

บทที่ 2

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

จากการศึกษาข้อมูลการทำงานของคลื่นอัลตราโซนิกในการบำบัดน้ำเสียซึ่งประกอบด้วยทฤษฎีที่เกี่ยวข้องดังนี้

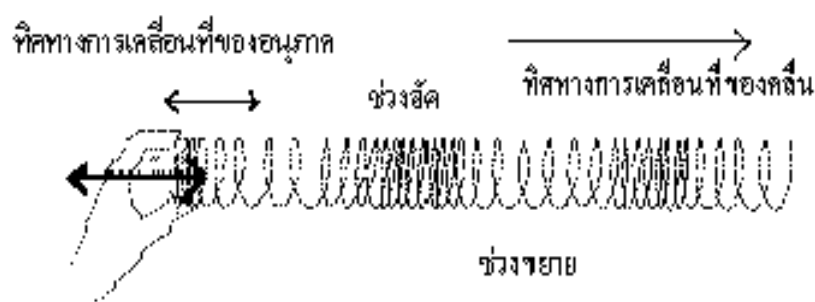
- 2.1 ทฤษฎีคลื่นอัลตราโซนิก
- 2.2 ทฤษฎีอัลตราโซนิกทรานสดิวเซอร์
- 2.3 ทฤษฎีเกี่ยวกับน้ำ
- 2.4 ทฤษฎีเกี่ยวกับการบำบัดน้ำเสีย
- 2.5 ทฤษฎีเกี่ยวกับไดโอด
- 2.6 ทฤษฎีเกี่ยวกับซีเนอร์ไดโอด
- 2.7 ทฤษฎีเกี่ยวกับทรานซิสเตอร์
- 2.8 ทฤษฎีเกี่ยวกับมอสเฟต
- 2.9 ทฤษฎีเกี่ยวกับหม้อแปลง
- 2.10 ทฤษฎีเกี่ยวกับวงจรอินเวอร์เตอร์

2.1 ทฤษฎีคลื่นอัลตราโซนิก

ระบบอัลตราโซนิก (Ultrasonic) หมายถึง คลื่นเสียงที่มีความถี่สูงเกินกว่าที่มนุษย์จะได้ยิน โดยทั่วไปแล้วหูของมนุษย์โดยเฉลี่ยจะได้ยินเสียงสูงถึงเพียงแค่ประมาณ 15 KHz เท่านั้น แต่พวกที่อายุน้อยๆอาจจะได้ยินเสียงที่มีความถี่สูงกว่านี้ได้ดังนั้นโดยปกติแล้วคำว่าอัลตราโซนิกจึงมักจะหมายถึงคลื่นเสียงที่มีความถี่สูงกว่า 20 KHz ขึ้นไป จะสูงขึ้นจนถึงเท่าใดไม่ได้ระบุจำกัดเอาไว้ ความถี่อัลตราโซนิกสามารถทำได้สูงถึง 600 MHz โดยใช้การสั่นของผลึกควอตซ์ คลื่นความถี่ขนาดนี้มีความยาวคลื่นในอากาศประมาณ 500,000 cm. ซึ่งเป็นขนาดพอๆกับความยาวคลื่นแสง การใช้ประโยชน์จากคลื่นอัลตราโซนิกได้แก่ การทำความสะอาดตามซอกเล็กซอกน้อย และการบำบัดน้ำเสีย คือ ถ้าเราทำคลื่นเหนือเสียงให้เกิดในของเหลว จะมีฟองเล็กๆเกิดขึ้นในขณะที่มีส่วนขยาย หลังจากนั้นพอมีส่วนอัดตามมา ฟองเหล่านี้จะถูกบีบอัดภายในเนื้อฟองที่เล็กๆเหล่านี้จะเกิดความดันและอุณหภูมิเพิ่มขึ้นเป็นคลื่นกระแทกอย่างรุนแรง เรียกปรากฏการณ์นี้ว่า คาวิเทชัน (Cavitations) จึงนิยมใช้ความถี่ขนาด 20-40 KHz ในการทำความสะอาดด้วยคลื่นอัลตราโซนิก

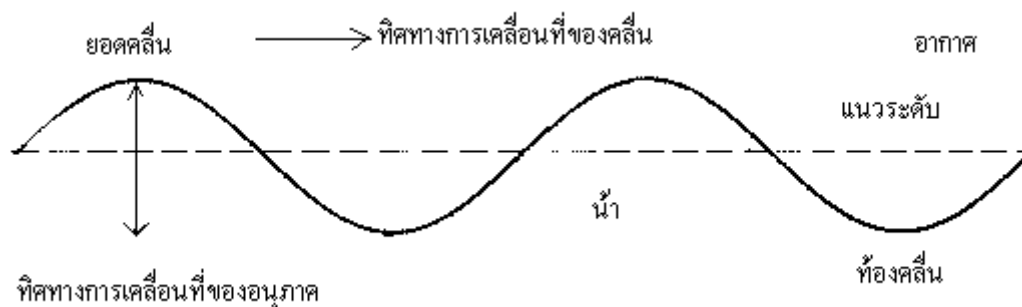
2.1.1 ชนิดของคลื่นเสียงตามทิศทางการเคลื่อนที่ของคลื่น

2.1.1.1 คลื่นยาว (Longitudinal Waves) คือ คลื่นที่ทำให้อนุภาคของตัวกลางที่คลื่นเคลื่อนที่ผ่านมีการเคลื่อนที่ไปกลับ ในทิศทางที่เดียวกันกับทิศทางการเคลื่อนที่ของคลื่น เช่น คลื่นเสียง, คลื่นในสปริง เป็นต้น



รูปที่ 2.1 ลักษณะของการเกิดคลื่นยาว

2.1.1.2 คลื่นขวาง (Transverse Wave) คือ คลื่นที่ทำให้อนุภาคของตัวกลางที่คลื่นเคลื่อนที่ผ่านมีการเคลื่อนที่ไปกลับในทิศทางที่ตั้งฉากกับทิศทางการเคลื่อนที่ของคลื่น เช่น คลื่นน้ำ, คลื่นในเส้นเชือก เป็นต้น

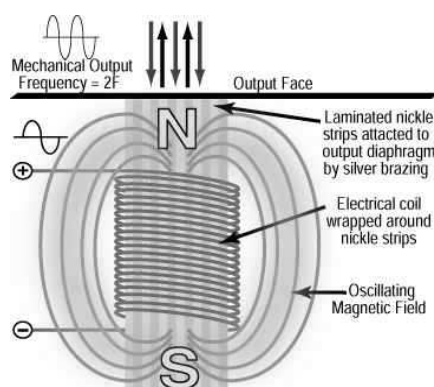


รูปที่ 2.2 ลักษณะของการเกิดคลื่นขวาง

2.2 ทฤษฎีอัลตราโซนิกทรานสดิวเซอร์

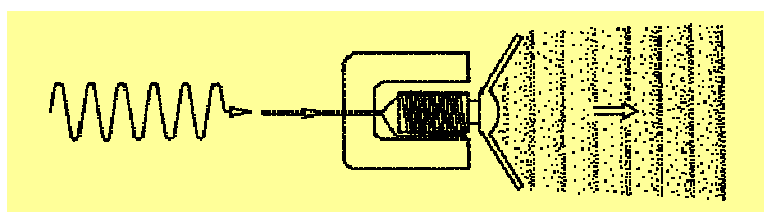
อัลตราโซนิกทรานสดิวเซอร์ อุปกรณ์ที่สามารถแปลงพลังงานในรูปอื่นให้มาเป็นพลังงานทางกลโดยการสั่นไปมา ซึ่งทำให้เกิดคลื่นเสียงย่านอัลตราโซนิกกระจายไปในอากาศได้หรือแปลงพลังงานทางกลให้มาเป็นพลังงานในรูปอื่นได้นั้นมีชื่อเรียกว่า อัลตราโซนิกทรานสดิวเซอร์ ในปัจจุบันอัลตราโซนิกทรานสดิวเซอร์มีหลายแบบขึ้นอยู่กับหลักการที่ใช้มีดังต่อไปนี้

1) แมกนีโตสตริกทิฟทรานสดิวเซอร์ (Magnetostrictive Transducer) ส่วนการทำงานเหมือนกับแบบอิเล็กโตรสตริกทิฟทรานสดิวเซอร์ ใช้วิธีการที่เรียกว่า Magnetostriction โดยการนำวัสดุบางชนิดไปวางในสนามแม่เหล็กไฟฟ้ากระแสสลับวัสดุจะขยายและหดตัวทำให้เกิดการสั่นสะเทือนขึ้น พลังงานไฟฟ้ากระแสสลับจาก Ultrasonic generator จะถูกส่งเข้าสู่ทรานสดิวเซอร์ผ่านทางขดลวด ทำให้เกิดสนามแม่เหล็กไฟฟ้ากระแสสลับขึ้นและสนามแม่เหล็กนี้จะเหนี่ยวนำให้แท่ง Nickel หรือ วัสดุประเภท Magnetostrictive อื่นๆ ทำให้เกิดการสั่นสะเทือนที่มีความถี่สูงระดับอัลตราโซนิกความถี่ของพลังงานไฟฟ้าที่เข้าสู่ตัวทรานสดิวเซอร์เป็น 0.5 เท่าของความถี่การสั่นสะเทือนแมกนีโตสตริกทิฟทรานสดิวเซอร์เป็นตัวเลือกอันดับหนึ่ง สำหรับการใช้งานที่ต้องการพลังงานสูง เช่น การทำความสะอาดด้วยคลื่นอัลตราโซนิก แต่เนื่องจากข้อจำกัดในเรื่องขนาดของอุปกรณ์และความสลับซับซ้อนในการทำงานทำให้แมกนีโตสตริกทิฟทรานสดิวเซอร์แทบจะไม่ได้ถูกนำไปใช้ในงานที่ต้องการความถี่สูงเกิน 20 KHz แต่ในทางกลับกันนั้นแบบเพียโซอิเล็กทริกทรานสดิวเซอร์สามารถใช้งานได้ดี สำหรับงานที่ต้องการความถี่สูงระดับเมกะเฮิรตซ์ โดยทั่วไปแมกนีโตสตริกทิฟทรานสดิวเซอร์จะมีประสิทธิภาพต่ำกว่าเพียโซอิเล็กทริกทรานสดิวเซอร์ด้วยเหตุผลจากหลักความจริงที่ว่าแมกนีโตสตริกทิฟทรานสดิวเซอร์ต้องเปลี่ยนพลังงานถึงสองทอดคือเปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าไปเป็นพลังงานแม่เหล็กและเปลี่ยนพลังงานแม่เหล็กไปเป็นพลังงานกลอีกทีหนึ่ง ดังนั้นจึงเกิดการสูญเสียประสิทธิภาพในแต่ละครั้งที่เกิดการเปลี่ยนแปลงพลังงานนอกจากนั้นปรากฏการณ์บางอย่างที่เกิดจากแม่เหล็กยังลดประสิทธิภาพของแมกนีโตสตริกทิฟทรานสดิวเซอร์ลงอีกด้วยแสดงดังรูปที่ 2.3

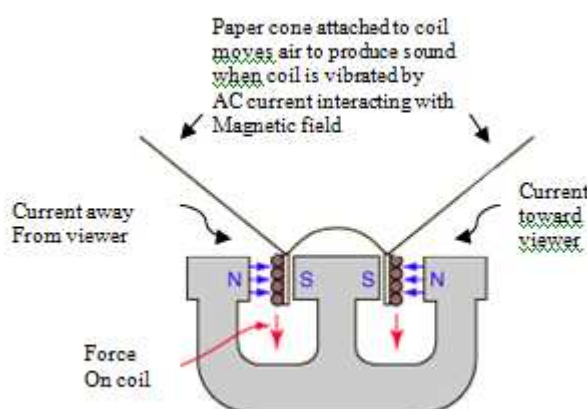


รูปที่ 2.3 แมกนีโตสตริกทีฟทรานสดิวเซอร์

2) อิเล็กโตรสตริกทีฟทรานสดิวเซอร์ (Electrostrictive Transducer) การทำงานอาศัยหลักการเปลี่ยนแปลงของสนามแม่เหล็ก (Magnetic) หรือ สนามไฟฟ้า (Electric) ที่ผ่านขดลวดเพื่อเหนี่ยวนำให้เกิดสนามแรงไปผลักดันแผ่นโลหะ หรือ ไดอะแฟรม (Diaphragm) ให้เกิดการขยับตัวหรือเกิดการสั่นกระเพื่อมเป็นคลื่นทางกลหรือจะคล้ายกับหลักการทำงานของลำโพงคือคอยส์ใช้หลักการของแม่เหล็กไฟฟ้า โดยหาได้จากกฎของแอมแปร์เมื่อมีกระแสไฟฟ้าได้ไหลผ่านเข้าไปในขดลวดหรือคอยส์ภายในคอยส์เกิดสนามแม่เหล็กขึ้นจะเหนี่ยวนำให้แท่งเหล็กที่สอดอยู่เป็นแม่เหล็กไฟฟ้า ปกติแม่เหล็กจะมีขั้วเหนือและขั้วใต้ ถ้านำแม่เหล็กสองแท่งมาอยู่ใกล้กันโดยนำขั้วเดียวกันมาชิดกันมันจะผลักกัน แต่ถ้าต่างขั้วกันมันจะดูดกันด้วยหลักการพื้นฐานนี้จึงติดแม่เหล็กถาวรล้อมคอยส์และแท่งเหล็กไว้เมื่อมีสัญญาณทางไฟฟ้าหรือสัญญาณเสียงที่เป็นไฟฟ้ากระแสสลับป้อนสัญญาณให้กับคอยส์ ขั้วแม่เหล็กภายในคอยส์จะเปลี่ยนทิศทางการตามสัญญาณสลับที่เข้ามาทำให้คอยส์ขยับขึ้นและลงจะทำให้ไดอะแฟรมขยับเคลื่อนที่ขึ้นและลงไปกระทบกับอากาศเกิดเป็นคลื่นแสดงดังรูปที่ 2.3 และ 2.4



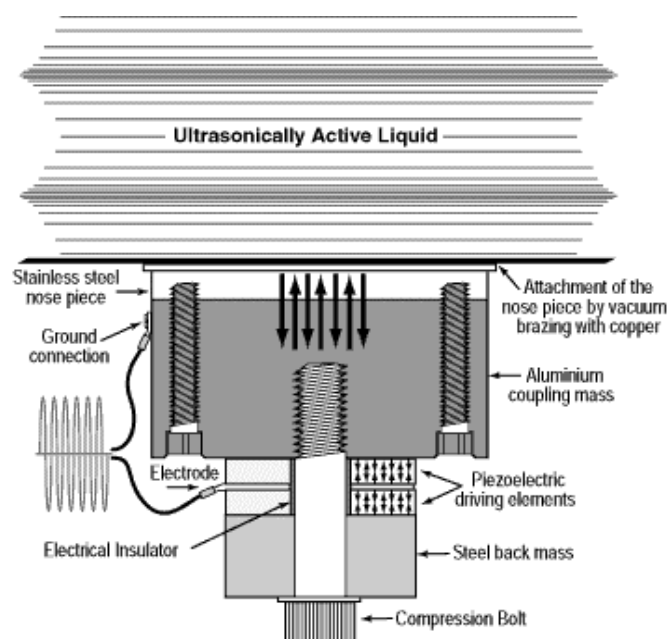
รูปที่ 2.4 การทำงานของคอยส์



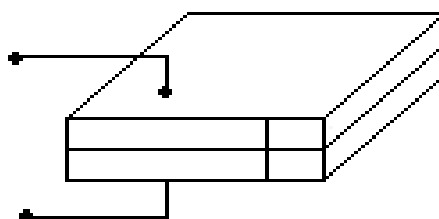
รูปที่ 2.5 โครงสร้างอิเล็กทรอนิกส์ทรานสดิวเซอร์

ข้อดี คือสามารถสร้างให้มีขนาดใหญ่กำลังสูงได้ภายในตัวเดียวต่างจากแบบเพียโซอิเล็กทริก-ทรานสดิวเซอร์ที่ต้องใช้ทรานสดิวเซอร์หลายตัวจึงจะได้กำลังสูง ส่วนข้อเสียเนื่องจากข้อจำกัดในเรื่องของอุปกรณ์และรวมถึงความสลับซับซ้อนในการทำงานของกระแสไฟฟ้าจึงเป็นสาเหตุที่ทำให้อิเล็กทรอนิกส์ทรานสดิวเซอร์แทบจะไม่ได้ถูกนำไปใช้ในงานที่ต้องการความถี่สูงมากแต่ในทางกลับกันเพียโซอิเล็กทริกทรานสดิวเซอร์สามารถใช้งานได้ดี สำหรับงานที่ต้องการความถี่สูงระดับเมกะเฮิร์ต โดยทั่วไปแล้วอิเล็กทรอนิกส์ทรานสดิวเซอร์จะมีประสิทธิภาพที่ต่ำกว่าแบบเพียโซอิเล็กทริกทรานสดิวเซอร์ด้วยเหตุผลความจริงที่ว่าแบบอิเล็กทรอนิกส์ทรานสดิวเซอร์ต้องเปลี่ยนพลังงานถึงสองทอดคือเปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าไปเป็นพลังงานแม่เหล็กและเปลี่ยนพลังงานแม่เหล็กไปเป็นพลังงานกลอีกทีหนึ่ง ดังนั้นจึงเกิดการสูญเสียประสิทธิภาพในแต่ละครั้งที่เกิดการเปลี่ยนแปลงพลังงานนอกจากนั้นปรากฏการณ์บางอย่างที่เกิดจากแม่เหล็กยังลดทอนประสิทธิภาพของอิเล็กทรอนิกส์ทรานสดิวเซอร์ลงอีกด้วย

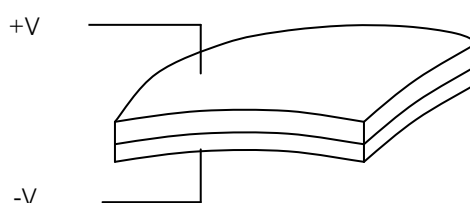
3) เพียโซอิเล็กทริกทรานสดิวเซอร์ (Piezo-electric Transducer) ซึ่งประกอบด้วยสารเซรามิกสองชิ้นประกบกันโดยวางขั้วไดโพลไฟฟ้าภายในอะตอมให้มีทิศทางตรงข้ามกัน เมื่อป้อนสัญญาณไฟฟ้าเข้าไปที่สารเซรามิกสองชิ้นคือ ชิ้นหนึ่งจ่ายไฟฟ้าบวกอีกชิ้นหนึ่งจ่ายไฟฟ้าลบจะทำให้สารเซรามิกโก่งตัวทำให้เกิดการกดอัดอากาศโดยรอบเกิดเป็นคลื่นเสียงและเกิดการสั่นที่สอดคล้องหรือความถี่เรโซแนนซ์กับความถี่สัญญาณไฟฟ้าที่จ่ายให้แสดงดังรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 โครงสร้างเพียโซอิเล็กทริกทรานสดิวเซอร์



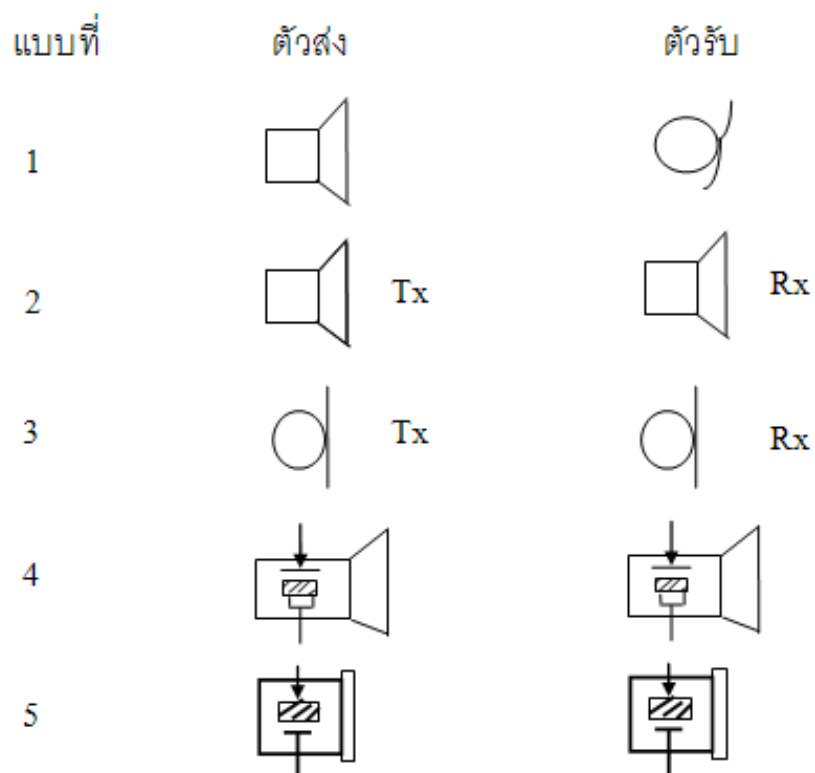
รูปที่ 2.7 แผ่นเซรามิกก่อนการป้อนแรงดันไฟฟ้า



รูปที่ 2.8 แผ่นเซรามิกหลังการป้อนแรงดันไฟฟ้า

ชั้นสารเซรามิกถูกยึดติดภายในตัวถังอย่างดีเพื่อไม่ให้เกิดการสั่นสะเทือนที่มันทำงานอยู่ได้รับผลกระทบกระเทือนจากภายนอกตัวถังมักจะเป็นรูปทรงกระบอกที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางและมีความสูงประมาณ 1 ถึง 2.5 ซม. ด้านหน้าทำเป็นช่องเปิดมีตะแกรงติดอยู่เพื่อให้คลื่นอัลตราโซนิกเข้ามาหรือออกจากช่องเปิดได้โดยสะดวก ถ้าตัวถังทำมาจากโลหะก็ควรต่อตัวถังลงกราวด์เพื่อทำหน้าที่ชิลด์ สำหรับบางยี่ห้อจะต่อขาหนึ่งติดกับตัวถังมาให้เลย เมื่อพลิกดูขาสองขาที่โผล่ออกมาจากตัวถังจะเห็นมีขาหนึ่งติดกับตัวถังเมื่อมีสัญญาณแรงดันมาตกคร่อมขั้วทั้งสองของชั้นสารเซรามิกแสดงดังรูป 2.7 และ 2.8 ซึ่งจะทำให้ชั้นสารโค้งงอมากหรือน้อยหรือในทิศทางใดๆ ตามขนาดและทิศทางของการเปลี่ยนแปลงขนาดของสัญญาณนั้นๆ ทำให้เกิดการกดอัดอากาศโดยรอบและเกิดเป็นคลื่นเสียงที่มีความถี่เดียวกับสัญญาณนั้นออกไปโดยทั่วไปกำลังด้านเอาต์พุตที่ออกมาจะตกประมาณ 10% ของกำลังไฟฟ้าที่ป้อนเข้าไปแต่กำลังเอาต์พุตจะสูงสุดที่ค่าประมาณนี้ต่อเมื่อความถี่ของสัญญาณตรงกับความถี่เรโซแนนซ์ โดยจะความถี่ทางกลตามธรรมชาติของชั้นสารเซรามิกนั้นๆ ส่วนที่ความถี่อื่นๆ กำลังเอาต์พุตจะลดลงมากกว่านี้ในทางกลับกันเมื่อคลื่นเสียงที่มีความถี่ตรงกับความถี่เรโซแนนซ์ ของชั้นสารเซรามิกเข้ามาจะทำให้ชั้นสาร โค้งงอไปมาและเกิดสัญญาณแรงดันซึ่งมีขนาดเล็กขึ้นมารวมขั้วทั้งสองของตัวมันเองได้ คุณสมบัติโดยทั่วไปของเปียโซอิเล็กทริกทรานสดิวเซอร์ ก็คือมีค่าความต้านทานไฟตรงสูงมากอาจสูงถึง 100 เมกะโอห์ม ถ้านำมัลติมิเตอร์ธรรมดาทำการตั้งสเกลวัดค่าความต้านทานสูงๆ เข็มไม่กระดิกเลยแต่ในขณะที่เดียวกันที่มันทำงานความต้านทานทางด้านไฟฟ้ากระแสสลับจะลดลง

เปียโซอิเล็กทริกทรานสดิวเซอร์จะแบ่งออกเป็นสองแบบประกอบด้วย ตัวส่ง (Transmitter) คือ อัลตราโซนิกทรานสดิวเซอร์ที่ถูกออกแบบเจาะจงมาเพื่อให้แปลงสัญญาณไฟฟ้าที่ให้แก่ตัวมันให้ออกมาเป็นคลื่นเสียงย่านอัลตราโซนิก หน้าที่ของตัวส่งนั้นจะคล้ายกับลำโพงและตัวรับ (Receive) คือ อัลตราโซนิกทรานสดิวเซอร์ที่ถูกออกแบบโดยการเจาะจงเฉพาะให้แปลงคลื่นเสียงย่านอัลตราโซนิกที่มาตกกระทบตัวมันให้ออกมาเป็นสัญญาณไฟฟ้าหน้าที่ของตัวรับจึงคล้ายกับไมโครโฟนด้วยเหตุนี้เวลาเขียนสัญลักษณ์ของอัลตราโซนิกทรานสดิวเซอร์จึงมักนิยมเขียนตามหน้าที่ของมันคือ ถ้าเป็นตัวส่งก็เขียนสัญลักษณ์เป็นลำโพงและถ้าเป็นตัวรับก็จะเขียนสัญลักษณ์เป็นไมโครโฟน สัญลักษณ์แสดงดังรูปที่ 2.9



