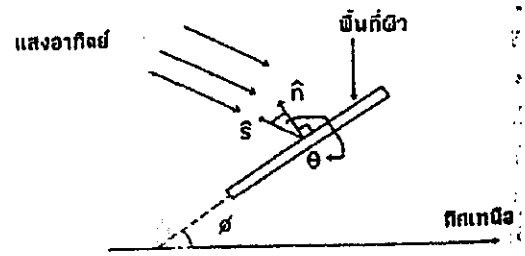
บทที่ 2
ความรู้พื้นฐานของการสร้าง

2.1 ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับแผงเซลล์แสงอาทิตย์ [1-2]

2.1.1 กำลังแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบเซลล์แสงอาทิตย์

กำลังแสงที่ตกกระทบเซลล์แสงอาทิตย์ ขึ้นอยู่กับทิศทางของแสงที่ตกกระทบและพื้นที่รับแสงของเซลล์แสงอาทิตย์ ซึ่งสามารถแสดงในทิศทางต่างๆ ได้ดังรูป 2.1 และแสดงซึ่งความสัมพันธ์ได้ดังสมการ 2.1



รูปที่ 2.1 ทิศทางของแสงและพื้นที่รับแสง

$$P_i = (Is)(An) = I \cos\theta \qquad (2.1)$$

โดยที่ P_i กำลังงานแสงที่ตกกระทบ

I ความเข้มของแสง

s เวคเตอร์หนึ่งหน่วยที่แสดงทิศทางของแสง โดยมีทิศทางจากเซลล์แสงอาทิตย์ไปยังดวงอาทิตย์

n เวคเตอร์หนึ่งหน่วยของพื้นที่รับแสงโดยมีทิศทางตั้งฉากและพุ้งออกจากพื้นที่ผิว

A ขนาดของพื้นที่รับแสงของดซลล์แสงอาทิตย์

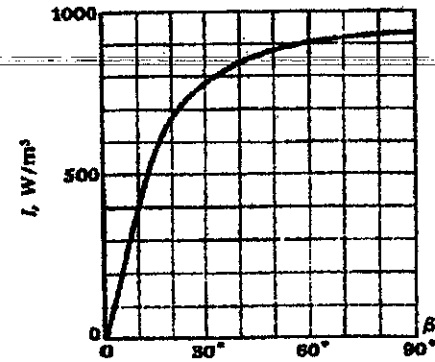
θ มุมตกกระทบของแสง กับระนาบตั้งฉากของแผงโซลาร์เซลล์

2.1.2 ความเข้มของแสงแสงอาทิตย์

ความเข้มของแสงอาทิตย์เปลี่ยนแปลงไปตามการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์ ดังนั้นความเข้มแสงจะขึ้นอยู่กับมุมสุริยะ (Solar Altitude ,B) ซึ่งมุมสุริยะนี้จะเป็นมุมระหว่าง s และแนวระนาบในทิศ

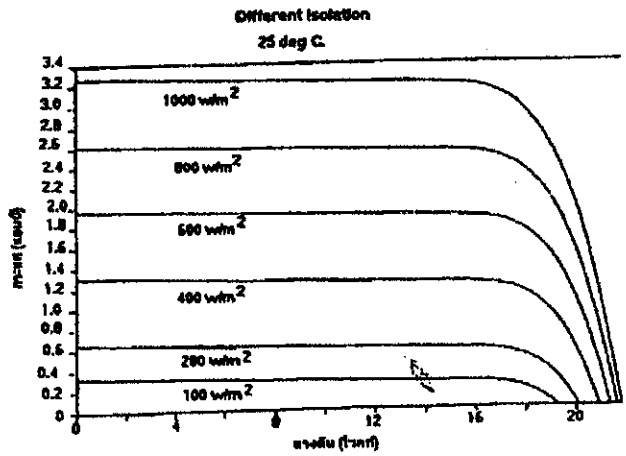
ตะวันออกและตะวันตกดังนั้นสามารถแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มของแสงและมุมสุริยะได้ดังสมการที่ 2.2 และรูปที่ 2.2

$$I = 1 * e^{-[0.1 / s B]} \quad (2.2)$$



รูปที่ 2.2 ความสัมพันธ์ของความเข้มแสงและมุมสุริยะ

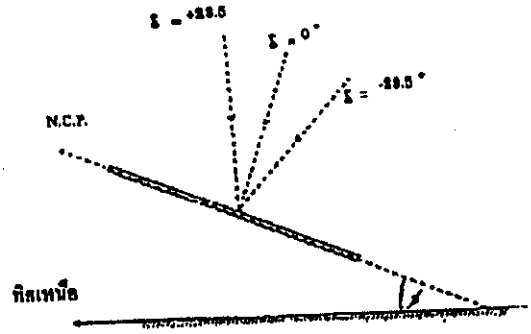
จากความสัมพันธ์นี้มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงพลังงานแสงอาทิตย์มาเป็นพลังงานไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ ซึ่งสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 ความเข้มของแสงเทียบกับกระแสและแรงดัน

2.1.3 การติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบอยู่กับที่

การติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบอยู่ดับที่นี้ จะต้องให้แกนของแผงนั้นทำมุมเอียงในทิศเหนือใต้ ซึ่งจะเอียงในทิศทางเหนือ-ใต้ โดยการเอียงนั้นขึ้นอยู่กับว่าพื้นที่นั้นๆอยู่ ณ บริเวณซีกโลกใด ดังรูปที่ 2.4



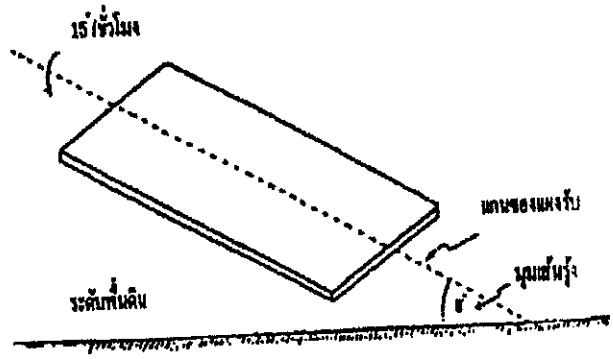
รูปที่ 2.4 แสดงการติดตั้งแผงโซลาร์เซลล์แบบอยู่กับที่

2.1.4 การติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบติดตามดวงอาทิตย์

ระบบนี้ใช้การเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์เป็นตัวกำหนดตำแหน่ง โดยตรวจจับทิศทางของดวงอาทิตย์ว่าอยู่ที่ตำแหน่งใด แล้วก็ทำการเปรียบเทียบตำแหน่งแล้วส่งสัญญาณไปควบคุมแผงให้ติดตามดวงอาทิตย์ ซึ่งในระบบนี้จะแบ่งได้อยู่ 2 ระบบ คือ

1. ระบบอิเควเตอร์ (Equatorial Mounting)

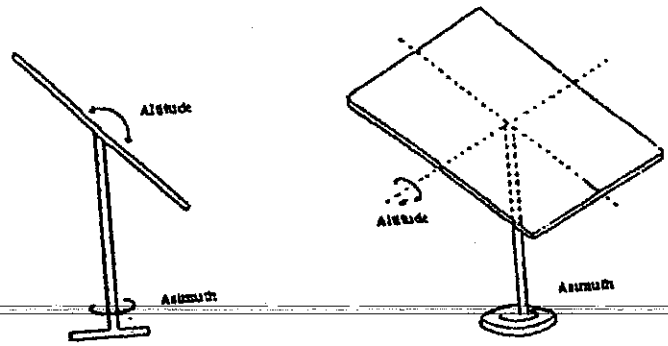
ระบบนี้ แผงเซลล์แสงอาทิตย์จะหมุดได้เพียง 1 แกน คือจะหมุนรอบๆแกน เหนือใต้ หรือแผงเซลล์แสงอาทิตย์จะหันไปในทิศตะวันออก- ตก ดังรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 การติดตั้งแผงโซลาร์เซลล์ติดตามแบบอิเควเตอร์

2. ระบบอซิมุธ (Azimuth Mounting)

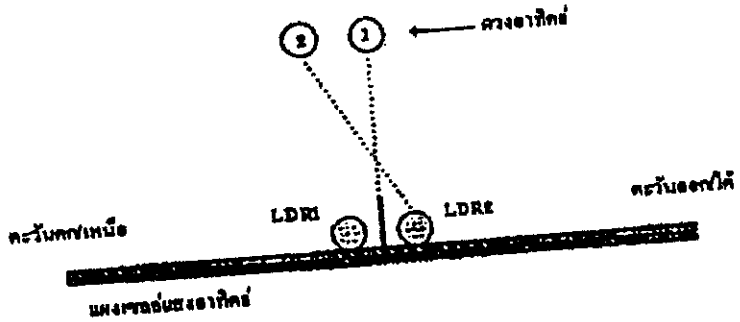
ระบบนี้จะหมุนรอบแกนถึง 2 แกน ซึ่งจะหมุนจากทิศตะวันออกไปยังทิศตะวันตกในแต่ละวัน และจะหมุน ในทิศเหนือ – ใต้ ตามการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์ในแต่ละฤดูกาล ดังรูป 2.6



