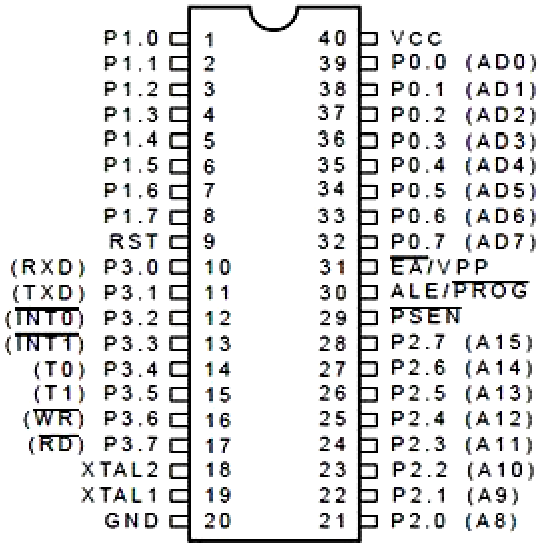
บทที่ 2
ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 ไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 [4]

ไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 เป็นหัวใจสำคัญในการทำงานควบคุม เพื่อให้ระบบเตือนโจรกรรมรถยนต์ผ่านโครงข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่สามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยมีภาครับข้อมูลระหว่างอุปกรณ์รวมถึงภาคแสดงผลและส่งสัญญาณควบคุมด้วยโครงสร้างภายนอกของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 แสดงดังภาพที่ 2.1



ภาพที่ 2.1 โครงสร้างที่สำคัญของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 [4]

2.1.1 การจัดการของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS- 51

ไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 ทุกเบอร์มีสถาปัตยกรรมและขาใช้งานพื้นฐานเหมือนกัน โดยมีรายละเอียดขั้นต้น ดังนี้

- ขา Vcc ใช้สำหรับต่อไฟเลี้ยง +5V
- ขา GND เป็นขากราวด์ สำหรับต่อกราวด์ของระบบ

- ขาพอร์ต 0 (P0.0-P0.7) มีขา 8 ขา แต่ละขาสามารถกำหนดให้เป็น ได้ทั้งอินพุตและเอาต์พุตสำหรับใช้งานทั่วไป ถ้าหากต้องการกำหนดให้ขาพอร์ต 0 ขาใดขาหนึ่งเป็นอินพุตสามารถทำได้โดยการเขียนข้อมูล “1” ไปยังแต่ละบิตชองพอร์ตที่ต้องการติดต่อด้วย ส่งผลให้ขาพอร์ตนั้นมีสถานะปล่อยลอย (Float) จึงมีอินพุตอิมพีแดนซ์สูงสามารถใช้งานเป็นขาพอร์ตอินพุตได้ นอกจากนั้นขาพอร์ตนี้ยังถูกต่อใช้งานกับแอดแดรสไบต์ต่ำของหน่วยความจำภายนอก(A0-A7) และขาข้อมูล (D0-D7) โดยใช้กระบวนการมัลติเพล็กซ์เข้าช่วย เพื่อสลับการทำงานเป็นได้ทั้งขาติดต่อแอดแดรสและขาข้อมูลขาพอร์ต 1 (P1.0-P1.7) มี 8 ขา แต่ละขาสามารถกำหนดให้เป็นได้ทั้งอินพุตและเอาท์พุตสำหรับใช้งานทั่วไป ถ้าหากต้องการกำหนดให้ขาพอร์ตกำหนดให้ขาพอร์ตใดเป็นอินพุต สามารถทำได้โดยการเขียนข้อมูล “1” ไปยังแต่ละบิตของพอร์ตที่ต้องการติดต่อด้วย นอกจากนั้นในอนุกรม MCS-51 จะใช้ขา P1.0 เป็นขาอินพุตสำหรับนับค่าของไทเมอร์ 2 และ P1.1 เป็นขา P1.0 เป็นขาอินพุตสำหรับนับค่าช่องไทเมอร์ 2 และ P1.1 เป็นขาอินพุตทริกเกอร์ของไทเมอร์ 2 ในขณะที่ขา P1.4 ถึง P1.7 เป็นขาสำหรับเชื่อมต่อแบบ SPI เพื่อทำการโปรแกรมข้อในระบบขาพอร์ต 2 (P2.0-P2.7) มี8ขา แต่ละขาสามรถกำหนดให้เป็นได้ทั้งอินพุตและเอาต์พุตสำหรับใช้งานทั่วไป ถ้าหากต้องการการกำหนดให้ขาพอร์ตใดเป็นอินพุตสามารถทำได้โดยการเขียน “1” ไปยังแต่ละบิตพอร์ตที่ต้องการติดต่อ ส่งผลให้ขาพอร์ตนี้ยังถูกใช้งานในการติดต่อกับขา แอดแดรสไบต์สูงของหน่วยความจำภายนอก (A8-A15)

- ขาพอร์ต 3 (P3.0-P3.7) มี 8 ขา แต่ละขาสามารถกำหนดให้เป็นได้ทั้งอินพุตและเอาท์พุตสำหรับใช้งานทั่วไป ถ้าหากต้องการกำหนดให้ขาพอร์ตใดเป็นอินพุตสามารถทำได้โดยการเขียนข้อมูล “1” ไปยังแต่ละบิตของพอร์ตที่ต้องการติดต่อด้วย ส่งผลให้ขาพอร์ตนั้นมีสถานะปล่อยลอย (Float) จึงมีอินพุตอิมพีแดนซ์สูง สามารถใช้งานเป็นขาพอร์ตอินพุตได้ นอกจากนั้นขาพอร์ต 3 ยังเป็นขาที่การใช้งานพิเศษ ดังนี้รายละเอียดขั้นต้นดังต่อไปนี้

P3.0 ใช้เป็นขาอินพุตสำหรับข้อมูลจากการสื่อสารแบบอนุกรม หรือขา RxD

P3.1 ใช้เป็นขาอินพุตสำหรับข้อมูลจากการสื่อสารแบบอนุกรม หรือขา TxD

P3.2 ใช้เป็นขาอินพุตรับสัญญาณอินเตอร์รัปต์จากภายนอกช่อง 0 หรือขา INT0

P3.3 ใช้เป็นขาอินพุตรับสัญญาณอินเตอร์รัปต์จากภายนอกช่อง 1 หรือขา INT1

P3.4 ใช้เป็นขาอินพุตสำหรับรับสัญญาณไทเมอร์จากภายนอกช่อง 0 หรือขา T0

P3.5 ใช้เป็นขาอินพุตสำหรับรับสัญญาณอินเตอร์รัปต์จากภายนอกช่อง 1 หรือขา T1

P3.6 ใช้เป็นขาสัญญาณ WR ในกรณีที่ใช้เชื่อมต่อกับหน่วยความจำภายนอก

P3.6 ใช้เป็นขาสัญญาณ RD ในกรณีที่ใช้เชื่อมต่อกับหน่วยความจำภายนอก

- ขารีเซ็ต (Reset) ใช้ในการรีเซตการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยในการป้อนสัญญาณเพื่อรีเซ็ตสถานะที่ขานี้ต้องอยู่ในระดับรีเซ็ตอย่างน้อย 2 แมชชีนไซเคิล โดยที่วงจรกำเนิดสัญญาณนาฬิกายังคงทำงานต่อเนื่องไปอย่างปกติ

- ขา ALE/PROG (Address Latch Enable/Program Pulse Input) เป็นขาที่ใช้ในการควบคุมการแลตซ์ของพอร์ต 0 เมื่อมีการใช้งานหน่วยความจำภายนอก นอกจากนั้นขานี้ยังใช้เป็นขารับพัลส์ของการโปรแกรมสำหรับโปรแกรมข้อมูลลงในไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 ในรุ่นที่มีหน่วยความจำโปรแกรมเป็นแบบอีพีรอม

- ขา PSEN (Program Store Enable) ขานี้ใช้งานในการส่งสัญญาณเพื่อร้องขอติดต่อกับหน่วยความจำโปรแกรมภายนอก เมื่อไมโครคอนโทรลเลอร์ต้องการอ่านข้อมูลจากหน่วยความจำโปรแกรมภายนอกตัวไมโครคอนโทรลเลอร์จะส่งสัญญาณออกมาที่ขานี้ 2 ครั้งในแต่ละแมชชีนไซเคิล แต่ถ้าหากติดต่อกับหน่วยความจำข้อมูลภายนอก ขานี้จะไม่มีการส่งสัญญาณใดๆ ออกมา

- ขา EA/Vpp (External Access Enable/Programming Voltage Input) ใช้สำหรับเลือกการติดต่อหน่วยความจำโปรแกรมจากภายนอกหรือภายในตัวไมโครคอนโทรลเลอร์ ถ้าหากขานี้เป็น “0” เป็นการเลือกให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ติดต่อกับหน่วยความจำโปรแกรมภายนอก แต่ถ้าหากขานี้เป็น “1” เป็นการเลือกให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ติดต่อกับหน่วยความจำภายในตัวไมโครคอนโทรลเลอร์ นอกจากนี้ ที่ขานี้ยังใช้เป็นขาอินพุตสำหรับแรงดันไฟฟ้าสูงสำหรับการโปรแกรม หน่วยความจำภายในไมโครคอนโทรลเลอร์ สำหรับไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 แบบแฟลชต้องการแรงดันสำหรับโปรแกรม +12V

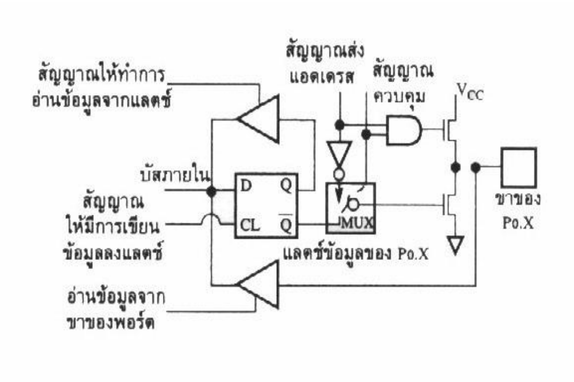
- ขา XTAL1 และ XTAL2 เป็นขาสำหรับต่อคริสตอลเพื่อสร้างสัญญาณนาฬิกาในการกำหนดจังหวะการทำงานไมโครคอนโทรลเลอร์