รูปที่ 2.9 สัญลักษณ์เปียโซอิเล็กทริกทรานสดิวเซอร์

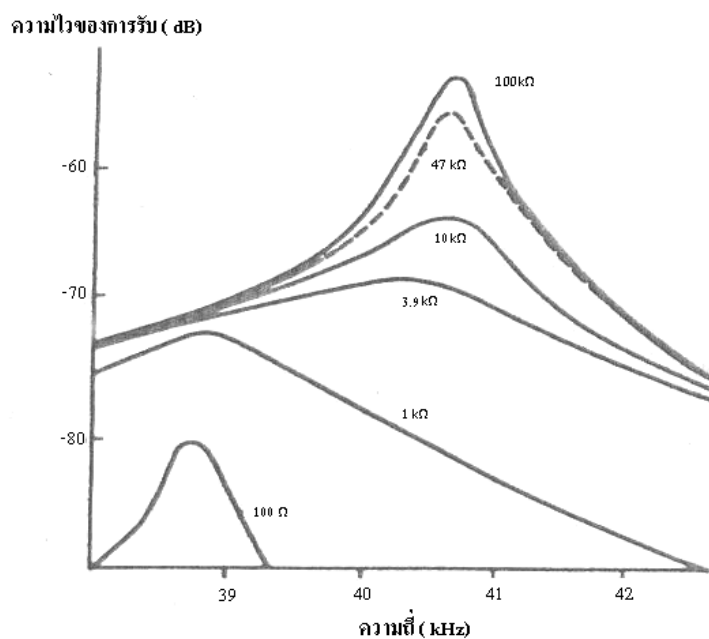


รูปที่ 2.10 ลักษณะของเปียโซอิเล็กทริกทรานสดิวเซอร์

เปียโซอิเล็กทริกทรานสดิวเซอร์ดังรูปที่ 2.9 ที่มีจำหน่ายจะมีค่าความถี่เรโซแนนซ์ให้เลือกใช้ตั้งแต่ 23 kHz ขึ้นไปจนถึง 40 kHz แต่ที่พบเห็นกันบ่อยก็มี 23 kHz 25 kHz และ 40 kHz โดยความถี่ขนาด 40 kHz เป็นรุ่นที่นิยมใช้กันมากที่สุดเพราะมีทิศทางดีกว่า

ข้อควรรู้ในการใช้งานของตัวส่งและตัวรับเนื่องจากข้อจำกัดในการใช้งานและตลอดจนรายละเอียดต่างๆ ของอัลตราโซนิกทรานสดิวเซอร์หาได้ยาก ดังนั้นจึงสามารถสรุปสิ่งที่ควรรู้ในขั้นต้นของอุปกรณ์อัลตราโซนิกทรานสดิวเซอร์ เพื่อเป็นแนวทางในการใช้งานอย่างมีประสิทธิภาพ คือไม่ควรให้ตัวทรานสดิวเซอร์ได้รับการกระแทกหรือตกจากที่สูงและเพื่อป้องกันโครงสร้างภายในมิให้เสียหาย ทรานสดิวเซอร์ที่มีขายกันโดยทั่วไปจะทนแรงดันตกคร่อมตัวมันสูงสุดได้ไม่เกินกว่า 20 V_{rms} ดังนั้นขนาดของสัญญาณที่จะป้อนให้กับทรานสดิวเซอร์ต้องอยู่ภายในขีดข้อจำกัดของความถี่เรโซแนนซ์ โดยจะมีความถี่ที่ตัวมันทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงสุดของทรานสดิวเซอร์ 40 kHz ที่มีขายกันโดยทั่วไปจะผิดพลาดไปไม่เกิน ± 1 kHz และมีแถบความถี่ (Bandwidth) ประมาณ 4.5 kHz สำหรับตัวส่งและมีแถบความถี่ประมาณ 5.0 kHz สำหรับตัวรับ จะเห็นได้ว่าแถบความถี่ของตัวรับจะกว้างกว่าของตัวส่งอยู่เล็กน้อย เพื่อให้แน่ใจว่าตัวรับจะสามารถรับความถี่ทั้งหมดที่ออกมาจากตัวส่งได้นั้นอุณหภูมิใช้งานของตัวทรานสดิวเซอร์ควรอยู่ภายในช่วง -20°C ถึง $+60^{\circ}\text{C}$ ทั้งตัวส่งและตัวรับจะมีทิศทางคล้ายคลึงกันมากกล่าวคือ ที่ตำแหน่งเบนจากแนวแกนของตัวส่งไปประมาณ 30 องศาความแรงของคลื่นเสียงที่ถูกส่งออกไปจะลดลงจากแนวแกนที่ประมาณ 10 dB และในทำนองเดียวกันถ้าคลื่นเสียงพุ่งเข้ามาในแนวที่เบี่ยงเบนไปจากแนวแกนของตัวรับไปประมาณ 30 องศาความไวหรือขนาดแรงดันที่ออกมาก็ลดลงประมาณ 10 dB ด้วยเช่นกัน ดังนั้นในการใช้งานที่เป็นการควบคุมระยะไกลในที่โล่งแจ้งจึงควรพยายามให้ทั้งตัวรับและตัวส่งอยู่ในแนวที่พุ่งตรงเข้าหากันให้มากที่สุดและอย่างไรก็ตามในกรณีที่อยู่ในห้องอาจจะเบี่ยงเบนจากกันได้เล็กน้อย เพราะคลื่นเสียงอัลตราโซนิกสามารถสะท้อนกับกำแพง พื้นและวัตถุที่อยู่ภายในห้องทำให้คลื่นเสียงเข้าไปหาตัวรับได้หลายทางในกรณีที่ใช้งานตัวรับจะต้องมีตัวต้านทานต่อขนานกับตัวรับเพื่อทำหน้าที่เป็นโหลดและตามปกติแล้วตัวต้านทานตัวนี้ควรมีค่าอยู่ในช่วงจาก 10 กิโลโอห์มจนถึง 100 กิโลโอห์ม จากการทดลองถ้าเปลี่ยนโหลดจาก 100 กิโลโอห์มมาเป็น 10 กิโลโอห์ม ความไวจะลดลงประมาณ 10 dB ถึง 20 dB แต่แถบความถี่นั้นจะกว้างขึ้น ถ้าใช้ค่าความต้านทานต่ำลงไปอีก ความถี่เรโซแนนซ์จะลดลงไปจากที่ระบุไว้ ถ้าการใช้งานมีสัญญาณรบกวนมากควรใช้โหลดที่มีความต้านทานสูงเพื่อให้ตัวส่งมีความไวสูงและมีแถบความถี่แคบ ตัวอย่างของการทดสอบแสดงไว้ดังรูปที่ 2.11 ตามปกติเราจะสามารถนำเอาตัวส่งและรับมาใช้งานแทนกันได้ในการใช้งานส่วนใหญ่และตัวส่งหรือตัวรับของยี่ห้อใดรุ่นใดก็สามารถที่จะนำมาใช้แทนกันได้ในการใช้งานส่วนใหญ่ขอเพียงแต่ให้มีความถี่เรโซแนนซ์เดียวกันเท่านั้นเองและอย่างไร

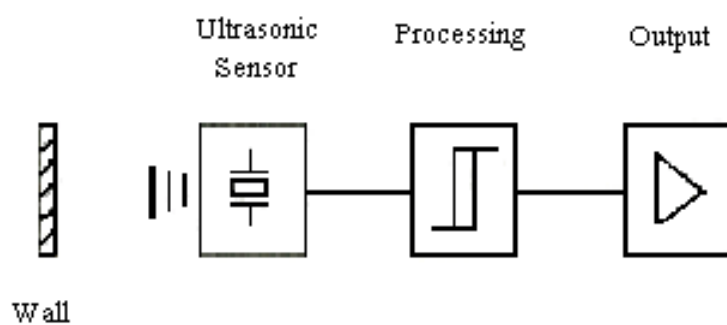
ก็ตามในบางกรณีอาจจะต้องเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานสมมูลทางด้านไฟสลัปเพื่อให้ลักษณะผลตอบสนองทางความถี่สอดคล้องกับของเดิม



รูป 2.11 ผลการทดลองตัวรับตัวหนึ่งโดยเปลี่ยนโหลดและป้อนความถี่ต่างกัน

2.1.1 อัลตราโซนิกเซ็นเซอร์หน้าที่และการทำงานรูปแบบต่าง ๆ

อัลตราโซนิกเซ็นเซอร์ประกอบด้วย ตัวตรวจจับด้วยคลื่นอัลตราโซนิกชุดส่งสัญญาณ ชุดประมวลผลและชุดเอาต์พุตแสดงดังรูปที่ 2.12

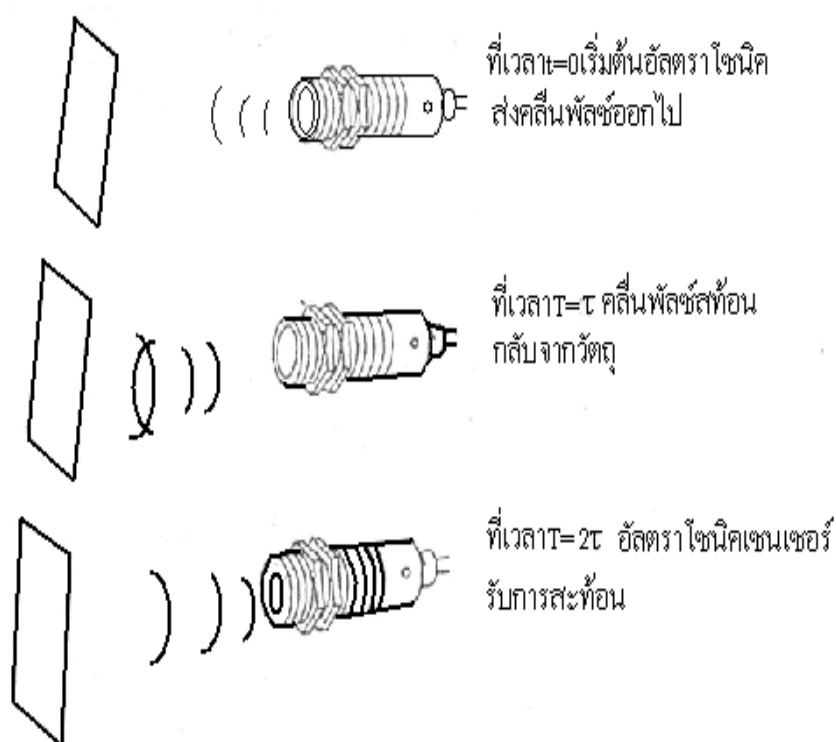


รูปที่ 2.12 หลักการทำงานของอัลตราโซนิก

ส่วนใหญ่นั้นจะใช้เป็นภาครับและภาคส่ง อาจมีระบบซึ่งประกอบด้วยส่วนหลักจะแยกกันอยู่สองส่วนในระหว่างการทำงานเซ็นเซอร์จะทำการส่งสัญญาณเสียงซึ่งเรียกว่า ซาวด์ฟาร์-เชลส์ ซึ่งทำให้ขบวนการทางอิเล็กทรอนิกส์ของเวลาทำงานไปเรื่อยๆ จนกระทั่งมีการรับการสะท้อนของครั้งแรกเกิดขึ้น

2.1.2 วงจรส่งผ่าน

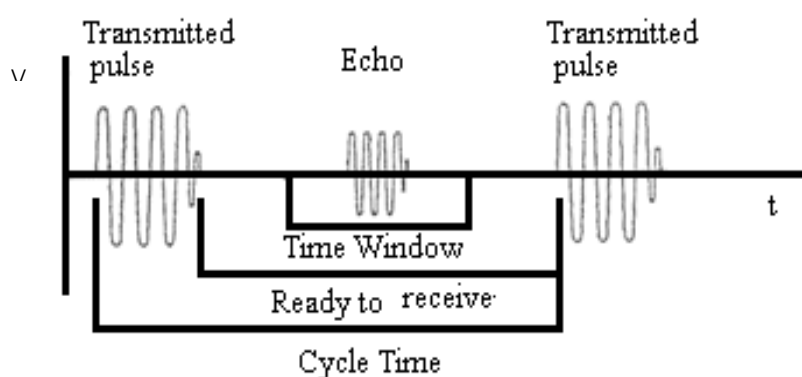
สำหรับการทำงานเป็นวงจรของอัลตราโซนิกเซ็นเซอร์ซึ่งจะส่งผ่านคลื่นพัลส์เสียงในช่วงเวลาสม่ำเสมอ หรือช่วงเวลาที่เปลี่ยนแปลง คลื่นเสียงที่ปล่อยออกไปจะถูกสะท้อนได้โดยวัตถุที่เหมาะสมด้วยเซ็นเซอร์และระบบการทำงานจะรับการสะท้อนของคลื่นเสียงที่สะท้อนกลับมาซึ่งแสดงในรูป 2.11 ความกว้างของสัญญาณคลื่นพัลส์ของเสียงอยู่ในช่วง 2-200 ไมโครเซต



รูปที่ 2.13 อัลตราโซนิกเซ็นเซอร์ในวงจรส่งผ่าน-รับ

เวลาในการเดินทางของคลื่นพัลส์ของคลื่นเสียงเป็นการวัดระยะห่างจากวัตถุ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของเซ็นเซอร์ ระยะห่างนี้นำไปแสดงในรูปของสัญญาณอนาล็อก เช่น 0-20 mA สัญญาณลอจิก เช่น สัญญาณลอจิกแปลบตลอดทั้งซีเรียลอินเตอร์เฟส RS232 หรือการเปรียบเทียบกับค่าอ้างอิงใน

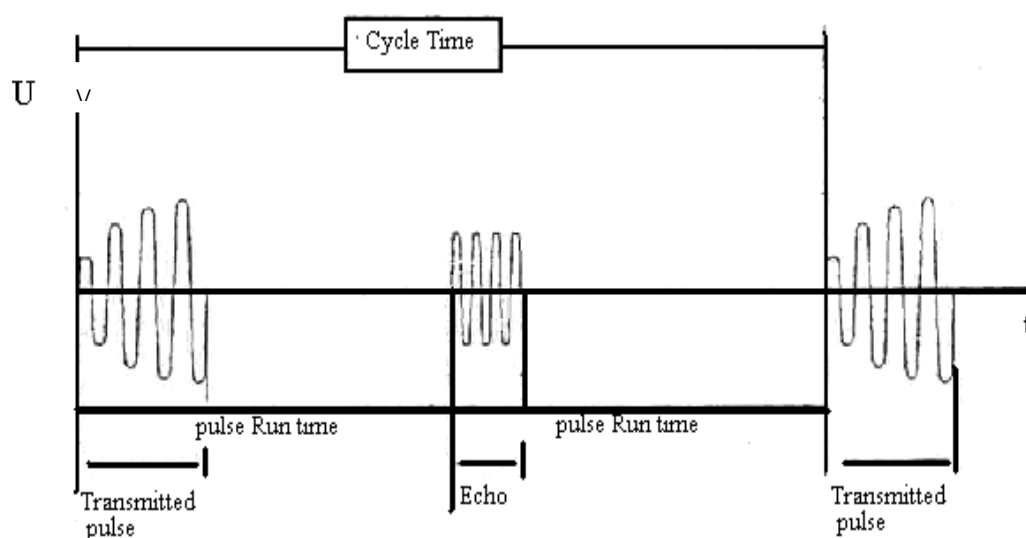
รูปของสวิตช์พัลส์ที่เรียกว่า ไทม์เฟรม เนื่องจากขบวนการดำเนินไปตามเวลาที่คลื่นสะท้อนเดินทาง ไม่ใช่เป็นไปตามความเข้มของคลื่นสะท้อนจึงจัดได้ว่าอัลตราโซนิกเซ็นเซอร์และมีข้อดีเหนือกว่าเซ็นเซอร์แบบออปติคัลเวลาที่คลื่นสะท้อนการเดินทางจะทำให้ขบวนการดำเนินโดยไม่ขึ้นกับความเข้มของคลื่นสะท้อนตรงเท่าที่วัตถุยังคงสะท้อนคลื่นที่สามารถตรวจจับได้ออกมา ดังนั้นคุณลักษณะการสวิตช์ไม่เปลี่ยนไป แม้ในสภาวะที่การสะท้อนเป็นไปอย่างไม่ดีคลื่นสะท้อนที่อ่อนจะมีผลต่อความถูกต้องในการตรวจจับวัตถุ ซึ่งอาจทำให้ไม่สามารถทำการตรวจจับวัตถุได้เลย ความเร็วที่เปลี่ยนไปของคลื่นพัลส์ของเสียงมีผลกระทบต่อประสิทธิภาพการทำงานของสวิตช์เกี่ยวกับระยะทางโดยตรงเซ็นเซอร์ทำงานด้วยวงจรเวลาที่คงที่ เช่น $t = 20 \text{ ms}$ จะส่งคลื่นเสียงออกมาอย่างสม่ำเสมอแสดงในรูปที่ 2.14 ดังนั้นวงจรเวลาจะเป็นตัวกำหนดช่วงและวงจรการทำงานของสวิตช์ของชุดเซ็นเซอร์



รูปที่ 2.14 อัลตราโซนิกเซ็นเซอร์วงจรเวลาคงที่

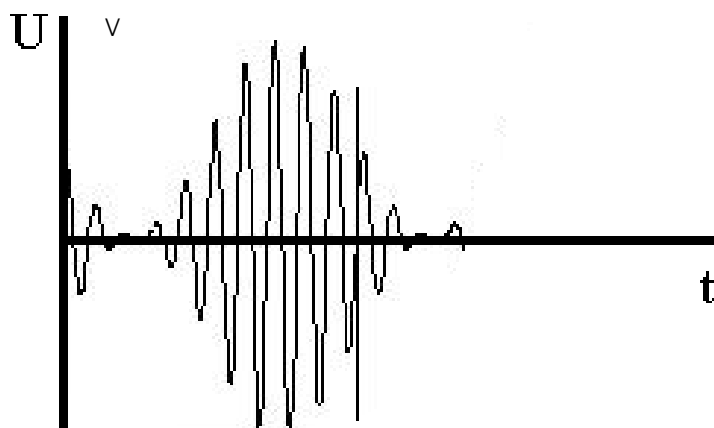
ยกตัวอย่างเช่น คลื่นเสียงที่มีความเร็วเท่ากับ 340 เมตรต่อวินาทีและจะทำมุมที่ 20 องศาในช่วงเวลา $t = 20 \text{ ms}$ ที่ความถี่ 50 Hz จะเดินทาง $S = Vxt = 6.8 \text{ m}$ เนื่องจากระยะห่างระหว่างเซ็นเซอร์และวัตถุที่ได้จากการทำงานของชุดเซ็นเซอร์คิดที่ไปและกลับ จึงได้ระยะทางที่จริงสูงสุดสำหรับวงจรเวลานี้เป็น 3.4 m ส่วนแอมพลิจูดของส่วนของคลื่นเสียงและซีทีวีดี (Sensitivity) ของตัวรับต้องมีการพิจารณาเลือกใช้เพื่อให้คลื่นสะท้อนที่เดินทางมาถึงหลังจากเวลาของวงจรเวลาที่กำหนดไปแล้วจะไม่ได้รับการตรวจจับเนื่องจากคลื่นสะท้อนนั้นอ่อนมากสัญญาณคลื่นนี้จะทำให้เซ็นเซอร์สวิตช์มีการทำงานผิดพลาดหรือให้ข้อมูลที่ผิด เซ็นเซอร์แบบอนาล็อกเพื่อการตรวจจับวัตถุเป็นไปอย่างถูกต้องวัตถุต้องอยู่นิ่งเป็นเวลาเพียงพอสำหรับสำหรับสะท้อนอย่างน้อยหนึ่งส่วนของคลื่นเสียงภายในขอบเขตที่เซ็นเซอร์จะทำงานได้รอบมากที่สุดของการสวิตช์ ซึ่งจะเปลี่ยนแปลงกับอัตราส่วนของวัตถุที่ว่างและจะพิจารณาให้มีค่าน้อยกว่ารอบของความถี่ที่จุดนี้

เวลาที่ขยายจะสิ้นสุดระหว่างการส่งผ่านของพัลส์และการรับคลื่นสะท้อนแรกจะถูกนำไปใช้วัดสำหรับวงจรเวลา เมื่อเวลาดำเนินไปเท่ากับเวลาที่คลื่นสะท้อนเดินทางไปและกลับสิ้นสุดและส่วนของคลื่นสะท้อนต่อไปจะถูกส่งออก การหยุดลงชั่วขณะของเวลาพิเศษที่คลื่นเดินทางทำขึ้นเพื่อลดสัญญาณรบกวนที่ดำเนินมาจากตรวจจับวัตถุมากกว่าหนึ่งระยะ โดยเซ็นเซอร์สามารถถูกปรับให้เหมาะสมตามสภาพแวดล้อมซึ่งหมายถึงส่วนสำหรับการตรวจจับวัตถุที่อยู่ไกลนั้นเวลาการเดินทางจะนานเป็นผลทำให้ต้องการความถี่ต่ำในทางตรงกันข้ามความถี่ของวงจรจะเพิ่มขึ้นเมื่อวัตถุเข้าใกล้ เซ็นเซอร์ทำงานให้วงจรเวลาสั้นลงและพลังงานที่ส่งออกไปสามารถปรับในช่วงเวลาของคลื่นเมื่อวัตถุเข้าใกล้ เซ็นเซอร์ทำงานให้วงจรเวลาสั้นลงแสดงดังรูปที่ 2.15



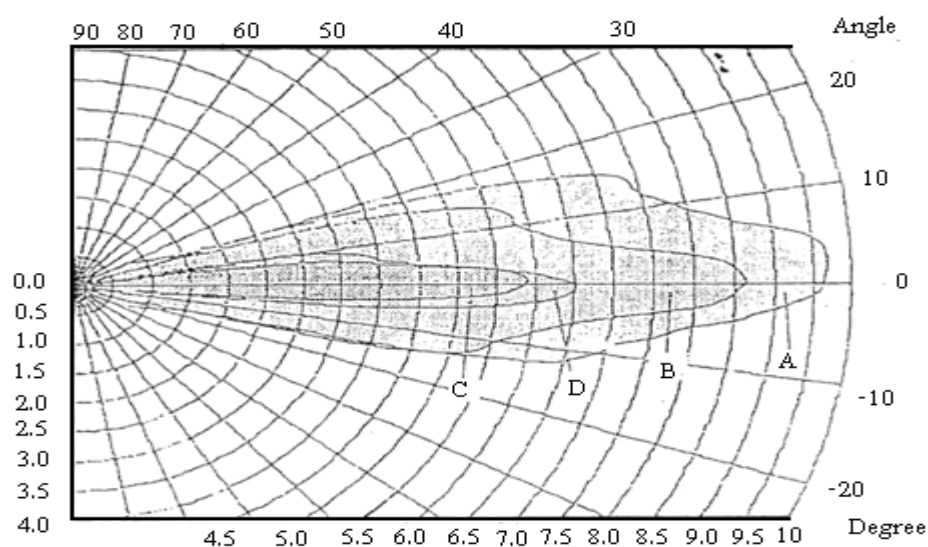
รูปที่ 2.15 อัลตราโซนิกเซ็นเซอร์ในวงจรที่เปลี่ยนแปลงได้

ทรานซิวเซอร์จะถูกใช้สำหรับพลังงานที่ส่งออกไปจะแสดงในรูปที่ 2.16 ดังนั้นคลื่นสะท้อนเบื้องต้นหลังสามารถควบคุมได้ ด้วยการลดพลังงานในการส่งผ่านวัตถุที่อยู่ใกล้เซ็นเซอร์



รูปที่ 2.16 อัลตราโซนิกเซ็นเซอร์ทรานส์ดิวเซอร์แบบขึ้นส่วนการอิมพัลส์ที่ 170 MHz

2.1.3 การลดสัญญาณรบกวนและสภาวะการทำงานผลที่เกิดขึ้นจากคลื่นรบกวนและเกิดการสอดแทรกในการประยุกต์ใช้อัลตราโซนิกเซ็นเซอร์คือ การตรวจจับวัตถุได้แต่ระยะที่ใกล้กับเซ็นเซอร์และไม่สามารถตรวจจับวัตถุที่มีการสะท้อนได้เนื่องจากความจริงที่ว่าคลื่นอัลตราโซนิกจะสะท้อนได้จากวัตถุเกือบทุกชนิดและง่ายต่อการเบี่ยงเบนวัตถุเหล่านั้นจะทำให้สวิทช์เปิด-ปิดเมื่อเข้าใกล้บริเวณที่เซ็นเซอร์สามารถตรวจจับได้ ดังกราฟคุณลักษณะของเซ็นเซอร์แสดงดังรูปที่ 2.17

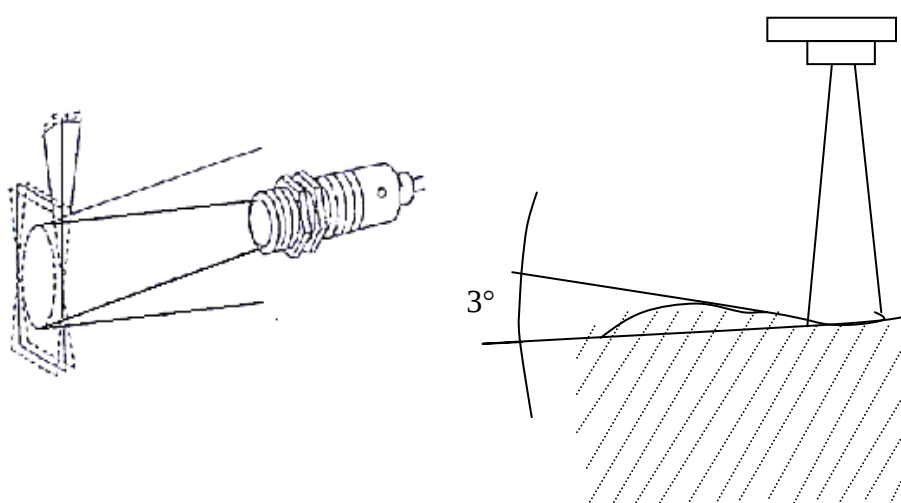


รูปที่ 2.17 อัลตราโซนิกเซ็นเซอร์และคุณลักษณะการตรวจจับ

เพื่อหาคุณลักษณะของวัตถุนิตต่าง ๆ จะวางในตำแหน่งของวัตถุในระยะห่างเท่า ๆ กันที่มุมตั้งฉากกับแนวแกนของเซ็นเซอร์ จุดที่สวิตซ์ทำงานก็จะถูกกำหนดขึ้น วัสดุที่ใช้คือ

- 1) A : แผ่นงานขนาด 700 x 700 mm. ขอบเขตที่อยู่ด้านนอกส่วนโค้งขึ้นนี้โดยปกติจะไม่มีวัตถุตรวจจับได้
- 2) B : แผ่นงานขนาด 100 x 100 mm. แผ่นงานอ้างอิงมาตรฐานกำหนดโดยข้อมูลทางเทคนิคทั่วไป
- 3) C : ท่อพลาสติกมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางกลาง 160 mm. จะคลุมด้วยสีกหลาดจะใช้เป็นตัวแทนมาตรฐาน
- 4) D : แท่นไม้ ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางกลาง 25 mm.

