นอุปกรณ์ที่มีความรู้สึกต่ออุณหภูมิ เนื่องจากความร้อนทำให้ ELECTRON หลุดออกจากวงได้ ทำให้เกิด ELECTRON และ HOLES เพิ่มขึ้น ซึ่งเป็นผลให้กระแสไฟไหลมากขึ้นกว่าปกติ อาจมีปริมาณมากพอที่จะทำให้ TRANSISTOR เสียจนใช้การไม่ได้เลย

การใช้งานต้องระวังให้เพียงพอ เพื่อมิให้เกินกำหนดไป ณ อุณหภูมิต่าง ๆ กัน เช่นอุณหภูมิ ๒๕ เซนติเกรด กำลังทางออกจะใช้ได้อย่างสูงสุดเพียง ๕๕ มิลลีวัตต์ เป็นต้น ถ้าอุณหภูมิสูงขึ้น กำลังทางออกจะใช้ได้ต่ำลงปกติ

บางครั้งมีวิธีการที่จะให้ทรานซิสเตอร์ทำงานด้วยกำลังทางออกสูงกว่าอัตราปกติได้ โดยเอาทรานซิสเตอร์ติดเข้ากับแผ่นอลูมิเนียมเพื่อช่วยระบายความร้อนให้หมดไปอย่างรวดเร็ว วิธีนี้เรียกว่า " HEAT SINK" เช่นทรานซิสเตอร์เบอร์ 2N95 NPN JUNCTION TRANSISTOR ถ้าติดตั้งไว้ ณ ที่อากาศผ่านเข้าออกได้สะดวกจะมีอัตราพิกัด ๒.๕ วัตต์ แต่ถ้าเอาติดกับแท่น อลูมิเนียมจะใช้งานได้ถึง ๔ วัตต์เป็นต้น

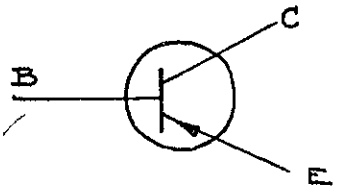
อายุการใช้งาน (LIFE) สิ่งสำคัญที่ทำให้อายุของ TRANSISTOR สั้นลงได้แก่ความชื้น ดังนั้นจึงมีการป้องกันโดยบรรจุในหลอดแก้ว หรือหลอดโลหะและผนึกให้แน่นไม่ให้อากาศหรือความชื้นเข้าไปได้ เป็นการทำให้อายุของทรานซิสเตอร์นานเข้า การบรรจุเข้าในหลอดแก้วทำให้คงทนต่อแรงเหวี่ยง และแรงผลักดันได้สูงมาก ซึ่งเป็นการทนทานได้ดีกว่าหลอด ELECTRON

เมื่อใช้ TRANSISTOR ไปนาน ๆ ก็จะเกิดความเสื่อมขึ้นทุกที ทีละน้อย ๆ จะสังเกตุว่าการขยายจะลดลง ความต้านทานของ COLLECTOR ลดต่ำลง และ I_{CO} สูงขึ้น (I_{CO} คือ กระแสไฟ COLLECTOR ซึ่งมี BIAS กลับทางตามปกติ ขณะที่กระแสไฟ EMITTER เป็น ๐ (ศูนย์)) ทรานซิสเตอร์ที่เสียนั้นเกิดจากการใช้งานเกินกำหนด ทำให้เกิดลัดวงจรเนื่องจากบริเวณส่วนที่แผ่น CRYSTAL เตะกันใน TRANSISTOR ชำรุด TRANSISTOR เสียในลักษณะวงจรเปิดนั้นหาได้ยากมาก

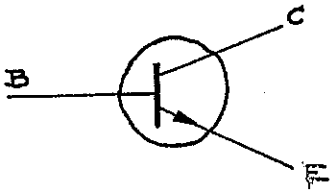
ผลของการใช้งานปรากฏว่า TRANSISTOR ไม่ว่าจะเก็บไว้เฉย ๆ หรือใช้งานติดต่อกันจะมีอายุมากกว่า ๑๐,๐๐๐ ชั่วโมง หรือ ๘ ปี ซึ่งมีอายุยืนนานกว่าหลอด ELECTRON ธรรมดาทั่ว ๆ ไป

สัญญลักษณ์ของทรานซิสเตอร์ (TRANSISTOR SYMBOLS)

การเขียนวงจรเกี่ยวกับ TRANSISTOR นั้นมีสัญญลักษณ์ของมันเช่นเดียวกับหลอด ELECTRON เหมือนกัน ซึ่งเป็นเครื่องหมายแทน เพื่อให้เข้าใจ สัญญลักษณ์ของ TRANSISTOR แสดงไว้ดังรูป

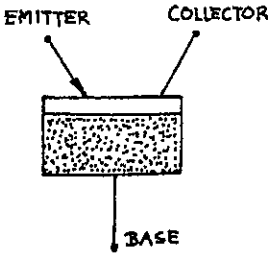


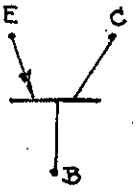
PNP- TYPE

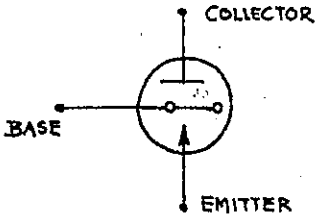


NPN - TYPE

สัญญลักษณ์นี้จะเป็น POINT CONTACT หรือ JUNCTION ก็ใช้สัญญลักษณ์เหมือนกัน ผิดกันแต่ชนิด N P N หรือ P N P เท่านั้น คือสังเกตุได้จากว่า ถ้าเป็นแบบ PNP ที่ EMITTER จะมีหัวลูกศรชี้เข้า และถ้า NPN หัวลูกศรชี้ออกที่ EMITTER บางครั้งจะพบสัญญลักษณ์แตกต่างกันไปอีกดังนี้



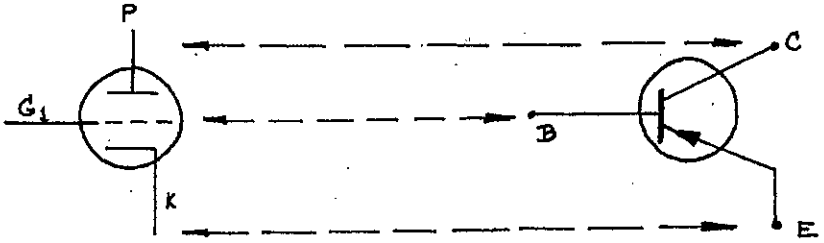




สัญญลักษณ์แบบนี้ไม่ค่อยพบมากนัก แต่ก็เหมือนกันทั้งนั้น

<u>การเปรียบเทียบกับหลอดอีเลคตรอน</u>

ทรานซิสเตอร์สามารถใช้งานได้ดีเช่นเดียวกับหลอด ELECTRON และมี ELECTRON ต่าง ๆ ซึ่งทำหน้าที่คล้ายคลึงกันตามรูป



ข้อแตกต่างที่สำคัญมากระหว่าง <u>หลอด</u> กับ <u>ทรานซิสเตอร์</u> นั้นก็คือ

หลอด มี IMPEDANCE ระหว่าง GRID กับ COTHODE นั้นสูงมาก TRANSISTOR มี IMPEDANCE ระหว่าง BASE กับ EMITTER นั้นต่ำมาก

ทั้งนี้เนื่องจากใน TRANSISTOR มี BIAS แบบ FORWARD BIAS ทำให้มีกระแสไฟระหว่าง BASE กับ EMITTER ส่วนหลอดนั้น กระแสไฟใน GRID กับ CATHODE นั้น ตามปกติไม่มีเลย GRID เป็นตัวนำให้ ELECTRON วิ่งไป PLATE ทั้งหมด และบังคับปริมาณของ CURRENT CURRENT PLATE ด้วย VOLTAGE ที่ GRID สำหรับ TRANSISTOR นั้น การบังคับ CURRENT COLLECTOR นั้นก็โดยการเปลี่ยนแปลงของ CURRENT EMITTER ซึ่งก็ได้จากการเปลี่ยนแปลงจาก VOLTAGE ที่ปรากฏที่ E กับ B ดังนั้นพอสรุปได้ว่า

* TRANSISTOR เป็นอุปกรณ์ที่ทำงานได้โดยอาการของกระแสไฟ (CURRENT OPERATE DEVICE)

* ELECTRONTUBE เป็นอุปกรณ์ที่ทำงานโดยอาการของโวลเตจ (VOLTAGE OPERATE DEVICE)

และประกอบกันเป็นวงจรต่าง ๆ ได้เช่นเดียวกับหลอดอีเลคตรอน

ได้พิจารณาเปรียบเทียบ ELECTRON ต่าง ๆ แล้วของ TRANSISTOR กับหลอด ถ้าเรานำมาประกอบเป็นวงจรเปรียบเทียบกัน เช่นวงจรขยายกำลังก็จะมีลักษณะคล้ายคลึงกัน ตามปกติวงจรขยายสำหรับหลอดอีเลคตรอนนั้นมี ๓ ประเภทคือ.-

๑. ประเภทต่อคาโถดลงดิน (GROUNDED CATHODE)

๒. ประเภทต่อกริดลงดิน (GROUNDED GRID)