2.1.2 การใช้งานพอร์ตเป็นอินพุต

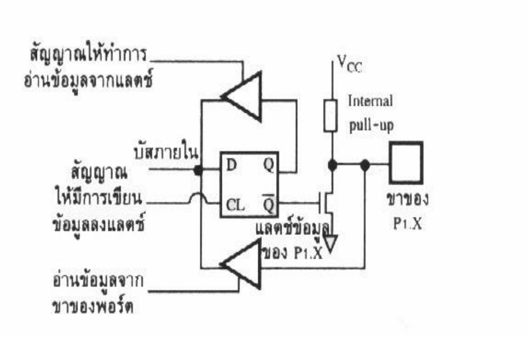
การใช้งานพอร์ตเป็นอินพุตข้อมูลจะต้องเริ่มด้วยการส่งข้อมูลที่มีค่าเป็น 1 ออกมาทางบิตของพอร์ตนั้นก่อนเป็นลำดับแรก เพื่อหยุดการทำงานของทรานซิสเตอร์ที่ทำหน้าที่ขับสัญญาณเอาต์พุตของบิตนั้น ทำให้ขาสัญญาณของบิตถูกต่อเข้ากับตัวต้านทานซึ่งทำหน้าที่ (Pull-up) ภายในซึ่งมีผลให้บิตนั้นๆของพอร์ต 1,2 และ 3 เป็นสภาวะของลอจิกสูงและทำให้อุปกรณ์ภายนอกสามารถขับสัญญาณของพอร์ตเหล่านี้เป็นลอจิกต่ำได้ง่าย สำหรับบิตของพอร์ต 0 นั้น แม้ว่าจะมีหลักการทำงานที่คล้ายคลึงกัน กับบิตของพอร์ตอื่นๆแต่เนื่องจากการที่ไม่มีตัวต้านทานทำหน้าที่ (Pull-up) ภายในไว้ทำให้เมื่อทรานซิสเตอร์ที่ทำหน้าที่ขับสัญญาณเอาต์พุตนั้นหยุดการทำงานก็จะเป็นผลให้ขาสัญญาณนี้อยู่ในสภาวะอิมพีแดนซ์สูงแทน

2.1.3 การใช้งานพอร์ตเป็นเอาต์พุต

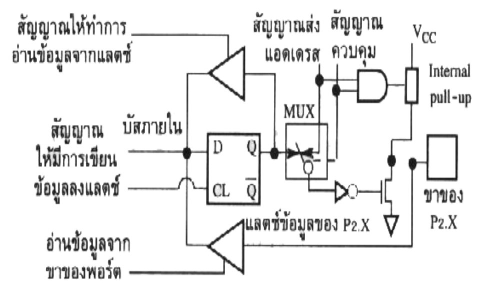
เมื่อมีการส่งข้อมูลที่มีค่าเป็น 0 ให้กับแต่ละบิตของพอร์ตทุกพอร์ต ข้อมูลนี้จะถูกส่งให้กับฟลิปฟลอปซึ่งจะค้างค่านี้ไว้และมีผลทำให้ทรานซิสเตอร์ที่ทำหน้าที่ขับสัญญาณเอาต์พุตนั้นทำงานดังนั้นขาสัญญาณก็จะมีสภาวะ ลอจิกเป็นลอจิกต่ำส่วนการส่งข้อมูลที่มีค่าเป็น 1 ออกมานั้นในกรณีที่เป็นการทำงานในแต่ละบิตของพอร์ต 1,2 หรือ 3 จะทำ ให้ทรานซิสเตอร์ที่ทำหน้าที่ขับสัญญาณเอาต์พุตนั้นหยุดการทำงาน มีผลทำให้ขาของสัญญาณเป็นลอจิกสูงด้วยตัว ต้านทานที่ Pull-up อยู่ภายในนั้น แต่สำหรับการทำงานในแต่ละบิตทางพอร์ต 0 นั้นจะมีผลที่แตกต่างออกไปโดยขาสัญญาณจะเป็นสภาวะอิมพีแดนซ์สูงแทน เนื่องจากไม่มีตัวต้านทานภายในเชื่อมต่ออยู่นั่นเอง ดังนั้นในการใช้งานพอร์ต 0 เป็นการเอาต์พุตข้อมูล จึงจำเป็นต้องใช้ตัวต้านทานภายนอก (Pull-up) สัญญาณไว้กับลอจิกสูงแทนความสามารถอีกประการหนึ่งเกี่ยวกับพอร์ตอินพุต/เอาต์พุตของ MCS-51 เป็นวิธีการอ่านลิจิกจากพอร์ตซึ่งมีได้สองวิธีคือ การอ่านค่าลอจิกที่ขาสัญญาณ (Port pin) และวิธีการอ่านลอจิกของการแลตช์ที่พอร์ต (Port latch) วิธีการอ่านค่าจากพอร์ต ทั้งสองแบบนี้จะช่วยให้ระบบทำงานได้ด้วยความถูกต้องมาก ยิ่งขึ้น ยกตัวอย่างเช่น หากว่าพอร์ตถูกนำไปต่อกับขาเบสของทรานซิสเตอร์แบบ NPN และขาอิมิตเตอร์ต่อกับกราวด์ ของระบบ เมื่อมีการส่งค่า 1 ออกไปจะมีผลทำให้ทรานซิสเตอร์ทำงาน ในขณะนั้นถ้าซีพียูมีการอ่านค่าลอจิกจากขาสัญญาณของพอร์ตนี้ก็จะได้ค่าลอจิกต่ำเนื่องจากมองเห็นค่าศักย์ไฟฟ้าระหว่างขาเบสและขาอิมิตเตอร์ซึ่งมีค่าประมาณ 0.6 โวลต์แทนดังนั้นในกรณีเช่นนี้หากว่าเป็นการอ่านค่าจากลอจิกของการแลตช์ ก็จะได้รับค่าระดับลอจิกสูงซึ่งเป็นค่า ที่ถูกต้องสภาพที่เป็นจริง



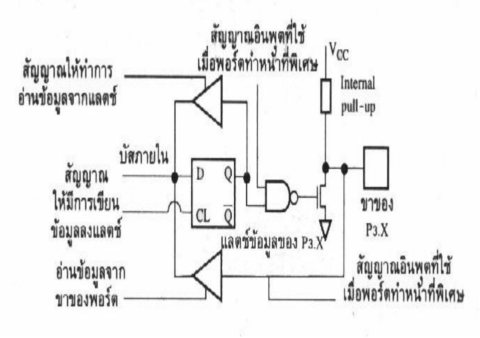
(ก)



(ข)



(ค)



(ง)

ภาพที่ 2.2 วงจรภายในของแต่ละพอร์ตของ MCS-51 แบบแฟลช

(ก) วงจรภายในของพอร์ต 0 (ข) วงจรภายในของพอร์ต 1

(ค) วงจรภายในของพอร์ต 2 (ง) วงจรภายในของพอร์ต 3

ภาพที่ 2.2(ก) เป็นวงจรของพอร์ต 0 วงจรแลตของแต่ละบิตในแต่ละพอร์ตก็คือวงจรดีฟลิปฟลอปนั่นเอง การอ่านค่าสถานะของพอร์ตและสถานะของวงจรแลตซ์สามารถกระทำได้อย่างอิสระด้วยสัญญาณที่แยกจากกัน นั่นคือสัญญาณอ่านค่าข้อมูลขาพอร์ตและสัญญาณอ่าน มายัง CLK ของดีฟลิปฟลอบในขณะที่ข้อมูลจะผ่านมาทางขาบัสข้อมูลภายในเข้าสู่ขา D ของฟลิปฟลอบ

ที่พอร์ตนี้มีวงจรมัลติเพล็กซ์สำหรับกำหนดลักษณะการทำงานของพอร์ตว่า ต้องการใช้งานเป็นขาพอร์ตอินพุตเอาต์พุตปกติหรือใช้ในการติดต่อกับหน่วยความจำภายนอกไมโครคอนโทรลเลอร์

เนื่องจากที่ขาพอร์ต 0 ไม่มีวงจรพูลอัปภายในหากมีการนำพอร์ต 0 ไปใช้งานเป็นพอร์ตอินพุตจะต้องต่อตัวต้านทานพูลอัปภายนอกเข้าที่ขาพอร์ต 0 ทุกขาด้วย

ในภาพที่ 2.2(ข) เป็นวงจรของพอร์ต 1 ซึ่งมีลักษณะโดยทั่วไปคล้ายกับพอร์ต 0 หากแต่ไม่มีวงจรมัลติเพล็กซ์ เนื่องจากพอร์ตนี้จะไม่ใช้ในการติดต่อกับหน่วยความจำภายนอกแต่จะมีวงจรพูลอัปภายในที่แต่ละบิตของพอร์ตนี้แทน

ในภาพที่ 2.2(ค) เป็นวงจรภายในของพอร์ต 2 จะคล้ายพอร์ต 0 มาก ต่างกันเพียงมีวงจรพูลอัปเพิ่มเติมเข้ามา ส่วนในภาพที่ 2.2(ง) เป็นวงจรภายในของพอร์ต 3 จะเห็นได้ว่าคล้ายกับพอร์ต 1 มีการเพิ่มเติมวงจรบัฟเฟอร์และวงจรบัฟเฟอร์และวงจรอินพุตเอาต์พุตเมื่อทำงานในฟังก์ชั่นพิเศษเข้ามา เนื่องจากพอร์ต 3 สามารถนำไปใช้งานในหน้าที่พิเศษได้ทุกขา

2.2 การกรองสัญญาณเชิงอนาลอค (Analog Signal Filtering)