รูปที่ 2.6 แสดงการติดตั้งแผงโซลาร์เซลล์ตามดวงอาทิตย์แบบอซิมุธ

2.1.5 วิธีการปรับทิศทางการรับแสง

วิธีการนี้เป็นวิธีการปรับทิศทางการรับแสงของดวงอาทิตย์ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ให้สามารถรับพลังงานได้สูงสุด โดยหลักการนี้อุปกรณ์ไวแสงที่มีคุณลักษณะเหมือนกัน 2 ตัว วางไว้ด้านข้างของวัตถุทึบแสงทั้งสองด้าน ซึ่งวัตถุทึบแสงวางตั้งฉากกับแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ดังรูปที่ 2.7 เพื่ออาศัยความเข้มแสงที่เท่ากันเมื่อแผงเซลล์แสงอาทิตย์ทำมุมตั้งฉากกับแสงอาทิตย์ ซึ่งนำหลักการนี้ เป็นตัวควบคุมการจับทิศทางของดวงอาทิตย์และการปรับทิศทางการรับแสงของแผงเซลล์แสงอาทิตย์



รูปที่ 2.7 การเปรียบเทียบทิศทางโดยการบังให้เกิดเงา

2.2 มอเตอร์กระแสตรง (DC motor) [3]

มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง (DC moter) เป็นเครื่องกลไฟฟ้าที่เปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานกล ประกอบด้วยส่วนสำคัญ 4 ส่วนคือ อาเมเจอร์ ขั้วแม่เหล็ก คอมมิวเตเตอร์ และแปรงถ่าน นอกจากนั้นยังมีส่วนประกอบย่อยๆ อีกคือ เพลา ตลับลูกปืน ชุดยึดแปรงถ่าน และโครงเครื่อง เป็นต้น

2.2.1 อาเมเจอร์

เป็นส่วนที่หมุนตัดกับสนามแม่เหล็กเพื่อผลิตแรงเคลื่อนไฟฟ้า โครงสร้างของอามาเจอร์ประกอบด้วยแกนเหล็กอาร์มาเจอร์และขดลวดอามาเจอร์

2.2.2 แกนเหล็กอาร์มาเจอร์

ทำจากแผ่นเหล็กซิลิกอน ผิวทั้งสองข้างจะฉาบด้วยฉนวนวานิช อัดซ้อนกันเป็นรูปทรงกระบอก เพื่อลดการสูญเสียเนื่องจากฮีสเตอร์รีซีส และกระแสไหลวนในแกนเหล็ก ผิวด้านนอกของทรงกระบอกจะทำเป็นร่อง (slot) เรียงตามแนวเส้นรอบวงรอบนอกแกนเหล็กเพื่อใช้พันขดลวดอามาเจอร์ ลักษณะของร่องจะมี 2 แบบในมอเตอร์ขนาดเล็ก หรือเครื่องที่มีความเร็วรอบสูง จะใช้ร่องแบบกึ่งปิด แต่ในเครื่องกลไฟฟ้าขนาดกลางหรือขนาดใหญ่นั้นเนื่องจากขดลวดอามาเจอร์เป็นขดลวดที่พันล่วงหน้าจึงจำเป็นต้องใช้ร่องแบบเปิด

2.2.3 ขดลวดอามาเจอร์

ทำจากเส้นลวดอาบฉนวน กรณีที่มีกระแสไม่มากนักจะใช้ลวดทองแดงพื้นที่หน้าตัดทรงกลม ในกรณีที่มีพิกัดกระแสสูงๆจะหันมาใช้เส้นลวดทองแดงพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมแบน ส่วนของขดลวดอามาเจอร์ที่บรรจุอยู่ในร่องเรียกว่า คอล์ยไซด์ (coil side) และส่วนที่เหลือของขดลวดซึ่งไม่ได้อยู่ในร่องเรียกว่า คอล์ยเอ็นด์ (coil end) ปกติเมื่อพันขดลวดอามาเจอร์เสร็จแล้วจะใช้ลิ่มไฟเบอร์สอดไว้ที่ปากร่องเพื่อป้องกันขดลวดอามาเจอร์หลุดออกจากร่องอันเนื่องมาจากแรงหนีศูนย์กลางในขณะมอเตอร์ทำงาน

2.2.4 ขั้วแม่เหล็ก

เป็นส่วนที่สร้างสนามแม่เหล็กให้ผ่านแกนเหล็กอามาเจอร์ ขั้วแม่เหล็กของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงจะยึดติดกับโครงเครื่อง (fram or york) และประกอบด้วยขดลวดสนามแม่เหล็ก หรือขดลวดฟิลด์ (field coil) แกนของขั้วแม่เหล็ก (pole core) และโปลชู (pole shoe)

ก. <u>โครงเครื่อง</u> เป็นส่วนที่ทำหน้าที่ยึดแกนของขั้วแม่เหล็ก และฝาครอบของเครื่อง นอกจากนั้นยังใช้เป็นทางผ่านของสนามแม่เหล็กเพื่อให้เส้นแรงแม่เหล็กเดินครบวงจร โครงเครื่องอาจทำทำด้วยเหล็กหล่อหรือเหล็กแผ่นที่โค้งงอเป็นรูปทรงกระบอกเพื่อเชื่อมยึดรอยต่อเข้าด้วยกัน

ข. <u>แกนของขั้วแม่เหล็ก</u> ทำมาจากแผ่นเหล็กลามิเนท (Laminate sheet steel) ปั๊มเป็นแกนของขั้วแม่เหล็กในแผ่นเดียวกัน แล้วนำมาประกอบเข้าด้วยกัน โดยมีส่วนที่ยื่นออกจากขอบทั้งสองบริเวณด้านหน้าของขั้วแม่เหล็ก และมีลักษณะงอตามความโค้งของแกนแม่เหล็ก

ค. <u>ขดลวดสนามแม่เหล็ก</u> คือขดลวดที่พันรอบแกนของขั้วแม่เหล็กทุกขั้ว โดยมากมักจะใช้ขดลวดฟิลด์ที่พันไว้ล่วงหน้าหุ้มฉนวนอาบวานิชละอบแห้งเรียบร้อยแล้ว ไปสวมเข้ากับแกนของขั้วแม่เหล็ก การต่อขดลวดฟิลด์ของแต่ละขั้วเข้าด้วยกันจะต้องทำให้เกิดขั้วเหนือและขั้วใต้สลับกันไป

2.2.5 คอมมิวเตเตอร์

เป็นส่วนที่ทำหน้าที่เรียงกระแสหรือเปลี่ยนไฟฟ้ากระแสสลับในขดลวดอามาเจอร์ให้เป็นไฟฟ้ากระแสตรง คอมมิวเตเตอร์ทำจากแท่งทองแดงมีลักษณะคล้ายรูปลิ่ม เพื่อให้สามารถนำมาประกอบเข้าด้วยกันเป็นรูปทรงกระบอกโดยมีแผ่นไมกาคั่นกลาง ความหนาของแต่ละซี่คอมมิวเตเตอร์ขึ้นอยู่กับ

ขนาดของเครื่องและโวทท์เตจระหว่างซี่คอมมิวเตเตอร์ที่อยู่ติดกัน การต่อปลายสายของขดลวดอามาเจอร์เข้ากับซี่คอมมิวเตเตอร์ทำได้โดยต่อปลายสายของขดลวดเข้ากับไรเซอร์ (riser) ซึ่งเป็นส่วนที่ยื่นออกมาจากปลายด้านหนึ่งของแต่ละซี่คอมมิวเตเตอร์

2.2.6 แปรงถ่านและชุดยึดแปรงถ่าน

แปรงถ่านจะสัมผัสผิวหน้าของคอมมิวเตเตอร์ เพื่อต่อวงจรขดลวดอามาเจอร์เข้ากับวงจรภายนอก แปรงถ่านส่วนมากจะทำมาจากคาร์บอนและแกร์ไฟต์ แปรงถ่านคาร์บอนทำมาจากผงถ่านคาร์บอนบริสุทธิ์ ใช้ในเครื่องกลไฟฟ้าขนาดเล็กที่มีพิกัดกระแสต่ำ แปรงถ่านแกร์ไฟต์ที่ทำมาจากผงถ่านคาร์บอนบริสุทธิ์ โดยการเพิ่มปริมาณความร้อนจึงเปลี่ยนสภาพเป็นแกรไฟต์ แปรงถ่านชนิดนี้มีคุณสมบัติที่ดี นิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย ชุดยึดแปรงถ่านจะทำหน้าที่ยึดแปรงถ่านให้อยู่ในตำแหน่งที่เหมาะสม มีสปริงที่ทำหน้าที่กดแปรงถ่านให้สัมผัสกับผิวหน้าของคอมมิวเตเตอร์ ตลอดเวลา ปริมาณกระแสต่อพื้นที่ของแปรงถ่านที่ใช้ แปรงถ่านคาร์บอนจะรับกระแสได้ 4-7 แอมป์ต่อตารางซม. แปรงถ่านแกรไฟตท์จะรับกระแสได้ 6-12 แอมป์ต่อตารางซม. ดังนั้น ในเครื่องกลไฟฟ้าที่มีพิกัดกระแสสูง จึงจำเป็นต้องเพิ่มจำนวนแปรงถ่านเข้าไปในต่ละแท่งตัวนำบนแขนของรอคเกอร์