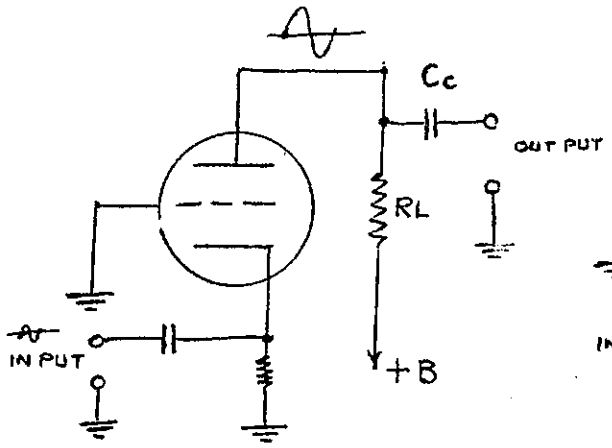
๓. ประเภทต่อเพลทลงดิน (GROUNDED PLATE)

แต่ในทาง TRANSISTOR นั้นก็เหมือนกันดังนี้

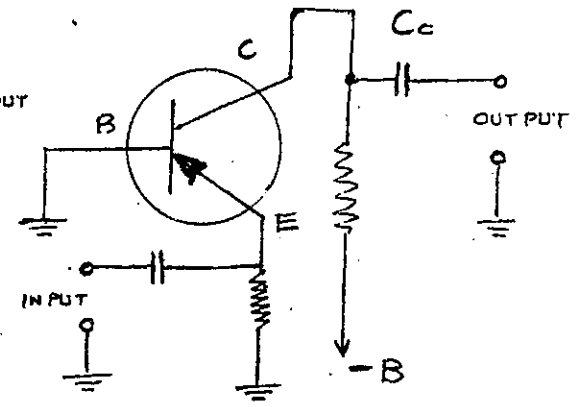
๑. ประเภทต่อ E ลงดิน (GROUNDED EMITTER)

๒. ประเภทต่อ B ลงดิน (GROUNDED BASE)

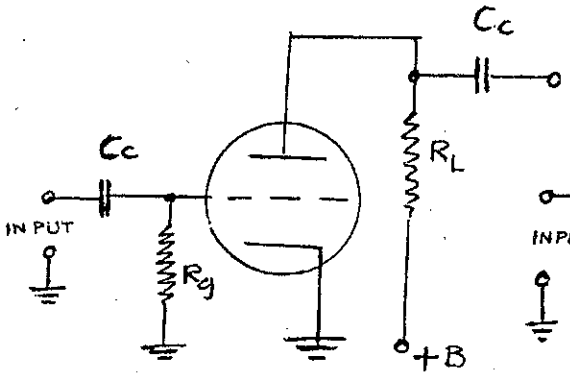
๓. ประเภทต่อ C ลงดิน (GROUNDED COLLECTOR)



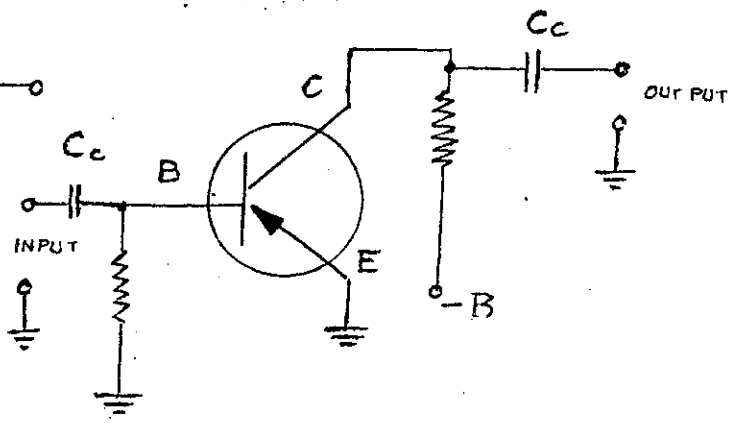
Ground Grid Amplifier



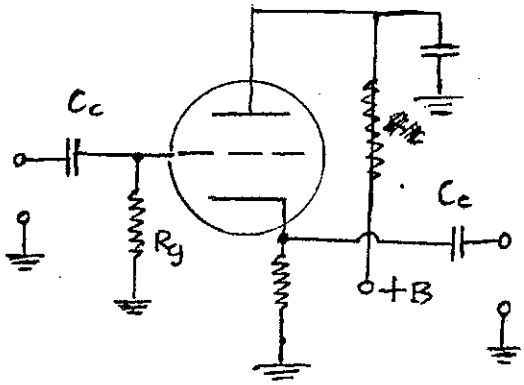
Ground Base Amplifier



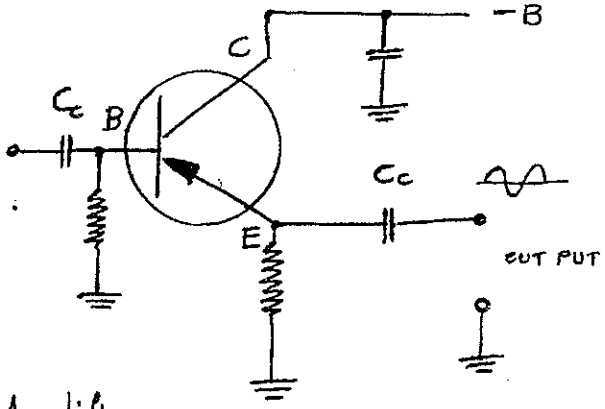
Ground Cathode Amplifier



Ground Emitter Amplifier



Ground Plate or Cathode Follower Amplifier



Ground Collector Amplifier

รูป การเปรียบเทียบระหว่าง ELECTRON TUBE กับ TRANSISTOR

GROUND BASE AMPLIFIER

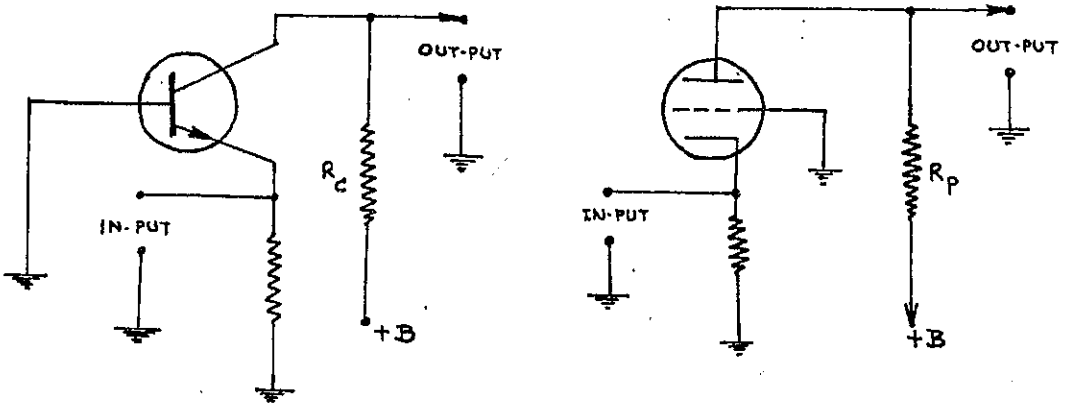
๑. GAIN การขยายปานกลาง

๒. INPUT IMPEDANCE ต่ำ (LOW Z INPUT)

๓. OUTPUT IMPEDANCE ปานกลาง

๔. PHASE REVERSE ไม่มี

GROUND EMITTER AMPLIFIER	GROUND COLLECTOR AMPLIFIER
๑. GAIN การขยายสูง	๑. GAIN การขยายไม่ถึงหนึ่ง
๒. INPUT IMPEDANCE ต่ำมาก	๒. INPUT IMPEDANCE สูงมาก
๓. OUTPUT IMPEDANCE สูง	๓. OUTPUT IMPEDANCE ต่ำมาก
๔. มีการกลับ PHASE	๔. ไม่มีการกลับ PHASE

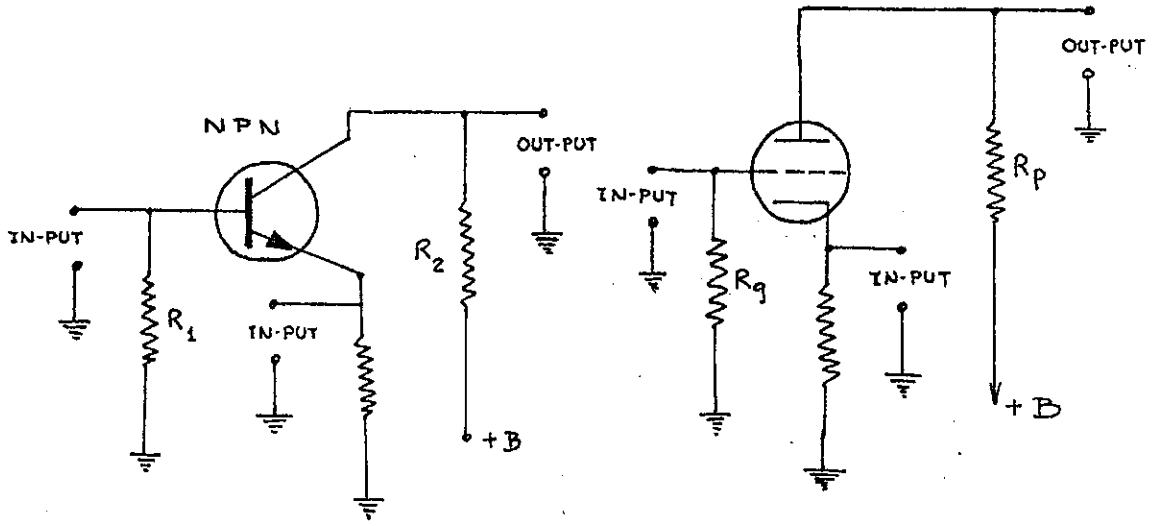


การทำงานของ GROUND BASE นั้นก็คือเมื่อมี SIGNAL เข้ามาทาง INPUT โดยเข้าทาง EMITTER แล้วจะขยายออกด้วย COLLECTOR โดยมี BASE เป็น ELECTRODE ร่วม