วัสดุทดสอบเช่น ระยะความปลอดภัยย้อนกลับในยานพาหนะเพื่อให้ปราศจากปัญหาในการทำงานจะไม่มีวัสดุอื่นใดที่ไม่ใช่เป้าหมายในขอบเขตนอกสุดในทางกลับกันวัตถุเป้าหมายจะต้องอยู่ภายในบริเวณพื้นที่ที่สามารถตรวจจับได้ทั้งขนาดและรูปร่าง เพื่อป้องกันในเรื่องของปัญหาการตรวจจับคลื่นเสียงพื้นผิวของวัตถุควรมีขนาดใหญ่เท่าที่จะเป็นได้ราบเรียบและมีมุมเอียงไม่เกิน 3 องศาไปกับแนวแกนของเซ็นเซอร์แสดงดังในรูปที่ 2.17 จากข้อกำหนดดังกล่าวเมื่อทำการตรวจจับวัตถุทรงกลมหรือวัตถุผิวไม่เรียบเช่น ของเหลว ของผสมก็จะทำให้เกิดปัญหาขึ้น



รูปที่ 2.18 คุณลักษณะของวัตถุนิตต่างที่ใช้กับอัลตราโซนิกเซ็นเซอร์

2.1.4 ตัวอย่างการนำอัลตราโซนิกทรานสดิวเซอร์ไปใช้งานแสดงดังรูปที่ 2.19 ถึง 2.22



รูปที่ 2.19 เครื่องล้างอุปกรณ์ทางการแพทย์



รูปที่ 2.20 เครื่องอัลตราซาวด์



รูปที่ 2.21 อัลตราโซนิกกับเครื่องวัดระดับตะกอน

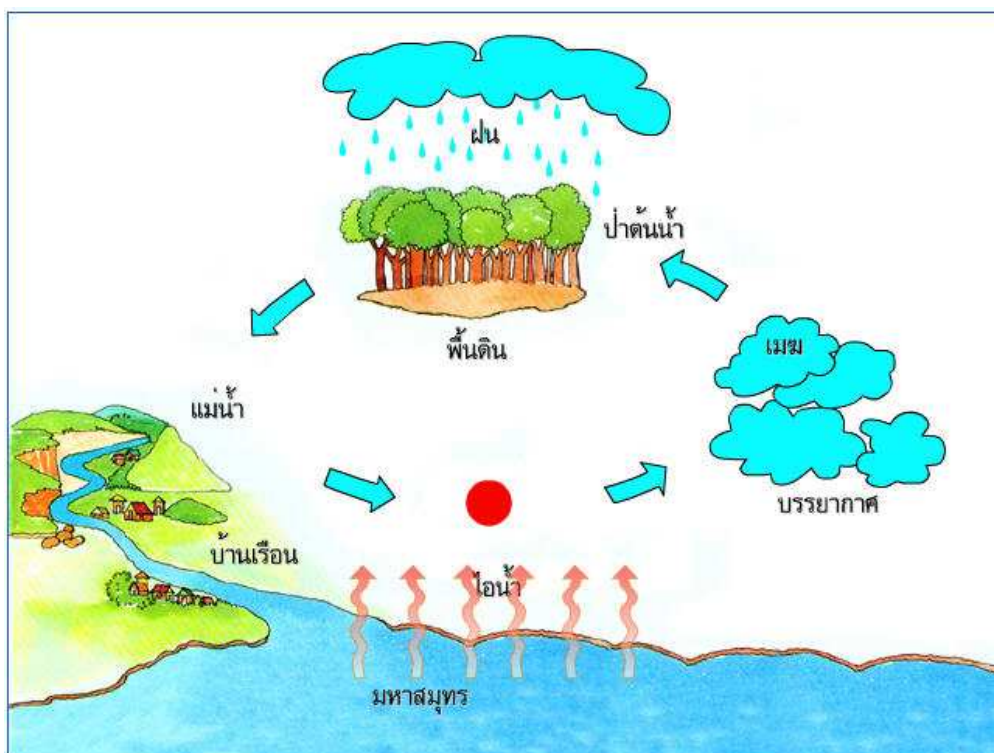


รูปที่ 2.22 การการผสมน้ำมันกับน้ำให้กลมกลืนโดยใช้เทคนิคอัลตราโซนิก

การปั่นผสมสารละลายให้เป็นเนื้อเดียวกันโดยเทคนิคอัลตราโซนิกเป็นการกระบวนการทางด้านกลศาสตร์ที่ลดอนุภาคนาขนาดเล็กในของเหลวเพื่อให้อนุภาคนั้นกลายเป็นเนื้อเดียวกันและกระจายกันทั่วเมื่อกระบวนการอัลตราโซนิกใช้เป็นการปั่นผสมสารละลายให้เป็นเนื้อเดียวกันวัตถุประสงค์คือการลดอนุภาคให้เล็กลงในของเหลวเพื่อเพิ่มความเป็นเนื้อเดียวกันและมีความคงตัว อนุภาคเหล่านี้จะกระจายเป็นสถานะเดียวกันและสามารถใช้ได้ทั้งของแข็งหรือของเหลวส่วนในการลดขนาดนั้นหมายถึงการเพิ่มเส้นผ่าศูนย์กลางของอนุภาค เมื่อจำนวนของแต่ละอนุภาคเพิ่ม สิ่งนี้นำไปสู่การลดระยะทางของอนุภาคเฉลี่ยและในการเพิ่มพื้นที่ผิวของอนุภาค การปั่นผสมสารละลายให้เป็นเนื้อเดียวกันโดยเทคนิคอัลตราโซนิกจะเป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพมากในการลดขนาดอนุภาคที่เป็นของอ่อนนุ่มและแข็งที่มีปริมาตรตั้งแต่ 1.5 มิลลิลิตร จนถึงประมาณ 2 ลิตร เครื่องอัลตราโซนิกใช้ในอุตสาหกรรมใช้สำหรับการพัฒนาในการผลิตตั้งแต่ 0.5 จนถึงประมาณ 2,000 ลิตร หรืออัตราการไหลตั้งแต่ 0.1 ลิตร ถึง 20 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง

2.3 ทฤษฎีเกี่ยวกับน้ำ

น้ำเป็นทรัพยากรที่สามารถเกิดหมุนเวียนได้เรื่อย ๆ ไม่มีวันหมดสิ้น เมื่อแสงแดดส่องมาบนพื้นโลก น้ำจากทะเลและมหาสมุทรก็จะระเหยเป็นไอน้ำลอยขึ้นสู่เบื้องบนเนื่องจากไอน้ำมีความเบากว่าอากาศ เมื่อไอน้ำลอยสู่เบื้องบนแล้ว จะได้รับความเย็นและกลั่นตัวกลายเป็นละอองน้ำเล็ก ๆ ลอยจับตัวกันเป็นกลุ่มเมฆ เมื่อจับตัวกันมากขึ้นและกระทบความเย็นก็จะกลั่นตัวกลายเป็นหยดน้ำตกลงสู่พื้นโลก น้ำบนพื้นโลกจะระเหยกลายเป็นไอน้ำอีกเมื่อได้รับความร้อนจากดวงอาทิตย์ ไอน้ำจะรวมตัวกันเป็นเมฆและกลั่นตัวเป็นหยดน้ำกระบวนการเช่นนี้ เกิดขึ้นเป็นวัฏจักรหมุนเวียนต่อเนื่องกันตลอดเวลา เรียกว่า วัฏจักรน้ำทำให้มีน้ำเกิดขึ้นบนผิวโลกอยู่เสมอ



รูปที่ 2.23 วัฏจักรของน้ำ

น้ำเสีย หมายถึง น้ำที่มีสารใด ๆ หรือสิ่งปฏิกูลที่ไม่พึงปรารถนาปนอยู่ การปนเปื้อนของสิ่งสกปรกเหล่านี้ จะทำให้ คุณสมบัติของน้ำเปลี่ยนแปลงไปจนอยู่ในสภาพที่ไม่สามารถนำกลับมาใช้ประโยชน์ได้ สิ่งปนเปื้อนที่อยู่ในน้ำเสีย ได้แก่ น้ำมัน ไขมัน ผงซักฟอก สบู่ ยาฆ่าแมลง สารอินทรีย์ที่ทำให้เกิดการเน่าเหม็นและเชื้อโรคต่าง ๆ สำหรับแหล่งที่มาของ น้ำเสียพอจะแบ่งได้เป็น 2 แหล่งใหญ่ ๆ ดังนี้

1. น้ำเสียจากแหล่งชุมชน

น้ำเสียชุมชน (Domestic Wastewater) หมายถึง น้ำเสียที่เกิดจากกิจกรรมประจำวันของประชาชนที่อาศัยอยู่ในชุมชน และกิจกรรมที่เป็นอาชีพ ได้แก่ น้ำเสียที่เกิดจากการประกอบอาหาร และชำระล้างสิ่งสกปรกทั้งหลายภายในครัวเรือน และอาคารประเภทต่าง ๆ เป็นต้น

ปริมาณน้ำเสีย ที่ปล่อยทิ้งจากบ้านเรือน อาคาร จะมีค่าประมาณร้อยละ 80 ของปริมาณน้ำใช้ หรืออาจประเมินได้จากจำนวนประชากรหรือพื้นที่อาคาร ดังแสดงในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 อัตราการเกิดน้ำเสีย

ภาค	อัตราการเกิดน้ำเสีย (ลิตร/คน-วัน)					
	2536	2540	2545	2550	2555	2560
กลาง	160-214	165-242	170-288	176-342	183-406	189-482
เหนือ	183	200	225	252	282	316
ตะวันออกเฉียงเหนือ	200-253	216-263	239-277	264-291	291-306	318-322
ใต้	171	195	204	226	249	275

ปริมาณน้ำเสียจากอาคารต่างๆแสดงดังตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 ปริมาณน้ำเสียจากอาคารต่างๆ

ประเภทอาคาร	หน่วย	ลิตร/วัน-หน่วย
อาคารชุด/บ้านพัก	ยูนิต	500
โรงแรม	ห้อง	1,000
หอพัก	ห้อง	80
สถานบริการ	ห้อง	400
หมู่บ้านจัดสรร	คน	180
โรงพยาบาล	เตียง	800
ภัตตาคาร	ตารางเมตร	25
ตลาด	ตารางเมตร	70
ห้างสรรพสินค้า	ตารางเมตร	5.0
สำนักงาน	ตารางเมตร	3.0

ลักษณะน้ำเสียที่เกิดจากบ้านพักอาศัยประกอบไปด้วยน้ำเสียจากกิจกรรมต่าง ๆ ในชีวิตประจำวัน ซึ่งมีองค์ประกอบต่าง ๆ ดังนี้

1. สารอินทรีย์ ได้แก่ คาร์โบไฮเดรต โปรตีน ไขมัน เช่น เศษข้าว ก๋วยเตี๋ยว น้ำแกง เศษใบตอง พืชผัก ขึ้นเนื้อ เป็นต้น ซึ่งสามารถถูกย่อยสลายได้ โดยจุลินทรีย์ที่ใช้ออกซิเจน ทำให้ระดับออกซิเจนละลายน้ำ (Dissolved Oxygen) ลดลงเกิดสภาพเน่าเหม็นได้ ปริมาณของสารอินทรีย์ในน้ำนิยมนวัดด้วยค่าบีโอดี (BOD) เมื่อค่าบีโอดีในน้ำสูง แสดงว่ามีสารอินทรีย์ปะปนอยู่มาก และสภาพเน่าเหม็นจะเกิดขึ้นได้ง่าย

2. สารอนินทรีย์ ได้แก่ แร่ธาตุต่าง ๆ ที่อาจไม่ทำให้เกิดน้ำเน่าเหม็น แต่อาจเป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิต ได้แก่ คลอไรด์, ซัลเฟต เป็นต้น

3. โลหะหนักและสารพิษ อาจอยู่ในรูปของสารอินทรีย์หรืออนินทรีย์และสามารถสะสมอยู่ในวงจรอาหาร เกิดเป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิต เช่น พรอท ไครเมียม ทองแดง ปกติจะอยู่ในน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม และสารเคมีที่ใช้ในการกำจัดศัตรูพืชที่ปนมากับน้ำทิ้งจากการเกษตร สำหรับในเขตชุมชนอาจมีสารมลพิษนี้มาจากอุตสาหกรรมในครัวเรือนบางประเภท เช่น ร้านชุบโลหะ ตู้ซ่อมรถ และน้ำเสียจากโรงพยาบาล เป็นต้น

4. น้ำมันและสารลอยน้ำต่าง ๆ เป็นอุปสรรคต่อการสังเคราะห์แสง และกีดขวางการกระจายของออกซิเจนจากอากาศลงสู่ น้ำ นอกจากนั้นยังทำให้เกิดสภาพไม่น่าดู

5. ของแข็ง เมื่อจมตัวสู่ก้นลำน้ำ ทำให้เกิดสภาพไร้ออกซิเจนที่ท้องน้ำ ทำให้แหล่งน้ำตื้นเขิน มีความขุ่นสูง มีผลกระทบต่อการดำรงชีพของสัตว์น้ำ

6. สารก่อให้เกิดฟอง/สารชักฟอง ได้แก่ ผงซักฟอก สบู่ ฟองจะกีดกันการกระจายของออกซิเจนในอากาศสู่ น้ำ และอาจเป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิตในน้ำ

7. จุลินทรีย์ น้ำเสียจากโรงฟอกหนัง โรงฆ่าสัตว์ หรือโรงงานอาหารกระป๋อง จะมีจุลินทรีย์เป็นจำนวนมากจุลินทรีย์เหล่านี้ใช้ออกซิเจนในการดำรงชีวิตสามารถลดระดับของออกซิเจนละลายน้ำ ทำให้เกิดสภาพเน่าเหม็น นอกจากนี้จุลินทรีย์บางชนิดอาจเป็นเชื้อโรคที่เป็นอันตรายต่อประชาชน เช่น จุลินทรีย์ในน้ำเสียจากโรงพยาบาล

8. ธาตุอาหาร ได้แก่ ไนโตรเจน และฟอสฟอรัส เมื่อมีปริมาณสูงจะทำให้เกิดการเจริญเติบโตและเพิ่มปริมาณอย่างรวดเร็วของสาหร่าย (Algae Bloom) ซึ่งเป็นสาเหตุสำคัญทำให้ระดับออกซิเจนในน้ำลดลงต่ำมากในช่วงกลางคืน อีกทั้งยังทำให้เกิดวัชพืชน้ำ ซึ่งเป็นปัญหาแก่การสัญจรทางน้ำ

9. กลิ่น เกิดจากก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ ซึ่งเกิดจากการย่อยสลายของสารอินทรีย์แบบไร้ออกซิเจน หรือกลิ่นอื่น ๆ จากโรงงานอุตสาหกรรมต่าง ๆ เช่น โรงงานทำปลาป่น โรงฆ่าสัตว์ เป็นต้น

ตารางที่ 2.3 ลักษณะน้ำเสียชุมชน

พารามิเตอร์	หน่วย	ความเข้มข้น		
		น้อย	ปานกลาง	มาก
1.ของแข็งทั้งหมด (Total Solids)	มก./ล.	350	720	1200
ของแข็งละลายน้ำ (Dissolved Solids)	มก./ล.	250	500	850
ของแข็งแขวนลอย (Suspended Solids)	มก./ล.	100	220	350
2.ปริมาณตะกอนหนัก (Settleable Solids)	มล./ล.	5	10	20
3.ค่าบีโอดี (Biochemical Oxygen Demand;BOD)	มก./ล.	110	220	400
4.ค่าซีโอดี (chemical Oxygen Demand;COD)	มก./ล.	250	500	1000
5.ไนโตรเจนทั้งหมด (Total as N)	มก./ล.	20	40	85
อินทรีย์ไนโตรเจน (Organic)	มก./ล.	8	15	35
แอมโมเนีย (Free ammonia)	มก./ล.	12	25	50
ไนไตรท์ (Nitrites)	มก./ล.	0	0	0
ไนเตรท (Nitrate)	มก./ล.	0	0	0
6.ฟอสฟอรัสทั้งหมด (Total as P)	มก./ล.	4	8	15
สารอินทรีย์ (Organic)	มก./ล.	1	3	5
สารอนินทรีย์ (Inorganic)	มก./ล.	3	5	10
7. คลอไรด์ (Chloride) ⁽¹⁾	มก./ล.	30	50	100
8.ซัลเฟต (Sulfate) ⁽¹⁾	มก./ล.	20	30	50
9.สภาพด่าง (Alkalinity as CaCO ₃)	มก./ล.	50	100	200
10.ไขมัน (Grease)	มก./ล.	50	100	150
11.Total Coliform	MPN/100ml	10 ⁶ -10 ⁷	10 ⁷ -10 ⁸	10 ⁷ -10 ⁹

ตารางที่ 2.4 ตัวอย่างลักษณะน้ำเสียจากบ้านพักอาศัย

พารามิเตอร์	น้ำเสียจากส้วม	จากห้องอาบน้ำ		จากการซักผ้า		จากครัว	
		ชักอาน	ฝักบัว	ด้วยมือ	ด้วยเครื่อง	ผ่านตะแกรง	ไม่ผ่าน
pH	7.7	7.1	7.0	7.2	7.7	7.2	6.3
COD (mg/l)	1,500	230	400	200	560	960	2,900
BOD (mg/l)	700	120	260	70	150	540	1,800
TKN (mg/l)	300	8	38	14	12	18	120
PO ₄ (mg/l)	24	6	1	10	24	13	90
SS (mg/l)	560	45	80	60	55	210	1,200
FOG (mg/l)	540	400	480	500	520	500	2,700

ผลกระทบของน้ำเสียชุมชนต่อสุขภาพอนามัย

โดยทั่วไปเชื้อโรคที่พบในน้ำเสียที่ก่อให้เกิดโรคต่อมนุษย์ได้มี 4 ชนิด คือ แบคทีเรีย ไวรัส โปรโตซัว และพยาธิ โดยมีสาเหตุมาจากอุจจาระของมนุษย์ปนมากับน้ำเสีย โรคติดเชื้อจากสิ่งขับถ่ายสามารถติดต่อสู่คน มี 2 วิธี คือ เกิดจากเชื้อโรคที่อยู่ในสิ่งขับถ่ายของบุคคลหนึ่งแพร่กระจายออกสู่สิ่งแวดล้อมแล้วเข้าสู่บุคคลอื่น และเกิดจากเชื้อโรคจากสิ่งขับถ่ายเข้าทางปาก โดยที่สัตว์พาหะ เช่น หนูหรือแมลงต่าง ๆ ที่อาศัยสิ่งขับถ่ายในการขยายพันธุ์ จะรับเชื้อโรคเข้าสู่ร่างกายโดยเชื้ออาจอยู่ในตัว ถ้าไล่ หรือในเลือดของสัตว์พาหะนั้น โดยที่คนจะได้รับเชื้อผ่านสัตว์เหล่านั้นอีกทีหนึ่ง ซึ่งองค์การอนามัยโลก (WHO) ได้จำแนกเชื้อโรคตามลักษณะการติดเชื้อออกเป็น 6 ประเภท

ประเภทที่ 1 การติดเชื้อไวรัสและโปรโตซัว สามารถทำให้เกิดโรคได้แม้ว่าจะได้รับเชื้อเพียงเล็กน้อย และสามารถติดต่อได้ง่าย ซึ่งการปรับปรุงระบบสุขาภิบาลเพียงอย่างเดียวยังไม่พอจะต้องให้ความรู้เกี่ยวกับสุขภาพควบคู่กันด้วย

ประเภทที่ 2 การติดเชื้อจากแบคทีเรีย จะต้องได้รับเชื้อในปริมาณที่มากพอจึงจะทำให้เกิดโรคได้ แต่ติดต่อจากบุคคลหนึ่งไปยังอีกบุคคลหนึ่งได้ยาก เชื้อนี้มีความทนทานต่อสภาพแวดล้อม และสามารถแพร่พันธุ์ได้ดีในที่ที่เหมาะสม ซึ่งการปรับปรุงระบบสุขาภิบาลเพียงอย่างเดียวยังไม่พอจะต้องให้ความรู้เกี่ยวกับสุขภาพควบคู่กันด้วย

ประเภทที่ 3 เชื้อชนิดนี้ทำให้เกิดโรคได้ทั้งในระยะแฝงและระยะฟุ้งตัว ได้แก่ ไข้พยาธิ ซึ่งไม่สามารถติดต่อจากบุคคลหนึ่งไปยังอีกบุคคลหนึ่งได้โดยตรง แต่ต้องการสถานที่และสภาวะที่

เหมาะสมเพื่อเจริญเติบโตเป็นตัวพยาธิและเข้าสู่ร่างกายได้ ดังนั้นการจัดระบบสุขาภิบาลที่ดี เช่น การกำจัดสิ่งขี้ถ่ายที่ถูกต้องจึงเป็นสิ่งสำคัญ จึงเป็นการป้องกันมิให้มีสิ่งขี้ถ่ายปนเปื้อนสิ่งแวดล้อม

ประเภทที่ 4 พยาธิตัวตืดอาศัยอยู่ในลำไส้คน ไข่พยาธิจะปนออกมากับอุจจาระ ถ้าการจัดสิ่งขี้ถ่ายไม่เหมาะสม ก็จะทำให้สัตว์จำพวกโค กระบือ และสุกร ได้รับไข่พยาธิจากการกินหญ้าที่มีไข่พยาธิเข้าไป ซึ่งไข่พยาธิเมื่อเข้าไปในร่างกายสัตว์แล้วจะกลายเป็นซีสต์ (Cyst) และฝังตัวอยู่ตามกล้ามเนื้อ คนจะได้รับพยาธิโดยการรับประทานเนื้อสัตว์ดิบ ๆ ดังนั้นการจัดระบบสุขาภิบาลที่ดี เช่น การกำจัดสิ่งขี้ถ่ายที่ถูกต้องจึงเป็นสิ่งสำคัญ จึงเป็นการป้องกันมิให้มีสิ่งขี้ถ่ายปนเปื้อนสิ่งแวดล้อม

ประเภทที่ 5 พยาธิที่มีบางระยะของวงจรชีวิตอยู่ในน้ำ โดยพยาธิเหล่านี้จะมีระยะติดต่อกันที่อาศัยอยู่ในน้ำ โดยจะเข้าสู่ร่างกายคนโดยการไชเข้าทางผิวหนังหรือรับประทานสัตว์น้ำที่ไม่ได้ทำให้สุก ดังนั้นการจัดระบบสุขาภิบาลที่ดี จึงเป็นการป้องกันมิให้พยาธิเหล่านี้ปนเปื้อนสิ่งแวดล้อม

ประเภทที่ 6 การติดเชื้อโดยมีแมลงเป็นพาหะ แมลงที่เป็นพาหะที่สำคัญ ได้แก่ ยุง แมลงวัน โดยยุงพวก *Culex pipines* จะสามารถสืบพันธุ์ได้น้ำเสีย โดยเชื้อจะติดไปกับตัวแมลง เมื่อสัมผัสอาหารเชื้อก็จะปนเปื้อนกับอาหาร ดังนั้นการจัดระบบสุขาภิบาลที่ดี จึงเป็นการป้องกันพาหะเหล่านี้ ดังนั้น แนวทางหนึ่งในการควบคุมการแพร่กระจายของเชื้อโรค คือ จะต้องจัดระบบสุขาภิบาลตั้งแต่ระดับครัวเรือนไปจนถึงระดับชุมชนให้ถูกต้องเหมาะสมและควรมีระบบการจัดการและบำบัดน้ำเสยรวมของชุมชนที่สามารถกำจัดเชื้อโรคในน้ำทิ้งได้ก่อนที่จะระบายลงสู่แหล่งน้ำสาธารณะหรือออกสู่สิ่งแวดล้อม