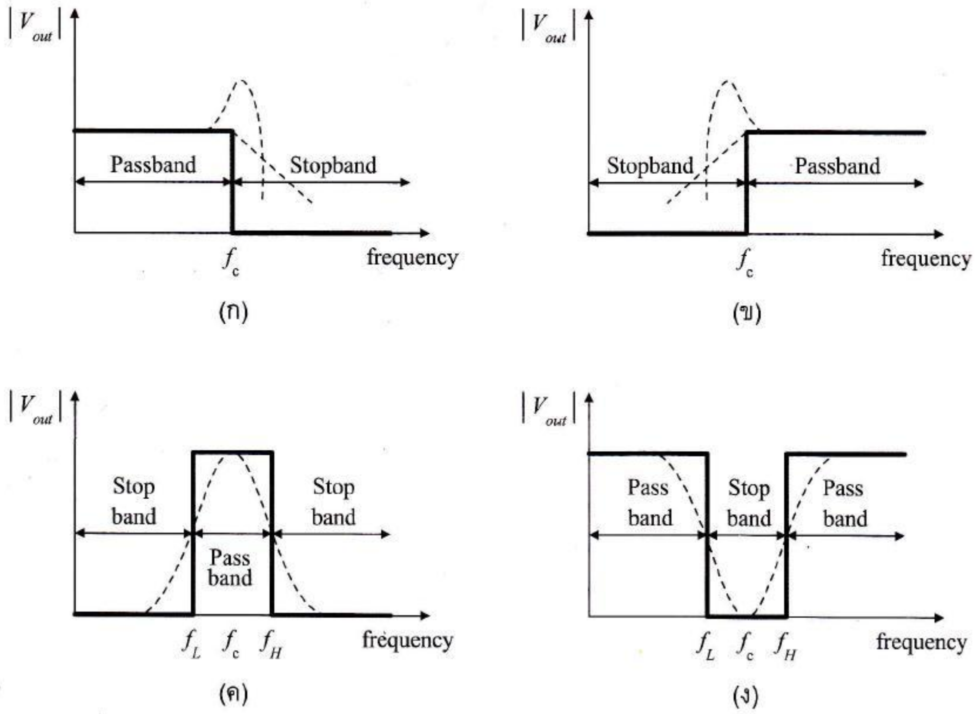
ในระบบการเลือกความถี่ (Frequency Selective System) ไม่ว่าจะเป็นส่วนป้อนกลับ (Feedback Path) ของระบบควบคุม ในส่วนของวงจรปรับแต่งสัญญาณปรับแต่งภาพสัญญาณ (Signal Conditioner Circuit) ภาครับสัญญาณอินพุทของเครื่องมือวัด องค์ประกอบสำคัญส่วนหนึ่งที่ขาดไม่ได้เลยในระบบเหล่านี้ ก็คือ วงจรกรองความถี่ (Filter)

ในที่นี้วงจรกรองความถี่ หรือวงจรฟิลเตอร์ คือวงจรไฟฟ้าซึ่งออกแบบขึ้นเพื่อทำหน้าที่ส่งผ่านสัญญาณที่มีความถี่ในช่วงที่ต้องการและจะทำการลดทอนสัญญาณที่มีความถี่นอกเหนือจากที่กำหนดไว้ วงจรกรองความถี่สามารถออกแบบและสังเคราะห์ขึ้นได้สองลักษณะ คือ วงจรกรองผ่านความถี่แบบพาสซีฟ (Passive Filter) และวงจรกรองผ่านความถี่แบบแอคทีฟ (Active Filter)

โดยวงจรกรองผ่านความถี่แบบพาสซีฟนั้นเป็นวงจรกรองผ่านความถี่ซึ่งออกแบบโดยใช้เฉพาะอุปกรณ์พาสซีฟ คือ ประกอบด้วยตัวต้านทานไฟฟ้า ตัวเก็บประจุ และขดลวดตัวเหนี่ยวนำเท่านั้น ในขณะที่วงจรกรองผ่านความถี่แบบแอคทีฟจะออกแบบและสังเคราะห์โดยนำอุปกรณ์จำพวกแอคทีฟ เช่น ทรานซิสเตอร์ ออปแอมป์ มาต่อทำงานร่วมอุปกรณ์พาสซีฟ โดยวงจรกรองผ่านความถี่แบบแอคทีฟซึ่งออกแบบโดยใช้ออปแอมป์เป็นอุปกรณ์แอคทีฟหลัก ต่อใช้งานร่วมกับตัวต้านทานไฟฟ้า และตัวเก็บประจุไฟฟ้า

วงจรกรองผ่านความถี่ สามารถแบ่งออกเป็นชนิดใหญ่ๆได้ 4 ชนิด คือ

1) วงจรกรองผ่านความถี่ต่ำ (Low-pass Filter)
2) วงจรกรองผ่านความถี่สูง (High-pass Filter)
3) วงจรกรองผ่านแถบความถี่ (Band-pass Filter)
4) วงจรกรองผ่านแถบความถี่แบบช่องบาก (Band-reject Filter) หรือวงจรนอตฟิวเตอร์ (Notch Filter)



ภาพที่ 2.3 ผลตอบสนองทางความถี่ของวงจรกรองความถี่ผ่านทั้ง 4 ชนิด

(ก) วงจรกรองผ่านความถี่ต่ำ (ข) วงจรกรองผ่านความถี่สูง

(ค) วงจรกรองผ่านแถบความถี่ (ง) วงจรกรองผ่านความถี่แบบช่องบาก

จากภาพที่ 2.3 แสดงถึงกราฟผลตอบสนองทางความถี่ของวงจรกรองความถี่ผ่านความถี่ทั้งสี่ชนิดพิจารณาผลตอบสนองทางความถี่ของวงจรกรองความถี่ผ่านความถี่ต่ำดังภาพ 2.3(ก) จะเห็นว่าคุณลักษณะของวงจรมีขนาดของสัญญาณเอาต์พุทที่ตั้งแต่ความถี่ในช่วง dc จนถึงความถี่ตัด (Cutoff Frequency, f_c) เมื่อความถี่อินพุตมีค่ามากกว่าความถี่ตัด f_c แล้วสัญญาณเอาต์พุตของวงจรจะถูกลดทอนลงไปเรื่อยๆ จากภาพที่ 2.3(ก) กราฟผลตอบสนองเส้นทึบแสดงถึงผลตอบสนองทางความถี่ของขนาดสัญญาณเอาต์พุตของวงจรกรองผ่านความถี่ต่ำในทางอุดมคติ ในขณะที่กราฟเส้นประแสดงถึงผลตอบสนองทางความถี่ของวงจรกรองผ่านความถี่ต่ำในทางปฏิบัติที่สามารถสังเคราะห์ขึ้นได้ นอกจากนี้ช่วงของความถี่ที่มีการส่งผ่านสัญญาณไปยังเอาต์พุตของวงจร เรียกว่า “แถบผ่าน (Passband)” และช่วงความถี่ที่มีการลดทอนสัญญาณ เรียกว่า “แถบหยุด(Stopband)” ความถี่ตัด f_c คือ ตำแหน่งความถี่ที่ขนาดสัญญาณเอาต์พุตของวงจรมีลดลงประมาณ -3 เดซิเบล (decibel , dB) หรือมีค่าเท่ากับ 0.707 เท่า ดังนั้นบางครั้งค่าความถี่ตัด f_c นี้จึงสามารถเรียกชื่ออื่นได้อีก เช่น -3 dB หรือความถี่ 0.707 หรือความถี่เชิงมุม (Corner Frequency)

พิจารณาผลตอบสนองทางความถี่ของวงจรกรองผ่านความถี่สูง ดังภาพที่ 2.3(ข) จะเห็นว่าขนาดสัญญาณเอาต์พุตของวงจรตั้งแต่ความความถี่ในช่วง dc จนถึงความถี่ตัด f_c จะถูกลดทอนจนกระทั่งความถี่ที่มีค่ามากกว่าความถี่ตัด f_c สัญญาณเอาท์พุตจึงจะมีขนาดคงที่ โดยกราฟเส้นทึบแสดงถึงผลตอบสนองทางความถี่ตัด f_c สัญญาณเอาท์พุทจึงจะมีขนาดคงที่ โดยกราฟเส้นทึบแสดงถึงผลตอบสนองทางความถี่ของวงจรในทางอุดมคติ และกราฟเส้นประแสดงผลตอบสนองของวงจรในทางปฏิบัติ สำหรับวงจรกรองผ่านแถบความถี่จะยอมให้สัญญาณอินพุทในช่วงความถี่ที่ต้องการผ่านไปได้นอกเหนือจากช่วงความถี่ที่กำหนด f_c นี้แล้วสัญญาณเอาท์พุทจะถูกลดทอนลงไป ในทางกลับกันวงจรกรองผ่านความถี่แบบช่องบากหรือวงจรนอตซ์ฟิลเตอร์ก็จะมีคุณลักษณะในการทำงานของวงจรตรงกันข้ามกับกันวงจรกรองผ่านแถบความถี่ ทำให้ผลตอบสนองทางความถี่ของวงจรทั้งสองสามารถแสดงได้ดังภาพที่ 2.3(ค) และภาพที่ 2.3(ง) ตามลำดับ

2.2.1 วงจรกรองผ่านความถี่ต่ำ (Low–pass Filter)

วงจรกรองผ่านความถี่ต่ำมาตราฐานแสดงได้ดังภาพที่ 2.3(ก) ประกอบด้วยโครงข่าย RC และวงจรออปแอมป์ซึ่งต่อเป็นวงจรบัฟเฟอร์ในที่นี้ตัวต้านทานป้อนกลับ R_f ต้องมีค่าเท่ากลับ R ทั้งนี้ก็เพื่อลดผลของออฟเซตไฟตรง (DC Offset) ของวงจร กล่าวคือ กรณีสัญญาณไฟตรง ค่าคาปาซิทีฟรีแอคแตนซ์ (Capacitive Reactance) ของตัวเก็บประจุ C จะมีค่าเป็นอนันต์ (Infinite) ทำให้ค่าความต้านทานเทียบเท่าพิจารณาขาอินพุตบวก (ขา3) ขาอินพุทลบ (ขา2) ของออปแอมป์มีค่าเท่ากัน ($R = R_f$) และเป็นผลให้แรงดันไฟตรงที่ขาอินพุตทั้งสองมีค่าใกล้เคียงกัน($V^+ \cong V$) หรือนั่นคือแรงดันอินพุตออฟเซทมีค่าประมาณศูนย์

เนื่องจากแรงดันผลต่างระหว่างขา 2 กับขา3 มีค่าประมาณ 0 V และวงจรออปแอมป์ต่อเป็นวงจรบัฟเฟอร์ ดังนั้นแรงดันไฟสลับตกคร่อม C จึงมีค่าประมาณแรงดันเอาต์พุต V_{out} ของวงจรอาศัยกฎแบ่งแรงดันหาค่าแรงดันตกคร่อม C จะได้เท่ากับ

$$V_{out} = \frac{(\frac{1}{j\omega C})}{R + \left(\frac{1}{j\omega C}\right)} V_{in} \tag{2.1}$$