จากลักษณะสมบัติของวงจรหลอดที่ต่อแบบเอา GRID ลงดินนี้ คลื่นสัญญาณทางเข้าและทางออกจะมี PHASE เดียวกัน เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงของคลื่นสัญญาณทางเข้าทำให้กระแสไฟเพลทเปลี่ยนแปลงตรงข้าม เช่นถ้า SIGNAL ทางเข้าเป็นบวก ทำให้ PLATE CURRENT ลดลง ดังนั้นทำให้ VOLTAGE ตกอยู่ในความต้าน LOAD ลดลง ทำให้ VOLTAGE ที่เพลทสูงขึ้น สำหรับวงจร TRANSISTOR ตามรูปเป็นแบบ N.P.N. ดังนั้นถ้า SIGNAL เข้ามาเป็นบวกจะทำให้ EMITTER CURRENT ลดลงและ COLLECTOR CURRENT จะลดลงเช่นกัน ดังนั้น VOLTAGE ทางเอ้าพุทจะสูงขึ้น หมายถึง SIGNAL เข้าและออกมี PHASE เดียวกัน

ในการพิจารณาถึงเรื่อง อิมพิแดนซ์ทางเข้าและออกของวงจร TRANSISTOR แบบต่อ BASE ลงดินจะปรากฏดังนี้ Z INPUT สำหรับ JUNCTION TRANSISTOR อยู่ในราว ๑๐๐ - ๓๐๐ ทางออกประมาณ ๕๐๐,๐๐๐ Ω ถ้า POINT CONTACT TRANSISTOR ทางออกจะน้อยกว่าอยู่ในราว ๑๐,๐๐๐ Ω ส่วนทางเข้ามากกว่าเล็กน้อย

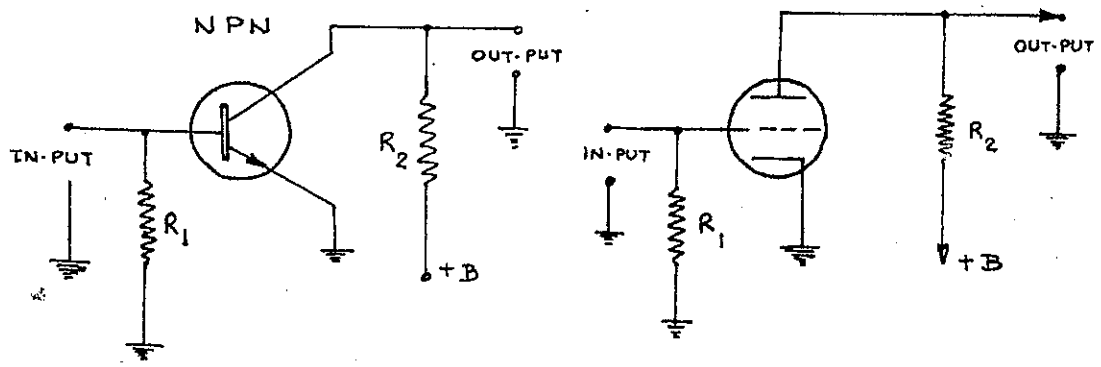
GROUND BASE AMPLIFIER



การทำงานของ GROUND BASE นี้ก็คือเมื่อมี SIGNAL เข้ามาทาง INPUT โดยเข้าทาง EMITTER แล้วจะขยายออกด้วย COLLECTOR โดยมี BASE เป็น ELECIRODE ร่วม จากลักษณะสมบัติของวงจรหลอดที่ต่อแบบเอา GRID ลงดินนี้ คลื่นสัญญาณทางเข้าและทางออกจะมี PHASE เดียวกัน เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงของคลื่นสัญญาณทางเข้าทำให้กระแสไฟเพลทเปลี่ยนแปลงตรงข้าม เช่นถ้า SIGNAL ทางเข้าเป็นบวกทำให้ PLATE CURRENT ลดลง ดังนั้นทำให้ VOLTAGE ตกอยู่ในความต้านทาน LOAD ลดลงทำให้ VOLTAGE ที่เพลทสูงขึ้นสำหรับวงจร TRANSISTOR ตามรูปเป็นแบบ N.P.N ดังนั้นถ้า SIGNAL เข้ามาเป็นบวกจะทำให้ EMITTER CURRENT ลดลงและ COLLECTOR CURRENT ลดลงเช่นกัน ดังนั้น VOLTAGE ทางเอ้าพุทจะสูงขึ้น หมายถึง SIGNAL เข้าและออกมี PHASE เดียวกัน

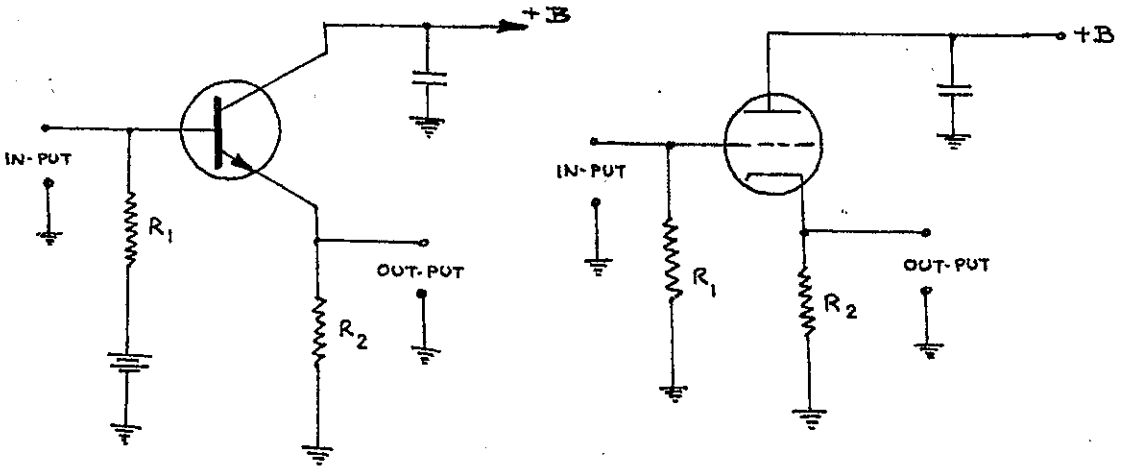
ในการพิจารณากับเรื่อง อิมพิแดนซ์ทางเข้าและออกของวงจร TRANSISTOR แบบต่อ BASE ลงดินจะปรากฏดังนี้ Z INPUT สำหรับ JUNCTION TRANSISTORอยู่ในราว ๑๐๐ - ๓๐๐ ทางออกจะน้อยกว่าอยู่ในราว ๑๐ .๐๐๐ ส่วนทางเข้ามากกว่าเล็กน้อย

GROUND EMITTER AMPLIFIER

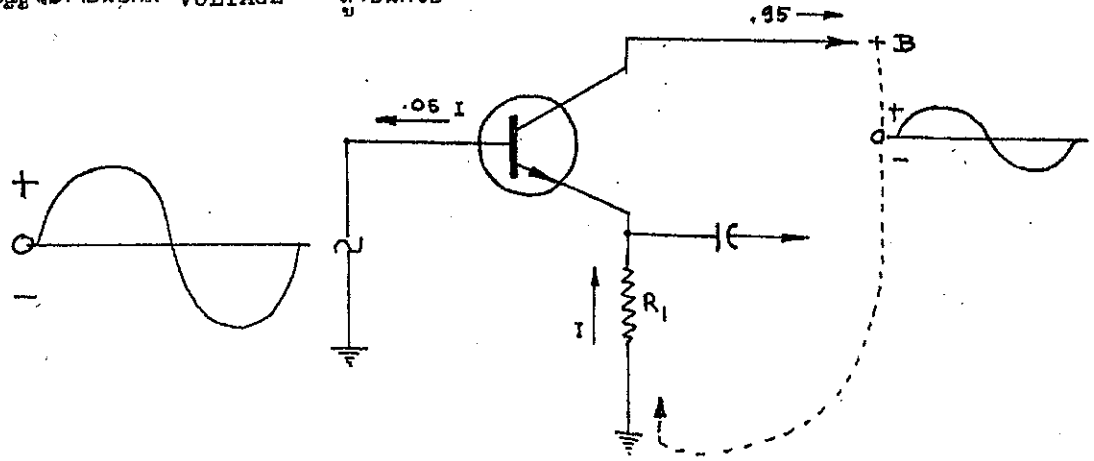


เป็นวงจรขยายที่ใช้มากที่สุด เปรียบกับหลอดก็คือต่อ CATHODE ลงดินซึ่งมี SIGNAL เข้าทาง GRID และสัญญาณถูกขยายออกทาง PLATE ส่วน TRANSISTOR นั้น SIGNAL เข้าทาง BASE SIGNAL ออกทาง COLLECTOR