2. น้ำเสียจากกิจกรรมอุตสาหกรรม

น้ำเสียจากกิจกรรมอุตสาหกรรม ได้แก่ น้ำเสียจากขบวนการผลิตของโรงงานอุตสาหกรรม รวมทั้งน้ำหล่อเย็นที่มี ความร้อนสูง และน้ำเสียจากห้องน้ำห้องส้วมของคนงานด้วยความเน่าเสียของคุคลองเกิดจากน้ำเสียประเภทนี้ประมาณ 20% แม้จะมีปริมาณไม่มากนัก แต่สิ่งสกปรกในน้ำเสียจะเป็นพวกสารเคมีที่เป็นพิษและพวกโลหะหนักต่าง ๆ รวมทั้งพวก สารอินทรีย์ต่าง ๆ ที่มีความเข้มข้นสูงด้วย



รูปที่ 2.24 น้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม

2.4 ทฤษฎีเกี่ยวกับการบำบัดน้ำเสีย

การเลือกใช้ระบบบำบัดน้ำเสียพิจารณาจาก ลักษณะน้ำเสีย วัตถุประสงค์ในการ บำบัดและคุณภาพน้ำที่ต้องการ เช่น การนำกลับมาใช้ใหม่ การกำจัดความเป็นพิษ ปริมาณมลสารที่ต้องกำจัด ก่อนทิ้งลงสู่แม่น้ำ ข้อกำหนดทางกฎหมาย กระบวนการบำบัด ที่เหมาะสม ต้นทุนในการก่อสร้าง ข้อพิจารณาด้านสิ่งแวดล้อมและพลังงาน

หลักการบำบัดขึ้นอยู่กับสิ่งเจือปนที่อยู่ในน้ำเสียโดยของแข็งหรือตะกอน แขนวลอยจะบำบัดด้วยวิธีการกายภาพ ตะกอนขนาดเล็กหรือสารละลายจะบำบัดด้วย วิธีการเคมีและชีวภาพโดยทำให้เกิดการรวมตัวเป็นอนุภาคขนาดใหญ่และตกตะกอนได้

ขั้นตอนการบำบัดน้ำเสีย โดยทั่วไปแบ่งออกได้เป็น 4 ขั้นตอนคือ

1) การบำบัดขั้นเตรียมการ (Preliminary treatment) เป็นการกำจัด ตะกอนซึ่งมีทั้งที่ตกตะกอนได้ดีและตะกอนที่มีน้ำหนักเบา ตะกอนบางประเภทเป็น สารอินทรีย์ที่ให้ค่า BOD วิธีการได้แก่ การปรับอัตราการไหล การแยกสิ่งสกปรกขนาดใหญ่

2) ระบบบำบัดขั้นต้น (Primary treatment) ได้แก่การตกตะกอนที่มี น้ำหนักเบาซึ่งส่วนใหญ่เป็นสารอินทรีย์ในน้ำเสีย ตะกอนที่แยกจากถังตกตะกอน เรียกว่า Primary sludge ต้องนำไปบำบัดต่อ การบำบัดในขั้นตอนนี้จะลดค่า BOD ได้ ประมาณ 25 – 40 % หรือปริมาณของแข็งเท่ากับ 40 – 60 % แล้วแต่คุณลักษณะน้ำทิ้ง และประสิทธิภาพถังตกตะกอน

3) ระบบบำบัดขั้นที่สอง (Secondary treatment) ได้แก่ การกำจัด สารอินทรีย์ หรือ BOD ซึ่งอยู่ในรูปสารละลายหรืออนุภาคคอลลอยด์ โดยใช้วิธีการทางชีวภาพซึ่งใช้เชื้อแบคทีเรียในการย่อยสลายสารอินทรีย์ ต้องกำจัดตะกอนเชื้อจุลินทรีย์ (Secondary sludge) รวมกับตะกอนจากการบำบัดขั้นต้น การบำบัดในขั้นนี้จะลดค่า BOD ลงได้ประมาณ 75 – 95 % ทำให้ค่า BOD ต่ำกว่า 20 มก / ลิตร เป็นระบบขั้น สุดท้ายของการบำบัดน้ำเสียโดยทั่วไป

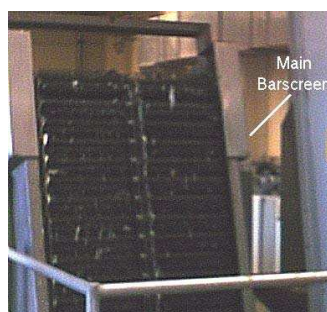
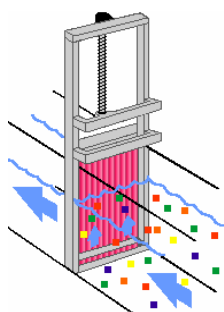
4) การบำบัดขั้นที่สาม (Tertiary treatment) ใช้ในกรณีที่ต้องการน้ำทิ้งที่สะอาดจนสามารถใช้ในการอุปโภคและบริโภคได้ กระบวนการที่ใช้เป็นกระบวนการทางเคมีร่วมกับทางฟิสิกส์ เช่น การนำน้ำจากระบบบำบัดขั้นที่สองมาตกตะกอนแยก สารประกอบฟอสเฟตด้วยน้ำปูนขาว (Lime) การกำจัดสารอินทรีย์ที่เหลืออยู่ด้วย กระบวนการดูดซับ (Carbon adsorption) การกำจัดแอมโมเนียและสารประกอบโลหะ ต่างๆด้วยการใช้วิธีแลกเปลี่ยนไอออน (Ion exchange) และฆ่าเชื้อโรค จะได้น้ำทิ้งที่สะอาด

กระบวนการบำบัดน้ำเสีย แบ่งออกได้เป็น 3 ขั้นตอนคือ

1) กระบวนการบำบัดน้ำเสียทางกายภาพ (Physical treatment)

เป็นกระบวนการกำจัดของแข็ง เศษวัสดุ กรวดทรายที่ปนมากับน้ำทิ้งและยัง ช่วยลดค่า BOD ของน้ำลงได้บางส่วน วิธีการประกอบด้วย การแยกโดยใช้ตะแกรง (Screening) การบดหรือตัด (Comminution) การกวาด (Skimming) การกำจัดกรวด ทราย (Grit Chamber) การดักไขมัน (Grease Traps) การทำให้ลอย (Flotation) การตกตะกอนของแข็งขนาดเล็ก (Primary Sedimentation)

การแยกโดยใช้ตะแกรง (Screening) เป็นการใช้ตะแกรงดักสิ่งสกปรกชิ้นใหญ่ๆที่ปนมากับน้ำเสียเช่น เศษขยะ เศษผ้า พลาสติก ฯลฯ ซึ่งอาจทำให้ เครื่องสูบน้ำหรือท่อระบายน้ำอุดตัน หรือเกิดการเน่าเหม็นได้ สิ่งสกปรกที่ติดอยู่ที่ ตะแกรงจะถูกกวาดออกไป ตะแกรงที่ใช้แบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือตะแกรงชนิดหยาบ (Coarse Screen) ที่ใช้กันมาก เป็นแบบลูกกรงเหล็ก (Bar racks) ซึ่งเป็นแท่งเหล็กกลมหรือเหลี่ยมเชื่อมเป็นแผ่น ตะแกรงวางขวางทางระบายน้ำทิ้ง ทำมุม 30-80 องศา กับแนวระดับ (ภาพที่ 9.2) ระยะ ระหว่างซี่ลูกกรงประมาณ 1-2 นิ้ว เพื่อใช้ดักวัสดุที่มีขนาดใหญ่ที่ลอยมากับน้ำเสีย ป้องกันมิให้เข้าไปทำความเสียหายเครื่องสูบน้ำและทำให้ท่อระบายน้ำอุดตัน ต้องคอย ตักหรือกวาด สิ่งสกปรกที่ติดอยู่กับซี่ลูกกรงออกไปมิฉะนั้นจะทำให้ตะแกรงอุดตันและ เกิดการเน่าเหม็น ตะแกรงละเอียด (Fine screen) ใช้กำจัดสิ่งสกปรกที่มีขนาดเล็ก ตะแกรงมีขนาดกว้าง 1/8 นิ้ว จะติดตั้งก่อนเข้าเครื่องบำบัดแบบ Trickling Filter หรือ Final Sedimentation



รูปที่ 2.25 ตะแกรงแบบ Bar Screen

การบดหรือตัด (Comminution) เป็นการใช้เครื่องมือที่เรียกว่า Comminutors (ภาพที่ 2.26) ในการตัดให้สิ่งสกปรกขนาดใหญ่ให้มีขนาดเล็กลง

การคัดหรือการกวาด (Skimming) ใช้แยกสิ่งสกปรกที่ลอย มากับน้ำเสีย เช่น น้ำมัน ไขมัน โดยใช้กระดานกวาดหน้าวางขวางทางน้ำไหลในถัง ตกตะกอน สิ่งที่ลอยมาจะติดค้างอยู่ที่หน้ากระดานส่วนน้ำเสียจะไหลลงด้านล่างของ กระดาน ออกไป

ภาพที่ 2.26 เครื่องตัดย่อยที่หัวตัดเคลื่อนที่ได้

การกำจัดกรวดทราย (Grit Chamber) เป็นการกำจัดกรวด ทราย โลหะหนัก เม็ดดิน เศษอาหาร เช่น กระดูก เปลือกไข่ เมล็ดกาแฟ เมล็ดพืช ที่มีค่าความถ่วงจำเพาะมากกว่าสารอินทรีย์ ที่เกิดจากการย่อยสลายในน้ำเสีย เป็นการ ช่วยป้องกันเครื่องมือจากการขีดข่วน ลดการอุดตันในท่อ และส่วนต่างๆของเครื่องมือ

การทำให้ลอย (Flotation) ใช้ในการแยกสิ่งสกปรกแขวนลอยที่เป็นอนุภาคขนาดเล็ก และตกตะกอนได้ยาก หรือพวกไขมันที่อาจอยู่ในรูปของคอลลอยด์

การตกตะกอน (Sedimentation) เป็นกระบวนการแยก สิ่งสกปรกที่ไม่ละลายน้ำออกจากน้ำโดยการกักไว้ในถังหรือบ่อตกตะกอนเป็นระยะเวลา หนึ่งเพื่อลดความเร็วในการไหลของน้ำ ลงตะกอนต่างๆจะจมลงสู่ก้นถัง วิธีการนี้ใช้ได้ดี กับตะกอนหนัก เช่นดิน ทราย หรือตะกอน แบริทที่เรียในระบบบำบัดน้ำเสียแบบเลี้ยง ตะกอน ส่วนอนุภาคเบาไม่ค่อยได้ผลด้วยวิธีนี้แต่ควรใช้ แบบการทำให้ลอยจะมี ประสิทธิภาพมากกว่า การตกตะกอนเป็นการลดค่า BOD ของน้ำเสียลงได้ แต่จะมาก หรือน้อยขึ้นกับลักษณะของน้ำ เสีย ดังนั้นจึงจัดเป็นการบำบัดขั้นต้น (Primary Treatment) ส่วนการบำบัดโดยใช้ตะแกรงหรือเครื่องบดจัดเป็นการบำบัดขั้นเตรียมการ (Preliminary Treatment) นอกจากนี้การตกตะกอนแยกของแข็ง เช่น ดิน ทราย

2) กระบวนการบำบัดน้ำเสียทางเคมี (Chemical treatment)

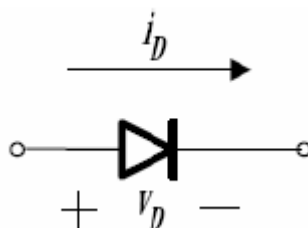
เป็นการแยกสารอินทรีย์ที่ละลายน้ำออกจากน้ำ เช่นคลอไรด์ ซัลเฟต โซเดียม ไฮยาไนด์ ฯลฯ เนื่องจากมีความเป็นพิษต่อสัตว์ในแหล่งน้ำที่ระบายน้ำเสียลง ไป ทำให้น้ำมีสี กลิ่นรบกวนที่ ผิดปกติเกิดขึ้นหรือเป็นอันตรายจนไม่เหมาะกับการนำไปใช้ อุปโภคบริโภค หรืออาจทำให้น้ำมี คุณสมบัติในการกักกร่อน มีความกระด้างและ ตะกอนเพิ่มขึ้น

3) กระบวนการบำบัดน้ำเสียทางชีวภาพ (Biological treatment)

เป็นการใช้เชื้อจุลินทรีย์โดยเฉพาะแบคทีเรียในการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำ เสียเพื่อเป็น อาหารโดยมีสภาวะที่เหมาะสมกับการเจริญของแบคทีเรียตามอุณหภูมิ อาหาร ออกซิเจนและพีเอช ของน้ำเสีย วัตถุประสงค์ของการบำบัดน้ำเสียตามบ้านเรือน เพื่อลดปริมาณสารอินทรีย์และ สารอาหารเช่น ไนโตรเจน และฟอสฟอรัส น้ำเสียทาง

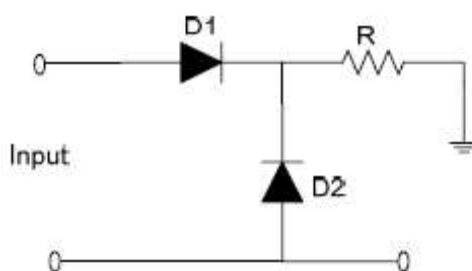
2.5 ไดโอด (Diode)

ไดโอดเป็นอุปกรณ์สองขั้วมีความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันและกระแสแบบไม่เป็นเชิงเส้น วงจรที่มีการใช้งานไดโอด ได้แก่ วงจรเรียงกระแส (Rectifier) วงจรคงค่าแรงดัน (Voltage regulator) วงจรจำกัดแรงดัน (Voltage limiting) เป็นต้น สัญลักษณ์ของไดโอดแสดงดังรูปที่ 2.26

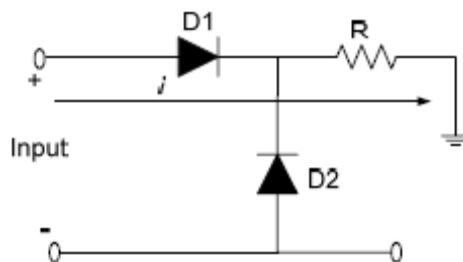


รูปที่ 2.26 สัญลักษณ์ของไดโอด

คุณสมบัติของไดโอดจะยอมให้กระแสไฟฟ้าไหลผ่านได้ทางเดียวคือไหลจากขั้วบวกไปยังขั้วลบ นำเอาไดโอดมาใช้ในวงจรเรียงกระแสแบบเต็มคลื่น (Full-wave rectifier) นำมาต่อในลักษณะดังรูปที่ 2.27 ถ้าป้อนแรงดันอินพุตเป็นกระแสไฟฟ้าสลับครึ่งบวกให้ไดโอดกระแสไฟฟ้าก็จะไหลดังรูปที่ 2.28 เมื่ออินพุตเป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับครึ่งบวกกระแสจะไหลจากขั้วบวกไดโอด D1 แบบไบแอสตรงไปถึงกราวด์ขณะที่กระแสไม่สามารถไหลผ่านไดโอด D2 ได้เนื่องจากเป็นไบแอสกลับ ดังนั้นจึงสามารถวัดเอาต์พุตคร่อมตัวต้านทานทางซ้ายเป็นบวกเทียบกับทางขวาที่เป็นลบได้

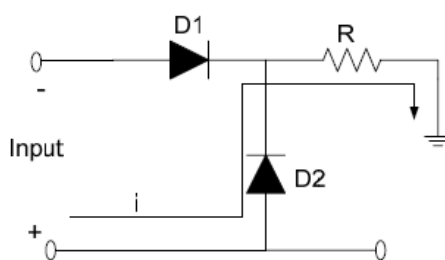


รูปที่ 2.27 วงจรเรียงกระแสแบบเต็มคลื่น (Full-wave rectifier)



รูปที่ 2.28 การไหลของกระแสเมื่อป้อนแรงดันอินพุตเป็นกระแสไฟฟ้าสลับครึ่งบวก

ถ้าป้อนแรงดันอินพุตเป็นกระแสไฟฟ้าสลับครึ่งลบให้ไดโอดกระแสไฟฟ้าก็จะไหลดังรูปที่ 2.29 เมื่ออินพุตเป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับครึ่งลบกระแสจะไหลจากขั้วบวกไดโอด D2 แบบไบแอสตรงไปถึงกราวด์ขณะที่กระแสไม่สามารถไหลผ่านไดโอด D1 ได้เนื่องจากเป็นไบแอสกลับ ดังนั้นจึงสามารถวัดเอาต์พุตคร่อมตัวต้านทานทางซ้ายเป็นบวกเทียบกับทางขวาที่เป็นลบได้

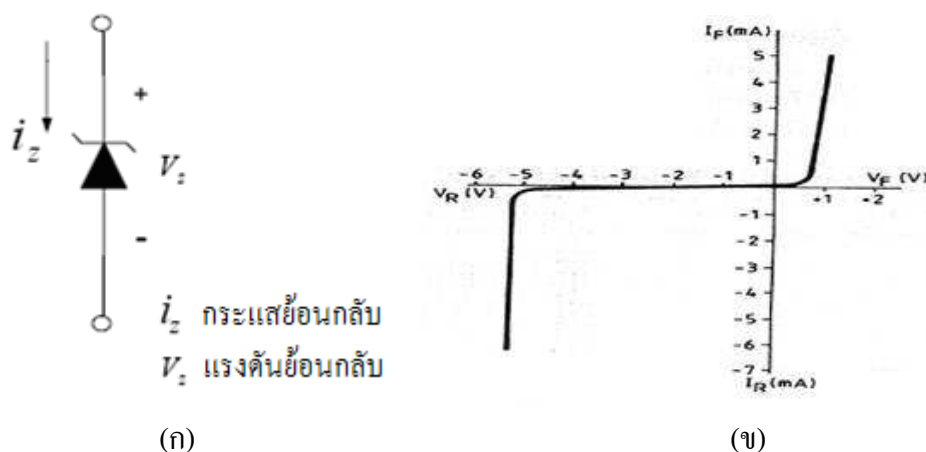


รูปที่ 2.29 การไหลของกระแสเมื่อป้อนแรงดันอินพุตเป็นกระแสไฟฟ้าสลับครึ่งลบ

วงจรเรียงกระแสแบบเต็มคลื่นไม่ว่ากระแสสลับจะเปลี่ยนแปลงไปอย่างไรก็ตามทางด้านซ้ายของตัวต้านทาน R จะเป็นบวกเสมอเมื่อเทียบกับทางด้านขวา ดังนั้นแรงดันที่วัดได้จากตัวต้านทาน R จึงเป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง วงจรเรียงกระแสแบบเต็มคลื่นมีแรงดันเอาต์พุตเป็นไฟฟ้ากระแสตรง 0.25 เท่าของแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ

2.6 ซีเนอร์ไดโอด (Zener diode)

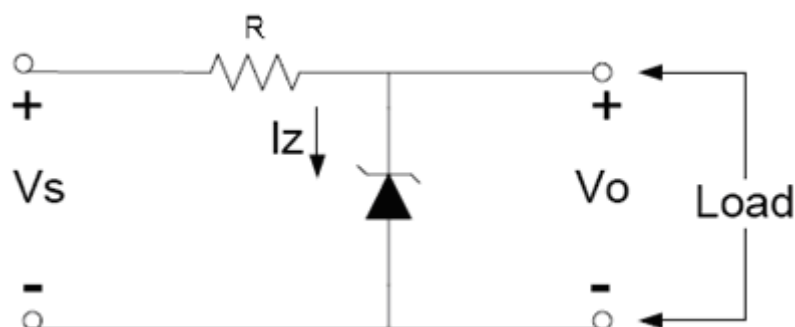
นำซีเนอร์ไดโอดมาทำเป็นวงจรคงค่าแรงดัน (Voltage regulator)



รูปที่ 2.30 (ก) สัญลักษณ์ของซีเนอร์ไดโอด

(ข) กราฟความชันของแรงดันย้อนกลับและกระแสย้อนกลับ

จากรูปที่ 2.30 จะเห็นว่าถ้ากระแสไหลย้อนกลับที่ไหลผ่านซีเนอร์ไดโอดมีค่ามากกว่า i_{ZX} กราฟความชันของแรงดันและกระแสจะเกือบเป็นเส้นตรง ผู้ผลิตมักจะให้ข้อมูลของซีเนอร์ไดโอดในรูปของ V_{ZT} ซึ่งเป็นแรงดันป้อนกลับที่ไหลผ่านไดโอดเท่ากับกระแสทดสอบ i_{ZT} เช่น ซีเนอร์ไดโอดแบบ 6.8 โวลต์ คือซีเนอร์ไดโอดที่มีแรงดันย้อนกลับ V_z เท่ากับ 6.8 โวลต์ เมื่อมีกระแสย้อนกลับที่ไหลผ่านไดโอดมีค่าตามที่ระบุ (เช่น 10 มิลลิแอมป์) จากรูปจะเห็นว่าเมื่อ V_z มากกว่า V_{ZX} ความชันของกราฟจะมีค่าค่อนข้างสูง นั่นคือไดโอดที่ทำงานในย่านนี้จะสามารถรักษาระดับแรงดันที่ตกคร่อมตัวมันได้อย่างค่อนข้างคงที่ แม้ว่ากระแสที่ไหลผ่านตัวมันจะมีค่าเปลี่ยนแปลงไปก็ตาม ดังนั้นจึงได้นำซีเนอร์ไดโอดมาทำเป็นวงจรคงค่าแรงดัน (Voltage regulator) โดยมีวงจรคงค่าแรงดัน (Voltage regulator) เป็นดังรูปที่ 2.31

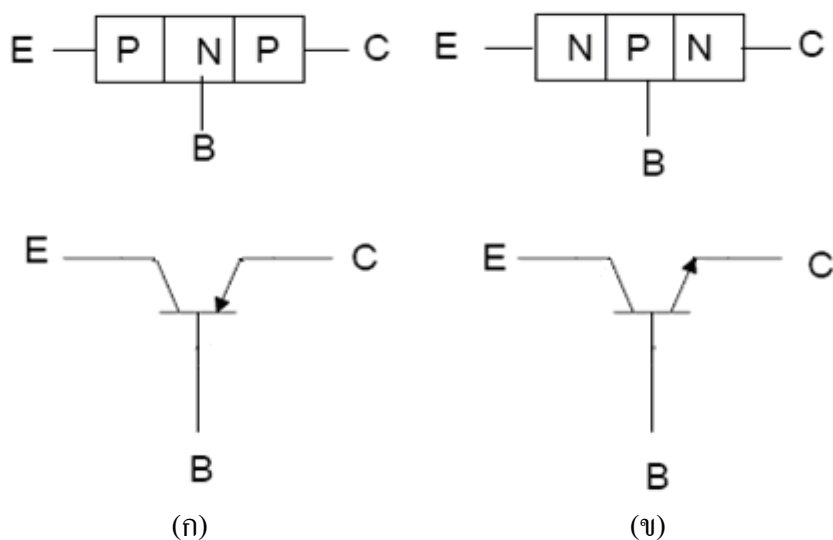


รูปที่ 2.31 วงจรคงค่าแรงดัน (Voltage regulator)

วงจรคงค่าแรงดัน (Voltage regulator) มีหน้าที่รักษาระดับแรงดันเอาต์พุตให้มีค่าคงที่ ไม่ให้เปลี่ยนแปลงตามกระแสที่จ่ายให้กับโหลดและแรงดันอินพุต โดยทั่วไปเราจะใช้พารามิเตอร์ที่เรียกว่า Line regulation และ Load regulation ในการพิจารณาความสามารถของวงจรคงค่าแรงดัน (Voltage regulator) พารามิเตอร์ Line regulation จะใช้ดูว่าแรงดันเอาต์พุตของวงจรจะเปลี่ยนแปลงอย่างไร เมื่อแรงดันอินพุตมีการเปลี่ยนแปลง พารามิเตอร์ Load regulation จะใช้ดูว่าแรงดันเอาต์พุตของวงจรจะเปลี่ยนแปลงอย่างไร เมื่อกระแสที่จ่ายให้โหลดมีการเปลี่ยนแปลง (อันเป็นผลเนื่องมาจากการเปลี่ยนแปลงของความต้านทานโหลด) โดยถ้า Line regulation และ Load regulation ยังมีค่าต่ำแสดงว่าวงจรมีการรักษาระดับแรงดันได้ดี ในอุดมคติ Line regulation และ Load regulation จะมีค่าเท่ากับศูนย์

2.7 ทรานซิสเตอร์ (Transistor)

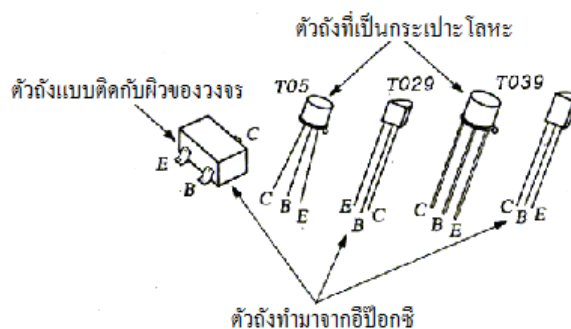
ทรานซิสเตอร์เกิดจากการนำสารกึ่งตัวนำสามชิ้นมาประกบกัน ส่วนประกอบด้านนอกทั้งสองด้านทำจากสารกึ่งตัวนำชนิดเดียวกันเรียกว่า อิมิตเตอร์ (Emitter: E) และคอลเล็กเตอร์ (Collector: C) ส่วนกลางทำจากสารกึ่งตัวนำชนิดตรงข้ามเรียกว่า เบส (Base: B) การประกบกันของสารกึ่งตัวนำได้โดยการโด๊ป (Dope) สารกึ่งตัวนำที่ขา E มีความหนาของการโด๊ปน้อยกว่าสารกึ่งตัวนำที่ขา C ของทรานซิสเตอร์ ดังนั้น คุณสมบัติทางไฟฟ้าของขา E และ C จึงไม่เท่ากัน ทรานซิสเตอร์มีสองชนิดดังรูปที่ 2.32