โดยค่า ω คือค่าความถี่ของแรงดันอินพุต V_{in} ในหน่วยของเรเดียนต่อวินาที (Radian Per Second, rad/s) มีค่าเท่ากับ $2\pi f$ และ j ค่าจินตภาพ มีค่าเท่ากับ $\sqrt{-1}$ จากสมการที่ (2.1) นำมาเขียนใหม่ในรูปของอัตราขยายแรงดันลูปปิด A_{CL} (Closed-loop Voltage Gain) ของวงจรจะได้เป็น

$$A_{CL} = \frac{V_{out}}{V_{in}} = \frac{1}{1 + j\omega C} \qquad (2.2)$$

หากทำการพิจารณาอัตราขยายแรงดันลูปปิด A_{CL} จากสมการที่ (2.2) โดยแปรค่าความถี่จากความถี่ต่ำ $(\omega \to 0)$ จนถึงความถี่สูง $(\omega \to \infty)$ จะได้ว่า

ณ. ความถี่ต่ำ $(\omega \to 0)$ จะได้

$$|A_{CL}| \cong 1 \text{ หรือ } 0 \text{ dB}$$

ณ. ความถี่สูง $(\omega \to \infty)$ จะได้ A_{CL} ดังนี้

$$A_{CL} \cong \frac{1}{j\omega C} \text{ หรือ } |A_{CL}| dB = 20\log\left|\frac{1}{j\omega C}\right| = -20\log(\omega RC)$$

ถ้า $\omega = \frac{1}{RC}$ ทำให้ $|A_{CL}| \cong 0$ dB

ถ้า $\omega = \frac{10}{RC}$ ทำให้ $|A_{CL}| \cong -20$ dB

ถ้า $\omega = \frac{100}{RC}$ ทำให้ $|A_{CL}| \cong -40$ dB

ถ้า $\omega = \frac{1000}{RC}$ ทำให้ $|A_{CL}| \cong -60$ dB

ซึ่งพบว่าเมื่อความถี่แปรค่าสูงขึ้นผลตอบสนองของวงจรจะมีลักษณะเป็นกราฟเส้นตรงมีความชันเท่ากับ = -20 dB ต่อความถี่ที่มีค่าเปลี่ยนแปลงไปสิบเท่า (Decade) หรือเรียกว่ามีอัตราการเปลี่ยนแปลงเท่ากับ -20 dB/decade

ณ. ที่ความถี่มีค่าเท่ากับความถี่ตัด ($\omega = \omega_c$) จะทำให้ได้ความสัมพันธ์ของ $|A_{CL}|$ เป็นดังนี้

$$|A_{CL}| dB \cong -20\log(\omega RC) = 0 \text{ dB}$$

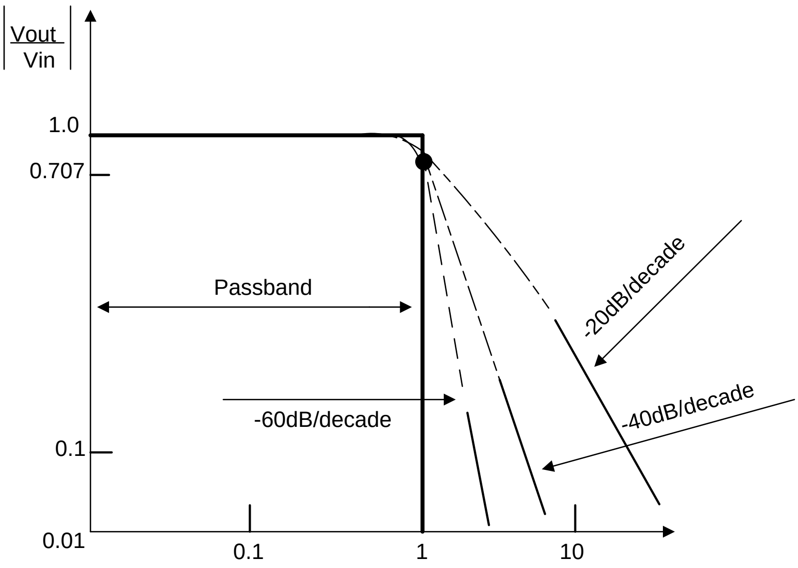
ทำให้การใส่แอนตี้ลอคทั้งสองข้าง ทำให้ได้ความถี่ตัด (ω_c) ของวงจรมีค่าเท่ากับ

$$\omega_c RC = 1 \text{ หรือ } \omega_c = 2\pi f = \frac{1}{RC}$$

ดังนั้นผลตอบสนองทางความถี่ของวงจรกรองผ่านความถี่ต่ำจึงแสดงได้ดังภาพที่ 2.3(ก) ซึ่งจะเห็นว่า ณ. ที่ความถี่ต่ำจะได้ $|A_{CL}|$ เท่ากับ 1 หรือ 0 dB และเมื่อความถี่มีค่าเท่ากับความถี่ตัด ω_c ขนาดของ $|A_{CL}|$ จะมีค่าเท่ากับ 0.707 หรือ -3 dBหลังจากนั้นเมื่อความถี่แปรค่าสูงขึ้นตอบสนองทางความถี่ของวงจรจะมีอัตราการเปลี่ยนแปลงเป็น-20 dB/decade

2.2.2 วงจรกรองผ่านความถี่แบบบัทเทอร์เวอธ์ท (The Butterworth Filter)

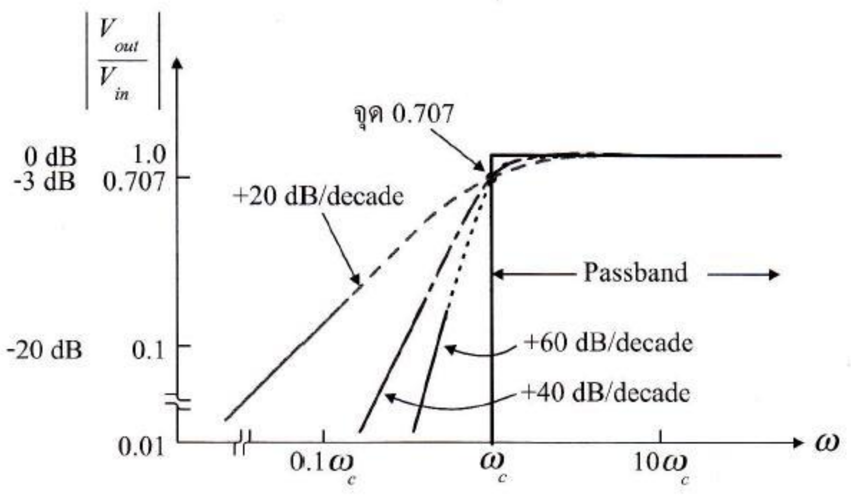
จุดประสงค์หลักในการประยุกต์ใช้งานวงจรกรองความถี่ต่ำ คือ ความพยายามออกแบบให้วงจรมีอัตราขยายสัญญาณในช่วงแถบผ่านมีค่าใกล้เคียงกับหนึ่งมากที่สุด และวงจรกรองผ่านความถี่แบบบัทเทอร์เวอธ์ทก็เป็นวงจรกรองผ่านความถี่แบบหนึ่งซึ่งตอบสนองความต้องการดังกล่าวได้เป็นอย่างดี วงจรกรองผ่านความถี่แบบบัทเทอร์เวอธ์ท นี้บางครั้งอาจเรียกว่า “วงจรกรองผ่านความถี่แบบ Maximally Flat หรือวงกรองผ่านความถี่แบบ flat-flat ” ทั้งนี้เนื่องมาจากว่าวงจรกรองประเภทนี้จะให้ผลตอบสนองทางความถี่ใกล้เคียงกับทางทฤษฎีมากที่สุดเมื่ออัตราการเปลี่ยนแปลงช่วงความถี่สูง (ความชัน) มีค่าสูงขึ้นดังภาพที่ 2.4 ซึ่งแสดงผลตอบสนองทางความถี่ของวงจรกรองผ่านความถี่ทั้งสามแบบ โดยที่กราฟเส้นทึบแทนถึงผลตอบสนองในทางทฤษฎีและกราฟเส้นประจะแทนถึงผลตอบสนองที่ได้จากวงจรในทางปฏิบัติ



ภาพที่ 2.4 ผลตอบสนองทางความถี่ของวงจรกรองผ่านความถี่ต่ำแบบบัทเทอร์เวอธ์ท

2.2.3 วงจรกรองผ่านความถี่สูง (High-pass Filter)

วงจรกรองผ่านความถี่สูงเป็นวงจรกรองผ่านซึ่งทำหน้าที่ลดทอนสัญญาณเอาต์พุตตั้งแต่ความถี่ในช่วง dc จนถึงความถี่ตัด f_c และเมื่อสัญญาณอินพุทมีค่าความถี่มากกว่า f_c แล้ว สัญญาณเอาท์พุทของวงจรจะมีขนาดคงที่เท่ากับ 1 หรือ 0 dB จากการทำงานของวงจรกรองผ่านความความถี่สูงจะเห็นว่ามีคุณลักษณะในการทำงานตรงข้ามกับวงจรกรองผ่านความความถี่ต่ำ ซึ่งผลตอบสนองทางความถี่ของวงจรกรองผ่านความถี่สูงแบบบัทเทอร์เวอร์ธทั้งสามแบบดังภาพที่ 2.5 นอกจากนี้โครงสร้างและการออกแบบวงจรกรองผ่านความถี่สูงมีหลักการเหมือนกับวงจรกรองผ่านความถี่ต่ำเพียงแต่จะแตกต่างกันตรงตำแหน่งการต่อ R และ C ในวงจรซึ่งสลับตำแหน่งกันเท่านั้น



ภาพที่ 2.5 ผลตอบสนองทางความถี่ของวงจรกรองผ่านความถี่สูงแบบบัทเทอร์เวอร์ท

วงจรกรองผ่านความถี่สูงแบบบัทเทอร์เวอร์ท +20 dB/decade แสดงดังภาพที่ 2.6(ก) หากพิจารณาเทียบกับวงจรกรองผ่านความถี่ต่ำในภาพที่ 2.3(ก) แล้ว จะเห็นว่าโครงสร้างของวงจรทั้งสองเหมือนกันมากเพียงแต่มีการต่อ R และ C ในวงจรสลับตำแหน่งกัน เช่นเดียวกันตัวต้านทานป้อนกับ R_f ในวงจรต่อไว้เพื่อลดผลของออฟเซตไฟตรง ดังนั้นแรงดันเอาท์พุท V_{out} ของวงจรจึงท่ากับแรงดันตกคร่อม R อาศัยแบ่งแรงดันหาค่าแรงดันตกคร่อม R จะได้เท่ากับ