2.2.7 หลักการทำงานของดีซีมอเตอร์

ดีซีมอเตอร์เป็นทรานสดิวเวอร์แรงบิดที่มีการออกแบบให้มีลักษณะพิเศษคือ แรงบิดของเพลาของดีซีมอเตอร์จะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับกระแสอามาเจอร์ แรงบิดของเพลาของดีซีมอเตอร์จะได้จากผลระหว่างสนามแม่เหล็กและขดลวดตัวนำ ในที่นี้กระแสที่ไหลในขดลวดตัวนำจะสร้างฟิลด์ที่ประกอบด้วยเส้นแรงแม่เหล็ก (Φ) และขดลวดตัวนำเหล่านั้นอยู่ห่างจากศูนย์กลางการหมุนเท่ากับ (r) ความสัมพันธ์ระหว่างแรงบิดของเพลาและกระแสเท่ากับ

$$T = K \Phi I \qquad (2.3)$$

เมื่อ T แรงบิดของเพลามีหน่วยเป็นนิวตันเมตร

Φ เส้นแรงแม่เหล็กเป็นเวเบอร์

I กระแสเป็นแอมแปร์

K ค่าคงที่

ดังนั้นแรงบิดของเพลาจะปีนสัดส่วนโดยตรงกับผลคูณของเส้นแรงแม่เหล็กและกระแส เมื่อขดลวดตัวนำเคลื่อนที่ในสนามแม่เหล็กก้จะทำให้เกิดโวลท์เตจตกคร่อมตัวมันเอง โวลท์เตจนี้จะเป็นสัดส่วนกับความเร็วของเพลามอเตอร์และด้านการไหลของกระแส ความสัมพันธ์ระหว่างโวลท์เตจย้อนกลับนี้และความเร็วมอเตอร์คือ

$$E = K \Phi N \qquad (2.4)$$

เมื่อ E โวลท์เต็จย้อนกลับ emf มีหน่วยเป็นโวลท์

Φ เส้นแรงแม่เหล็กมีหน่วยเป็นเวเบอร์

N ความเร็วรอบของมอเตอร์มีหน่วยเป็นเรเดียน/วินาที

2.2.8 แรงบิดที่ปลายเพลา (Shaft torque)

แรงบิดที่ปลายเพลาคือแรงบิดที่เรานำไปใช้งาน

$$T_{sh} = P_{out} / (2\pi N / 60)$$

$$= 9.55\, P_{out} / N \quad \text{นิวตัน-เมตร} \qquad (2.5)$$

เมื่อ T_{sh} แรงบิดที่ปลายเพลาเป็นนิวตัน-เมตร

N ความเร็วเป็นรอบต่อนาที

P_{out} กำลังท์พุทของมอเตอร์เป็น วัตต์

2.2.9 การแยกประเภทดีซีมอเตอร์

ดีซีมอเตอร์สามารถแบ่งออกเป็นหลายประเภทขึ้นอยู่กับลักษณะวิธีการสร้างสนามแม่เหล็กของตัวมอเตอร์และขึ้นอยู่กับพื้นฐานการออกแบบโครงสร้างของอามาเจอร์ การแบ่งประเภทตามลักษณะการจ่ายสนามแม่เหล็กแบ่งได้เป็น 2 แบบคือ

1. ดีซีมอเตอร์แบบปรับเส้นแรงแม่เหล็กได้
2. ดีซีมอเตอร์แบบเส้นแรงแม่เหล็กมีค่าคงที่

ถ้าเราจะพิจารราประเภทตามลักษณะการออกแบบโครงสร้างอามาเจอร์สามารถแยกออกได้เป็น 3 แบบ คือ

1. ดีซีมอเตอร์แบบอามาเจอร์เป็นแกนเหล็ก
2. ดีซีมอเตอร์แบบอามาเจอร์ที่มีขดลวดพันอยู่บนพื้นผิว
3. ดีซีมอเตอร์แบบอามาเจอร์เป็นขดลวดหมุน

นอกจากนี้ยังมีดีซีมอเตอร์ชนิดพิเศษอีกแบบหนึ่งคือ แบบไม่มีแปรงถ่าน (brushless dc motor) ซึ่งมีหลักการทางเทคโนโลยีเหมือนกับดีซีมอเตอร์ชนิดมีแปรงถ่านยกเว้น การคอมมิวเตชั่น การกระทำโดยเทคนิคทางอิเลคทรอนิคส์แทนที่จะกระทำโดยวิธีการทางกล

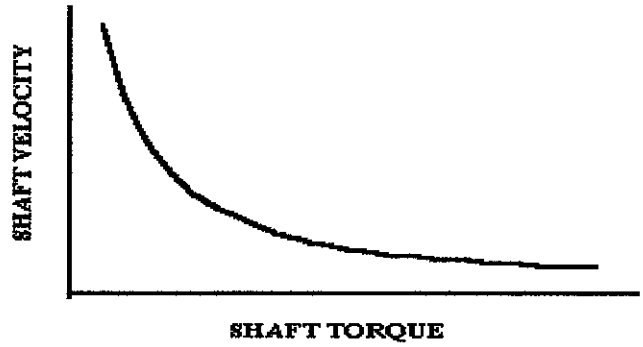
2.2.10 ดีซีมอเตอร์แบบปรับเส้นแรงแม่เหล็กได้

ดีซีมอเตอร์แบบปรับเส้นแรงแม่เหล็กได้ แบ่งออกได้เป็น 2 แบบคือ

ก.) แบบขดลวดสนามแม่เหล็กต่ออนุกรมกับขดลวดอามาเจอร์

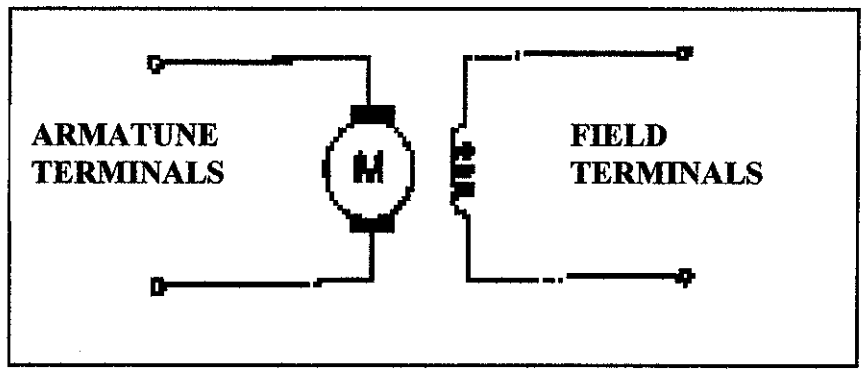
ข.) แบบขดลวดสนามแม่เหล็กกระตุ้น

มอเตอร์แบบนี้จะจะมีเส้นแรงแม่เหล็กเป็นสัดส่วนกับกระแสดังนั้นเส้นแรงของสนามแม่เหล็กจึงสามารปรับค่าได้ และเราจะได้ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วและแรงบิดเป็นนอนลิเนียร์ดังแสดงในรูป 2.8



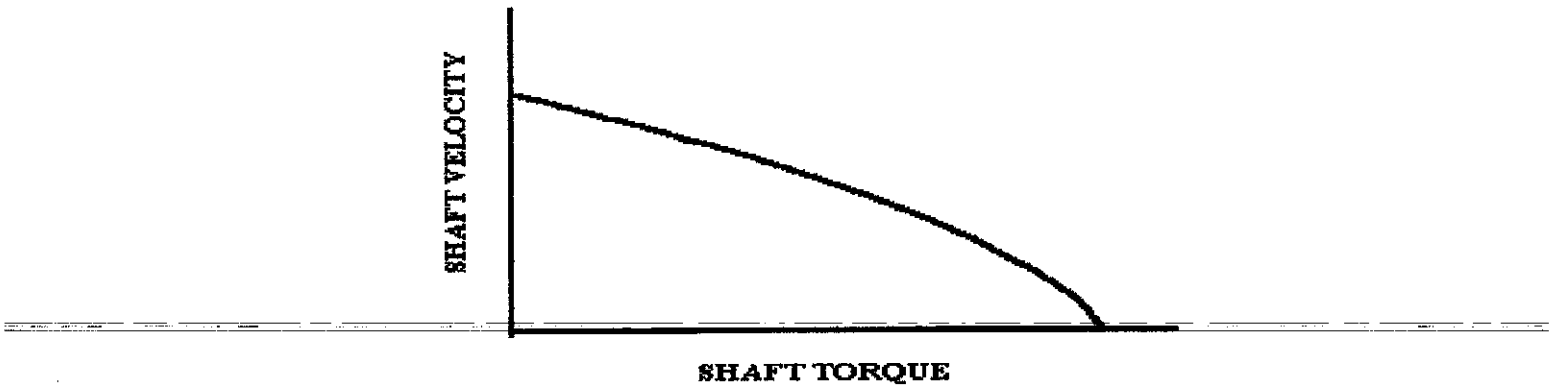
รูปที่ 2.8 คุณสมบัติระหว่างความเร็วและแรงบิดของดีซีมอเตอร์อนุกรมภายใต้สภาวะโวลท์เตจคงที่