รูปที่ 2.32 สัญลักษณ์ของทรานซิสเตอร์ (ก) ชนิด PNP (ข) ชนิด NPN

2.7.1 ลักษณะของทรานซิสเตอร์

1) ทรานซิสเตอร์แบบ Low Power จะบรรจุอยู่ในตัวถังที่เป็นโลหะพลาสติกหรืออีพ็อกซี รูปลักษณะของทรานซิสเตอร์ประเภท Low Power ทั้ง 4 ชนิดแสดงดังรูปที่ 2.33

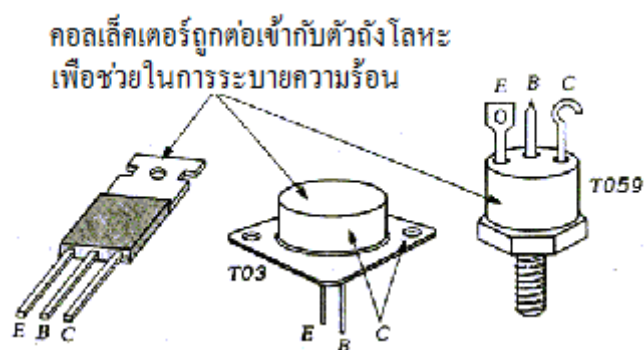


รูปที่ 2.33 ลักษณะของทรานซิสเตอร์ประเภท Low Power

โดยจะมีลวดตัวนำยื่นออกมาจากส่วนล่างของตัวถัง เหตุผลที่ถูกรออกแบบในลักษณะนี้เนื่องจากเมื่อใช้ทรานซิสเตอร์ประเภทนี้ในวงจรจะต้องเสียบขาทรานซิสเตอร์ในช่องเสียบ บนแผ่นวงจรก่อนที่จะทำการบัดกรี

2) ทรานซิสเตอร์แบบ High Power ดังแสดงในรูป ทรานซิสเตอร์ประเภทนี้ถูกออกแบบเพื่อให้สามารถติดตั้งโครงสร้างที่เป็นโลหะ ทั้งนี้เพื่อให้โลหะที่ทรานซิสเตอร์ติดตั้งอยู่ทำ

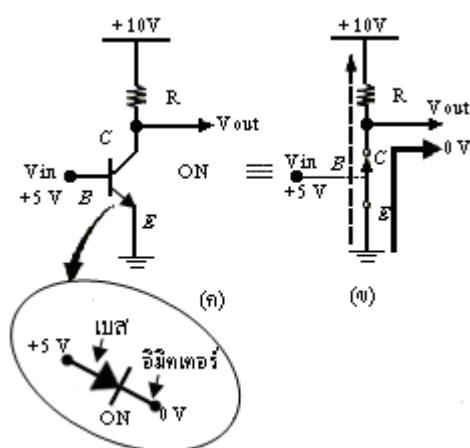
หน้าที่ระบายความร้อนให้กับทรานซิสเตอร์ประเภทนี้ สำหรับลวดตัวนำที่ต่อขึ้นออกมาจะเป็นขาต่าง ๆ ของทรานซิสเตอร์ ถ้าในกรณีที่มี 2 ขา โดยขาที่ยื่นออกมาจะหมายถึง ขาเบส และขาอิมิตเตอร์ ส่วนตัวถังจะทำหน้าที่เป็นขาคอลเล็กเตอร์ ดังรูปที่ 2.34



รูปที่ 2.34 ลักษณะของทรานซิสเตอร์ประเภท High Power

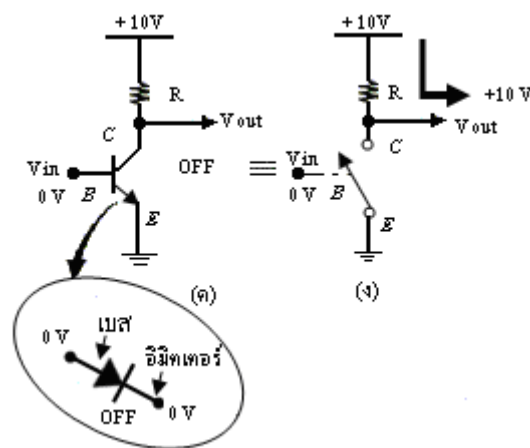
2.7.2 ทรานซิสเตอร์ทำงานเป็นสวิตช์

การนำทรานซิสเตอร์ไปใช้งานเป็นสวิตช์การปิดเปิดวงจรของทรานซิสเตอร์จะถูกควบคุมโดยเบส-อิมิตเตอร์ไดโอด (B-E) นั่นคือ เมื่อ เบส-อิมิตเตอร์ไดโอด ได้รับไบแอสตรง ทรานซิสเตอร์จะอยู่สถานะ ON แต่ถ้าเบส-อิมิตเตอร์ไดโอดได้รับไบแอสกลับทรานซิสเตอร์ก็จะอยู่ในสถานะ OFF



รูปที่ 2.35 สถานะ ON ของทรานซิสเตอร์

โดยการป้อนกระแสเบส (I_B) ให้กับเบสของทรานซิสเตอร์ เพื่อให้รอยต่อระหว่างคอลเล็กเตอร์กับอิมิตเตอร์นำกระแสได้ และต้องจ่ายกระแสเบสให้ทรานซิสเตอร์นำกระแสจนอิมิตเตอร์จะเกิดกระแสไหลผ่านรอยต่อคอลเล็กเตอร์กับอิมิตเตอร์ เปรียบได้ว่าสวิตช์ระหว่างจุด C และ E ทำงานได้

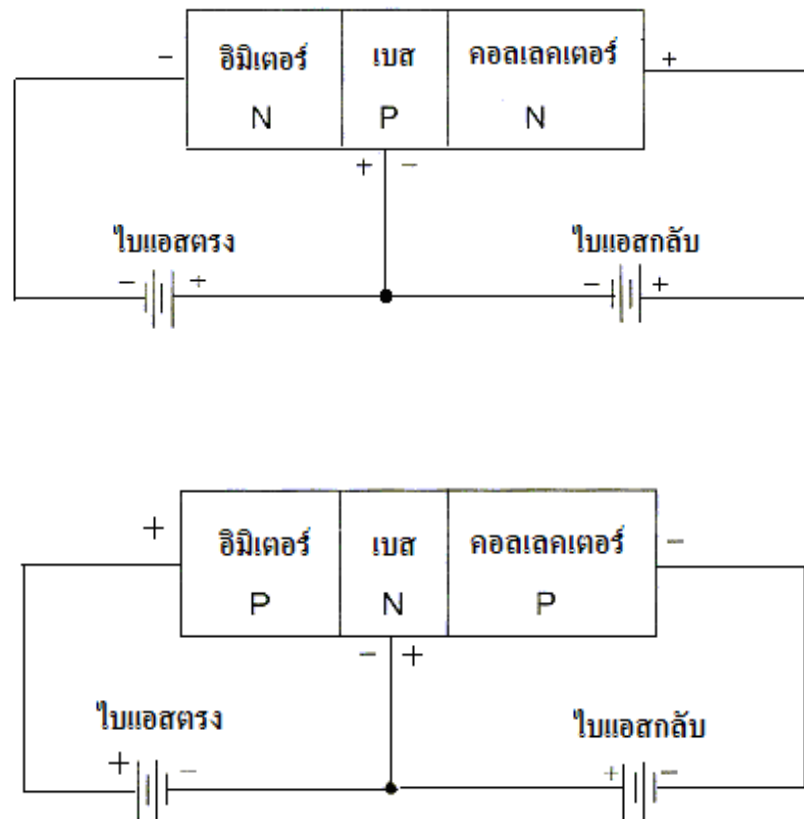


รูปที่ 2.36 สภาวะ OFF ของทรานซิสเตอร์

เมื่อหยุดปล่อยกระแสเบสให้กับเบส ทรานซิสเตอร์จะไม่สามารถทำงานเป็นสวิตช์ได้ กระแสคอลเล็กเตอร์จะไม่ไหลผ่านรอยต่อไปสู่อิมิตเตอร์ ($I_C = 0$) ขณะนี้ทรานซิสเตอร์จะอยู่ในสภาวะคัตออฟ เปรียบได้ว่าสวิตช์ระหว่างจุด C และ E เปิดสวิตช์ระหว่างจุด C และ E เปิดสวิตช์ทำงานไม่ได้

2.7.3 การจัดไบแอสให้กับทรานซิสเตอร์

จากที่ทราบแล้วว่าไดโอดชนิดรอยต่อ P-N เมื่อได้รับไบแอสตรงจะยอมให้กระแสไฟฟ้าไหลผ่านได้แต่ถ้าได้รับการไบแอสกลับ ไดโอดจะแสดงคุณสมบัติด้านการไหลของกระแสไฟฟ้า สำหรับทรานซิสเตอร์ก็เช่นเดียวกัน จะต้องได้รับการไบแอสที่เหมาะสมจึงจะทำให้ทรานซิสเตอร์ทำงานได้ถูกต้อง การจัดไบแอสให้กับทรานซิสเตอร์ทำได้ง่ายๆโดยการ Forward B-E และ Reverse B-C ตามโครงสร้างของทรานซิสเตอร์ก็สามารถจัดไบแอสให้กับทรานซิสเตอร์และสามารถทำให้ทรานซิสเตอร์ทำงานได้ดังรูปที่ 2.37

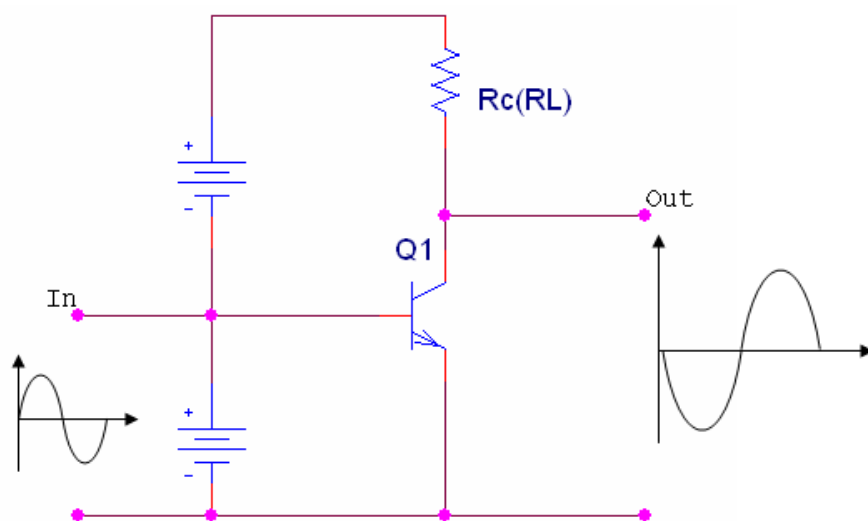
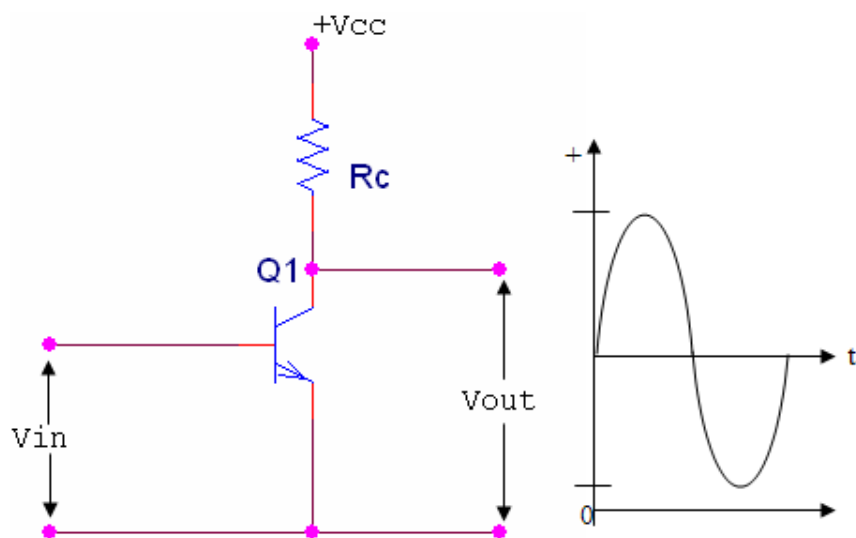


รูปที่ 2.37 การไบแอสทรานซิสเตอร์ NPN และ PNP

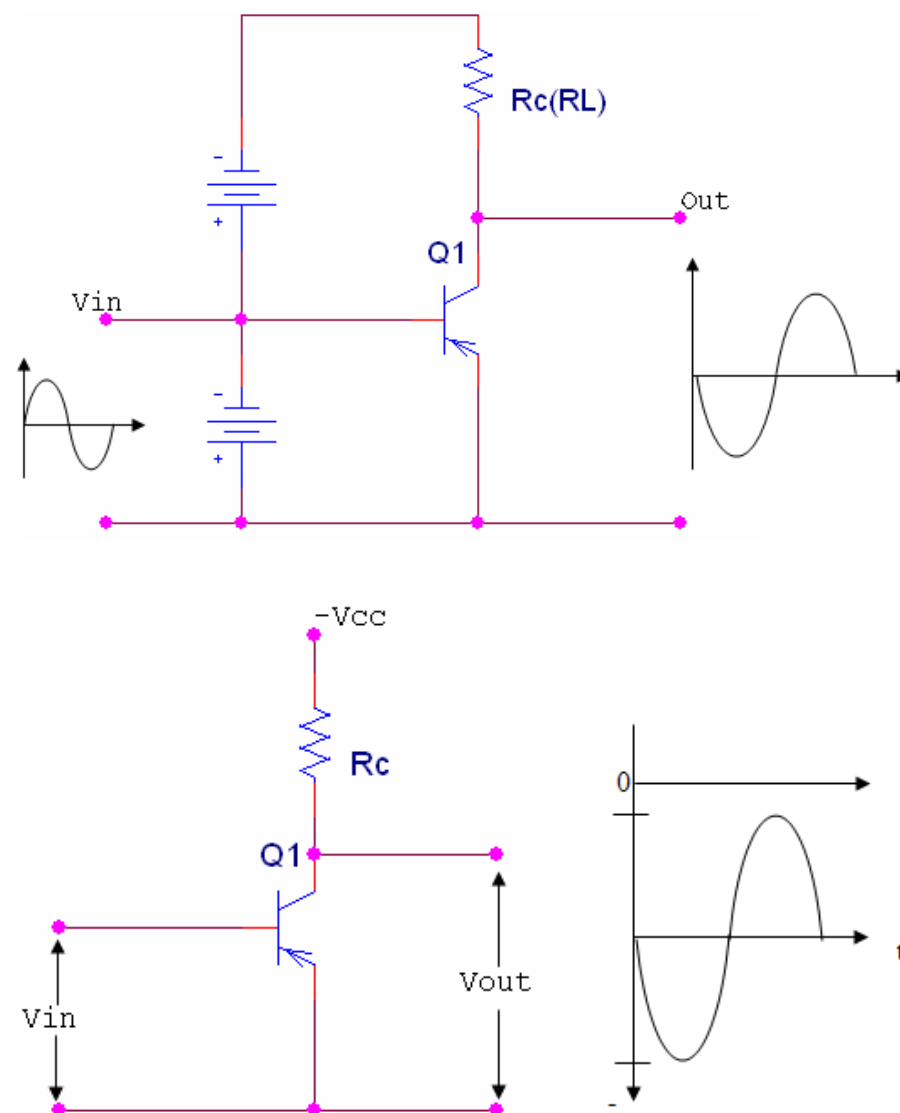
2.7.4 รูปแบบการต่อใช้งานของทรานซิสเตอร์

ถึงแม้ว่าทรานซิสเตอร์จะถูกนำไปใช้งานในวงจรต่าง ๆ มากมาย แต่วงจรเหล่านั้นก็ยังสามารถที่จะจัดแยกออกเป็นกลุ่มได้ 3 รูปแบบ ดังนี้

1) วงจรอิมิตเตอร์ร่วม (Common Emitter) วงจรคอมมอนอิมิตเตอร์ กำหนดให้สัญญาณเข้าทางขาเบส และขยายสัญญาณออกทางขาคอลเล็คเตอร์ โดยใช้ขาอิมิตเตอร์เป็นจุดร่วมระหว่างสัญญาณทางเข้าและสัญญาณทางออก



รูปที่ 2.38 การขยายสัญญาณของคอมมอนอิมิตเตอร์ (NPN)



รูปที่ 2.39 การขยายสัญญาณของคอมมอนอิมิตเตอร์ (PNP)

การขยายของวงจรคอมมอนอิมิตเตอร์ เมื่อมีสัญญาณเข้ามาที่อินพุตเพียงเล็กน้อยทำให้แรงไฟ B-E เปลี่ยนแปลง I_B ก็จะเปลี่ยนแปลงตาม ส่งผลให้ I_C เปลี่ยนแปลงตามด้วย แรงดันไฟฟ้าระหว่างขา C กับ E เปลี่ยนแปลงได้มาก การเปลี่ยนแปลงจะเป็นอัตราส่วนของแรงดันระหว่างอินพุตกับเอาต์พุต นั่นคือ อัตราการขยายของสัญญาณนั่นเอง

ดังนั้นวงจรคอมมอนอิมิตเตอร์ มีการทำงานโดยใช้กระแสไบโวลุ่มการไหลของกระแสคอลเล็กเตอร์จะได้อัตราการขยายดังสมการ

$$(hFE) = \frac{I_o}{I_i} = \frac{I_C}{I_B} \quad (2.1)$$

อัตราขยายนี้เรียกว่า เบต้า (β) กระแสเบสมีค่าน้อยกว่ากระแสคอลเล็กเตอร์มาก ถึงแม้ว่ากระแสเบสจะมีการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อย แต่ก็สามารถทำให้กระแสคอลเล็กเตอร์หรือกระแสทางด้านเอาต์พุตเปลี่ยนแปลงได้มาก ดังนั้นอัตราขยายของคอมมอนอิมิตเตอร์จึงได้อัตราสูง

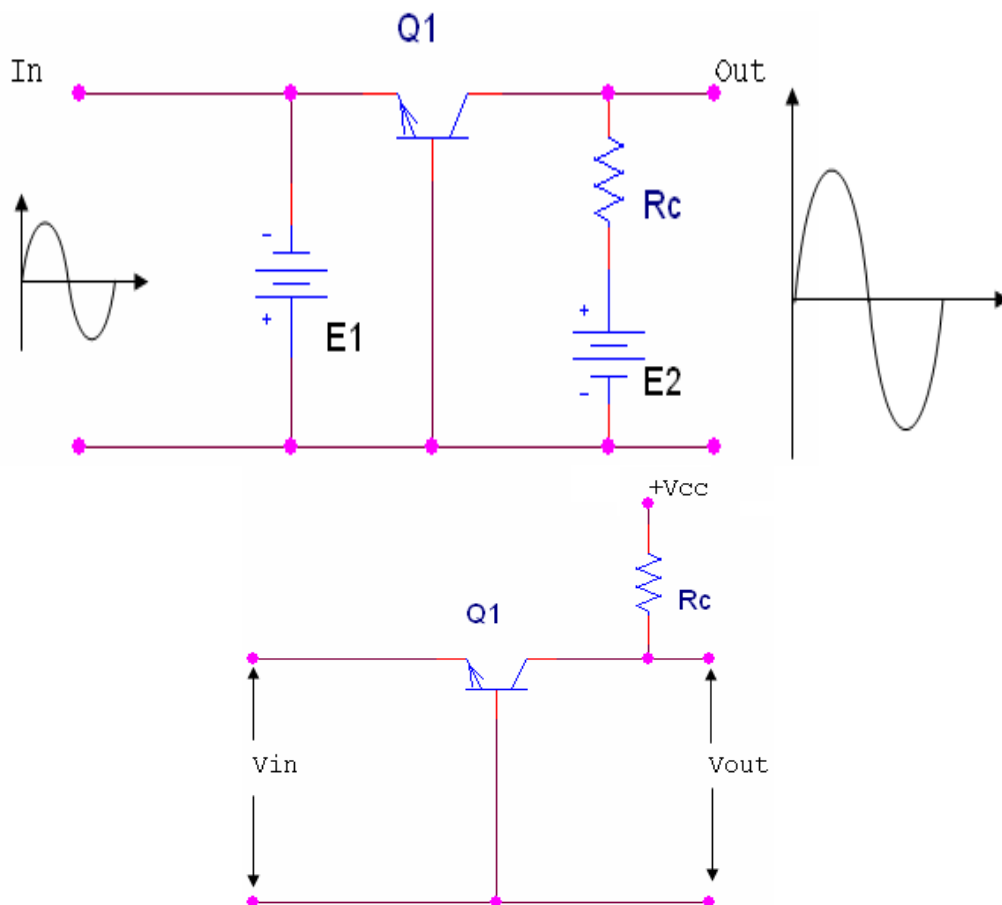
อัตราขยายแรงดันไฟฟ้า (Voltage Gain) = VG เป็นอัตราส่วนระหว่างแรงดันอินพุต E_i กับแรงดันเอาต์พุต (E_o) สามารถหาค่าอัตราขยายแรงดันได้ดังนี้

$$(VG) = \frac{E_o}{E_i} = \frac{I_C R_C}{I_B R_B} \quad (2.2)$$

อัตราขยายกำลัง (Power Gain) PG คืออัตราขยายที่เกิดจากผลคูณของอัตราขยายกระแส กับอัตราขยายแรงดัน

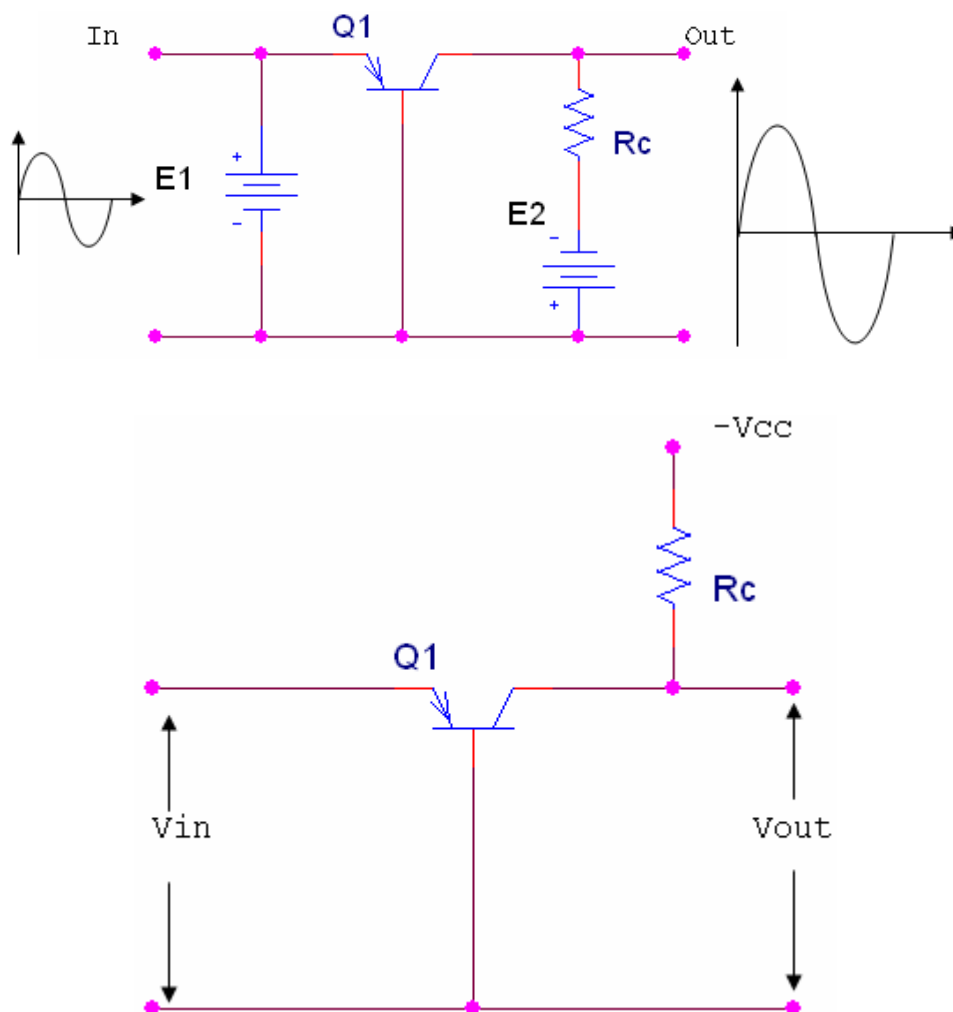
วงจรคอมมอนอิมิตเตอร์เป็นวงจรขยายที่มีอัตราขยายแรงดันสูงที่สุด เมื่อคิดเทียบเป็นอัตราขยายกำลังแล้วจะได้อัตราขยายวัตต์สูง จึงเป็นวงจรขยายที่นิยมใช้กันมากที่สุด และนิยมใช้ในการจัดวงจรขยายทั่ว ๆ ไป

2) วงจรเบสร่วม (Common Base) วงจรคอมมอนเบส สัญญาณจะถูกป้อนเข้าทางขาอิมิตเตอร์ สัญญาณขยายออกทางขาคอลเล็กเตอร์และให้ขาเบสเป็นจุดร่วมของการขยาย



รูปที่ 2.40 การขยายสัญญาณวงจรคอมมอนเบส (NPN)