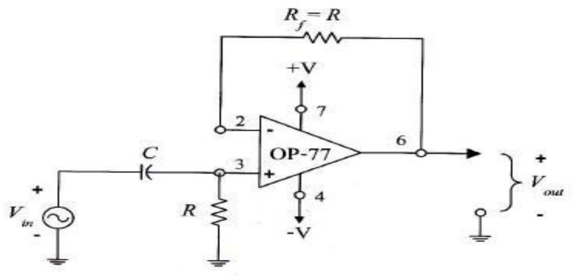
$$V_{out} = \frac{1}{1 - j\left(\frac{1}{\omega RC}\right)} V_{in} \tag{2.3}$$

$$V_{out} = \frac{j\omega RC}{1 + j\omega RC} V_{in} \tag{2.4}$$

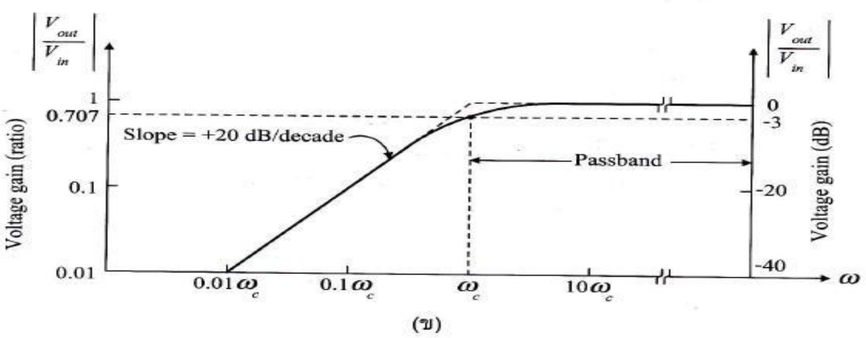
จากสมการที่ (2.5) เมื่อพิจารณาความถี่ต่ำ $(\omega \to 0)$ จะเห็นว่า $V_{out} \cong 0V$ และที่ความถี่สูง $(\omega \to \infty)$ จะได้ว่า $V_{out} \cong V_{in}$ หรือนั่นคืออัตราขยายแรงดันลูปปิดของวงจร $|A_{CL}| \cong 1$ ซึ่งผลตอบสนองทางความถี่ของวงจรเมื่อความถี่แปรค่าสามารถแสดงได้ดังภาพที่ 2.6(ข) โดยมีกราฟเส้นทึบแทนถึงผลตอบสนองที่ได้จากกวงจรจริงในทางปฏิบัติ และกราฟเส้นแสดงประแทนถึงผลตอบสนองในทางทฤษฎีที่ได้จากการประมาณเส้นตรงเป็นช่วง สังเกตได้ว่าขนาดของอัตราขยายแรงดันลูปเปิด A_{CL} ของวงจรมีค่าเท่ากับ 0.707 ที่ $\omega RC = 1$ ดังนั้นค่าความถี่ตัด ω_c ของวงจรในกรณีนี้จึงมีค่า

$$\omega = 2\pi f_c = \frac{1}{RC} \tag{2.5}$$

$$\omega = \frac{1}{\omega_c C} = \frac{1}{2\pi f_c C} \tag{2.6}$$



(ก)



(ข)

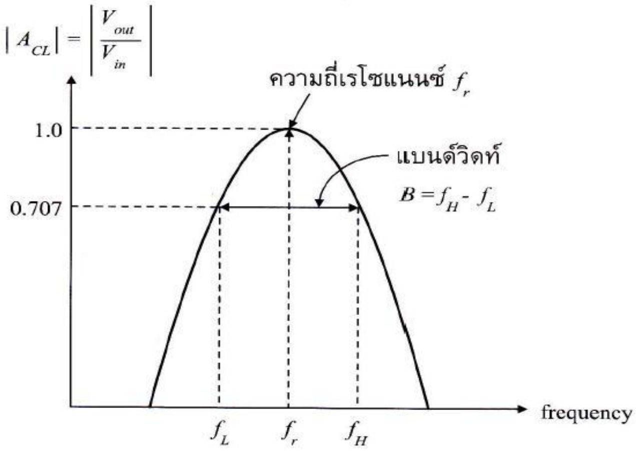
ภาพที่ 2.6 วงจรกรองผ่านความถี่สูง

(ก) วงจรกรองผ่านความถี่สูงที่มีอัตราการเปลี่ยนแปลงเท่ากับ +20 dB/decade

(ข) ผลตอบสนองทางความถี่ของวงจร

2.2.4 วงจรกรองผ่านแถบความถี่ (Band-pass filter)

วงจรกรองผ่านแถบความถี่หรือวงจรเลือกความถี่ (Frequency Selector) แสดงดังภาพที่ 2.7 มีคุณลักษณะในการทำงานคือจะยอมให้สัญญาณอินพุตซึ่งมีความถี่ที่ตามที่กำหนดผ่านวงจรได้ ส่วนสัญญาณอินพุตซึ่งมีความถี่นอกเหนือจากที่กำหนดจะถูกลดทอนหรือไม่ยอมให้สัญญาณผ่านวงจรไปได้ซึ่งผลตอบสนองทางความถี่แบบนอร์มอลไลซ์ (Normalize) ของวงจรกรองผ่านแถบความถี่แสดงดังภาพที่ 2.7 จะเห็นว่าอัตราขยายสัญญาณสูงสุดของวงจร (มีค่าเท่ากับ 1 หรือ 0 dB) เกิดขึ้นที่ความถี่เรโซแนนซ์ f_r (Resonant Frequency) และตำแหน่งความถี่ต่ำกว่าความถี่เรโซแนนซ์ลงมาที่ทำให้อัตราขยายสัญญาณของวงจรตกลงเหลือเท่ากับ 0.707 นั้นจะเรียกค่าความถี่นี้ว่า " ความถี่ตัดด้านต่ำ f_L (Low-cutoff Frequency) " และค่าความถี่สูงกว่าความถี่เรโซแนนซ์ที่ทำให้อัตราขยายสัญญาณมีค่าเท่ากับ 0.707 จะเรียกว่า " ความถี่ตัดด้านสูง f_H (High-cutoff Frequency) " และวงจรนี้บางทีจะมีชื่อเรียกว่า วงจรกรองแบบ Multiple Feedback



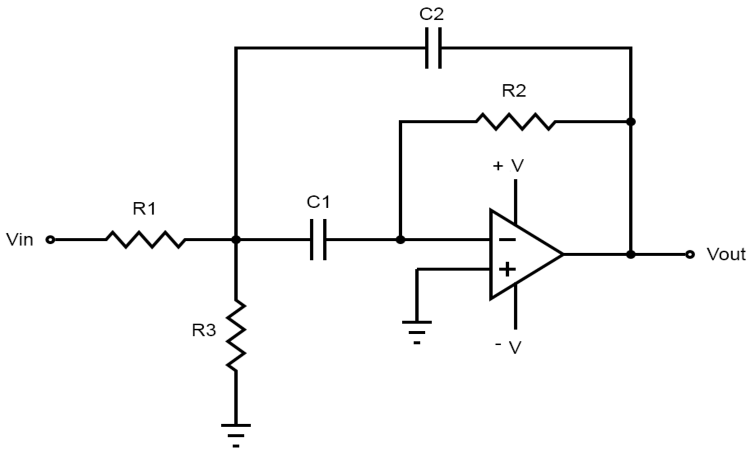
ภาพที่ 2.7 ผลตอบสนองทางความถี่ของวงจรกรองผ่านแถบความถี่ ที่อัตราขยายสูงสุด ณ. ความถี่เรโซแนนซ์ f_r และแถบความถี่ผ่านระหว่าง f_L กับ f_H

2.2.5 ตัวประกอบคุณภาพ [6]

ตัวประกอบคุณภาพ หรือ Q-factor คือ อัตราส่วนระหว่างความถี่เรโซแนนซ์ f_r กับแบนด์วิดท์ BW ของวงจร หรือสามารถเขียนอธิบายได้เป็น

$$Q = \frac{f_r}{B} \tag{2.7}$$

Q-factor เป็นตัวบ่งชี้แถบความถี่ผ่าน (Passband) ของวงจร กล่าวคือ หาก Q-factor มีค่าสูงจะเป็นการบ่งชี้ถึงแถบความถี่ผ่านที่แถบแคบ และในทางกลับกันแถบความถี่ผ่านจะมีแถบกว้างเมื่อมีค่า Q-factor ต่ำ



ภาพที่ 2.8 วงจรกรองผ่านแถบความถี่ (Band-pass Filter)

สำหรับความถี่กึ่งกลาง (Center Frequency) หรือ f_0 ของวงจรนี้สามารถคำนวณได้จากสมการ f_0 เท่ากับ

$$f_m = \frac{1}{2\pi C\sqrt{\frac{R_1 + R_3}{R_1 R_2 R_3}}} \tag{2.8}$$

$$Q = \frac{f_{center}}{B_w} \quad \text{หรือ} \quad Q = \pi f_m R_2 C \tag{2.9}$$

อย่างไรก็ตามวิธีที่ง่ายที่สุดในการคำนวณค่าความต้านทานทั้งสามตัว คือคำนวณจากสมการข้างล่างนี้

$$R_1 = \frac{R_2}{-2A_m} \tag{2.10}$$

$$R_2 = \frac{Q}{\pi f_m C} \tag{2.11}$$

$$R_3 = \frac{-A_m R_1}{2Q^2 + A_m} \tag{2.12}$$

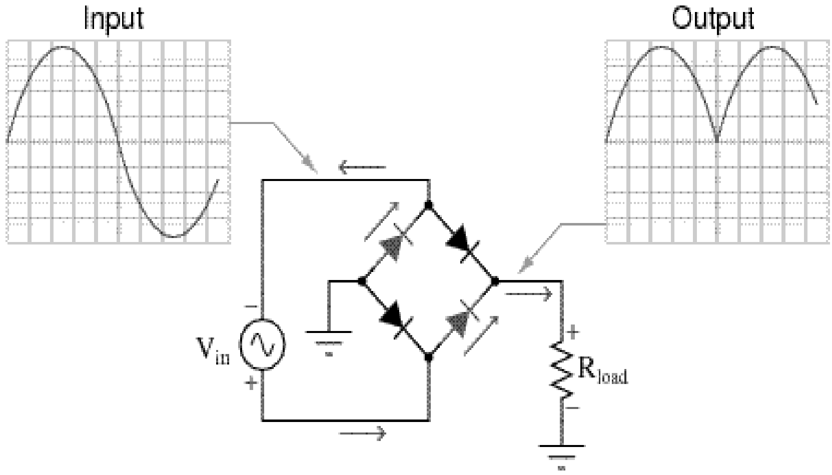
$$G_0 = -A_m = \frac{R_2}{2R_1} \tag{2.13}$$