มอเตอร์ดังกล่าวจะใช้งานในสภาวะเมื่อต้องการแรงบิดสูงที่ความเร็วต่ำ เช่นระบบการขับเคลื่อนของรถลาก ตัวอย่างของมอเตอร์แบบขดลวดสนามแม่เหล็กแยกกระตุ้น แสดงในรูป 2.9 ดีซีมอเตอร์แบบนี้มักนิยมเรียกกันว่ามอเตอร์ขนาน (shunt motor) มอเตอร์แบบนี้สามารถปรับเส้นแรงแม่เหล็กได้อย่างอิสระต่อกระแสของอามาเจอร์ ยังผลให้สามารถควบคุมพารามิเตอร์ของมอเตอร์ให้มีค่าคงที่ตลอดช่วงพิสัยที่กว้าง มอเตอร์นี้มักจะใช้งานในกรรีระบบบังคับการเคลื่อนที่ที่ต้องการแรงบิดสูง



รูปที่ 2.9 ดีซีมอเตอร์แยกปรับสนามแม่เหล็กได้

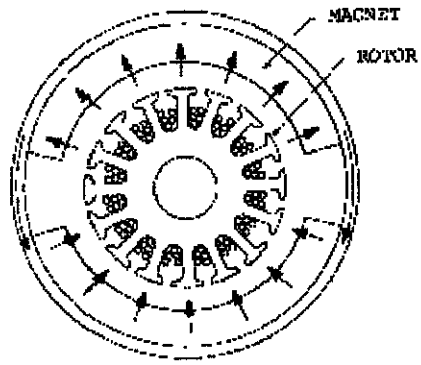
ในรูป 2.10 แสดงถึงคุณสมบัติระหว่างแรงบิดกับความเร็วของชันท์มอเตอร์ภายใต้สภาวะการกระตุ้นสนามแม่เหล็กและอามาเจอร์คงที่



รูปที่ 2.10 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงบิดกับความเร็วของชันท์มอเตอร์ ภายใต้สภาวะการกระตุ้นสนามแม่เหล็กและอามาเจอร์คงที่

2.2.11 ดีซีมอเตอร์แบบอามาเจอร์เป็นแกนเหล็ก

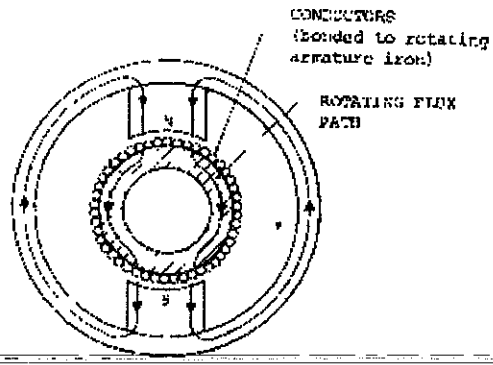
โครงสร้างของโรเตอร์และสเตเตอร์ของมอเตอร์แบบแกนเหล็กแสดงในรูปที่ 2.11 โครงสร้างของมอเตอร์แบบนี้มีโมเมนต์ของแรงเฉื่อยสูงที่สุดและมี่ค่าอินดักแตนซ์ของโรเตอร์สูงที่สุดด้วยดังนั้นมอเตอร์นี้จึงมีปริมาณการจุดความร้อนได้สูง และสามารถจะทนโอเวอร์โหลดได้ในระยะเวลาที่ยาวนานโดยไม่ทำให้มอเตอร์เสียหาย



รูปที่ 2.11 รูปหน้าตัดของดีซีมอเตอร์แบบอาร์มาเจอร์เป็นแกนเหล็กส่วนฟิลด์เป็นแม่เหล็ก

2.2.12 ดีซีมอเตอร์แบบอามาเจอร์มีขดลวดพันอยู่บนพื้นผิว

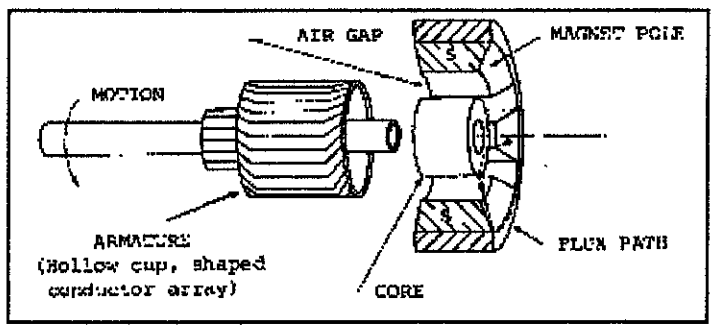
ในรูปที่ 2.12 แสดงถึงการออกแบบของโรเตอร์ที่มีขดลวดพันอยู่บนพื้นผิว โดยไม่มีสล็อททำให้ได้อินดักแตนซ์ของโรเตอร์ต่ำกว่าแบบแกนเหล็ก ข้อเสียคือ ทำให้ขนาดของมอเตอร์แบบนี้ใหญ่ขึ้นและราคาแพงกว่าแบบแกนเหล็กด้วย



รูปที่ 2.12 แสดงรูปหน้าตัดของดีซีมอเตอร์แบบมีขดลวดบนพื้นที่ผิวและฟิลด์เป็นแม่เหล็กถาวร

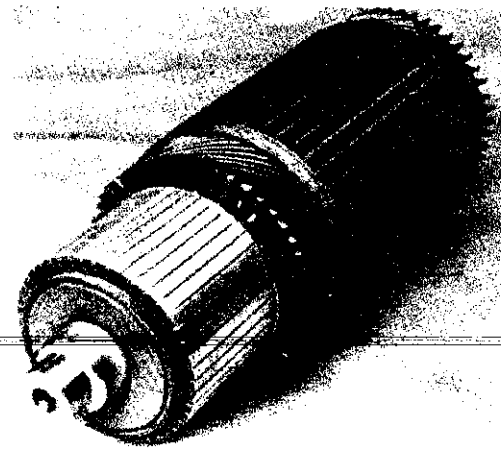
2.2.12 ดีซีมอเตอร์แบบอามาเจอร์แบบขดลวดหมุน

มอเตอร์แบบขดลวดหมุนนี้ได้รับการออกแบบเพื่อให้มีโมเมนต์ของแรงเฉื่อยน้อยมากดังแสดงในรูป 2.12 และรูปหน้าตัดซึ่งมองด้านข้างของมอเตอร์ดังกล่าวแสดงในรูป 2.13 นอกจากนั้นในรูป 2.14 และรูป 2.15 เป็นรูปถ่ายของอาร์มาเจอร์แบบเป็นขดลวดเคลื่อนที่ และรูปลักษณะโครงสร้างภายนอกและโครงสร้างของแม่เหล็กมอเตอร์แบบนี้มีช่องว่างอากาศ (air gap) ระหว่างแม่เหล็กมากกว่ามอเตอร์ทั้งสองแบบที่กล่าวมาแล้ว ดังนั้นจำเป็นต้องออกแบบโครงสร้างของแม่เหล็กให้ใหญ่ขึ้นเพื่อให้ได้ช่องว่างของอากาศระหว่างเส้นแรงแม่เหล็กที่เท่ากันของมอเตอร์ทั้งสองแบบดังกล่าว ดังนั้นราคาของมอเตอร์แบบนี้จึงมีราคาแพง นอกจากนั้นโครงสร้างของโรเตอร์มีประจุความร้อนต่ำมาก หากเกิดโอเวอร์โหลด