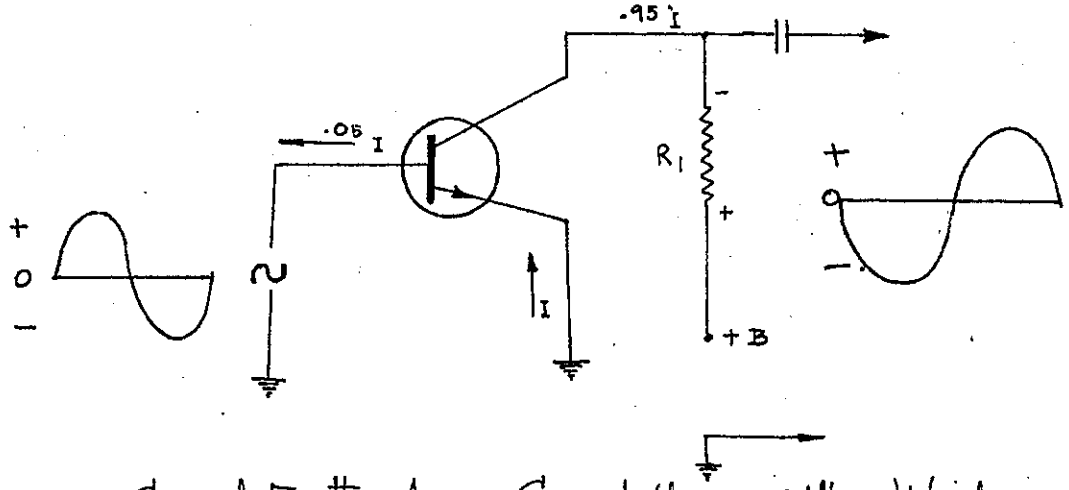
<u>การทำงานของ</u> GROUND EMITTER AMPLIFIER นี้ก็คือถ้า SIGNAL เข้ามาทาง BASE เป็นบวก จะทำให้ EMITTER CURRENT สูงขึ้น และทำให้ VOLTAGE ตกใน R_2 มากขึ้น ดังนั้น VOLTAGE OUTPUT จึงต่ำลง เมื่อ EMITTER CURRENT สูงขึ้น ก็ทำให้ COLLECTOR CURRENT สูงขึ้นเช่นกัน ถ้าเป็นวงจรประเภท NPN. แล้วการต่อแบบนี้ SIGNAL INPUT และ SIGNAL OUT PUT จะมี PHASE ต่างกัน ๑๘๐°



วงจรประเภทแบบนี้เปรียบเหมือนวงจรของหลอดที่เรียกว่า CATHODE FOLLOWER มี IMPEDANCE ทางเข้าสูงทางออกต่ำการขยายออก (GAIN) ไม่เกิน ๑ ลักษณะคล้ายกับวงจร TRANSISTOR ประเภท COLLECTOR ลงดิน มีอิมพิแดนซ์ทางเข้าระหว่าง BASE กับ COLLECTOR สูงมาก เนื่องจากมี BIAS กลับทาง SIGNAL เข้าที่ GRID และขยายออกทาง CATHODE มี PHASE เดียวกัน สำหรับวงจร TRANSISTOR ตามรูปใช้ TRANSISTOR แบบ N.P.N SIGNAL เข้ามาทาง BASE และออกทาง EMITTER ก็จะมี PHASE เดียวกัน ถ้า SIGNAL เป็นบวก ทำให้ CURRENT ใน EMITTER สูงขึ้น ทำให้สัญญาณภายนอกมี VOLTAGE สูงขึ้นด้วย



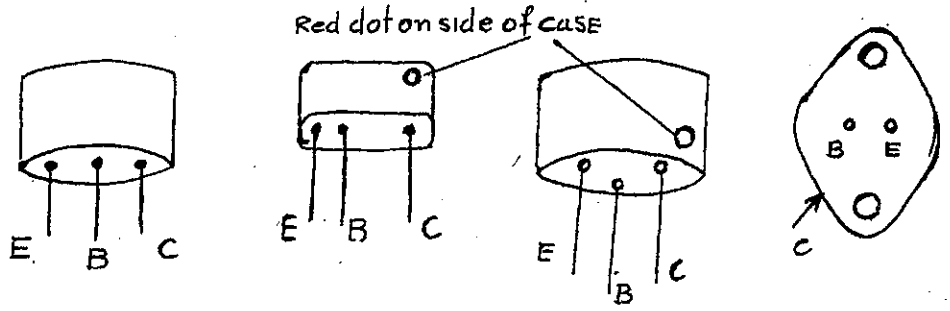
Ground - Collector Amp., Current flow and Voltage Wave forms.



Ground Emitter Amp., Current flow and Voltage Waveforms.

TYPES OF TRANSISTOR

TRANSISTOR ที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบันนี้มีมากมายหลายแบบรูปร่าง เล็กใหญ่ลักษณะแตกต่างกันไปมาก บางท่านอาจจะเห็นกันไม่มากนัก และยังนำไปใช้ในหน้าที่ของงานต่าง ๆ กัน แต่สรุปแล้วก็เป็น TRANSISTOR ชนิด N P N และ P N P อีกเหมือนกัน เพียงแต่รูปร่างต่างกันเท่านั้น.



A

TRANSISTOR ชนิด PNP จะใช้เป็นตัวอักษรขึ้นหน้า หรือมีเลขขึ้นหน้าแล้วตามด้วยตัวอักษรดังเช่น 2 SA 49,2 SB56 แบบนี้เป็นแบบธรรมดาของบริษัทญี่ปุ่นเป็นผู้ผลิต ถ้าเป็นของยุโรปจะขึ้นต้นด้วย OC เช่น OC71,OC45 หรืออาจจะมีมากกว่านี้เราจะดูได้จากคู่มือ TRANSISTOR ถ้าเป็นของอเมริกา(R.C.A.) จะเป็น 2N315 หรืออื่น ๆ

TRANSISTOR ชนิด N.P.N. จะเป็นดังนี้ 2SD หรือ 2SC และ SD16,SC30 อะไรอื่น ๆ อีก

การใช้งานของ TRANSISTOR ก็มีที่สังเกตุได้ดังนี้.-

TRANSISTOR	ชนิด	2 SA,	(PNP)	ใช้ทำงานในย่าน RF
TRANSISTOR	"	2SB	(PNP)	ใช้ทำงานในย่าน AF
"	"	2SC	(NPN)	ใช้ทำงานในย่าน RF
"	"	2SD	(NPN)	ใช้ทำงานในย่าน AF

และยังมีทำงานในย่าน OUTPUT หรือ POWER อีกจะบอกไว้ในคู่มือเบอร์ของ TRANSISTOR แต่ละชนิดอีกด้วย

AF - AUDIO FREQUENCY (ทำงานในตอนต้นของ POWER OUTPUT)

RF - RADIO FREQUENCY (ทำงานในย่านความถี่วิทยุหารับคลื่น)

การตรวจประเภทของทรานซิสเตอร์

เราจะรู้ได้ว่า TRANSISTOR ตัวใด เป็นประเภท NPN หรือ PNP ก็มีวิธีตรวจได้ โดยใช้ METER วัดค่าความต้านทาน (โอห์ม) ต่ำโดยการใช้ สาย - ของ METER แตะที่ BASE และ บวก แตะที่ E ค่าความต้านทานที่อ่านได้จะต่ำก็แสดงว่าเป็นแบบ PNP แต่ถ้าเอาสายบวกต่อกับเบส และสายลบของ METER แตะที่ COLLECTOR หรือ EMITTER เข็ม METER จะกระดิกน้อย ส่วนการตรวจชนิด NPN ก็มีวิธีตรวจดังรูป ข.

แหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้า

(POWER SUPPLIES)

แหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้านี้มีบทบาทอันกว้างขวางนานาประการและเป็นประโยชน์เกี่ยวข้องมากอีกด้วย แหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้านี้เป็นเรื่องสำคัญมาก และจำเป็นที่สุดที่จะต้องศึกษาให้เข้าใจและลึกซึ้งจริง ๆ ทุกสิ่งทุกอย่างไม่ว่าจะทำอะไรในยุคสมัยนี้ล้วนแล้วแต่จะต้องใช้กำลังงานจากไฟฟ้าทั้งสิ้น แต่ในขั้นนี้เราจำเป็นจะต้องเรียนรู้ถึงเรื่องแหล่งจ่ายไฟฟ้า (POWER SUPPLIES) ที่เกี่ยวข้องกับระบบของอากาศยานให้มาก เพราะในอากาศยานเราจะเป็นต้องใช้กำลังงานจากไฟฟ้าทั้งสิ้น ดังเช่น เครื่องมือสำหรับติดต่อระบบสื่อสารในอากาศยาน เราทราบแล้วว่าไฟฟ้าโดยทั่ว ๆ ไปนั้น เป็นไฟฟ้าประเภทใช้กับแสงสว่างหรือใช้ในโรงงานนั้น เป็นไฟฟ้าประเภทกระแสสลับ หรือเรียกว่าไฟฟ้า A.C. ซึ่งมีข้อแตกต่างกับไฟฟ้าในอากาศยาน ก็คือว่า ไฟฟ้าโดยทั่วไปที่เราใช้กันอยู่ทุกวันนี้เป็นเพียงแรงเคลื่อน ๒๒๐ โวลท์และมีความถี่ ๕๐ เฮิร์ทต่อวินาที แต่ในระบบของอากาศยานนั้นกลับใช้ความถี่ผิดกัน คือ ใช้ ๔๐๐ เฮิร์ทต่อวินาที ทั้งสิ้น