2.2.6 วงจรกรองผ่านความถี่แบบช่องบาก (Band-stop Filter)

วงจรกรองผ่านความถี่แบบช่องบาก (Band-stop Filter) หรือนอตซ์ฟิวเตอร์ (Notch Filter) เป็นวงจรผ่านความถี่ที่มีคุณลักษณะของผลตอบสนองทางความถี่ของวงจร สัญญาณความถี่ที่ไม่ต้องการจะถูกลดทอนในช่วงความถี่แถบหยุด (Stopband) และสัญญาณความถี่ที่ต้องการจะถูกส่งผ่านไปในช่วงแถบผ่านไปในช่วงแถบผ่าน (Passband) ซึ่งอยู่ด้านข้างของแถบหยุด

2.3 วงจรเรียงกระแสแบบบริดจ์ (Full-wave Rectifier)

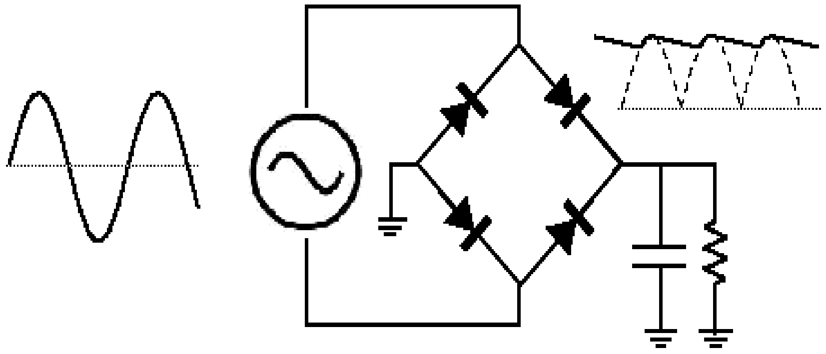
การเรียงกระแสแบบเต็มคลื่นหรือฟูลเวฟเร็กติฟายเออร์ (Full-wave Rectifier) ดังภาพที่ 2.9 แม้ว่าจะสามารถให้กระแสออกไปอย่างต่อเนื่องแต่หากไดโอดตัวหนึ่งขาด วงจรนั้นจะกลายเป็นวงจรเรียงกระแสแบบครึ่งคลื่น (Half-wave Rectifier) และหากไดโอดเกิดการรั่วไหลหรือลัดวงจรกระแสไฟสลับจะไม่ถูกส่งไปยังโหลดให้เกิดการเสียหาย



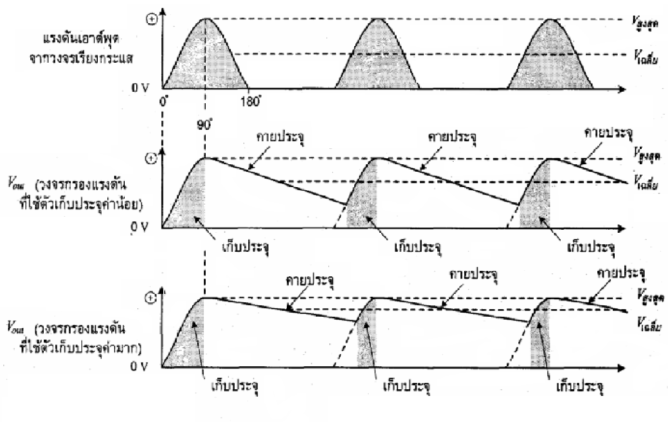
ภาพที่ 2.9 วงจรเรียงกระแสแบบเต็มคลื่น (Full-wave Rectifier)

2.3.1 วงจรฟิวเตอร์-การกรองกระแสให้เรียบ

วัตถุประสงค์ของวงจรเร็กติฟายเออร์หรือวงจรเรียงกระแสคือความพยายามในการแปลงแรงดันไฟจากกระแสสลับให้เป็นแรงดันไฟกระแสตรง แสดงดังภาพที่ 2.10 เพื่อเอาไปใช้กับอุปกรณ์อิเล็คทรอนิกส์ต่างๆ จะพบว่าวงดังกล่าวยังให้ผลสุดท้ายเป็นเพียงแรงดันไฟตรงที่เรียกว่า “พัลติ้ง ดีซี” (Pulsating DC) หากต้องการทำให้แรงดันไฟดังกล่าวเรียบเหมือนกับแรงดันไฟที่มาจากแบตเตอรี่ ต้องใช้อุปกรณ์กรองแรงดันที่เรียกว่า “วงจรเร็กติฟายเออร์ ฟิวเตอร์” (Rectifier Filter) ในการใช้งานใช้คาปาซิเตอร์นำมากรองแรงดันไฟให้เรียบโดยการนำเอาคาปาซิเตอร์มาต่อคร่อมกับโหลด ดังภาพที่ 2.10(ก)



(ก)



(ข)

ภาพที่ 2.10 วงจรเร็กติฟายเออร์ฟิวเตอร์ (Rectifier Filter)

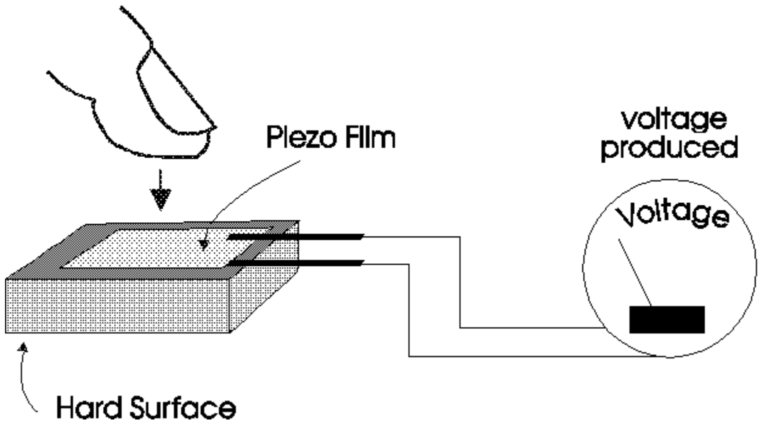
(ก) วงจรพื้นฐาน

(ข) ลักษณะสัญญาณวงจรเรียงกระแสแบบเต็มคลื่น

2.4 เปียโซอิเลคทริกฟิล์มเซนเซอร์

การตรวจจับผู้บุกรุกในเหตุการณ์การงัดแงะบานประตูหรือกระโปรงหน้า สามารถใช้อุปกรณ์การตรวจจับที่ทำงานในลักษณะสวิตช์ โดยส่งสัญญาณผ่านเข้ามายังพอร์ตอินพุทของไมโครคอนโทรลเลอร์ได้ โดยตรง แต่ในส่วนของการตรวจจับเหตุการณ์ที่อาจนำไปสู่การบุกรุก จำเป็นจะต้องใช้เซนเซอร์หรืออุปกรณ์ตรวจจับที่สามารถให้ข้อมูลที่ละเอียดอ่อนได้ทั้งในกรณีเกิดการสั่นสะเทือนที่รถยนต์ที่เกิดจากการทุบ หรือมีการกรีด หรือทุบกระจกรถยนต์เป็นต้น อุปกรณ์ตรวจจับที่ถูกนำมาใช้คือเปียโซอิเล็กทริกฟิล์ม (Piezo Electric Film) หรือ Polyvinyliden Fluoride (PVDF) แสดงดังภาพที่ 2.11 ซึ่งอาศัยหลักการการกำเนิดแรงเคลื่อนไฟฟ้าจากการสั่น หรือโก่งตัวทันทีทันใด ดังนั้นจึงสามารถใช้งานกับความดันกระแทกได้

ภาพที่ 2.11 เปียโซอิเล็กทริกฟิล์มเซนเซอร์สำหรับติดตั้งแนวดิ่งมีตุ้มน้ำหนักถ่วงและสำหรับติดตั้งแนวนอนมีตุ้มน้ำหนักถ่วง



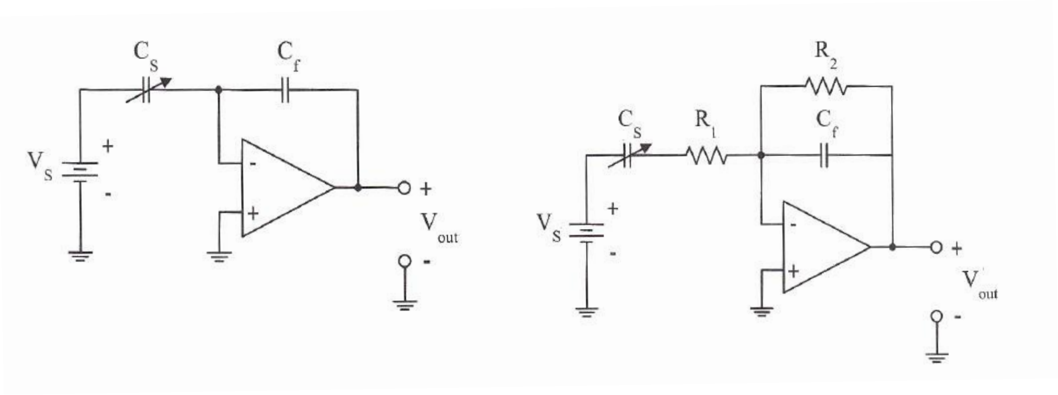
ภาพที่ 2.12 การกระตุ้นโดยการกดสัมผัสบนแผ่นหน้าสัมผัสเปียโซอิเล็กทริกฟิล์มเซนเซอร์

เปียโซอิเลคทริกฟิล์มเซนเซอร์จะให้ประจุไฟฟ้าเมื่อแผ่นฟิล์มโพลีไวนิลลิดีนฟลูออไรด์ (Polyvinylidene fluoride, PVDF) ถูกทำให้มีการเปลี่ยนแปลงรูปร่าง เช่นการกด กระแทก หรืองอ ดังภาพที่ 2.12 และมีขอบเขตการตอบสนองความถี่กว้างมากในช่วง 0.001-10^9 Hz ในการนำไปใช้งานสามารถต่อเปียโซอิเล็กทริกฟิล์มเซนเซอร์โดยตรง ซึ่งเปียโซเซนเซอร์นี้สามารถสร้างแรงดันชั่วขณะได้มากกว่า 20 V และมีการเรโซแนนซ์ที่ความถี่ต่างกันขึ้นอยู่กับการติดตั้งตำแหน่งของตุ้มน้ำหนักถ่วง โดยเมื่อมีน้ำหนักถ่วงเกิดขึ้นบนเปียโซเซนเซอร์ ความถี่เรโซแนนซ์จะมีการเปลี่ยนแปลง