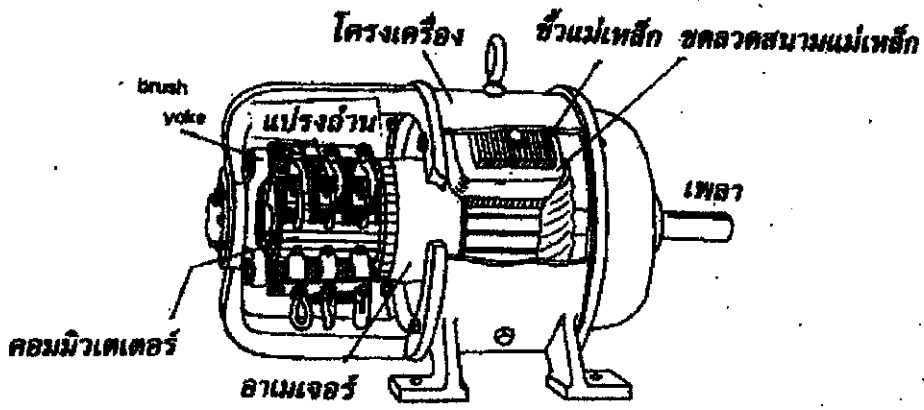


รูปที่ 2.13 รูปหน้าตัดซึ่งมองด้านข้างของดีซีมอเตอร์

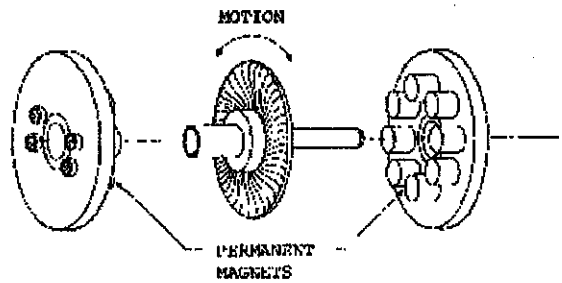
ทำให้มอเตอรเสียหายได้ง่ายและโรเตอร์ลักษณะนี้จะมีค่าอินดักแตนซ์ต่ำมากคือน้อยกว่า 10 ไมโครเฮนรี่ แบบมีโรเตอร์เป็นขดลวดเคลื่อนที่



รูปที่ 2.14 อาร์มาเจอร์เป็นขดลวดเคลื่อนที่ มีรูปร่างเ็นถ้วยตรงกระบอกและเพลาของอินพุททำด้วยเซรามิคอะลูมิเนียมเพื่อทำให้ทนต่อแรงดึงได้สูง

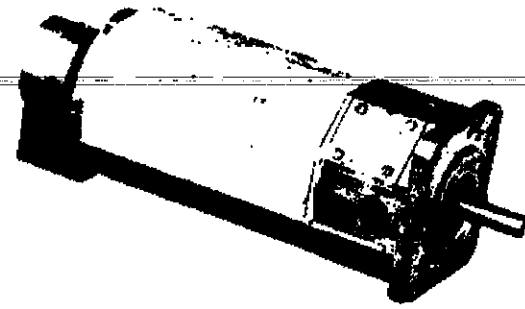


รูปที่ 2.15 รูปร่างและโครงสร้างแม่เหล็กของมอเตอร์แบบขดลวดเคลื่อนที่



รูปที่ 2.16 ดีซีมอเตอร์แบบโรเตอร์เป็นขดลวดหมุนแบบรูปร่างเป็นจาน

ในรูปที่ 2.16 แสดงถึงขอลวดเคลื่อนที่ลักษณะหนึ่งซึ่งมีโครงสร้างของอามาเจอร์ เป็นรูปร่างของจานซึ่งทำขึ้นจากขดลวดตัวนำซ้อนกันหลายๆ ชั้น ซึ่งเรามักจะเรียกว่า "Printed Motor" ตัวอย่างดังรูปที่ 2.17



รูปที่ 2.17 ดีซีมอเตอร์แบบโรเตอร์เป็นขดลวดชนิดที่ใช้ในงานอุตสาหกรรม

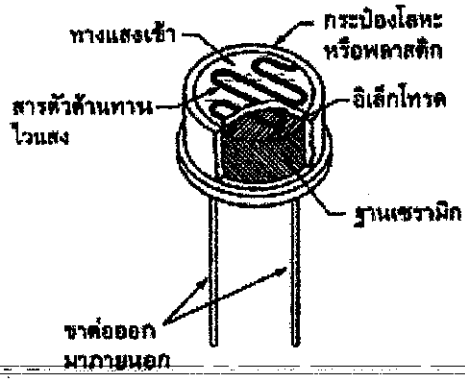
จากรูป 2.10 เป็นมอเตอร์ขนาด 7 แรงม้า ซึ่งสามารถประยุกต์ใช้ได้แรงบิดสูงถึง 100 ft-lb และพัลซ์กระแสได้ถึง 800 แอมป์ ซึ่งในปัจจุบันนำมาใช้มาก เนื่องจากสามารถควบคุมตำแหน่งและให้อัตราส่วนระหว่างแรงบิดและแรงเฉื่อยได้สูง อีกทั้งมีค่าอินดักแตนซ์ต่ำที่สุดเมื่อเทียบกับมอเตอร์แบบอื่นๆ นอกจากนั้นความสามารถในการเพิ่มอัตราเร่งยังกระทำให้สูง 10^6 เรเดียน / วินาที^{2}

2.3 LDR ตัวต้านทานไวแสง [4]

ในอุปกรณ์อิเลกทรอนิกส์ประเภทไวต่อแสง หรือ เปลี่ยนแปลงการทำงานตามปริมาณของแสง มีอยู่หลายอย่าง เช่น LDR (Light Dependent Resistor) โฟโตโวลตาอิกเซล (Photovoltaic cell) ซึ่งจ่ายแรงดันออกมาได้เมื่อได้รับแสง โฟโต้ไดโอด (Photodiode) โฟโต้ทรานซิสเตอร์ (Phototransistor) จนถึงเอสซีอาร์ ที่ทำงานด้วยแสง (LASCR - Light Activated Sillicon Controlled Rectifier) ซึ่งใช้หลักการของสารกึ่งตัวนำทั้งนั้นอุปกรณ์ ประเภทนี้มีโครงสร้างและลักษณะการทำงานง่ายที่สุดได้แก่ LDR เพราะไม่ได้ใช้หลักการของรอยต่อ พี - เอ็น เหมือนกันแบบอื่นๆ โดยจะอธิบายในหัวข้อต่อไป

2.3.1 โครงสร้าง

ตัว LDR หรือตัวต้านทานไวแสง (LSR-light sensitive resistor) ส่วนใหญ่ทำด้วยสารแคดเมียมซัลไฟด์ (CdS) หรือแคดเมียมซีนิไนด์ (CdSe) ซึ่งทั้งสองตัวเป็นสารประเภทกึ่งตัวนำ นำมาฉาบลงบนแผ่นเซรามิกที่ใช้เป็นฐานรองแล้วต่อขาจากสารที่ฉาบ ไว้ออกมา

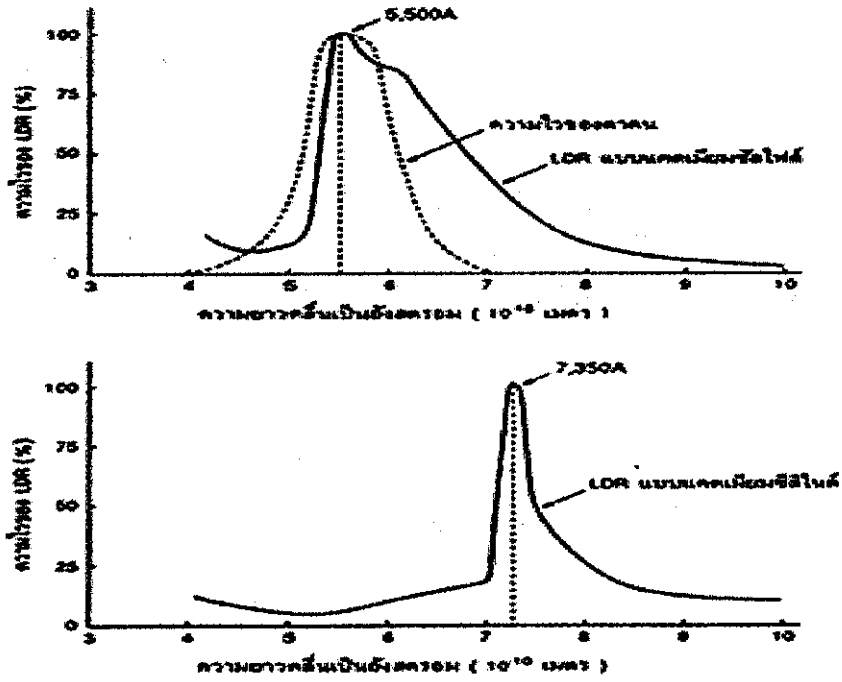


รูปที่ 2.18 โครงสร้าง LDR

รูปร่างดังรูปที่ 2.18 ส่วนที่ขดเป็นแนวเล็กๆ สีดำ ทำหน้าที่เป็นตัวต้านทานไวแสงและแนวสีดำจะแบ่งพื้นที่ออกเป็น 2 ข้าง ของจริงจะเห็นเป็นสีทอง ซึ่งเป็นตัวนำไฟฟ้าที่ทำหน้าที่สัมผัสกับตัวต้านทานไวแสง เพื่อสำหรับต่อขาออกมาภายนอกหรือเรียกว่าอิเล็กโทรด ฐานเป็นเซรามิกและอุปกรณ์สำหรับห่อหุ้ม มีอยู่หลายแบบ