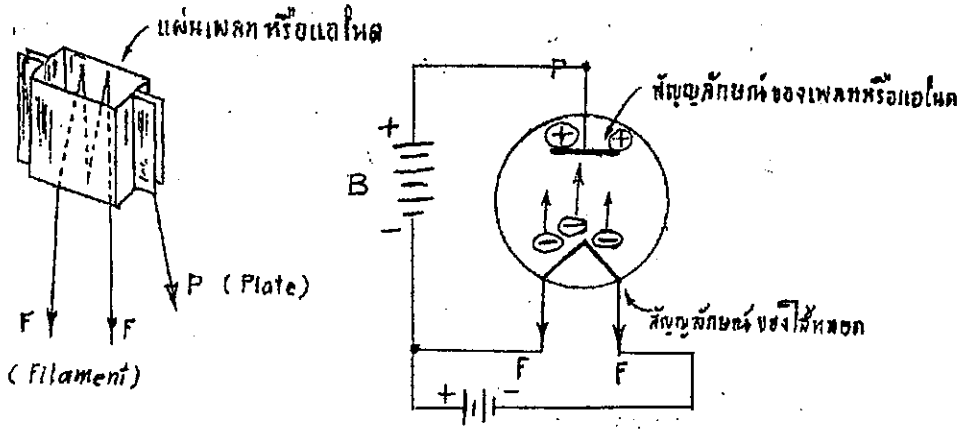
แหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้า (POWER SUPPLIES) ที่เราจะเรียนรู้ต่อไปนี้เป็นไฟฟ้ากระแสตรงหรือที่เรียกว่า DIRECT CURRENT จึงเป็นไฟประเภทแบตเตอรี่นี่เองโดยปกติแบตเตอรี่เราก็ใช้กำลังไฟฟ้าจากกระแสสลับอีกเหมือนกัน แต่โดยการเปลี่ยนกระแสสลับให้กลายเป็นกระแสตรงเสียก่อนนั่นเอง แต่โดยทั่วไปแล้วไฟฟ้าที่ได้จากแบตเตอรี่นั้น เรานำไปใช้งานได้ไม่มากนัก เพราะเนื่องจากมีแรงเคลื่อนเพียง ๖ - ๑๒ และ ๒๔ โวลท์ เท่านั้น ซึ่งใช้ในงานชั้นประเภทรถยนต์หรือเครื่องรับวิทยุแบบทรานซิสเตอร์เท่านั้น แต่ในอากาศยานเราใช้แบตเตอรี่ ๒๔ โวลท์ เท่านั้น เมื่อเราจำเป็นจะต้องใช้กับงานในด้านเครื่องมือสื่อสารในระบบของอากาศยาน ซึ่งเครื่องมือสื่อสารต่าง ๆ ต้องการแรงเคลื่อนสูงถึงจะทำงานได้ ก็จำเป็นจะต้องใช้วิธีหาแรงเคลื่อนที่สูง ๆ จะป้อนให้กับเครื่องมือจึงจำเป็นต้องหันไปพึ่งอาศัยกระแสไฟฟ้าอีกนั่นเอง โดยการที่จะเปลี่ยนให้เป็นไฟฟ้ากระแสสลับ (A.C.) ให้กลายเป็นไฟฟ้ากระแสตรง (D.C.) เสียก่อนนั่นเอง อีกที่จะแปลงให้เป็นไฟฟ้ากระแสตรงได้ก็ต้องอาศัยเครื่องมืออีกชนิดหนึ่ง ซึ่งมีหน้าที่แปลงไฟฟ้ากระแสสลับให้กลายเป็นไฟฟ้ากระแสตรง เครื่องมือชนิดนี้ก็คือ เครื่อง RECTIFIER โดยปกติแล้วก็ต้องอาศัยหลักของหลอดสูญญากาศหรือที่เรียกว่าหลอดประเภท ไดโอด ดังจะกล่าวต่อไปถึงการทำงานของหลอดไดโอดเสียก่อน

การทำงานของหลอดไดโอด (DIODE VACUUM TUBE)

ถ้าเราปล่อยให้กระแสไฟฟ้าผ่านไส้หลอดให้เกิดความร้อนแล้ว อีเลคตรอนภายในตัวไส้หลอดจะเกิดการปั่นป่วนขึ้น คือ มันจะวิ่งไปวิ่งมาอย่างรวดเร็ว บางก็จะกระทบกระแทกกันจนกระทั่งอีเลคตรอนบางตัวจะหลุดกระเด็นออกไปจากไส้หลอด นี่เป็นธรรมชาติของมัน เมื่อมีความร้อนเกิดขึ้น แต่อีเลคตรอนที่หลุดออกมานี้จะไม่ไปไหน มันคงจะวิ่งกลับเข้าไส้หลอดอย่างเดิม

ถ้าหากเรามีโลหะแผ่นบาง ๆ ซึ่งบรรจุอยู่ภายในหลอดเดียวกันหรือที่เรียกกันว่าแผ่น PLATE เกิดมีอำนาจไฟฟ้า (บวก) เกิดขึ้น (ขณะเดียวกันกับที่ไส้หลอดมีอำนาจไฟฟ้าลบ) โดยการนำเอาหม้อไฟฟ้าชุดหนึ่งไปต่อเข้า โดยต่อขั้วบวกของหม้อไฟฟ้าเข้าที่ขั้ว PLATE ของหลอดไดโอดและขั้วลบของหม้อไฟฟ้าอยู่กับไส้หลอดขาใดขาหนึ่งของไส้หลอด ในขณะเดียวกันเมื่อไส้หลอดได้รับความร้อน อีเลคตรอนซึ่งหลุดอยู่แล้ว

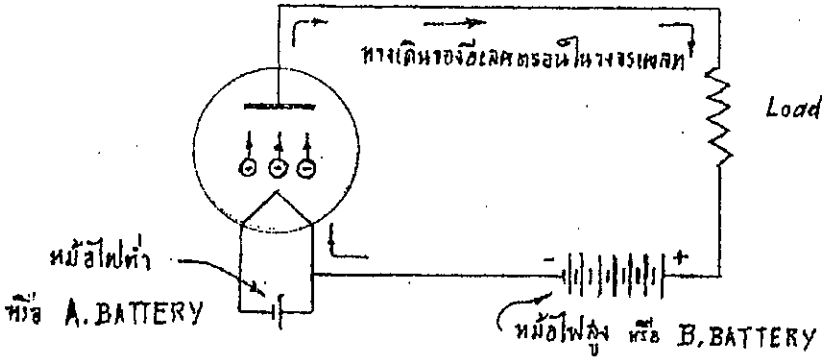
เมื่อเพลทมีแรงเคลื่อนไฟฟ้าบวกมารออยู่แล้ว อีเลคตรอนนี้จะวิ่งไปหาเพลทได้อย่างรวดเร็วด้วยอำนาจการดึงดูดระหว่างอนุภาคไฟฟ้าบวก (PROTON) กับอนุภาคไฟฟ้าลบ (ELECTRON) ดังรูป



รูปแสดงการไหลของอีเลคตรอนจากไส้หลอดไปหาเพลท

อีเลคตรอนจะวิ่งไปยังเพลทเรื่อย ๆ ไม่รู้จักหมด ก็เพราะได้อีเลคตรอนจากขั้วลบของหม้อไฟฟ้าไหลเข้ามาเพิ่มอยู่เรื่อย ๆ เหมือนกัน ส่วนที่เพลทก็ไม่อิ่มตัวสักที เพราะอีเลคตรอนไหลเข้าขั้วบวกของหม้อไฟฟ้าอยู่เรื่อย ๆ เช่นกัน อาจพูดได้ว่า อีเลคตรอนวิ่งวนเวียนอยู่ตลอดเวลาที่ไส้หลอดมีความร้อนและมีหม้อไฟฟ้าต่ออยู่ดังกล่าว

นี่คือการทำงานของหลอดไดโอด ซึ่งอีเลคตรอนสามารถวิ่งจากไส้หลอดไปยังเพลทได้เรื่อย ๆ ตลอดเวลาที่ไส้หลอดได้รับความร้อน เพลทมีไฟฟ้าบวก และ ไส้หลอดมีไฟลบ



รูปแสดงวงจรทางเดินของอีเลคตรอนในวงจรเพลทของหลอดไดโอด

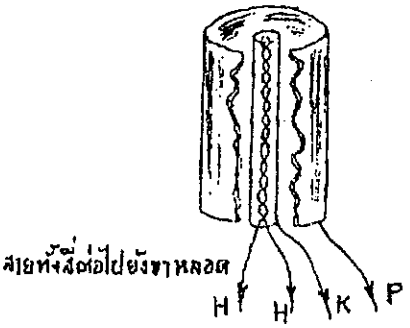
เมื่อพิจารณาแล้ว พอจะสรุปได้ว่า

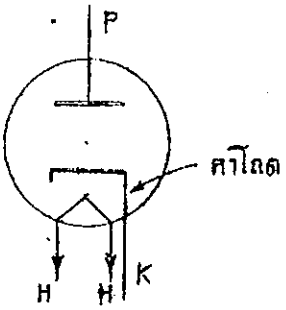
๑. ไฟต่ำ A. นั้น มีหน้าที่จุดให้ไส้หลอดเกิดความร้อนอย่างเดียวและถือว่าไส้หลอดนั้นเป็นขั้ว ๆ หนึ่ง

๒. อีเลคตรอนจะวิ่งจาก ขั้วไส้หลอดไปหาเพลท ได้ก็ด้วยความร้อนของไส้หลอดอย่างหนึ่ง ไส้หลอดมีอำนาจไฟลบ และเพลทมีอำนาจไฟบวกอีกอย่างหนึ่ง ถ้าขาดอย่างใดอย่างหนึ่งไปเสีย อีเลคตรอนจะไม่ไหลทันที

หลอดไดโอดแบบที่ได้อธิบายมานี้ เป็นแบบที่ให้ความร้อนโดยตรงแก่ขั้วที่อีเลคตรอนวิ่งออก (ขั้วนี้จะเรียกว่า คาโถด (CATHODE) ซึ่งเป็นหลอดที่ใช้ไฟต่ำเป็นกระแสไฟตรงโดยเฉพาะ มีหลอดอีกแบบหนึ่งเป็นหลอดไดโอด ที่ให้ความร้อนทางอ้อมแก่ขั้วที่อีเลคตรอนวิ่งออก หลอดแบบนี้จะมี