การทำงานของชนิด NPN เมื่อมีสัญญาณช่วงบวกเข้าทางขา E จะไปหักล้างไบแอสระหว่างขา B กับขา E ให้ต่ำลง I_C ก็จะไหลได้น้อย แรงดันตกคร่อมที่โหลดก็จะน้อย แรงดันที่ขา C ก็จะเป็นบวกมากขึ้น ได้สัญญาณเอาต์พุตเป็นเฟสบวก ถ้าสัญญาณอินพุตเข้ามาเป็นช่วงลบ แรงดันที่ขา E ก็จะเป็นลบมากขึ้นเมื่อเทียบกับเบส ได้แรงดันไบแอสมาก I_C ก็จะไหลมากขึ้น แรงดันตกคร่อมที่โหลดก็จะมาก แรงดันบวกที่ขา C ก็จะลดลง ได้สัญญาณเอาต์พุตเป็นเฟสลบ จะเป็นว่าสัญญาณอินพุตและเอาต์พุตจะมีเฟสตรงกัน



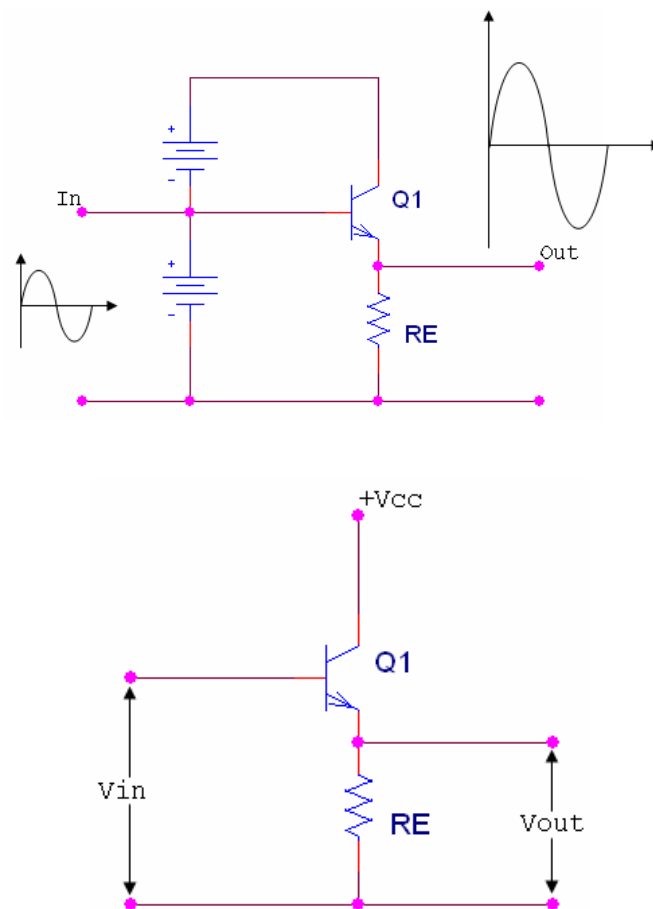
รูปที่ 2.41 การขยายสัญญาณวงจรคอมมอนเบส (PNP)

การทำงานของชนิด NPN เมื่อมีสัญญาณช่วงบวกเข้ามาที่ขา E ซึ่งมีศักย์เป็นบวกเมื่อเทียบกับขา B จะทำให้มีไบแอสสูงขึ้น I_C ก็จะไหลได้มากขึ้นทำให้แรงดันไฟตกคร่อมมากขึ้น แรงดันที่ขา C ก็จะเป็นบวกมากขึ้น ได้สัญญาณเป็นช่วงบวก เมื่อสัญญาณช่วงลบเข้ามาจะมีผลให้ไบแอสที่ขา E ลดลง I_C ก็จะไหลได้น้อยทำให้แรงดันไฟตกคร่อม R_C น้อย ที่ขา C เป็นลบมากขึ้นได้สัญญาณเป็นเฟสกลับ สัญญาณอินพุตและเอาต์พุตจึงมีเฟสตรงกัน อัตราการขยายดังสมการ

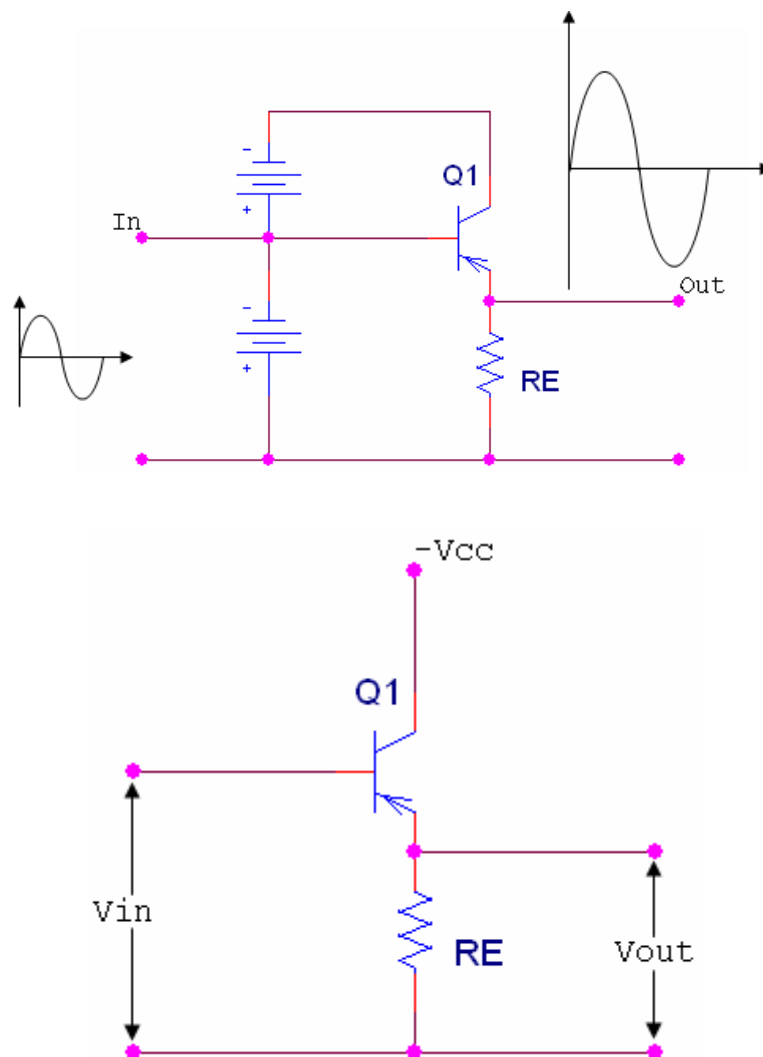
$$(hFE) = \frac{I_o}{I_i} = \frac{I_C}{I_E} \quad (2.3)$$

อัตราขยายกระแสของคอมมอนเบสเรียกว่า อัลฟา (α) เนื่องจากกระแสเบสเป็นกระแสส่วนน้อย บางครั้งกระแสคอลเล็กเตอร์อาจจะเท่ากับกระแสอีมิเตอร์ ดังนั้นอัตราขยายคอมมอนเบสจะมีค่าประมาณ 0.90 – 0.98 หรืออัตราขยายไม่เกิน 1 เท่า

3) วงจรคอลเล็กเตอร์ร่วม (Common Collector) วงจรคอมมอนคอลเล็กเตอร์ หรือ วงจรอีมิเตอร์ฟอลโลเวอร์ ให้สัญญาณเข้าทางขาเบส สัญญาณออกทางขาอีมิเตอร์ มีขาคอลเล็กเตอร์เป็นจุดร่วมของสัญญาณ



รูป 2.42 การขยายสัญญาณของวงจรคอมมอนคอลเล็กเตอร์ (NPN)



รูป 2.43 การขยายสัญญาณของวงจรคอมมอนคอลเล็กเตอร์ (PNP)

การทำงานของชนิด NPN เมื่อมีสัญญาณช่วงบวกเข้ามาทางด้านอินพุต (ขา B) จะไปเสริมให้ที่ขา B ทำให้มีไบแอสสูงขึ้น I_B ก็จะไหลมากขึ้นส่งผลให้ I_C ไหลมากขึ้นตามแรงดันตกคร่อม TR, ขา C-E จะต่ำลง ทำให้แรงดันตกคร่อม R_E สูงขึ้น ได้เป็นเฟสบวก แต่เมื่อสัญญาณช่วงลบเข้ามาที่ขา B ก็จะทำให้แรงดันไบแอสที่ขา B ลดลง I_C ก็จะไหลน้อย แรงดันตกคร่อมที่ TR ขา C-E สูงขึ้น แรงดันตกคร่อม R_E จะต่ำลง ได้สัญญาณเป็นเฟสลบ อัตราการขยายจะได้ดังสมการ

$$(hFE) = \frac{I_o}{I_i} = \frac{I_E}{I_B} \quad (2.4)$$

อัตราขยายกระแสของคอมมอนคอลเล็คเตอร์เรียกว่า แกมมา (γ) แต่อัตราการขยายแรงดันจะได้ไม่เกิน 1 เท่า

จาก

$$\gamma = \frac{I_E}{I_B} \quad (2.5)$$

เมื่อ

$$I_E = I_C + I_B \quad (2.6)$$

และ

$$\frac{I_C + I_B}{I_B} = \frac{I_C}{I_B} + \frac{I_B}{I_B} \quad (2.7)$$

ดังนั้น

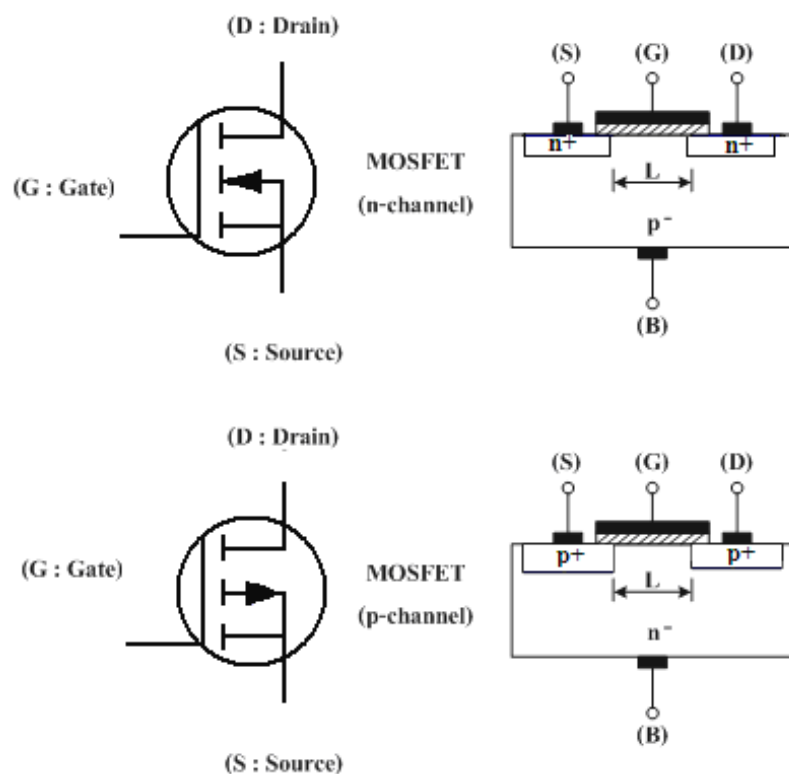
$$\gamma = \beta + 1 \quad (2.8)$$

ตารางที่ 2.5 ตารางเทียบคุณสมบัติของวงจรคอมมอน

คุณสมบัติของวงจร	Common		
	Emitter	Base	Collector
สัญญาณเข้า	B	E	B
สัญญาณออก	C	C	E
เฟสของสัญญาณ	เอาต์ออฟเฟส	อินเฟส	อินเฟส
อินพุตอิมพีแดนซ์	ปานกลาง	ต่ำ	สูง
เอาต์พุตอิมพีแดนซ์	ปานกลาง	สูง	ต่ำ
อัตราขยาย	I_C/I_B	I_C/I_E	I_E/I_B
อัตราขยายกระแส	25 – 50 เท่า	น้อยกว่า 1 เท่า	26 – 51 เท่า
อัตราขยายแรงดัน	300 - 1000	500 - 1500	น้อยกว่า 1

2.8 มอสเฟต (Mosfet)

มอสเฟต เป็นทรานซิสเตอร์อีกแบบหนึ่ง และเป็นอุปกรณ์ทางอิเล็กทรอนิกส์ที่ได้รับความนิยมมากในปัจจุบัน ในการนำไปใช้ในการออกแบบเป็นวงจรรวมซึ่งมอสเฟตจะแบ่งได้เป็น 2 ชนิด คือ N-Channel และ P-Channel โดยอุปกรณ์ทางอิเล็กทรอนิกส์นี้จะสร้างขึ้นมาจากสารกึ่งตัวนำซึ่งจะประกอบด้วยสารกึ่งตัวนำชนิด N และสารกึ่งตัวนำชนิด P โดยมอสเฟตจะแบ่งตามโครงสร้างได้ดังแสดงในรูปที่ 2.44



รูปที่ 2.44 ลักษณะโครงสร้างพื้นฐานของมอสเฟต

จากในรูปที่ 2.44 จะเห็นถึงลักษณะ โครงสร้างพื้นฐานของมอสเฟตโดยมอสเฟต จะแบ่งตาม โครงสร้างได้เป็น 2 ชนิด คือ มอสเฟตชนิด N-Channel และมอสเฟตชนิด P-Channel โดยจะเห็นว่า มอสเฟตทั้งสองชนิดนั้นจะมีขาที่ต่อออกมาใช้งานหลัก ๆ อยู่ทั้งหมด 3 ขาดังด้วยกัน ซึ่งประกอบด้วย ขาเกต (G : Gate), ขาเดรน (D : Drain) และขาซอร์ส (S : Source) นั่นเอง ส่วนขาที่เห็นจาก โครงสร้างนั้นก็คือ ขาเบส (B : Base) ซึ่งจะถูกต่อเข้ากับขาซอร์ส (S : Source) นั่นเอง ดังนั้นในการ นำมาใช้งานเราจะเห็นขาของอุปกรณ์มอสเฟตเพียง 3 ขาเท่านั้น

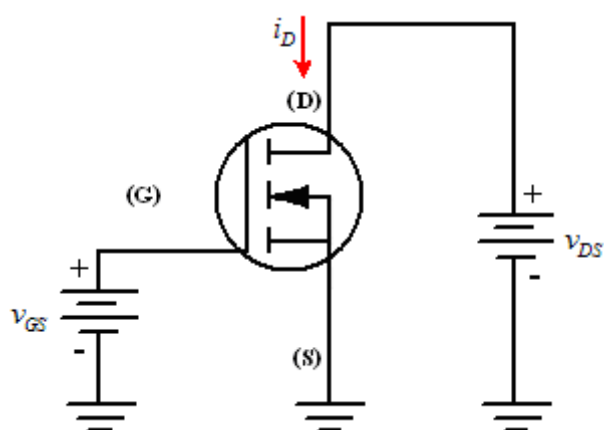
แต่ในส่วนของการที่จะนำมอสเฟตไปใช้งานและการทำให้มอสเฟต นี้สามารถที่จะทำงานได้ นั้นหรือสามารถที่จะนำกระแสได้นั้น จะต้องทำการกำหนดค่าของแรงดันให้มีค่าที่เหมาะสมกับ ลักษณะโครงสร้างของมอสเฟตซึ่งจะเรียกว่า การไบแอส (Bias) ให้กับมอสเฟตสามารถจะทำงาน ตามที่ต้องการ โดยลักษณะของการไบแอสมอสเฟต คือการป้อนแรงดันให้กับขาเกต (G : Gate) เพื่อใช้ในการควบคุมการไหลของกระแสโดยสามารถที่จะแบ่งออกได้ตามชนิดของมอสเฟตดังนี้

2.8.1 มอสเฟตชนิด N-Channel

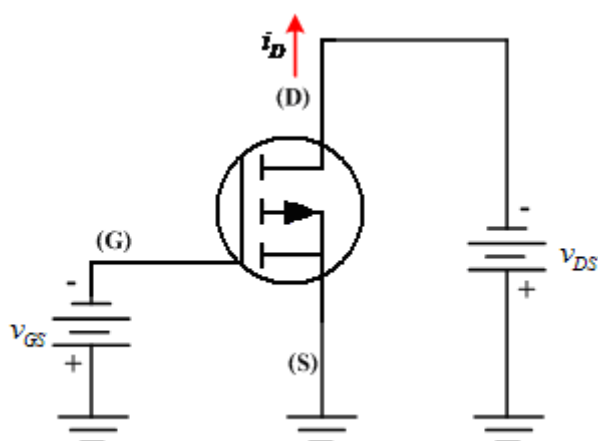
ถ้าทำการกำหนดค่าของแรงดันที่ขาเกต (v_G) มีค่าน้อย ก็จะส่งผลให้ขาเดรน (D) และขาซอร์ส (S) ไม่มีกระแสไหลผ่าน แต่ถ้าทำการกำหนดค่าของแรงดันที่ขาเกต (v_G) มีค่ามาก ก็จะส่งผลให้ขาเดรน (D) และขาซอร์ส (S) มีกระแสไหลผ่าน โดยการไบแอสจะเป็นดังรูปที่ 2.45

2.8.2 มอสเฟตชนิด P-Channel

ถ้าทำการกำหนดค่าของแรงดันที่ขาเกต (v_G) มีค่ามาก ก็จะส่งผลให้ขาเดรน (D) และขาซอร์ส (S) ไม่มีกระแสไหลผ่าน แต่ถ้าทำการกำหนดค่าของแรงดันที่ขาเกต (v_G) มีค่าน้อย ก็จะส่งผลให้ขาเดรน (D) และขาซอร์ส (S) มีกระแสไหลผ่าน โดยการไบแอสจะเป็นดังรูปที่ 2.46



รูปที่ 2.45 ลักษณะการไบแอสมอสเฟตชนิด N-Channel

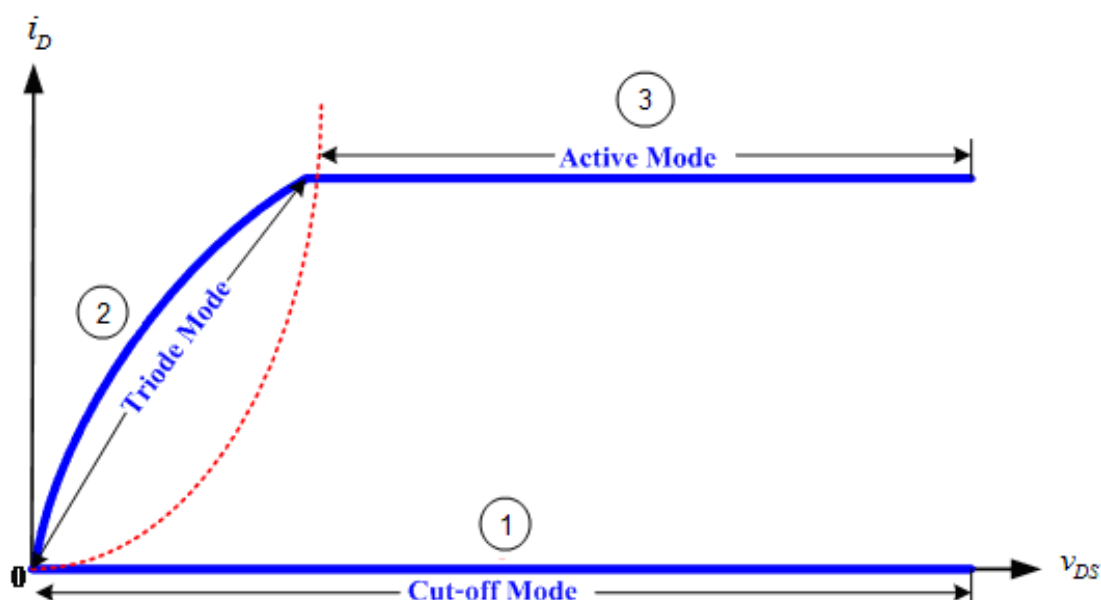


รูปที่ 2.46 ลักษณะการไบแอสมอสเฟตชนิด P-Channel

ซึ่งในการที่จะนำมอสเฟตมาใช้งานจะต้องกำหนดค่าของแรงดันไบแอสที่จะนำมาใช้งาน ให้มีค่าที่เหมาะสมให้กับมอสเฟตที่เลือกมาใช้งานซึ่งถ้าพิจารณาถึงโครงสร้างของมอสเฟต ก็จะพบว่าการทำงานที่เปลี่ยนสภาพของสารกึ่งตัวนำที่เชื่อมต่อที่ขา (D) กับขา (S) ให้เป็นสารกึ่งตัวนำชนิดเดียวกันนั้นจะเกิดขึ้นได้จากการป้อนแรงดันไบแอส (v_{GS}) นั้นเอง และถ้ากำหนดให้แรงดัน ($v_{GS} = 0$) ก็จะไม่มีการแส (i_D) ไหล แต่แรงดันของ (v_{GS}) นั้นจะไม่ได้มีค่าเป็น 0 แต่มันจะเกิดค่าแรงดันที่เรียกว่าแรงดันเทรชโฮลด์ (Threshold Voltage: v_{TH}) นั้นเอง และถ้าเราพิจารณาจากโครงสร้างภายในของมอสเฟต ก็จะมีแรงดันระหว่างขา (B) กับขา (S) ซึ่งค่าแรงดันที่เกิดขึ้นจะทำให้ค่าแรงดันเทรชโฮลด์ (v_{TH}) มีค่าแรงดันที่เปลี่ยนแปลงไป และจะส่งผลต่อค่าของกระแส (i_D) ที่ไหลด้วย โดยค่าแรงดันที่เกิดขึ้นนี้เรียกว่า แรงดัน Body Effect: (v_{eff}) นั้นเอง และจากคุณสมบัติต่าง ๆ ที่ได้กล่าวมานั้น ก็จะกล่าวถึงลักษณะการทำงานของมอสเฟตโดยสามารถที่แบ่งออกได้เป็น 3 สถานะการทำงาน คือ

- 1.) สถานะการทำงานแบบคัตออฟ (Cut-off Mode)
- 2.) สถานะการทำงานแบบไตรโอด (Triode Mode)
- 3.) สถานะการทำงานแบบแอคทีฟ (Active Mode)

ซึ่งจากลักษณะการทำงานของมอสเฟตทั้ง 3 สถานะการทำงานนั้น แสดงในรูปที่ 2.47



รูปที่ 2.47 ลักษณะการทำงานของมอสเฟตทั้ง 3 สถานะการทำงาน

โดยจากลักษณะการทำงานของมอสเฟตทั้ง 3 สถานะที่ได้แสดงในรูปที่ 2.47 จะสามารถทำงานในแต่ละสถานะได้ดังต่อไปนี้

- สถานะการทำงานแบบคัตออฟ (Cut-off Mode) : มอสเฟตทำงานในสถานะนี้ได้เมื่อกำหนดให้ ($v_{eff} < 0$)
- สถานะการทำงานแบบไตรโอด (Triode Mode) : มอสเฟตทำงานในสถานะนี้ได้เมื่อกำหนดให้ ($v_{eff} > v_{DS} > 0$)
- สถานะการทำงานแบบแอคทีฟ (Active Mode) : มอสเฟตทำงานในสถานะนี้ได้เมื่อเรากำหนดให้ ($v_{DS} > v_{eff} > 0$)

ในทางอุดมคตินั้นจะเป็นอุปกรณ์ทางอิเล็กทรอนิกส์ที่จะมีคุณสมบัติความสัมพันธ์ระหว่างค่าแรงดัน (v_{DS}) และค่าของกระแส (i_D) ซึ่งสามารถที่จะเขียนสมการแสดงความสัมพันธ์นี้ได้โดยจะแบ่งสมการออกได้เป็น 3 สถานะการทำงาน ดังแสดงในสมการที่ 2.9 สมการที่ 2.10 และสมการที่ 2.11