2.3.2 สมบัติทางแสง

การทำงานของ LDR มีหลักการคือ สารกึ่งตัวนำเมื่อเวลามีแสงตกกระทบ ก็จะถ่ายเทพลังงานให้กับสารที่ฉาบอยู่ ทำให้เกิดโฮลกับอิเล็กตรอนวิ่งชนกัน การที่มีโฮลกับอิเล็กตรอนอิสระมากก็จะทำให้ความต้านทานของ LDR ลดลง ยิ่งความเข้มของแสงที่ตกกระทบมาก ความต้านทานก็ยิ่งลดลง

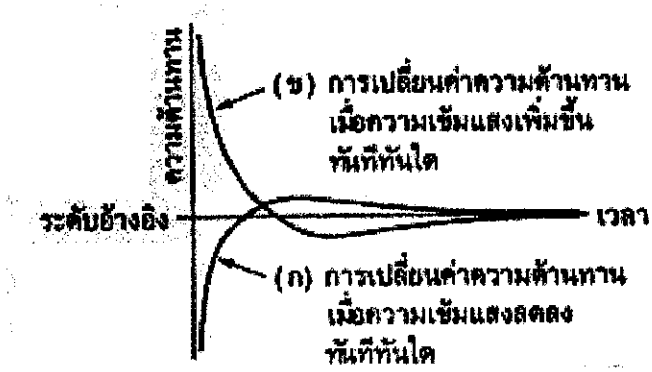


รูปที่ 2.19 แสดงความไวต่อแสงความถี่ต่าง ๆ ของ LDR ทั้ง 2 แบบ เมื่อเทียบกับความไวของตาคน

ในส่วนที่แสงตกกระทบนั้นเป็นแสงช่วงความยาวคลื่นประมาณ 4,000 อังสตรอม (1 อังสตรอม เท่ากับ 10^{-10} เมตร) ถึงประมาณ 10,000 อังสตรอมเท่านั้น (สายตาคนจะเห็นได้ ในช่วงประมาณ 4,000 อังสตรอม ถึง 7,000 อังสตรอม) ซึ่งคิดแล้วก็เป็นช่วงคลื่นเพียงแคบ ๆ เมื่อเทียบกับการทำงานของอุปกรณ์ไวแสงประเภทอื่น ๆ แต่ถึงอย่างไรแสงในช่วงคลื่นนี้ มีอยู่ในแสงอาทิตย์แสงจากหลอดไฟแบบไส้และแสงจากหลอดฟลูออเรสเซนต์ด้วยหรือถ้าคิดความยาวคลื่น ที่ LDR จะตอบสนองไวที่สุดแล้วมีอยู่หลายความยาวคลื่น โดยทั่วไป LDR ที่ทำจากแคดเมียมซัลไฟด์จะไวต่อแสงที่มีความยาวคลื่นในช่วง 5,000 กว่า อังสตรอม ซึ่งจะเห็นเป็นสีเขียวไปจนถึงสีเหลืองสำหรับบางตัว ความยาวคลื่นที่ไวที่สุดของมันใกล้เคียงกับความยาวคลื่นที่ไวที่สุดของตาคนมาก (ตาคนไวต่อความยาวคลื่น ประมาณ 5,550 อังสตรอม) จึงมักจะใช้ทำเป็นเครื่องวัดแสงในกล้องถ่ายรูป ถ้า LDR ทำจากแคดเมียมซีลิไนด์จะไวต่อความยาวคลื่นในช่วงประมาณ 7,000 อังสตรอม ซึ่งอยู่ในช่วงอินฟราเรด

2.3.3 ผลตอบสนองทางไฟฟ้า

อัตราส่วนระหว่างความต้านทานของ LDR ในขณะที่ไม่มีแสงกับขณะที่มีแสงอาจจะเป็นได้ตั้งแต่ 100 เท่า 1,000 เท่า หรือ 10,000 เท่า แล้วแต่รุ่น โดยทั่วไปค่าความต้านทานในขณะที่ไม่มีแสงจะอยู่ในช่วง ประมาณ 0.5 MW ขึ้นไป ในที่มืดสนิทอาจมีค่ามากกว่า 2 MW และในขณะที่มีแสงจะมีค่าประมาณ 10 - 20kW ถ้าต่ำกว่านี้อาจจะเหลือเพียงไม่กี่โอห์มหรือไม่ถึงโอห์มก็ได้ ทนแรงดันสูงสุดได้ไม่ต่ำกว่า 100 V และ กำลังสูญเสีย อย่างต่ำประมาณ 50 mW



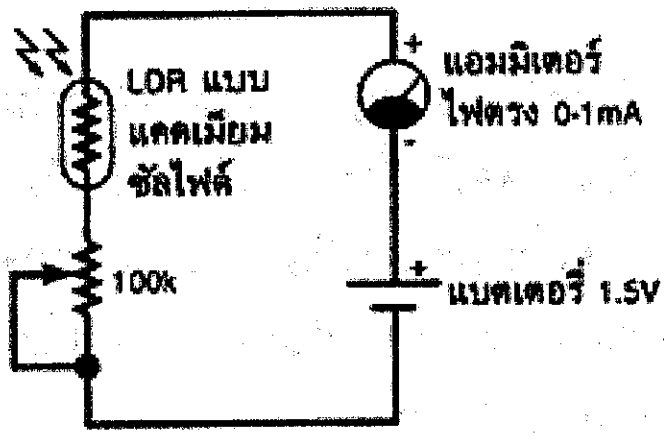
รูปที่ 2.20 ผลของการเปลี่ยนความเข้มแสงในทันทีทันใดกับ LDR

นอกเหนือจากลักษณะสมบัติต่างๆ เหล่านี้แล้วยังมีอีกอย่างหนึ่งที่สำคัญ คือ ปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นจากความ เข้มแสดง เปลี่ยนแปลงอย่างฉับพลัน ซึ่งจะดูตัวอย่างได้ในรูปที่ 2.20 ถ้า LDR ได้รับแสงที่มีความเข้มสูงดังเส้น (ก) ความต้านทานจะมีค่า ต่ำ และ ในทันทีที่ความเข้มของแสงถูกลดลงหลือเพียงระดับอ้างอิง ความต้านทานก็จะค่อยๆ เพิ่มขึ้นไปจนถึงค่าความต้านทาน ที่มันควรจะเป็นในระดับอ้างอิง แต่แทนที่มันจะไปหยุดอยู่ระดับอ้างอิง มันกลับ เพิ่มเลยขึ้นไปอีกแล้วจึงจะลดลงมาอยู่ในระดับ อ้างอิง เหมือนกับว่าเบรกมันไม่ค่อยดีและในทำนองเดียวกันถ้าเก็บมันไว้ในที่ความเข้มแสงน้อยๆ แล้ว

เปลี่ยนความเข้มเป็นระดับอ้างอิงทันที ดังในรูป (ข) ความต้านทานก็จะลดเลยต่ำลงมาจากระดับอ้างอิงแล้วจึงขึ้นไปใหม่ ยิ่งความเข้มของแสงเท่ากัน LDR แบบแคดเมียมซีนิไนด์ จะใช้เวลา ในการเข้าสู่สภาวะที่มันควรจะเป็นน้อยกว่า แบบ แคดเมียมซัลไฟต์ แต่ก็จะวิ่งเลยไปไกลกว่าด้วย และ อีกอย่างหนึ่ง ความเร็วในการเปลี่ยนระดับความต้านทานจากค่าหนึ่งไปอีกค่าหนึ่งช้ามาก ซึ่งจะอยู่ในช่วงของมิลลิวินาทีหรือ บางทีก็เป็นวินาที จึงทำให้ LDR ใช้ได้ กับงานความถี่ต่ำๆ เท่านั้น

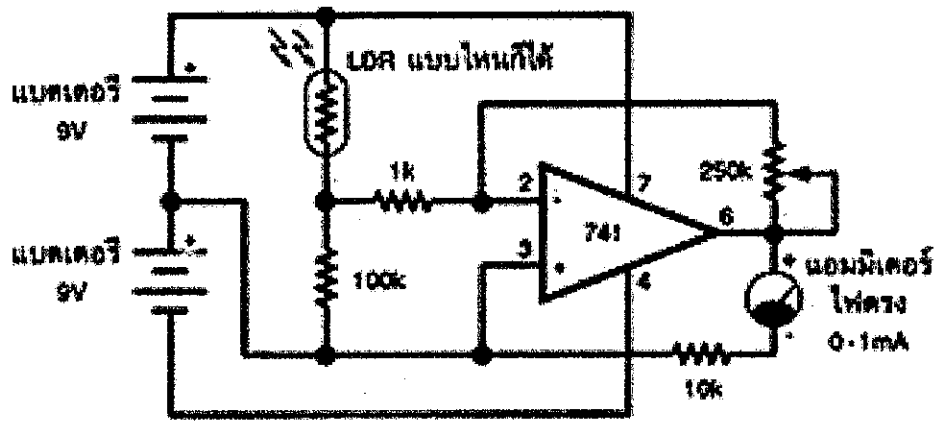
2.3.4 ทำเป็นเครื่องวัดแสง

ในรูปที่ 2.21 เป็นวงจรเครื่องวัดแสงแบบง่ายจริงๆ LDR ที่ใช้ก็ควรจะมีอัตราส่วนของค่าความต้านทานระหว่างไม่มีแสงกับมีแสงมากๆ หน่อย เวลาใช้ต้องระวังอย่าให้เข็มมิเตอร์ตีเกินสเกล