ปลอกโลหะบาง ๆ เล็ก ๆ ส่วมครอบใส้หลอดไว้อีกที ปลอกโลหะนี้มีชื่อว่า คาโถด (CATHODE) เมื่อเราให้ความร้อนแก่ใส้หลอด ใส้หลอดก็จะเผาให้คาโถดนี้เกิดความร้อนขึ้นอีกด้วย ในตอนนี้วงจรไฟสูงจะไม่เกี่ยวข้องกับใส้หลอดอีกเลย ใส้หลอดคงทำหน้าที่ให้ความร้อนแก่ คาโถด หรือขั้วที่อีเลคตรอนวิ่งออกเพียงอย่างเดียวเท่านั้น

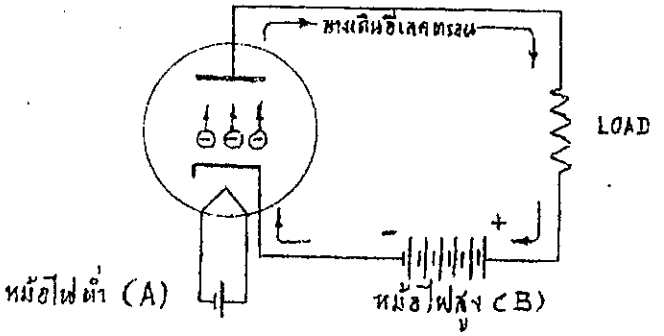




สัญญลักษณ์ของหลอดไดโอดที่มีคาโถด

สัญลักษณ์ของหลอดไดโอดที่มีคาโถด

เมื่อเกิดมีคาโถดขึ้นมาอย่างนี้ก็ขอให้ทราบไว้เพียงว่า คาโถดจะมีหน้าที่ปล่อยอีเลคตรอนแต่ผู้เดียว ใส้หลอดไม่มีหน้าที่ปล่อยอีเลคตรอนต่อไปแล้ว คงมีหน้าที่แต่ให้ความร้อนแก่ คาโถด อย่างเดียวเท่านั้น การไหลของอีเลคตรอนก็คงเหมือนกับแบบแรกนั่นเอง



รูปวงจรแสดงทางเดินอีเลคตรอนในวงจรเพลทของหลอดไดโอดแบบมีคาโถด

ดูตามรูป ถึงแม้จะมีใส้หลอด คาโถด และเพลท อยู่ภายในหลอดสูญญากาศก็ตาม แต่

- ขั้ว แอโนด (ANODE) หรือ เพลท เป็นขั้วที่อีเลคตรอนภายในหลอดวิ่งเข้าหา
- ขั้ว คาโถด (CATHODE) เป็นขั้วที่อีเลคตรอนวิ่งออกไปหาเพลทภายในหลอดทั้ง ๒ ขั้ว นี้ต้องจำไว้ให้แม่นยำ

การนำเอาหลอดไดโอดมาใช้ในการเรียงกระแส เพื่อเปลี่ยนกระแสสลับให้เป็นกระแสตรง (RECTIFIER)

เราได้กล่าวมาแล้วตั้งแต่ตอนต้นว่าไฟฟ้าทั่ว ๆ ไปที่ใช้กันอยู่ตามบ้านเรือนมักเป็นไฟฟ้ากระแสสลับหรือที่เรียกว่า ไฟ เอ.ซี. นั่นเอง แต่ไฟฟ้าที่ใช้ในเครื่องมือสื่อสาร เช่น วิทยุ โทรทัศน์ เรดาร์ หรือเครื่องทดสอบอื่น ๆ อีกมากก็มักจะจำเป็นต้องใช้ไฟสูง ซึ่งเป็นประเภทกระแสไฟตรงหรือที่เรียกว่า ดีซี

นั่นเอง เราก็จำเป็นจะต้องมีการแปลงกระแสสลับให้กลายไปเป็นกระแสตรงเสียก่อน วงจรการเปลี่ยนแปลงกระแสสลับให้เป็นกระแสตรงนี้ มีชื่อเรียกกันว่า <u>วงจรเรกติไฟร์ หรือ วงจรเรียงกระแส</u> (RECTIFIER)

หลอดไดโอดที่เรียนมาแล้วนั้นมีประโยชน์อย่างยิ่งในการนำมาใช้เรียงกระแสสลับให้เป็นกระแสตรง ก่อนอื่นก็ต้องทบทวนความจำเรื่อง ไฟฟ้ากระแสสลับและไฟฟ้ากระแสตรงเสียก่อน

- ไฟฟ้ากระแสสลับ คือ ไฟฟ้าซึ่งเกิดจากอีเลคตรอนวิ่งกลับไปกลับมา
- ไฟฟ้ากระแสตรง คือ ไฟฟ้าซึ่งเกิดจากอีเลคตรอนวิ่งทางเดียวไม่ย้อนทาง

<u>การเรคติไฟร์</u> แบ่งออกเป็น ๓ ชนิด คือ

๑. ฮาล์ฟเวฟเรคติไฟร์ (HALF WAVE RECTIFIERS)

๒. ฟูลเวฟเรคติไฟร์ (FULL WAVE RECTIFIERS)

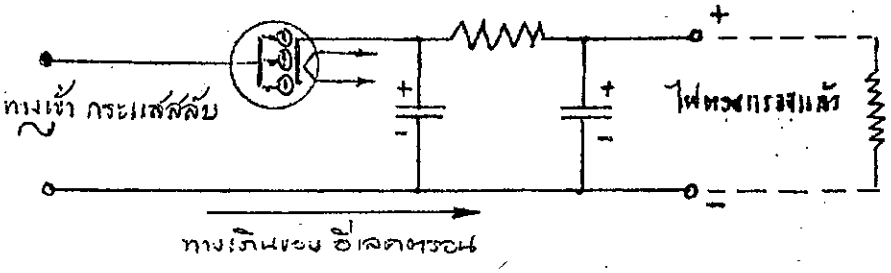
๓. บริดจ์เรคติไฟร์ (BRIDGE RECTIFIERS)

<u>วงจรเรคติไฟร์หรือวงจรเรียงกระแส</u> (RECTIFIER)

หลอดไดโอดที่กล่าวมาแล้วมีประโยชน์อย่างยิ่งในการนำมาใช้เรียงกระแส ก่อนอื่นต้องเข้าใจและทบทวนความจำเรื่องไฟฟ้ากระแสตรงเสียก่อนว่า

- ไฟฟ้ากระแสสลับ คือ ไฟฟ้าซึ่งเกิดจากอีเลคตรอนวิ่งกลับไปกลับมา
- ไฟฟ้ากระแสตรง คือ ไฟฟ้าซึ่งเกิดจากอีเลคตรอนวิ่งทางเดียวไม่ย้อนทาง

จงพิจารณาวงจรตามรูป

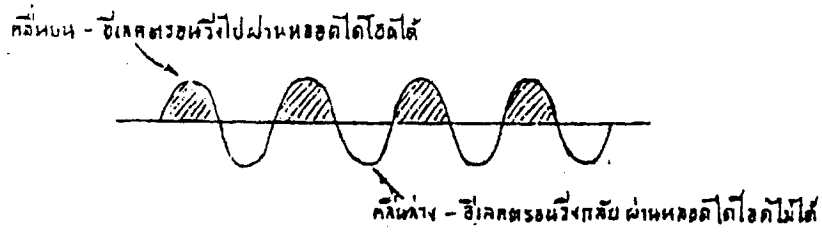


<u>รูปวงจรกรองกระแสต่อกับวงจรเรคติไฟร์แบบ ฮาล์ฟเวฟ</u>

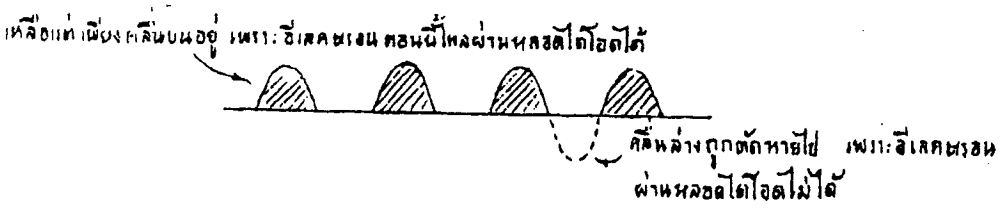
เมื่อเราต่อวงจรตามรูปแล้วหาไฟต่ำมาจุดใส้หลอดให้ร้อน พอปล่อยกระแสสลับเข้าไปแล้วตรวจทิศทางไหลของอีเลคตรอน เมื่อกระแสสลับไหลเข้านั้น อีเลคตรอนจะไหลกลับไปกลับมา เมื่ออีเลคตรอนไหลเข้าทางขั้วบนไปติดเพลทไม่สามารถข้ามเพลทไปหาคาโถดได้ ฉะนั้น ครึ่งไซเกิลที่อีเลคตรอนวิ่งไปทางนี้ จะไม่เกิดประโยชน์อะไรเลย ไปตันอยู่แค่เพลทเท่านั้น พอครึ่งไซเกิลหลัง อีเลคตรอนวิ่งเข้าทางขั้วล่าง มันจะวิ่งไปผ่านโหลดไปหาคาโถดและข้าไปเพลทและไหลต่อไปจนครบวงจรได้

จะเห็นได้ว่า ถ้านำเอาหลอดไดโอดมาคั่นเข้ากับวงจรไฟสลับนี้ จะทำให้อีเลคตรอนไม่ไหลในครึ่งไซเกิลแรก จะไหลครบวงจรได้แค่เฉพาะไซเกิลหลังเท่านั้น โดยไหลไปทางเดียวอยู่เรื่อยๆ เราก็จะได้กระแสไฟตรงจากการนำเอาหลอดไดโอดมาใช้ เพราะหลอดนี้สามารถกั้นอีเลคตรอนมิให้วิ่งกลับทาง คงยอมให้วิ่งผ่านทางเดียวเฉพาะครึ่งไซเกิลหลังเท่านั้น แม้ไฟตรงที่ได้จากการเรคติไฟร์จะเป็นห้วง ๆ ก็ยังได้ชื่อว่าเป็นไฟตรง เพราะอีเลคตรอนไหลทางเดียว