2.5 วงจรขยายประจุไฟฟ้า (Charge Amplifier) [6]

ในทรานสดิวเซอร์จำพวกเปียโซอิเล็กทริก (Piezo Electric) ที่เปลี่ยนแรงกระทำฟิสิกส์ให้เป็นค่าประจุไฟฟ้าเปลี่ยนไปนั้น สัญญาณเอาต์พุตของทรานสดิวเซอร์แบบนี้สามารถเขียนแทนด้วยวงจรสมมูลทางไฟฟ้าในรูปของแหล่งจ่ายไฟตรงคงที่ V_S ต่ออนุกรมกับค่าความจุไฟฟ้า C_S ซึ่งค่าความจุไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงนี้สามารถเปลี่ยนให้แรงดันไฟฟ้าโดยใช้ออปแอมป์และตัวเก็บประจุไฟฟ้าป้อนกลับดังแสดงในภาพที่ 2.13(ก) และเรียกวงจรนี้ว่า “วงจรขยายประจุไฟฟ้า”

สำหรับวงจรขยายประจุไฟฟ้าในทางปฏิบัติดังภาพ 2.13(ข) จะมีการเพิ่ม R_1 อนุกรมเข้าไปทางอินพุทเพื่อรักษาเสถียรภาพการป้อนกลับของวงจร (Feedback Stabilization) ซึ่งโดยทั่วไป R_1 มีค่าประมาณ 100Ω และ R_2 ต่อเพิ่มเข้าไปเพื่อเป็นส่วนให้กระแสไบอัสอินพุตของวงจรมีค่าทั่วไปอยู่ในช่วง $M\Omega$ ถึง $G\Omega$



(ก) (ข)

ภาพที่ 2.13 วงจรขยายประจุไฟฟ้า

(ก) วงจรพื้นฐาน

(ข) วงจรในทางปฏิบัติ

2.6 วงจรขยายสัญญาณผลต่าง (Difference Amplifier) [6]

วงจรขยายสัญญาณผลต่างดังภาพที่ 2.14 ใช้สำหรับหาผลต่างทางพีชคณิตของแรงดันสองชุดหรือผลต่างทางเวคเตอร์ (Vector) ของสัญญาณอินพุตสองชุดโดยแรงดันเอาต์พุตที่ได้จะเท่ากับผลต่างของสัญญาณอินพุททั้งสองคูณด้วยอัตราขยายสัญญาณของวงจร ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันเอาต์พุตกับแรงดันอินพุตของวงจรนั้นในที่นี้จะหาโดยใช้วิธีแรงดันโหนดวิเคราะห์ (Node Voltage Analysis) ดังขั้นตอนต่อไปนี้

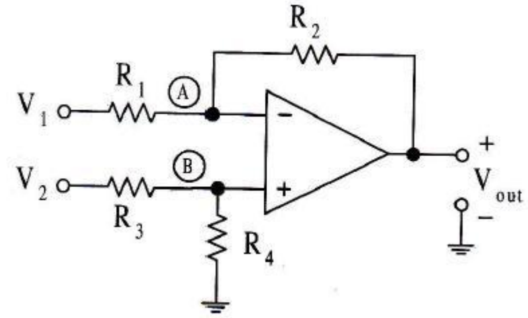
กำหนดให้

V_1 = แรงดันอินพุตที่ 1

V_2 = แรงดันอินพุตที่ 2

V_A = แรงดันโหนดจุด A

V_B = แรงดันโหนดจุด B



ภาพที่ 2.14 วงจรขยายสัญญาณผลต่าง (Difference Amplifier)

จากวงจรพิจารณาว่าออปแอมป์มีค่าอินพุตอิมพีแดนซ์สูงมากกว่าเป็นอนันต์ทำให้กระแสที่ไหลเข้าขั้วอินพุททั้งสองของออปแอมป์จึงประมาณว่าน้อยมากเป็นศูนย์ $(I_B = 0)$ ดังนั้นผลรวมกระแสที่โหนด A จะเท่ากับ

$$\frac{V_1 - V_A}{R_1} = \frac{V_A - V_{out}}{R_2}$$

จะได้

$$V_A = \left(\frac{R_2}{R_1 + R_2}\right)V_1 + \left(\frac{R_1}{R_1 + R_2}\right)V_{out} \qquad (2.14)$$

เช่นเดียวกันจะได้ผลรวมกระแสที่โหนด B เท่ากับ

$$\frac{V_2 - V_B}{R_3} = \frac{V_B}{R_4}$$

จะได้

$$V_B = \left(\frac{R_4}{R_3 + R_4}\right)V_2 \qquad (2.15)$$

และคุณสมบัติของออปแอมป์ที่ว่า $V_i = V_A - V_B = 0$ หรือ $V_B = V_A$ นั่นคือสมการที่ (2.15) จึงเท่ากับสมการที่ (2.13)

$$\left(\frac{R_4}{R_3 + R_4}\right)V_2 = \left(\frac{R_2}{R_1 + R_2}\right)V_1 + \left(\frac{R_1}{R_1 + R_2}\right)V_{out}$$

ดังนั้น

$$V_{out} = \left(\frac{R_1 + R_2}{R_3}\right)\left(\frac{R_4}{R_3 + R_4}\right)V_2 - \left(\frac{R_2}{R_1}\right)V_1 \qquad (2.16)$$

นอกจากนี้ค่าอินพุตอิมพีแดนซ์ทางด้านอินพุต $V_1(R_{i1})$ มีค่าเท่ากับ R_1 และอินพุตอิมพีแดนซ์ทางด้านอินพุต $V_2(R_{i2})$ มีค่าเท่ากับ $(R_3 + R_4)$ โดยทั่วไปการใช้งานของวงจรนิยมเลือกค่าความต้านทานให้ $R_1 = R_3 = R_i$ และ $R_2 = R_4 = R_f$ ดังสมการที่ (2.16) จึงนำมาเขียนสมการใหม่ได้เป็น

$$V_{out} = \left(\frac{R_f}{R_i}\right)(V_2 - V_1) \qquad (2.17)$$

นอกจากนี้การนำเอาหลักการของวงจรขยายสัญญาณผลต่างตามสมการที่ (2.17) ไปประยุกต์ใช้งานที่นิยมอย่างแพร่หลายมากที่สุดในระบบควบคุมและเครื่องมือวัด ก็คือ วงจรขยายอินสทรูเมนท์ (Instrumentation Amplifier)

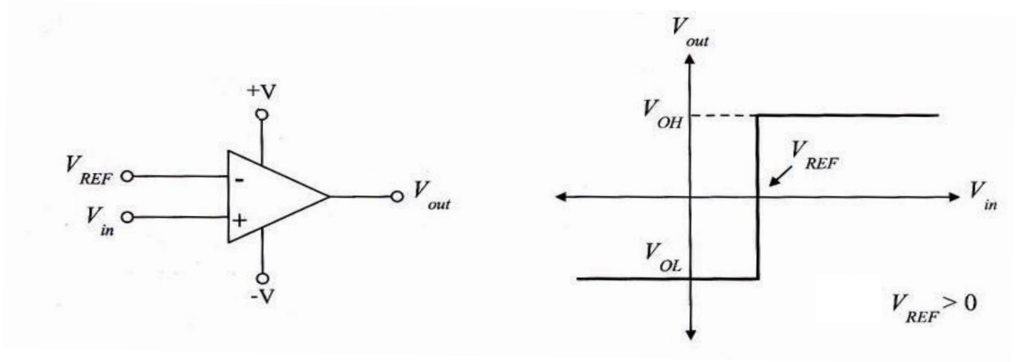
2.7 วงจรเปรียบเทียบแรงดัน (Comparator Circuit)

หน้าที่ของวงจรเปรียบเทียบแรงดัน คือ ทำการเปรียบเทียบแรงดันอินพุตที่ป้อนให้วงจรกับแรงดันอ้างอิงที่ตั้งไว้แล้วทำให้เกิดแรงดันเอาต์พุตของวงจรเปลี่ยนแปลงอยู่สองสภาวะคือ สภาวะสูง (High) กับ สภาวะต่ำ (Low) เท่านั้น วงจรเปรียบเทียบแรงดันและกราฟคุณสมบัติของวงจรแสดงได้ดังภาพที่ 2.15 ซึ่งการทำงานของวงจรมีความสัมพันธ์สรุปได้ดังนี้คือ

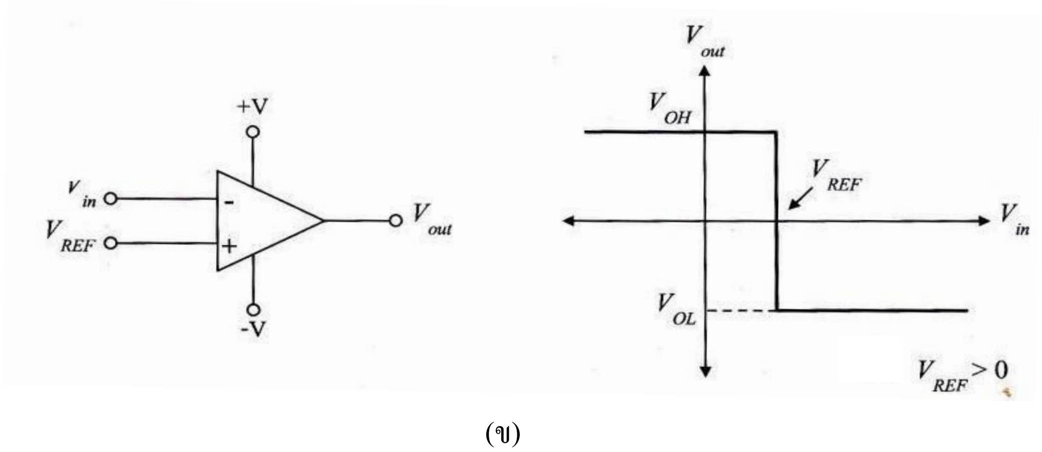
$$V_{out} = V_{OH} \text{ เมื่อ } V_{in} \rangle V_{REF} \qquad (2.18)$$

$$V_{out} = V_{OL} \text{ เมื่อ } V_{in} \langle V_{REF} \qquad (2.19)$$

เมื่อ V_{OH} และ V_{OL} คือแรงดันเอาท์พุทอิ่มตัวของออปแอมป์ (OP-AMP Saturation Voltage) ในสภาวะสูงและสภาวะต่ำตามลำดับ