รูปที่ 2.21 เครื่องวัดแสงแบบง่ายที่สุด

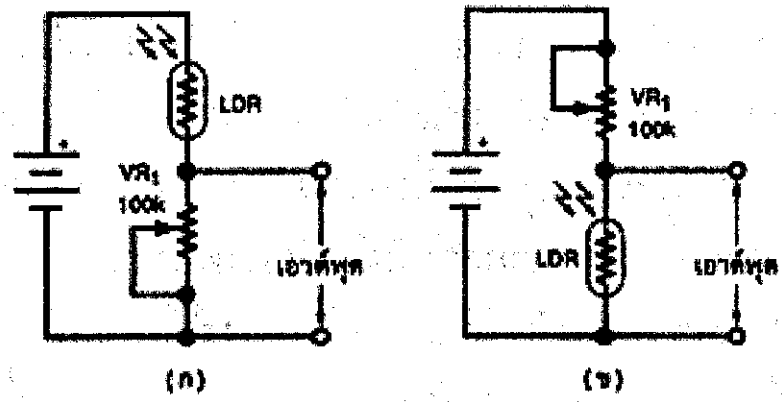
อีกวงจรหนึ่งในรูปที่ 2.22 เป็นวงจรที่ดัดแปลงให้ดีขึ้นแล้วโดยเอาออปแอมป์เบอร์ 741 เข้ามาช่วยทำให้ไวขึ้นมาก หรือใช้ดิจิตอลมัลติมิเตอร์มาต่อแทนแบบเข็มก็ได้ แต่ต้องระวังแสงจาก LED จะไปกวนการทำงานของ LDR



รูปที่ 2.22 วงจรเครื่องวัดแสงที่ปรับปรุงขึ้นแล้ว

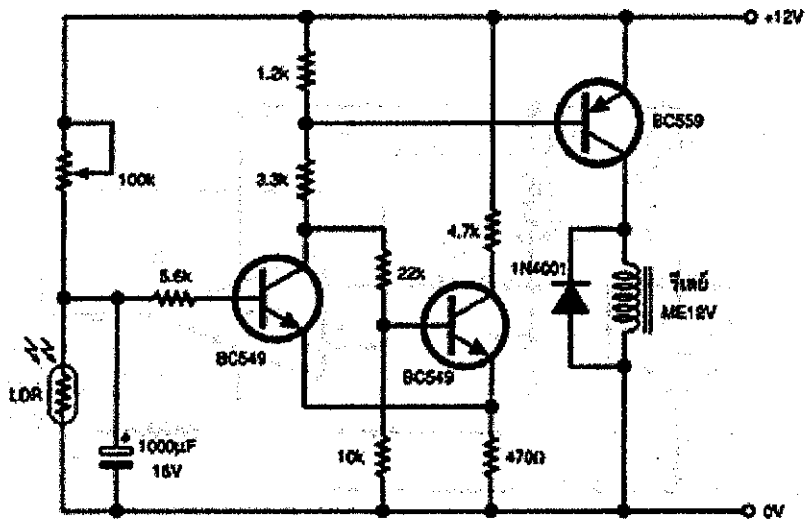
2.3.6 สวิตซ์ทำงานด้วยแสง

การใช้ LDR ทำงานในวงจรปิดเปิดสวิตซ์จะใช้เพียง 2 อย่างเท่านั้น คือ มีแสงหรือไม่มีแสง โดยทั่วไปจะใช้วิธีเอามาอนุกรมกับตัวต้านทานตัวหนึ่ง แล้วต่อเป็นวงจรแบ่งแรงดันดังรูปที่ 2.23(ก) จะทำงานดังนี้ คือ ถ้ามีแสงสว่าง LDR จะมีความต้านทานต่ำทำให้แรงดันส่วนใหญ่มาตกคร่อม R1 หมด แรงดันเอาต์พุตจึงสูงเกือบเท่าแรงดันไฟเลี้ยงและถ้าไม่มีแสง LDR จะมีความต้านทานสูงแรงดันส่วนใหญ่จะไปตกที่ LDR แรงดันเอาต์พุตจึงเกือบเป็น 0 โวลต์



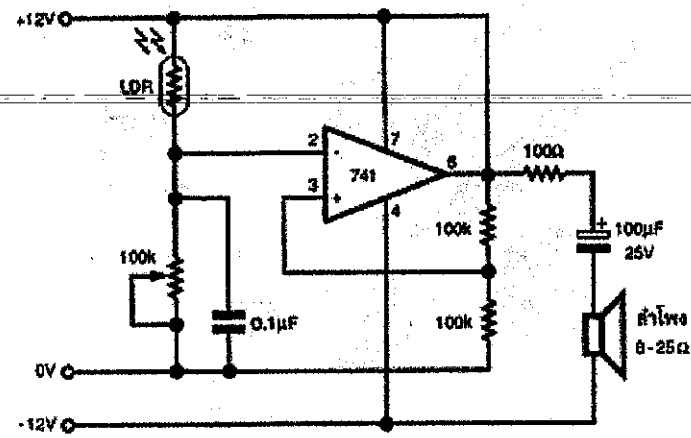
รูปที่ 2.23 หลักการใช้ LDR ในวงจรปิดเปิดสวิตซ์

ในรูปที่ 2.23(ข) วงจรจะทำงาน ในทางตรงข้าม เพียงแต่สลับที่ระหว่าง LDR กับ R1 เวลามีแสงสว่าง เอาต์พุตก็จะเกือบ เป็น 0 โวลต์ เวลาไม่มีแสงสว่างเอาต์พุตก็เกือบเท่าแรงดันไฟเลี้ยงจะเห็นได้ว่ากลับกับกรณีแรก



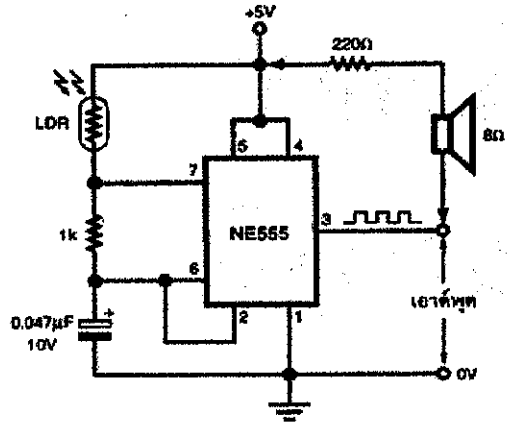
รูปที่ 2.24 ตัวอย่างวงจรควบคุมสวิตซ์โดยรีเลย์จะทำงานเมื่อไม่มีแสงสว่าง

ทั้ง 2 กรณี จะมีวงจรที่ต่อออกไปสำหรับจับสัญญาณว่ามีแสงสว่างหรือไม่ แล้วนำไปควบคุมสวิตช์ให้ทำงานในกรณีที่ต้องการ ในรูปที่ 2.24 เป็นตัวอย่างวงจรซึ่งรีเลย์จะทำงานเมื่อไม่มีแสงสว่าง ซึ่งถ้าเราไม่ต้องการแบบนี้และอยากให้รีเลย์ทำงาน เมื่อมีแสงสว่างก็เพียงแต่สลับที่ระหว่าง LDR กับความต้านทานปรับค่าได้ 100 kW เท่านั้น



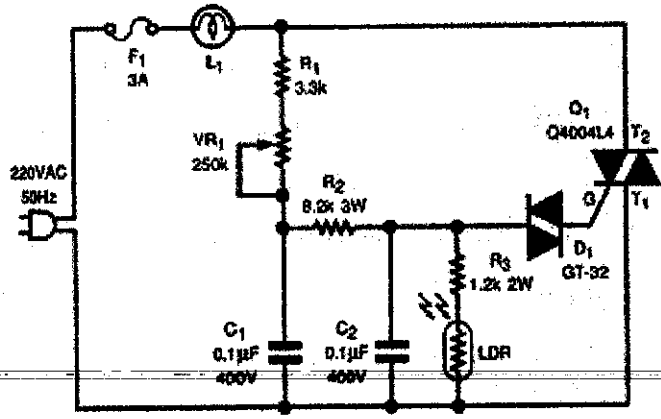
รูปที่ 2.25 วงจรเตือนภัยเป็นเสียงเมื่อมีแสงสว่างกระทบ LDR

ในรูปที่ 2.25 ก็เป็น ตัวอย่างวงจรอีกอันหนึ่งทำงานเมื่อมีแสงสว่าง ตัวอย่างอื่นๆ ก็ได้แก่ วงจรจับควันไฟ วงจรกะพริบ เพื่อความปลอดภัยเมื่อมีรถยนต์แล่นผ่านมา ซึ่งโดยหลักการแล้วไม่ยาก คงจะนำไปดัดแปลงใช้กันได้ใช้ LDR ตลอดช่วง