หลอดไดโอดที่นำมาใช้ในการเรียงกระแสหรือเรคติไฟร์ได้ชื่อใหม่ว่า "หลอดเรคติไฟร์"



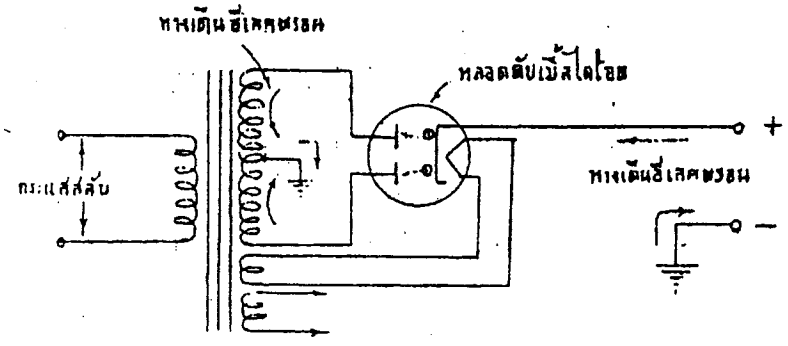
รูปเส้นโค้งของกระแสสลับแสดงถึงอีเลคตรอนไหลกลับไปกลับมาทำให้เกิดเป็นคลื่นขึ้น



รูปคลื่นที่เหลือเนื่องจากอีเลคตรอนครึ่งไซเกิลวิ่งผ่านหลอดไดโอดได้ (ภายหลังเรคติไฟร์แล้ว)
คลื่นที่เหลือเป็นไฟตรงที่ขาดเป็นห้วง ๆ เรียกว่า พูลเซติ้ง ดี.ซี. (PULSATING D.C.)

การเรคติไฟร์แบบนี้เรียกว่า ฮาล์ฟเวฟเรคติไฟร์ (HALF WAVE RECTIFIER) แปลว่า การเรียงกระแสแบบครึ่งคลื่น (HALF WAVE) ที่เรียกเช่นนี้ก็เพราะเราได้กำลังมาเพียงครึ่งเดียว โดยอีเลคตรอนในครึ่งไซเกิลหนึ่งถูกตัดทิ้งไปเสียเฉย ๆ ดังนั้นจึงมีวิธีการเรคติไฟร์อีกแบบหนึ่งได้กำลังดีกว่าฮาล์ฟเวฟเรคติไฟร์ โดยที่ว่าเราได้อีเลคตรอนมาทำงานหมด ไม่ว่ามันจะไหลไปทางไหน การเรคติไฟร์แบบนี้เรียกว่า ฟูลเวฟเรคติไฟร์ (FULL WAVE RECTIFIER) แปลว่า การเรียงกระแสเต็มคลื่น

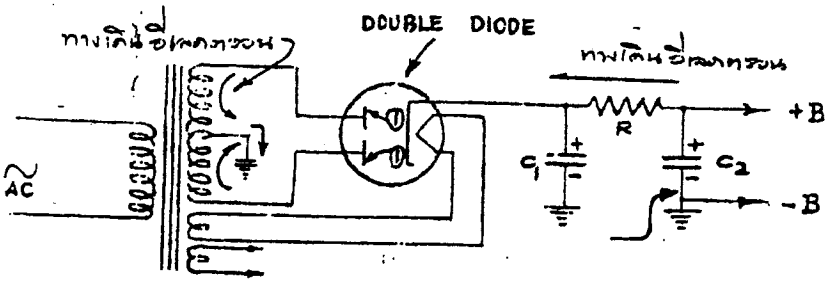
* FULL WAVE RECTIFIER นี้ต้องใช้เพาเวอร์ทรานสฟอร์เมอร์เสมอ และขดไฟสูงก็ต้องมีสายต่อกึ่งกลางออกมา เรียกว่า สายเซนเตอร์แทป (CENTER TAP) หลอดเรคติไฟร์ก็ต้องใช้หลอดไดโอด ๒ หลอด หรือจะใช้หลอดพิเศษเป็นแบบแฝดอยู่ในหลอดเดียวกัน เรียกว่า ดับเบิลไดโอด (DOUBLE DIODE) คือ มี ๒ เพลทในหลอดเดียวกัน



รูปวงจรฟูลเวฟเรคติไฟร์ แบบใช้หลอดดับเบิ้ลไดโอด (Double diode)

ตามวงจรนี้ แม้อีเลคตรอนจะวิ่งไปหรือวิ่งกลับก็ตามที มันจะมีทางไปจนครบวงจรได้เสมอ ไปเพลทบนไม่ได้ก็ไปเพลทล่าง เพลททั้งสองจะผลัดกันทำงานคนละครึ่งไซเกิล ฉะนั้นเมื่อเรคติไฟร์แล้ว จะได้รูปคลื่นดังนี้

Fullwave Rectifier



รูปวงจรกรองกระแสต่อกับวงจรเรคติไฟร์แบบ ฟูลเวฟ

ตามรูป ขดไฟสูงของทรานสฟอร์เมอร์มีเซนเตอร์แทป ต่อลงดินไว้กับแผ่นเครื่อง (เอาแผ่นเครื่องเป็นสายไฟลบ) หลอดเรคติไฟร์มีสองเพลท แต่ละเพลทต่ออยู่กับแต่ละปลายของขดไฟสูง เมื่ออีเลคตรอนวิ่งจากปลายบนลงมาหาล่าง หรือวิ่งจากปลายล่างขึ้นบนสลับกันอยู่นั้น ไม่ว่าอีเลคตรอนจะวิ่งไปทางไหนก็ตาม จะขึ้นบนหรือลงล่าง อีเลคตรอนจะมีทางไป คือวิ่งเข้าหาเซนเตอร์แทป (ขั้วลบ) ไม่ผ่านโหลดแล้วกลับมาถึงคาโถดเสมอ เมื่อมาถึงคาโถดแล้ว มันก็จะเลือกไปหาเพลทใดเพลทหนึ่งเพื่อให้ครบวงจรของมัน แต่มิใช่ว่าจะเลือกไปได้ตามใจชอบ ในครึ่งไซเกิลแรกมันอาจครบวงจรด้วยการวิ่งไปเพลทบน ครึ่งไซเกิลหลังมันก็ต้องวิ่งมาเพลทล่าง จึงจะครบวงจรอีก เพราะอีเลคตรอนในขดไฟสูงวิ่งสลับกันไปสลับกันมา ฉะนั้น เพลททั้งสอง เพลทในหลอดก็จะผลัดกันทำงาน เพลทละครึ่งไซเกิลสลับกันไปเช่นเดียวกับขดไฟสูง ที่จะมีกระแสไหลผ่านขดบนและขดล่างสลับกันทุกครึ่งไซเกิลเหมือนกัน

ยังมีแบบอื่น ๆ อีก แต่จะขอบรรยายเพียงเคล่า ๆ ไว้เพียงเท่านี้

วงจรฟิลเตอร์ หรือ วงจรกรองกระแส (FILTER CIRCUIT)

ไฟตรงที่ได้จากการเรคติไฟร์แล้วนั้น ไม่ว่าจะเป็นการเรคติไฟร์แบบใดก็ตาม จะไม่เป็นไฟตรงที่เรียบสนิทได้ เหมือนกับไฟตรงที่ได้จากแบตเตอรี่ไฟฉาย (BATTERY) ไฟตรงที่ได้จากการเรคติไฟร์นั้นจะเป็นไฟตรงที่มีคลื่นกระเพื่อมเป็นละลอก หรือที่เรียกว่า พูลเซติ้ง (PULSATING DIRECT CURRENT) การที่จะทำให้ไฟที่เป็นพูลเซติ้งนั้นเป็นไฟตรงที่เรียบสนิทดีก็จะต้องใช้วงจรกรองกระแสเป็นผู้กรองให้เรียบเสียก่อน เหตุที่ต้องทำให้เรียบก็เพื่อจะนำไปใช้ในวงจรของเสียง เพราะในวงจรของเสียงหรือวงจรของวิทยุจำเป็นมากที่ต้องใช้ไฟตรงที่เรียบจริง ๆ ถ้าเป็นเรื่องของเสียงแล้วจะทำให้คุณภาพเสียงที่ได้เกิดมีเสียงรบกวนหรือที่เรียกว่า เกิดเสียงฮัมที่ดังออกทางลำโพงดังหึ่งนั่นเอง แต่การที่ทำให้เรียบนี้ ไม่ใช่ว่าจะเรียบเป็นเส้นตรงเลย แต่จะมีเป็นเส้นคด ๆ เล็กน้อย แต่ก็จัดว่าเรียบดีกว่าจะไม่เรียบเสียเลย

การทำให้ไฟตรงที่ได้จากการเรคติไฟร์ไหลเวียน

การทำให้ไฟตรงที่ได้จากการเรคติไฟร์ไหลเรียบขึ้นเรียกว่า ทางกรองกระแสหรือ FILTER

ส่วนประกอบที่ใช้ในการกรองกระแส หรือ FILTER นี้ก็มี

๑. คอนเดนเซอร์ (CONDENSER)

๒. แอล - เอฟ โช๊ค (L.F.CHOKE) หรือ รีซิสเตอร์ (RESISTOR)

คอนเดนเซอร์ ที่ใช้นั้น ส่วนมากใช้เป็นแบบอีเลคโทรลิติคคอนเดนเซอร์ (ELECTROLYTIC CONDENSER) เพราะเนื่องจากมีค่าความจุสูง