สถานะการทำงานแบบคัตออฟ (Cut-off Mode)

$$i_D = 0 \quad (2.9)$$

สถานะการทำงานแบบไตรโอด (Triode Mode)

$$i_D = K(2v_{eff} - v_{DS})v_{DS} \quad (2.10)$$

สถานะการทำงานแบบแอคทีฟ (Active Mode)

$$i_D = K(v_{eff})^2 (1 + \lambda v_{DP}) \quad (2.11)$$

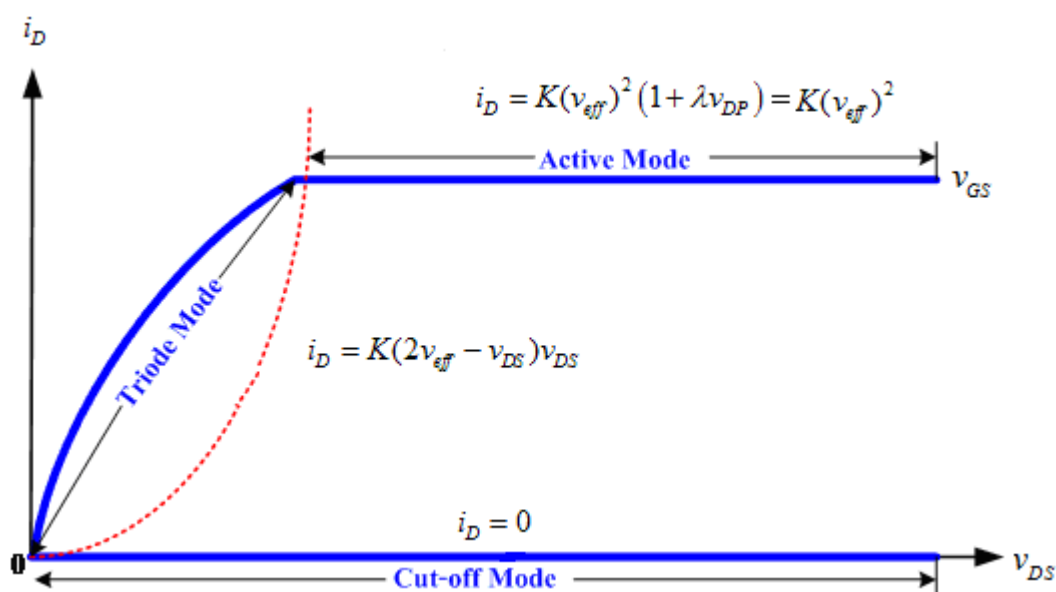
และจากสมการที่ได้แสดงไว้นั้น สามารถที่จะเขียนสมการที่จะแสดงถึงตัวแปรที่สำคัญของสมการได้ดังสมการที่ 2.12 สมการที่ 2.13 และสมการที่ 2.14

$$v_{eff} = v_{GS} - v_{TH} \quad (2.12)$$

$$v_{DP} = v_{DS} - v_{eff} \quad (2.13)$$

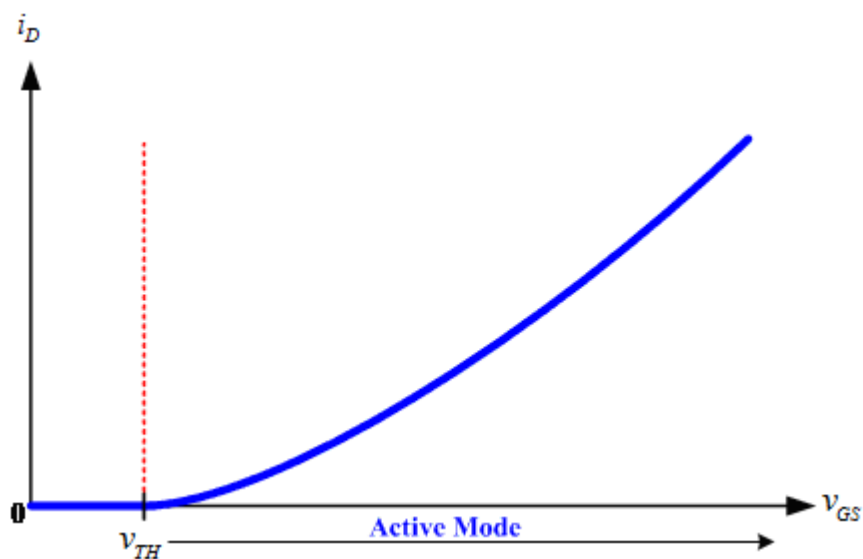
$$K = \frac{\mu_n C_{ox}}{2} \left(\frac{W}{L} \right) \text{ หน่วยคือ } A/V^2 \quad (2.14)$$

เมื่อ K คือ ค่าคงที่ของโครงสร้างมอสเฟต โดยที่มอสเฟตแต่ละเบอร์นั้นจะมีค่าคงที่นี้แตกต่างกันไป โดยค่าของ K นี้จะมีค่ามากหรือน้อยนั้นจะขึ้นอยู่กับขนาดความกว้าง (W) ความยาว (L) ค่าการเคลื่อนที่ของพาหะในตัวกลาง (μ_n) และค่าของประจุไฟฟ้าที่เกิดขึ้นอยู่ระหว่างชนิดของสารกึ่งตัวนำในโครงสร้างมอสเฟต



รูปที่ 2.48 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่ากระแส (i_D) กับค่าแรงดัน (v_{DS})

จากรูปที่ 2.48 นั้นจะเป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่ากระแส (i_D) กับค่าแรงดัน (v_{DS}) โดยจะเห็นได้ว่าสามารถที่จะแบ่งออกได้เป็น 3 สถานะการทำงาน และจากรูปที่ 2.49 นั้นจะเป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่ากระแส (i_D) กับค่าแรงดัน (v_{GS}) เมื่อกำหนดให้ค่าแรงดัน (v_{DS}) มีค่าคงที่ โดยจะเห็นได้ว่าแรงดัน (v_{GS}) นั้นจะมีผลอย่างมากกับค่าของกระแส (i_D)



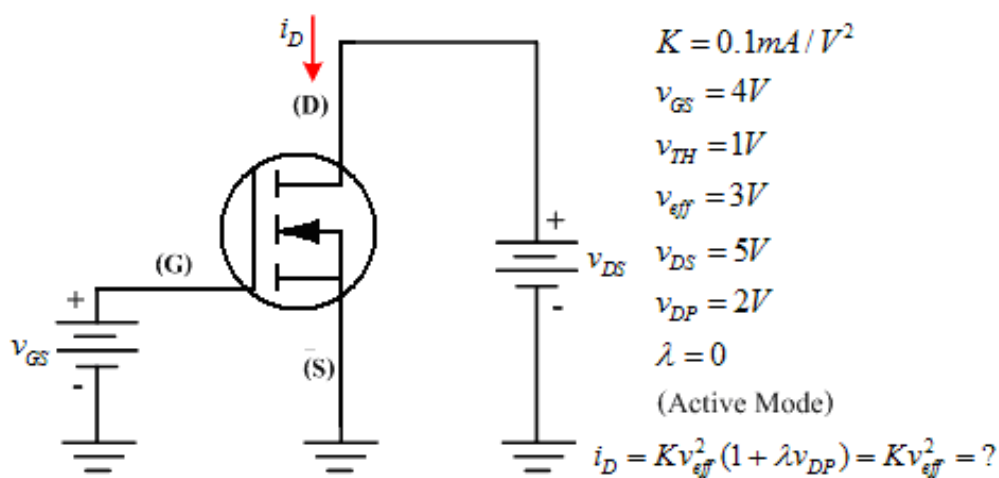
รูปที่ 2.49 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่ากระแส (i_D) กับค่าแรงดัน (v_{GS}) เมื่อกำหนดให้ค่าแรงดัน (v_{DS}) มีค่าคงที่

ในที่นี้จะกล่าวถึงสภาวะการทำงานแบบแอคทีฟ (Active Mode) เพียงอย่างเดียว เพราะจะนำไปใช้งานในการออกแบบวงจรต่อไป โดยจากสมการที่ 2.11 นั้น ถ้าจะนำไปใช้งานจริงเพื่อให้ง่ายต่อการออกแบบวงจร ก็จะกำหนดให้ ($\lambda v_{DP} = 0$) โดยสามารถเขียนสมการได้ดังสมการที่ 2.15

$$i_D = K(v_{eff})^2 \text{ (Active Mode)} \quad (2.15)$$

2.8.2 การคำนวณมอสเฟต

จากสมการที่ 2.11 ถึงสมการที่ 2.17 ถ้ากำหนดให้มอสเฟตมีข้อมูลดังต่อไปนี้จะสามารถแสดงวิธีการคำนวณหาค่าต่าง ๆ ที่สำคัญได้ดังแสดงในรูปที่ 2.50



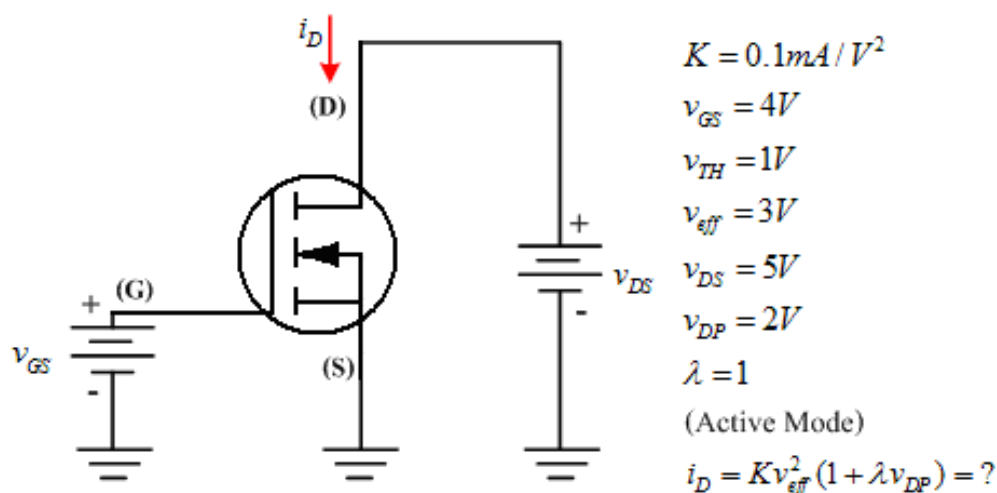
รูปที่ 2.50 แสดงการคำนวณหาค่าต่าง ๆ ที่สำคัญของมอสเฟต

คำนวณหาค่ากระแส (i_D) โดยใช้สมการที่ 2.11 (Active Mode)

$$\begin{aligned}
 i_D &= K(v_{eff})^2 (1 + \lambda v_{DP}) \\
 i_D &= (0.1 \text{ mA/V}^2)(3)^2 (1 + (0)(2)) \\
 i_D &= 0.9 \text{ mA}
 \end{aligned}$$

จากการคำนวณก็จะเห็นได้ว่าถ้ามอสเฟตมีข้อมูลดังที่กำหนดมาให้นั้นซึ่งทำงานอยู่ในสถานะแบบแอคทีฟ (Active Mode) ก็จะสามารถทำการคำนวณหาค่ากระแส (i_D) ได้ไม่ยาก

และในส่วนที่สองนี้ก็จะกล่าวถึงการคำนวณหาค่ากระแส (i_D) ของมอสเฟตเหมือนกันที่ทำงานอยู่ในสถานะแบบแอคทีฟ (Active Mode) โดยจะมีการปรับเปลี่ยนค่าต่าง ๆ ที่สำคัญได้ดังแสดงในรูปที่ 2.51



รูปที่ 2.51 แสดงการคำนวณค่าต่าง ๆ ที่สำคัญของมอสเฟต

คำนวณค่ากระแส (i_D) โดยใช้สมการที่ 2.13 (Active Mode)

$$\begin{aligned}
 i_D &= K(v_{eff})^2 (1 + \lambda v_{DP}) \\
 i_D &= (0.1 \text{ mA/V}^2)(3)^2 (1 + (1)(2)) \\
 i_D &= 2.7 \text{ mA}
 \end{aligned}$$

จากการคำนวณก็จะเห็นได้ว่าถ้ามอสเฟตมีข้อมูลดังที่กำหนดมาให้มันซึ่งทำงานอยู่ในสถานะแอคทีฟ (Active Mode) ก็จะสามารถทำการคำนวณค่ากระแส (i_D) ได้ไม่ยากเช่นกัน

2.8.3 การออกแบบวงจรด้วยมอสเฟต

วงจรไบแอสมอสเฟต ซึ่งแบ่งออกได้เป็น 3 วงจร คือ วงจรไบแอสมอสเฟตแบบที่ 1 วงจรไบแอสมอสเฟตแบบที่ 2 และวงจรไบแอสมอสเฟตแบบที่ 3

1) การออกแบบวงจรไบแอสมอสเฟตแบบที่ 1 จากรูปวงจรดังแสดงในรูปที่ 2.52 เป็นวงจรไบแอสมอสเฟตแบบที่ 1 ในตัวอย่างนี้จะกำหนดผลตอบแทนของวงจรดังนี้

กำหนดให้ กระแส (i_D) ที่ต้องการมีค่าเท่ากับ 0.5 mA

แรงดัน (v_1) มีค่าเท่ากับ $5V$

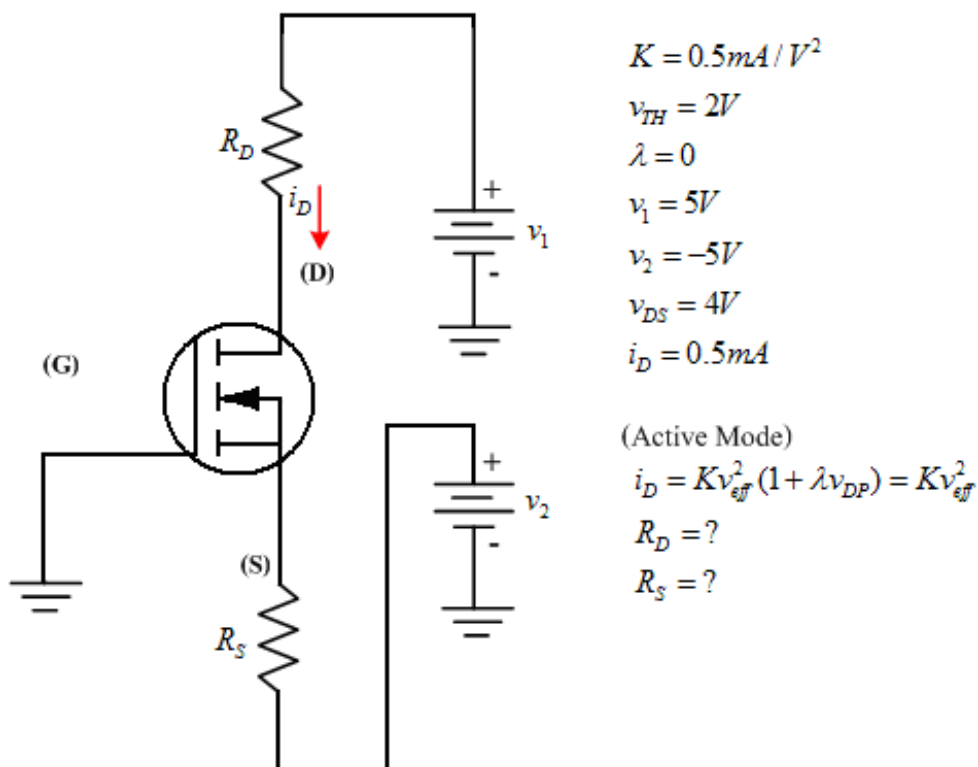
แรงดัน (v_2) มีค่าเท่ากับ $-5V$

แรงดัน (v_{DS}) มีค่าเท่ากับ $4V$

และวงจรนี้ใช้มอสเฟตมีค่าพารามิเตอร์ที่สำคัญ คือ $K = 0.5 \text{ mA/V}^2$, $v_{TH} = 2V$

และ $\lambda = 0$

ซึ่งจากข้อมูลที่กำหนดให้มานั้นพบว่ามีสิ่งที่จะต้องหาค่าคือหาค่าของตัวต้านทาน (R_D) และหาค่าของตัวต้านทาน (R_S) ว่ามีค่าเท่าไร เพื่อที่จะทำให้กระแส (i_D) มีค่าเท่ากับ 0.5mA



รูปที่ 2.52 วงจรไบแอสมอสเฟตแบบที่ 1

ในอันดับแรกก็ทำการหาค่าแรงดัน (v_{eff}) ว่ามีค่าเท่าไร โดยมีสูตรที่ใช้ในการคำนวณดังสมการที่ 2.16

$$v_{eff} = \sqrt{\frac{i_D}{K}} \quad (2.16)$$

ดังนั้นเมื่อทำการแทนค่าจะได้เท่ากับ

$$v_{eff} = \sqrt{\frac{i_D}{K}} = \sqrt{\frac{(0.5mA)}{(0.5mA/V^2)}} = 1V$$

และเมื่อทราบค่าของแรงดัน (v_{eff}) แล้วทีนี้ก็เป็นการคำนวณหาค่าของแรงดัน (v_{GS}) ว่ามีค่าเท่าไร โดยมีสูตรที่ใช้ในการคำนวณตามคุณสมบัติของมอสเฟตดังสมการที่ 2.17

$$v_{GS} = v_{eff} + v_{TH} \quad (2.17)$$

ดังนั้นเมื่อทำการแทนค่าจะได้เท่ากับ

$$v_{GS} = v_{eff} + v_{TH} = 1V + 2V = 3V$$

และเมื่อทราบค่าของแรงดัน (v_{GS}) แล้ว จากนั้นจะมาพิจารณาวงจร ซึ่งถ้าพิจารณาแล้วจะพบว่าแรงดันที่ขา (G) หรือ (v_G) นั้นจะมีค่าแรงดันเท่ากับ 0V ดังนั้นจึงสามารถที่จะสรุปได้ว่าแรงดันที่ขา (S) หรือ (v_S) นั้นจะมีค่าแรงดันเท่ากับ -3V และแรงดันที่ขา (D) หรือ (v_D) นั้นก็จะมีค่าแรงดันเท่ากับ 1V นั่นเอง (เนื่องมาจากการที่กำหนดให้แรงดัน $v_{DS} = 4V$ เพราะว่า ($v_{DS} = v_D - v_S = 1V - (-3V) = 4V$) นั่นเอง)

ดังนั้นจากค่าต่าง ๆ ที่ได้ทำการคำนวณมานั้นก็สามารถที่จะนำมาใช้ในการคำนวณหาค่าของตัวต้านทาน (R_D) และหาค่าของตัวต้านทาน (R_S) ได้ดังต่อไปนี้

$$R_D = \frac{v_1 - v_D}{i_D} = \frac{5V - 1V}{0.5mA} = 8K\Omega \text{ และ } R_S = \frac{v_S - v_2}{i_D} = \frac{-3V - (-5V)}{0.5mA} = 4K\Omega$$

ซึ่งจะเห็นว่าค่าของตัวต้านทาน (R_D) และหาค่าของตัวต้านทาน (R_S) ที่คำนวณได้นั้นก็จะนำมาใช้ในวงจรไบแอสมอสเฟตแบบที่ 1 ซึ่งจะส่งผลให้กระแส (i_D) ไหลเท่ากับ 0.5mA

2) การออกแบบวงจรไบแอสมอสเฟตแบบที่ 2 จากรูปวงจรดังแสดงในรูปที่ 2.53 เป็นวงจรไบแอสมอสเฟตแบบที่ 2 ซึ่งในตัวอย่างนี้จะกำหนดผลตอบแทนของวงจรดังนี้ กำหนดให้

กระแส (i_D) ที่ต้องการมีค่าเท่ากับ $0.2mA$

แรงดัน (v_1) มีค่าเท่ากับ $5V$

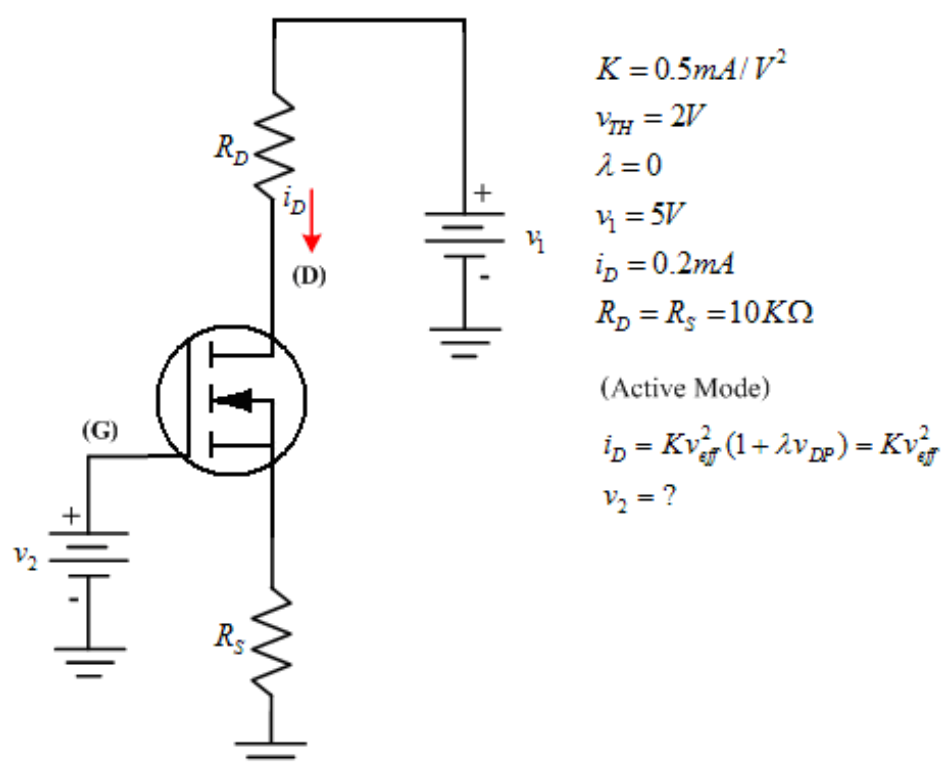
ตัวต้านทาน (R_D) มีค่าเท่ากับ $10K\Omega$

ตัวต้านทาน (R_S) มีค่าเท่ากับ $10K\Omega$

และวงจรนี้ใช้มอสเฟตมีค่าพารามิเตอร์ที่สำคัญคือ $K = 0.5mA/V^2$, $v_{TH} = 2V$

และ $\lambda = 0$

ซึ่งจากข้อมูลที่กำหนดให้มานั้นพบว่าสิ่งที่ต้องหาหาคือค่าของแรงดัน (v_2)
ว่ามีค่าเท่าไร เพื่อที่จะทำให้กระแส (i_D) มีค่าเท่ากับ $0.2mA$



รูปที่ 2.53 วงจรไบแอสมอสเฟตแบบที่ 2

ในอันดับแรกจะทำการหาค่าแรงดัน (v_{eff}) ว่ามีค่าเท่าไร โดยมีสูตรที่ใช้ในการคำนวณดังสมการที่ 2.18 ดังนั้นเมื่อทำการแทนค่าจะได้เท่ากับ

$$v_{eff} = \sqrt{\frac{i_D}{K}} = \sqrt{\frac{(0.2mA)}{(0.5mA/V^2)}} = 0.63V$$

และเมื่อเราทราบค่าของแรงดัน (v_{eff}) แล้วที่นี้ก็จะเป็นการคำนวณหาค่าของแรงดัน (v_{GS}) ว่ามีค่าเท่าไร โดยมีสูตรที่ใช้ในการคำนวณตามคุณสมบัติของมอสเฟต ดังสมการที่ 2.17 ดังนั้นเมื่อทำการแทนค่าจะได้เท่ากับ

$$v_{GS} = v_{eff} + v_{TH} = 0.63V + 2V = 2.63V$$

และเมื่อเราทราบค่าของแรงดัน (v_{GS}) แล้ว จากนั้นจะมาพิจารณาวงจร ซึ่งถ้าพิจารณาแล้วจะพบว่าแรงดันที่ขา (S) หรือ (v_S) นั้นสามารถที่จะคำนวณได้ดังสมการที่ 2.18

$$v_S = i_D R_S \quad (2.18)$$

ดังนั้นเมื่อทำการแทนค่าจะได้เท่ากับ

$$v_S = i_D R_S = (0.2mA)(10K\Omega) = 2V$$

ดังนั้นจากค่าของแรงดันที่ขา (S) หรือ (v_S) ที่คำนวณได้นี้ ถ้านำไปพิจารณาคูเพื่อที่จะหาค่าของแรงดันที่ขา (G) หรือ (v_G) ซึ่งในที่นี้ได้กำหนดให้เป็นแรงดัน (v_2) ก็จะสามารถที่จะหาค่าได้ดังสมการที่ 2.19 และสมการที่ 2.20

$$v_{GS} = v_G - v_S \quad (2.19)$$

$$v_2 = v_G = v_{GS} + v_S \quad (2.20)$$

ดังนั้นเมื่อทำการแทนค่าจะได้เท่ากับ

$$v_2 = v_G = v_{GS} + v_S = 2.63V + 2V = 4.63V$$

ซึ่งจะเห็นว่าค่าของแรงดัน (v_2) ที่เราคำนวณได้นั้น ถ้านำไปใช้ในวงจรไบแอสมอสเฟตแบบที่ 2 ก็จะส่งผลให้กระแส (i_D) ไหลเท่ากับ $0.2mA$

3) การออกแบบวงจรไบแอสมอสเฟตแบบที่ 3 จากรูปวงจรดังแสดงในรูปที่ 2.54 เป็นวงจรไบแอสมอสเฟตแบบที่ 3 ซึ่งในตัวอย่างนี้จะกำหนดผลตอบสนองของวงจрдังนี้

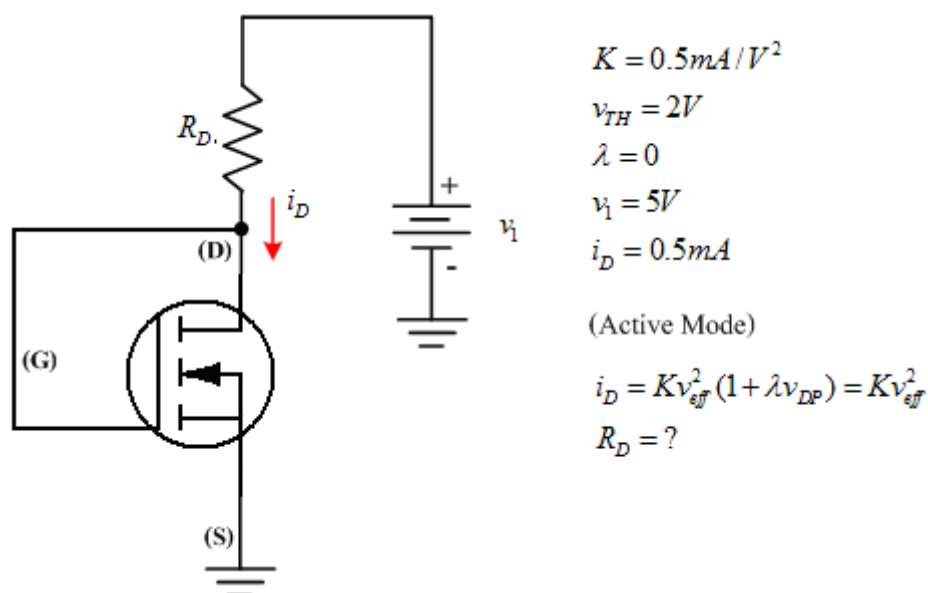
กำหนดให้ กระแส (i_D) ที่ต้องการมีค่าเท่ากับ $0.5mA$