(ก)



(ข)

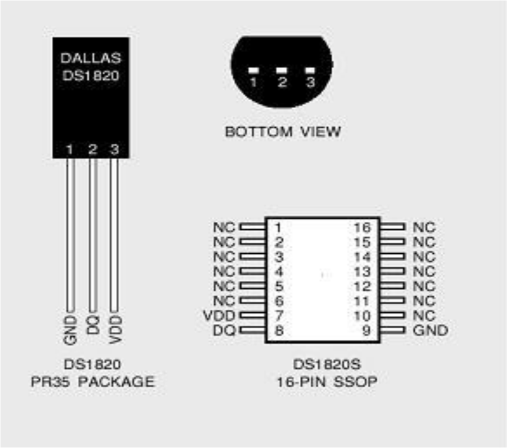
ภาพที่ 2.15 วงจรเปรียบเทียบแรงดัน

(ก) แรงดันเอาต์พุตของวงจรในสภาวะสูง (High)

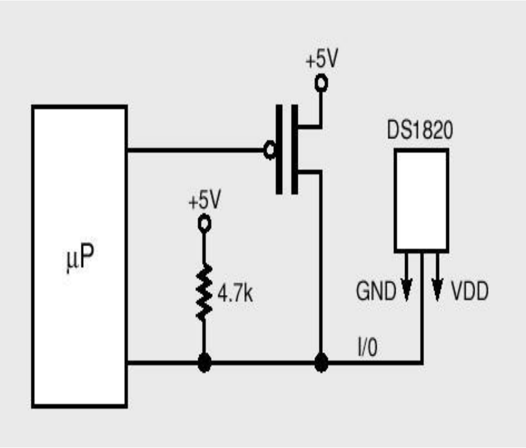
(ข) แรงดันเอาต์พุตของวงจรในสภาวะต่ำ (Low)

2.8 เซนเซอร์ตรวจจับอุณหภูมิ DS1820

อุปกรณ์วงจรรวมเบอร์ DS1820 เป็นเซนเซอร์ตรวจจับอุณหภูมิดังภาพที่ 2.16 จะให้สัญญาณเอาต์พุตเป็นชนิดข้อมูลแบบดิจิตอล และสามารถที่จะทำการโปรแกรมเข้าไปยังหน่วยความจำและควบคุมฟังก์ชันภายในไอซีได้ ซึ่งมีหน่วยความจำรอมภายในขนาด 64 บิต จึงสามารถที่จะทำการอ่านและเขียนข้อมูลต่างๆ เกี่ยวกับการทำงานในการตรวจวัดอุณหภูมิได้ตามการประมวลผล นอกจากนั้นแล้วยังสามารถติดตั้ง DS1820 เพื่อการตรวจวัดอุณหภูมิได้ในหลายลักษณะและหลายสถานที่ตำแหน่งการติดตั้งที่มีความแตกต่างอย่างมากกับอุปกรณ์ทั่วๆไปไม่ว่าจะเป็นการติดตั้งภายในอาคาร,อุปกรณ์เครื่องใช้ต่างๆ หรือภายในเครื่องจักร และเอาต์พุตที่เป็นอนุกรมตัวเลขของ DS 1820 สามารถต่อเอาต์พุตบนสายสัญญาณเพียงเส้นเดียวได้หลายๆ ชุดโดยไม่สับสนข้อมูลซึ่งกันและกัน



(ก)



(ข)

ภาพที่ 2.16 เซนเซอร์ตรวจจับอุณหภูมิ DS1820

(ก) รูปร่างลักษณะตัวถังและการจัดขาใช้งานของ DS1820

(ข) การต่อวงจรใช้งานแบบสายเส้นเดียว (One Wire)

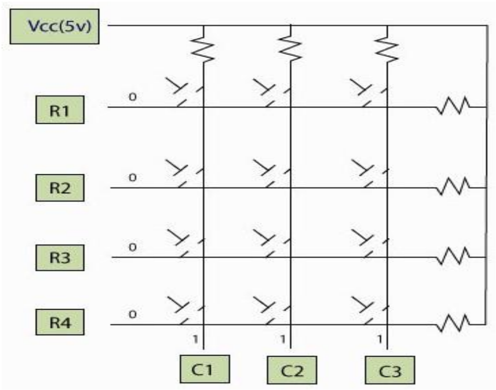
2.9 โมดูลการสื่อสารโครงข่ายไร้สาย (GSM MODULE SIM300CZ)

ภาพที่ 2.17 โมดูลการสื่อสารโครงข่ายไร้สาย

ET-GSM SIM300CZ เป็นชุดเรียนรู้และพัฒนาระบบการสื่อสารไร้สาย โดยใช้โมดูล GSM/GPRS รุ่น SIM300CZ ของ " SIMCom Ltd." เป็นอุปกรณ์หลัก แสดงดังภาพ 2.17 ซึ่ง SIM300CZ เป็นโมดูลสื่อสารระบบ GSM/GPRSขนาดเล็ก รองรับระบบสื่อสาร GSM ความถี่ 900/1800/1900MHz โดยสั่งงานผ่านทางพอร์ตสื่อสารอนุกรมRS232 ด้วยชุดคำสั่ง AT Command สามารถประยุกต์ใช้งานได้มากมายหลายรูปแบบ

2.10 เมทริกซ์สวิตซ์

Matrix Switch ถือเป็นชุดอุปกรณ์ที่ใช้ในการรับค่าจากผู้ใช้รูปแบบหนึ่งที่มีลักษณะการต่อร่วมกันของสวิทช์จำนวนมากในลักษณะตาราง โดยขั้วของสวิทช์ขั้วหนึ่งจะถูกเชื่อมต่อไปยังขั้วร่วมทางด้านแถว (Row) และอีกขั้วหนึ่งต่อไปยังจุดร่วมทางด้านหลัก (Column) โดยการจะรับรู้ว่า Switch ตัวใดถูกกดนั้น ต้องทำการ Scan ในทิศทางของหลักหรือแถว ทิศทางใดทิศทางหนึ่ง ซึ่งถ้าหากเป็นการ Scan ทางหลักข้อมูลก็จะถูกอ่านออกไปทางแถว เป็นต้น



ภาพที่ 2.18 วงจรภายในของเมทริกซ์สวิตซ์

รูปแบบการต่อ Matrix Switch แสดงดังภาพที่ 2.18 ซึ่งเป็น Matrix Switch ขนาด 4x3 โดยจะเห็นได้ว่า Switch แต่ละตัวต่อผ่านตัวต้านทานในลักษณะ Pull-up นั่นคือในขณะที่หลักนั้นๆ ได้รับลอจิก “0” จะทำให้ข้อมูลแถวในขณะที่ยังไม่กด Switch เป็น “1” ทั้งหมด แต่เมื่อใดที่ Switch ที่แถวใดๆถูกกด จะทำให้ลอจิกแถวนั้นๆกลายเป็น “0”

2.11 จอแสดงผลแอลซีดีโมดูล

จอแสดงผลแบบ (Liquid Crystal Display) ดังภาพที่ 2.19 จัดเป็นจอแสดงผลอีกรูปแบบหนึ่ง ซึ่งเป็นที่นิยมนำมาใช้งานกันอย่างแพร่หลายมากขึ้นในปัจจุบัน ซึ่งจอแสดงผลแบบ LCD นี้มีทั้งแบบที่แสดงผลเป็นอักขระเพียงอย่างเดียว (Character LCD) และแบบที่สามารถแสดงผลเป็นรูปภาพหรือสัญลักษณ์อื่นๆ ตามความต้องการได้ (Graphic LCD) โดย LCD Display ที่เราพบเห็นกันโดยทั่วๆไปในชีวิตประจำวันนี้อาจมีอยู่หลายแบบ บางชนิดก็เป็นแบบที่มีการสั่งผลิตขึ้นเฉพาะงานโดยมีรูปร่างเฉพาะ เช่น LCD Display ที่นำไปใช้ในนาฬิกาข้อมือแบบดิจิตอล เครื่องเล่นเกมส์ เครื่องคิดเลขหรือหน้าปัดวิทยุแบบต่างๆ เป็นต้น แต่ในที่นี้จะกล่าวถึงเฉพาะ Dot Matrix LCD ที่มีวางจำหน่ายกันทั่วๆไปที่สามารถหาซื้อมาใช้งานกันได้ง่าย โดยที่พบเห็นกันทั่วไปได้แก่ขนาด 16 ตัวอักษรไปจนถึง 40 ตัวอักษร และมีจำนวนบรรทัดตั้งแต่ 1 บรรทัดไปจนถึง 4 บรรทัด (หรือมากกว่านั้น) โดย LCD เหล่านี้อาจมีหลายผู้ผลิต แต่ส่วนมากแล้วจะมีโครงสร้างการทำงานและชุดคำสั่งที่เหมือนกันเกือบทุกประการ อาจมีแตกต่างกันบ้างในเรื่องของความเร็วในการอ่าน/เขียน ส่วนตำแหน่งขาและหน้าที่การใช้งานสามารถดูได้จากตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 ตำแหน่งขาและหน้าที่การใช้งานของ LCD โมดูล

Pin No.	Symbol	Description	Level	Function	
1	VSS	Ground	-	0V	Ground
2	VDD	Power Supply	-	+5V	ต่อกับแรงดันไฟเลี้ยง +5V
3	VO	LCD Control	-	ต่อกับแรงดันเพื่อปรับความเข้มของการแสดงผล	
4	RS	Register Select	H/L	RS = 0 หมายถึงต้องการติดต่อกับ	
5	R/W	Read/Write	H/L	R/W = 0 หมายถึงต้องการเขียนข้อมูลไปยัง LCD โมดูล R/W = 1 หมายถึงต้องการอ่านข้อมูลจาก LCD โมดูล	
6	E	Enable	H, H->L	Enable Signal	
7 – 14	DB0-DB7	Data Bus	H/L	Data Bus Line	
15	A	Back Light A	-	Back Light +5V (สำหรับรุ่นที่มี Back Light)	
16	K	Back Light K	-	Back Light 0V (สำหรับรุ่นที่มี Back Light)	

ภาพที่ 2.19 จอแสดงผลแบบ LCD ขนาด 16 ตัวอักษร 2 บรรทัด