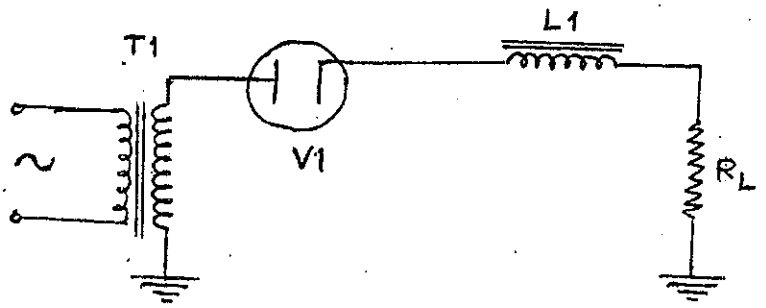
วงจรฟิลเตอร์ มีหลายแบบ ที่นิยมใช้มี ๒ แบบ คือ

๑. แบบคอนเดนเซอร์ อินพุท (CONDENSER INPUT)

๒. แบบโช๊คอินพุท (CHOKE INPUT)

EFFECT OF CAPACITANCE

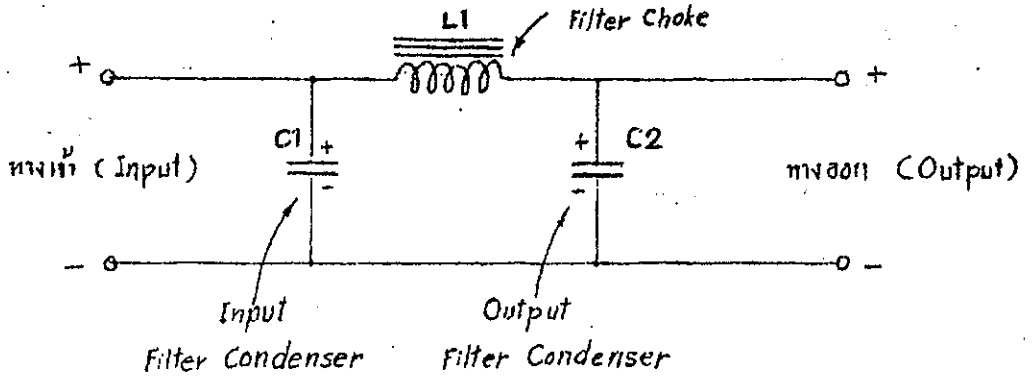
ผลที่เกิดจาก CAPACITANCE ก็คือ CAPACITANCE จะต่อต้านการเปลี่ยนแปลงของ VOLTAGE ภายนอกหรือจากการเกิดการรบกวนของสนามแม่เหล็กไฟฟ้าสถิตย์ เมื่อ VOLTAGE เริ่มเกิดสูงขึ้น CAPACITOR จะเก็บ VOLTAGE นี้ไว้และเปลี่ยนแปลงเป็นพลังงานสะสมไว้ เมื่อ VOLTAGE เริ่มจะตกลงไป CAPACITOR ที่เก็บพลังงานนี้ไว้ก็จะจ่ายกลับเอา VOLTAGE ไปให้ สรุปได้ว่า CAPACITOR จะเก็บไฟไว้เมื่อเริ่มสูงขึ้นจนกว่า VOLTAGE จะตกลง CAPACITOR นี้ก็จะจ่ายคืนมาให้



Inductor Filter (L1)

INDUCANCE L_1 มีความหน่วงสูงต่อความถี่กระแสสลับ แต่มีความต้านทางทางกระแสตรง (DC RESISTANCE) ต่ำ เพราะฉะนั้น สำหรับ A.C.RIPPLE ที่เป็น VOLTAGE ตกคร่อมที่ใหญ่ที่สุดที่เกิดขึ้นก็จะคร่อมอยู่ที่ INDUCTANCE และ A.C.RIPPLE ที่เป็น VOLTAGE ตกคร่อมที่น้อยที่สุดที่เกิดขึ้นก็จะไปปรากฏอยู่ที่ LOAD R_L อย่างไรก็ตาม VOLTAGE DROP ที่น้อยที่สุดที่เกิดขึ้นก็จะคร่อมอยู่ที่ INDUCTOR และ VOLTAGE DROP ที่มากที่สุดที่เกิดขึ้นก็จะคร่อมอยู่ที่ LOAD

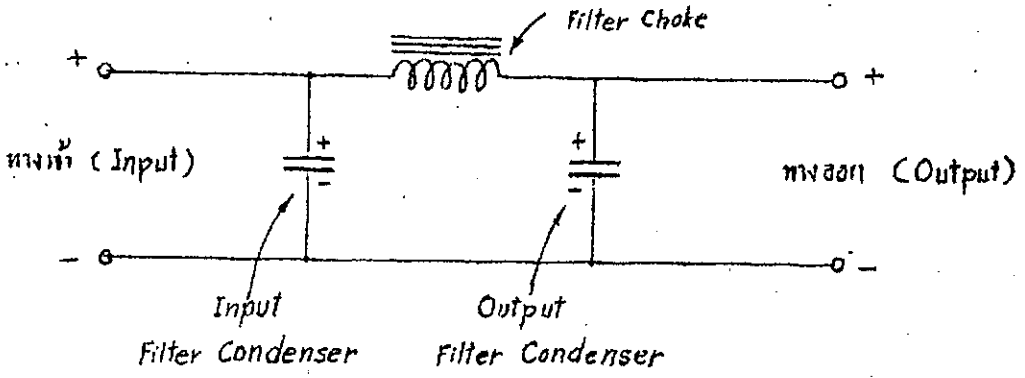
เราอาจเห็นได้ว่าผลที่ได้รับจาก INDUCTOR ทางด้าน OUTPUT ของการเรียงกระแสแบบเต็มคลื่นก็ยังเป็นรูปคลื่นทางออกอีกเหมือนกัน ขอให้จำไว้ว่าอย่างไรก็ตามระลอก (RIPPLE) ก็ยังคงมีเหลืออยู่เพียงเล็กน้อยทางด้าน OUT PUT VOLTAGE



รูปวงจรกรองกระแสแบบคอนเดนเซอร์อินพุท

เราจะเห็นได้ว่าในวงจรนี้จะมี C_1 และ L_1 ทำหน้าที่ร่วมกันเป็นตัวกรองกระแสที่ได้จากการเรคติไฟร์แล้ว แต่เมื่อเรคติไฟร์ออกมาแล้วก็ยังเป็นพูลเซติ้ง ดีซี อยู่ยังไม่เรียบเป็น PURE DC. ก็ยังไม่สามารถจะนำเอาไปในงานประเภทต่าง ๆ ได้ เพราะงานในภาคระบบของเสียงต้องใช้ DC. ที่เรียบที่สุดเท่าที่จะเรียบได้ เราก็ต้องใช้วิธีอีกอย่างหนึ่งเข้ามาเกี่ยวข้องด้วย ก็โดยการใช้วงจรกรองกระแสจากพูลเซติ้ง ดีซี ให้เหลือเป็น ดีซี ที่เรียบที่สุดได้ ในวงจรกรองกระแสนี้ก็มีส่วนประกอบ C_1 กับ L_1 นั่นเอง แต่เราจะรู้ว่าการกรองกระแสนั้นเขาเรียกว่าแบบอะไรก็ขอให้จำไว้ว่า ถ้าทางด้าน อินพุท ของวงจรกรองกระแส เริ่มด้วย C_1 ก่อนและก็ตามด้วย L_1 ซึ่งเป็นโช๊คหรืออินดั๊กเตอร์ตามที่ได้กล่าวมาแล้ว

การทำงานของ CAPACITOR - INPUT FILTERS



รูปวงจรกรองกระแสแบบคอนเดนเซอร์อินพุท

เมื่อมีแรงไฟปรากฏขึ้นจากการเรคติไฟร์แล้ว C_1 ก็จะเก็บแรงไฟที่เกิดขึ้นนั้นเอาไว้ และจะจ่ายแรงไฟให้แก่ LOAD เมื่อ LOAD ต้องการและเราทราบแล้วว่า C_1 ซึ่งมีความหน่วงน้อยต่อกระแสสลับ เมื่อพูลเซติ้ง ดีซี ยังมี A.C.RIPPLE ปะปนอยู่ C_1 ก็จะระบาย A.C.RIPPLE ลงผ่านตัวของมันไปลง GROUND C_1 ก็จะเก็บแต่ ดีซี เอาไว้ แต่ก็ยังไม่หมดที่เดียว ยังมี RIPPLE อยู่บ้างเล็กน้อย ส่วน INDUCTOR L_1 ซึ่งมีความหน่วงสูงต่อความถี่กระแสสลับอยู่แล้ว แต่ก็มีความต้านทานต่อกระแสตรง (D.C.RESISTANCE) ต่ำ) ฉะนั้น INDUCTOR L_1 จึงขัดขวางการเปลี่ยนค่าของกระแส แต่ยอมให้กระแสตรงที่ไหลสม่ำเสมอผ่านโดยสะดวก ฉะนั้น ดีซี ที่ยังไม่เรียบดีก็จะ

ถูก L_1 เป็นตัว FILTER เสียอีกทีหนึ่ง และ C_2 ก็จะเป็นผู้เก็บแรงไฟที่ถูก L_1 FILTER แล้วเอาไว้อีกหนึ่งและก็จะระบายระลอกของแรงไฟที่จะจ่ายให้แก่ LOAD คือ ความต้านทาน R ผ่านตัวของมันลง GROUND ไป VOLTAGE D.C. ที่ถูกเก็บไว้ที่ C_2 ก็คงเป็น DC.PURE ที่จัดอยู่ในประเภทที่เรียบที่สุด สามารถนำไปจ่ายให้ LOAD ใช้งานได้

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%.