แรงดัน (v_1) มีค่าเท่ากับ $5V$

และวงจรนี้ใช้มอสเฟต มีค่าพารามิเตอร์ที่สำคัญ คือ $K = 0.5mA/V^2$, $v_{TH} = 2V$

และ $\lambda = 0$

ซึ่งจากข้อมูลที่กำหนดให้มานั้นพบว่าสิ่งที่ต้องการหาค่าคือหาค่าของตัวต้านทาน (R_D) ว่ามีค่าเท่าไร เพื่อที่จะทำให้กระแส (i_D) มีค่าเท่ากับ $0.5mA$



รูปที่ 2.54 วงจรไบแอสมอสเฟตแบบที่ 3

ในอันดับแรกก็จะทำการหาค่าแรงดัน (v_{eff}) ว่ามีค่าเท่าไร โดยมีสูตรที่ใช้ในการคำนวณดังสมการที่ 8 ดังนั้นเมื่อทำการแทนค่าจะได้เท่ากับ

$$v_{eff} = \sqrt{\frac{i_D}{K}} = \sqrt{\frac{(0.5mA)}{(0.5mA/V^2)}} = 1V$$

และเมื่อทราบค่าของแรงดัน (v_{eff}) แล้วทีนี้จะเป็นการคำนวณหาค่าของแรงดัน (v_{GS}) ว่ามีค่าเท่าไร โดยมีสูตรที่ใช้ในการคำนวณตามคุณสมบัติของมอสเฟตดังสมการที่ 9 ดังนั้นเมื่อทำการแทนค่าจะได้เท่ากับ

$$v_{GS} = v_{eff} + v_{TH} = 1V + 2V = 3V$$

และเมื่อทราบค่าของแรงดัน (v_{GS}) แล้ว จากนั้นจะมาพิจารณาวงจร ซึ่งถ้าพิจารณาแล้วจะพบว่าแรงดัน (v_{GS}) นั้นจะมีค่าแรงดันเท่ากับแรงดัน (v_{DS}) ซึ่งจะมีค่าแรงดันเท่ากับ 3V

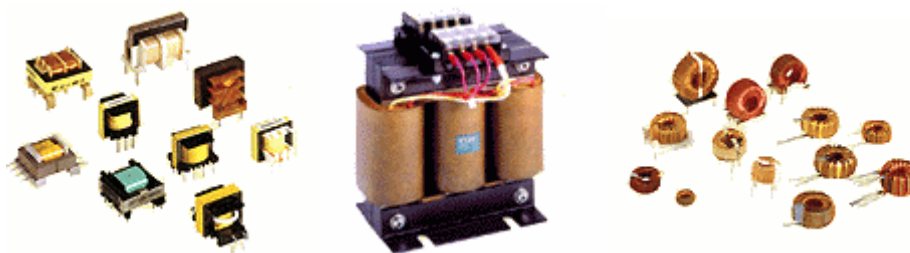
ดังนั้นจากค่าต่าง ๆ ที่ได้ทำการคำนวณมานั้นก็สามารถที่จะนำมาใช้ในการคำนวณหาค่าของตัวต้านทาน (R_D) ได้ดังต่อไปนี้

$$R_D = \frac{v_1 - v_{DS}}{i_D} = \frac{5V - 3V}{0.5mA} = 4K\Omega$$

ซึ่งจะเห็นว่าค่าของตัวต้านทาน (R_D) คำนวณได้จะใช้ในวงจรไบแอสมอสเฟตแบบที่ 3 ซึ่งจะส่งผลให้กระแส (i_D) ไหลเท่ากับ 0.5mA

2.9 หม้อแปลง (Transformers)

หม้อแปลงไฟฟ้า คือ ถ้ากระแสไฟฟ้าด้านปฐมภูมิเพิ่มขึ้นจะทำให้กระแสไฟฟ้าด้านทุติยภูมิเพิ่มขึ้น และถ้ากระแสไฟฟ้าด้านปฐมภูมิลดลงก็จะทำให้กระแสไฟฟ้าด้านทุติยภูมิลดลงด้วย ดังนั้นไฟฟ้ากระแสสลับที่เกิดขึ้นทางด้านทุติยภูมิ มีความถี่เท่ากับไฟฟ้ากระแสสลับทางด้านปฐมภูมิ ถึงแม้ขดลวดทั้งสองของหม้อแปลงไฟฟ้าจะแยกออกจากกัน แต่พลังงานจากด้านปฐมภูมิ สามารถที่จะส่งผ่านไปยังด้านทุติยภูมิได้ ทั้งนี้เนื่องจากพลังงานไฟฟ้าทางด้านปฐมภูมิได้เปลี่ยนไปเป็นพลังงานแม่เหล็ก ส่วนทางด้านทุติยภูมิจะเปลี่ยนกลับจากพลังงานแม่เหล็กให้เป็นพลังงานไฟฟ้า รูปหม้อแปลงไฟฟ้าแบบต่าง ๆ ดังรูปที่ 2.55



รูปที่ 2.55 หม้อแปลงไฟฟ้าแบบต่าง ๆ

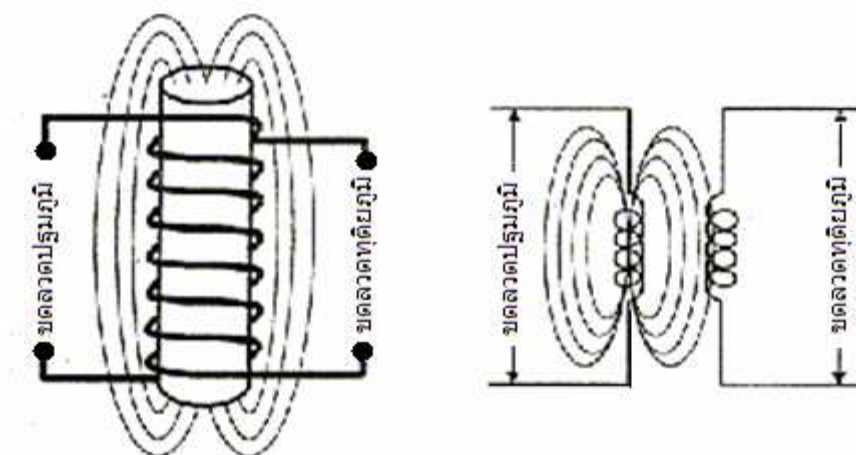
2.9.1 ค่าสัมประสิทธิ์ความเหนี่ยวนำ (k)

แรงดันไฟฟ้าที่เหนี่ยวนำเข้าไปยังขดลวดทุติยภูมิ ขึ้นอยู่กับค่าความเหนี่ยวนำที่เกิดขึ้นระหว่างขดลวดปฐมภูมิและทุติยภูมิ ถูกกำหนดโดยจำนวนเส้นแรงแม่เหล็กที่เกิดจากขดลวดด้านปฐมภูมิเคลื่อนที่ไปตัดกับขดลวดด้านทุติยภูมิ อัตราส่วนระหว่างจำนวนเส้นแรงแม่เหล็กที่เคลื่อนที่ไปตัดกับขดลวดทุติยภูมิ เปรียบเทียบกับจำนวนเส้นแรงแม่เหล็กทั้งหมดที่เกิดจากขดลวดปฐมภูมิ เรียกว่า สัมประสิทธิ์ความเหนี่ยวนำ (Coefficient of Coupling:k) จะมีค่าอยู่ระหว่าง 0 และ 1

$$k = \frac{\text{จำนวนเส้นแรงแม่เหล็กที่ตัดผ่าน ไปยังขดลวด ทุติยภูมิ}}{\text{จำนวนเส้นแรงแม่เหล็กทั้งหมดที่เกิดจากขดลวดปฐมภูมิ}} \quad (2.33)$$

เช่น ถ้าเส้นแรงแม่เหล็กทั้งหมดที่เกิดจากขดลวดปฐมภูมิเคลื่อนที่ไปตัดกับขดลวดทุติยภูมิ ค่าสัมประสิทธิ์ความเหนี่ยวนำจะมีค่าเท่ากับ 1 แต่ถ้ามีจำนวนเส้นแรงแม่เหล็กเพียงครึ่งหนึ่งที่เคลื่อนที่ไปตัดกับขดลวดทางด้านทุติยภูมิ ค่าสัมประสิทธิ์ความเหนี่ยวนำที่ได้ก็จะมีค่าเท่ากับ 0.5 ปัจจัยที่มีผลต่อค่าสัมประสิทธิ์ความเหนี่ยวนำ

- 1) ระยะห่างระหว่างขดลวดปฐมภูมิ และขดลวดทุติยภูมิ
- 2) ชนิดของแกนที่ใช้พันขดลวด



รูปที่ 2.56 แสดงระยะห่างของขดลวดปฐมภูมิและขดลวดทุติยภูมิ

2.9.2 อัตราส่วนจำนวนรอบ (Turns Ratio)

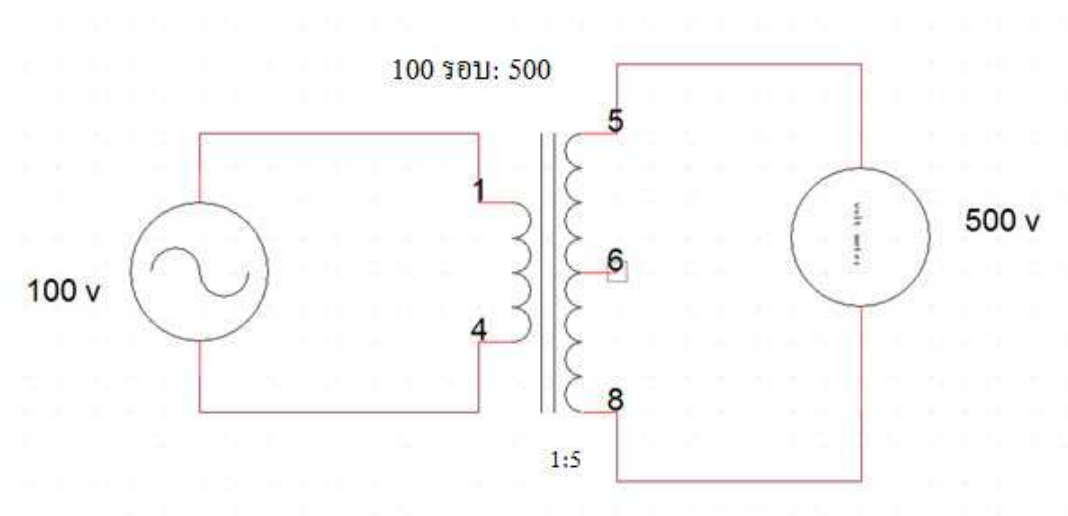
อัตราส่วนจำนวนรอบ หมายถึง อัตราส่วนระหว่างจำนวนรอบของขดลวดทุติยภูมิ (N_s) ต่อจำนวนรอบของขดลวดปฐมภูมิ (N_p) อัตราส่วนจำนวนรอบ

$$\text{Turn ratio} = \frac{N_s}{N_p} \quad (2.21)$$

2.9.3 หม้อแปลงไฟฟ้าชนิดแปลงขึ้น (Step-Up Transformer)

ถ้าแรงดันไฟฟ้าทางด้านทุติยภูมิ (E_s) มีค่าสูงกว่าแรงดันไฟฟ้าทางด้านปฐมภูมิ (E_p) เรียกหม้อแปลงชนิดนี้ว่า หม้อแปลงไฟฟ้าชนิดแปลงแรงดันขึ้น (Step-Up Transformer) หรือ $E_s > E_p$

ถ้าแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับทางด้านปฐมภูมิมีค่าเท่ากับ 100 V และอัตราส่วนจำนวนรอบคือ 1:5 แรงดันไฟฟ้าที่ได้จากด้านทุติยภูมิจะมีขนาด 5 เท่าของแรงดันไฟฟ้าทางด้านปฐมภูมินั่นคือ เท่ากับ 500 V ทั้งนี้เนื่องจากเส้นแรงแม่เหล็กที่เกิดขึ้นจากขดลวดปฐมภูมิไปตัดกับขดลวดที่มีจำนวนมากทางด้านทุติยภูมิ ดังนั้น การเหนี่ยวนำของแรงดันไฟฟ้าจึงเกิดขึ้นมากตามไปด้วยแสดงในรูปที่ 2.57



รูปที่ 2.57 หม้อแปลงไฟฟ้าชนิดแปลงขึ้น

จากตัวอย่างนี้จะเห็นได้ว่าอัตราส่วนระหว่างแรงดันไฟฟ้าทางด้านทุติยภูมิต่อแรงดันไฟฟ้าทางด้านปฐมภูมิมีค่าเท่ากับ อัตราส่วนจำนวนรอบ (Turns Ratio) หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งคือ

$$\frac{E_s}{E_p} = \frac{N_s}{N_p} \quad (2.22)$$

เพื่อที่จะคำนวณหาค่า V_s ดังนั้นจึงจัดสมการใหม่ ดังนี้

$$E_s = \frac{N_s}{N_p} \times E_p \quad (2.23)$$

แทนค่าลงในสมการที่ (2.23) จะได้

$$500 = \frac{500}{100} \times 100 \quad (2.24)$$

2.9.4 หม้อแปลงไฟฟ้าชนิดแปลงลง (Step-Down Transformer)

กำลังงานที่ได้จากด้านทุติยภูมิของหม้อแปลงไฟฟ้าใด ๆ จะมีค่าเท่ากับกำลังงานที่มาจากด้านปฐมภูมิเสมอ ($P_p = P_s$) และกำลังงาน (Power) สามารถคำนวณได้จากสูตร $P = E \times I$ ซึ่งถ้าแรงดันไฟฟ้าเพิ่มขึ้นหรือลดลง ก็จะทำให้กระแสไฟฟ้าเปลี่ยนแปลงลดลงหรือเพิ่มขึ้นในทิศทางตรงกันข้ามกับแรงดันไฟฟ้าโดยอัตโนมัติ ทั้งนี้เพื่อที่จะทำให้กำลังงานที่ได้มีค่าคงที่ตลอดเวลา ตัวอย่างเช่น ถ้าแรงดันไฟฟ้าทางด้านทุติยภูมิมีค่าเพิ่มขึ้น ($E_s \uparrow$) จะทำให้กระแสไฟฟ้าทางด้านทุติยภูมิมีปริมาณลดลง ($I_s \downarrow$) จึงจะทำให้กำลังงานด้านเอาต์พุตมีค่าเท่ากับกำลังงานด้านอินพุต กำลังงานด้านเอาต์พุตมีค่าเท่ากับ

$$P_s = E_s \uparrow \times I_s \downarrow \quad (2.25)$$

สำหรับกำลังงานทางด้านปฐมภูมิก็จะมี การเปลี่ยนแปลงทั้งแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าในลักษณะเดียวกันกับด้านทุติยภูมิ และทำให้ $P_s = P_p$ ซึ่งแสดงว่ากำลังงานที่ได้ ออกมานั้นไม่สามารถจะเกิดขึ้นได้มากกว่ากำลังงานที่ป้อนเข้าไป ดังนั้นจึงสรุปได้ว่า อัตราส่วนของกระแสไฟฟ้าจะเป็นสัดส่วนผกผันกับอัตราส่วนของแรงดันไฟฟ้า

$$\frac{E_s}{E_p} = \frac{I_p}{I_s} \quad (2.26)$$

และจากการที่อัตราส่วนของกระแสไฟฟ้าเป็นสัดส่วนผกผันกับอัตราส่วนของแรงดันไฟฟ้า ดังนั้นจึงเป็นสัดส่วนผกผันกับอัตราส่วนจำนวนรอบของขดลวดด้วยเช่นกัน

$$\frac{E_s}{E_p} = \frac{I_p}{I_s} = \frac{N_s}{N_p} \quad (2.27)$$

จัดสมการใหม่ให้อยู่ในรูปของความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วน ของกระแสไฟฟ้าและจำนวนรอบของขดลวดจะได้สมการใหม่ซึ่งใช้ในการคำนวณหากระแสไฟฟ้าทางด้านทุติยภูมิดังนี้

$$I_s = \frac{N_s}{N_p} \times I_p \quad (2.28)$$

2.9.5 การประยุกต์ใช้งานหม้อแปลงไฟฟ้า

โดยทั่วไปแล้วหม้อแปลงไฟฟ้าจะใช้งานอยู่ 3 แบบ ได้แก่

- 1) หม้อแปลงไฟฟ้าที่ใช้เพื่อเพิ่มหรือลดขนาดแรงดันไฟฟ้า
- 2) หม้อแปลงไฟฟ้าที่ใช้เพื่อเพิ่มหรือลดปริมาณกระแสไฟฟ้า
- 3) หม้อแปลงไฟฟ้าที่ใช้เพื่อแมตช์ค่าอิมพีแดนซ์ (Impedances)

2.10 ทฤษฎีเกี่ยวกับวงจรอินเวอร์เตอร์

อินเวอร์เตอร์มีหลายชนิดต่าง ๆ ด้วยกันมากมายจนอาจหาที่สิ้นสุดไม่ได้ ยกตัวอย่าง เช่น อินเวอร์เตอร์ที่ให้หม้อแปลงเพื่อวัตถุประสงค์ในการลดจำนวนไทรสเตอร์หรืออินเวอร์เตอร์ซึ่งมี L ต่อแทรกชัฟฟลายเพื่อวัตถุประสงค์ของการทำให้กระแสที่ออกจากชัฟฟลายมีค่าคงที่ในช่วงระหว่างการคอมมิวเทต (อินเวอร์เตอร์แบบกระแสคงที่) โดยทั่วไปแล้วสามารถแบ่งชนิดของอินเวอร์เตอร์ออกตามคุณสมบัติหรือโครงสร้างของวงจรได้ดังนี้

2.10.1 แบ่งตามวิธีการป้อนพลังงานกลับเข้าชัฟฟลาย

- 1) Self Excite (อนุกรม/ขนาน)
- 2) Separately Excite

2.10.2 แบ่งตามวิธีการซึ่งทำให้พลังงานคอมมิวเทตหายไป

- 1) แบบป้อนกลับเข้าชัฟฟลาย
- 2) แบบไม่ป้อนกลับเข้าชัฟฟลาย
- 3) แบ่งตามคุณสมบัติของเอาต์พุต

2.10.3 พิจารณาจากลักษณะคลื่น

- 1) แบบสแควร์เวฟ
- 2) แบบไซน์เวฟ

2.10.4 พิจารณาจากจำนวนเฟส

- 1) แบบ 1 เฟส
- 2) แบบ 3 เฟส

2.10.5 พิจารณาจากย่านความถี่

- 1) แบบความถี่ต่ำ
- 2) แบบความถี่สูง

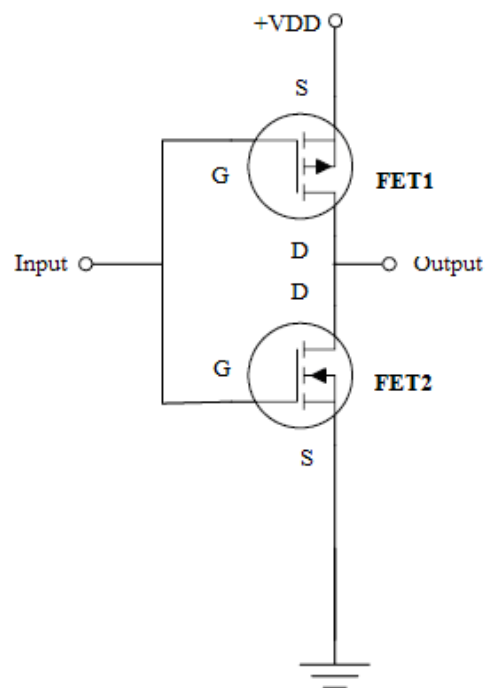
2.10.6 พิจารณาจากการเปลี่ยนแปลงความถี่

- 1) แบบความถี่คงที่
- 2) แบบความถี่ปรับเปลี่ยนได้

2.10.7 พิจารณาจากการเปลี่ยนแปลงโวลเตจ

- 1) แบบโวลเตจคงที่
- 2) แบบปรับเปลี่ยนโวลเตจได้

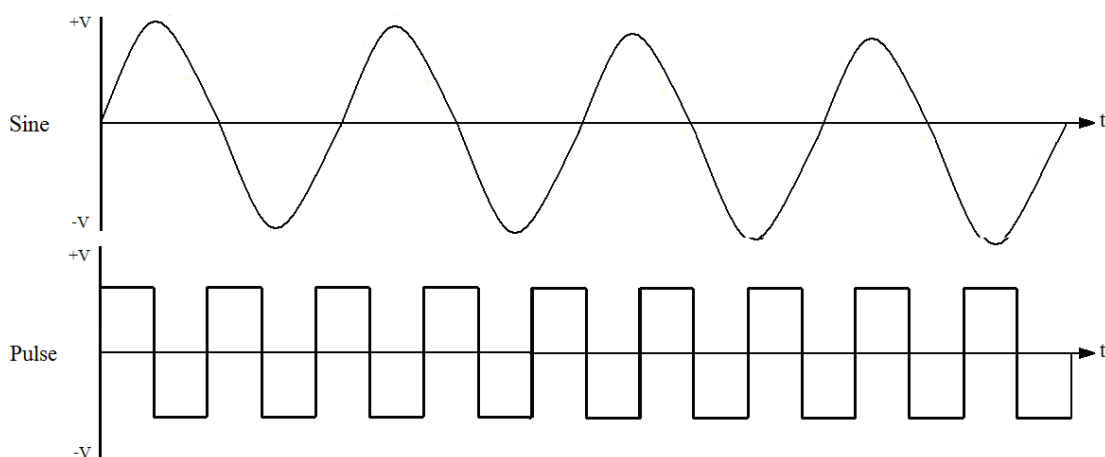
วงจรซิมอสอินเวอร์เตอร์ดังรูปที่ 2.10.1 อินเวอร์เตอร์ FET1 เป็นมอสเฟตชนิด P-Channel จะทำงานเมื่อป้อนลอจิก 0 เข้าขาเกต ส่วนอินเวอร์เตอร์ FET2 เป็นชนิด N-Channel จะทำงานเมื่อป้อนลอจิก 1 เข้าขาเกต วงจรนี้จะเปรียบเสมือนวงจรขยายคลาสบี แบบ พุช – พูล อิมิตเตอร์ฟอลโลเวอร์ FET1 และ FET2 จะสลับกันทำงาน ถ้าอินพุตเป็นลอจิก 0 FET1 จะนำกระแส และ FET2 จะไม่นำกระแส เอาต์พุตจะมีสถานะเป็นลอจิก 1 และถ้าอินพุตเป็นลอจิก 1 การทำงานของ FET1 และ FET2 จะสลับกันและเอาต์พุตจะมีสถานะเป็นลอจิก 0 การทำงานดังกล่าวเหมือนการทำงานของนอตเกตซึ่งมีตารางความจริง ดังตารางที่ 2.58 ข้อดีของวงจรนี้คือ เนื่องจากมอสเฟตมีเวลาสวิตชิ่ง (Switching time) ที่สั้นมาก อยู่ที่ประมาณ 10-100 nS จึงทำให้ค่ากำลังสูญเสียต่ำลง



รูปที่ 2.58 วงจรภาคกำลัง

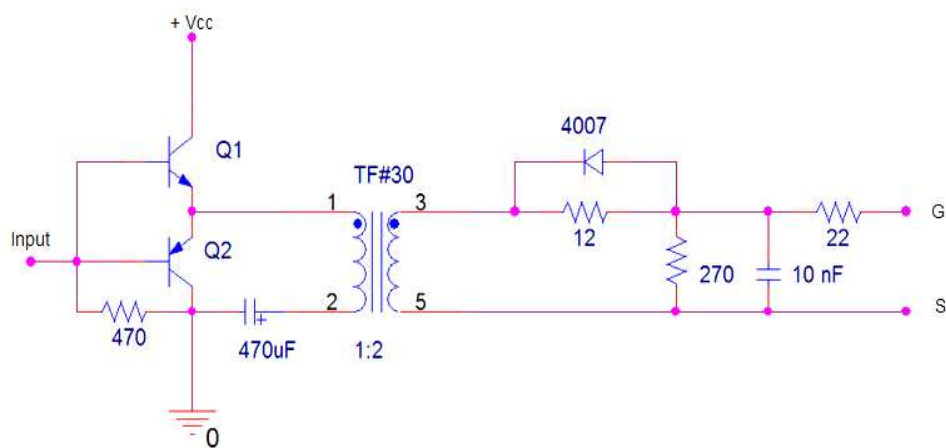
ตารางที่ 2.6 ตารางความจริงของ CMOS inverter

สถานะของอินพุต	สถานะของเอาต์พุต
ลอจิก 0	ลอจิก 1
ลอจิก 1	ลอจิก 0



รูปที่ 2.59 แสดงรูปคลื่นแรงดันเอาต์พุตของสัญญาณควบคุม

ในส่วนของวงจรขับเคลื่อนของเพาเวอร์มอสเฟตนั้นจะใช้วงจรขับด้วยหม้อแปลงความถี่สูง จะต่อมอสเฟตทำหน้าที่เป็นสวิตช์ เพื่อช่วยในการขยายสัญญาณให้มีค่ามากขึ้น โดยผ่านหม้อแปลงที่มีอัตราส่วน 1:2 ดังรูปที่ 2.60 เพื่อส่งต่อไปยังวงจรภาคกำลัง



รูปที่ 2.60 วงจรขับเคลื่อนของเพาเวอร์มอสเฟต