รูปที่ 2.26 ตัวอย่างวงจรเปลี่ยนสัญญาณแสงเป็นสัญญาณ

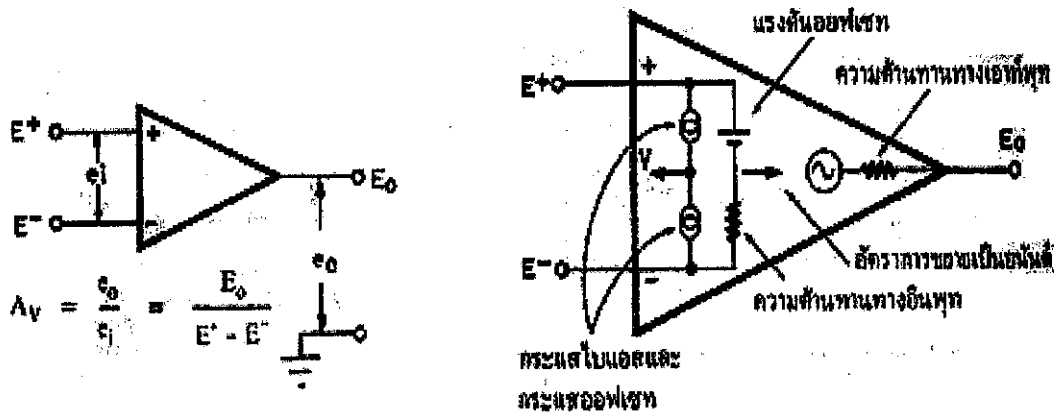
นอกจากวงจรเครื่องวัดแสง การประยุกต์ LDR ให้ใช้งานแบบทุกช่วงการเปลี่ยนแปลงแล้ว ยังดัดแปลงไปใช้ในวงจรอื่นๆ อีก เช่น วงจรแปลงสัญญาณอะนาลอก เป็นสัญญาณดิจิตอล เพื่อเชื่อมต่อส่วนที่เป็นวงจรอะนาล็อก ให้ส่งสัญญาณผ่านเข้าไปทำงานในวงจร



รูปที่ 2.27 วงจรเปิด-หรี่-ปิดไฟ

ดิจิตอลได้ ดังเช่น รูปที่ 2.26 เป็นวงจรแปลงระดับความเข้มแสง ซึ่งเป็นสัญญาณ แอนาล็อกให้ออกมาเป็นจำนวนลูกคลื่นสี่เหลี่ยม ยิ่งความเข้มแสงมากเท่าไหร่ จำนวนลูกคลื่น สี่เหลี่ยมก็จะยิ่งออกมามากเท่านั้น วงจรนี้ใช้ไอซี 555 ความถี่ของคลื่นที่ออกมาจะได้ประมาณ 22 kHz ถ้าเอาไปรับแสงใกล้ๆ หลอดไฟขนาด 60 วัตต์ แต่จะเหลือเพียงประมาณ 1 Hz ในที่มืด ถ้านำลำโพงอนุกรมกับตัวต้านทาน 220W ไปต่อเข้ากับขาที่ 3 และไฟบวกก็จะได้ยินเสียง สูงๆต่ำๆ ตามความเข้มของแสงและตัวอย่างอีกอันหนึ่งจะเห็นได้ในรูปที่ 2.27 เป็นวงจรเปิดหรี่และปิดไฟ ซึ่งจะควบคุมให้หลอดไฟสว่างขึ้นในขณะ ที่แสงสว่างของสภาพแวดล้อมลดลง

2.4 ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับออปแอมป์ [4]



ก. แสดงอัตราการขยายของออปแอมป์ ข. วงจรสมมูลย์ของออปแอมป์

รูปที่ 2.28 แสดงการทำงานและวงจรสมมูลย์ของออปแอมป์

ออปแอมป์มีสัญลักษณ์และสัญญาณเข้าออก ตามที่แสดงในรูปที่ 2.28 ความสัมพันธ์ของสัญญาณเข้าและออก แสดงด้วยสูตรง่าย ๆ คือ

$$E_0 = A_V(E^+ - E^-) \qquad (2.6)$$

Av เป็นอัตราการขยายแรงดันซึ่งมีค่าสูงมาก จึงเป็นคุณสมบัติที่พิเศษสุดของออปแอมป์ ออปแอมป์แบบอุดมคติ จะมีคุณสมบัติตามเงื่อนไขดังนี้

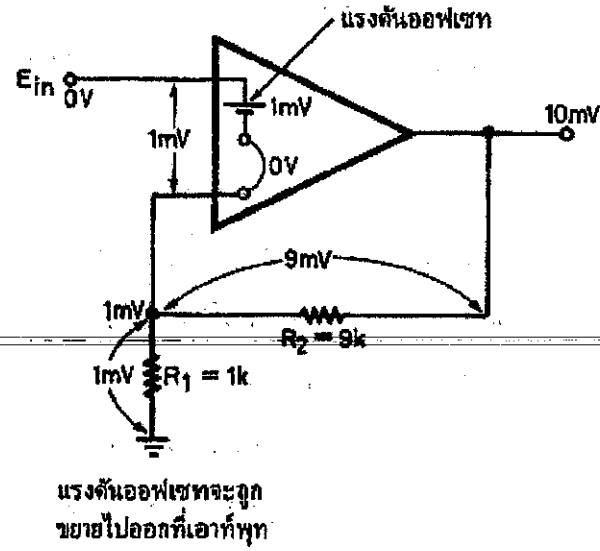
1. อัตราการขยายแรงดัน สูงมากจนเป็นอนันต์
2. ความต้านทานทางอินพุต สูงมากจนเป็นอนันต์
3. ความต้านทานทางเอาท์พุท ต่ำมากจนเป็นศูนย์
4. แรงดันออฟเซททางอินพุทเป็นศูนย์
5. กระแสออฟเซททางอินพุทเป็นศูนย์
6. ลักษณะสมบัติเชิงความถี่ ขยายได้ดีตั้งแต่ไฟตรง จนความถี่สูงมากเป็นอนันต์
7. ไม่มีข้อบกพร่องอื่น ๆ

แต่ในความเป็นจริงแล้ว ออปแอมป์ก็ไม่ได้มีคุณสมบัติอย่างในอุดมคติเลยทีเดียว แต่อย่างไรก็ตาม เพื่อความสะดวกในการทำความเข้าใจ สำหรับผู้เริ่มต้นในช่วงแรกให้ถือว่าออปแอมป์ที่ใช้ศึกษากันต่อไปนี้มีคุณสมบัติใกล้เคียงกับอุดมคติมาก

การใช้ออปแอมป์ที่เป็นอุดมคติในการออกแบบวงจรนั้น เป็นวิธีการที่นิยมใช้กันมาก หลังจากออกแบบเสร็จแล้ว จึงค่อยมาพิจารณาเงื่อนไข หรือคุณสมบัติต่าง ๆ ที่ไม่เป็นอุดมคติ แล้วค่อยแก้ไขและปรับปรุงวงจรให้ดีขึ้นอีกทีหนึ่ง

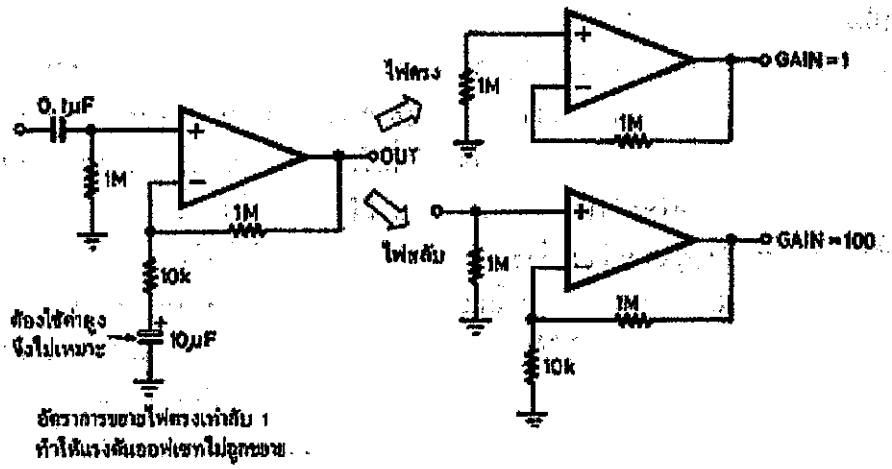
2.4.1 แรงดันออฟเซททางอินพุท

แรงดันออฟเซททางอินพุทเป็นเรื่องสำคัญมากเรื่องหนึ่ง เมื่อเราศึกษาเรื่องออปแอมป์ แรงดันออปเซททางอินพุทหมายถึง แรงดันขนาดเล็กที่ปรากฏระหว่างอินพุทบวกลบ ของออปแอมป์ในขณะที่แรงดันอินพุทเป็นศูนย์ ลองดูรูปที่ 2.29 ประกอบ



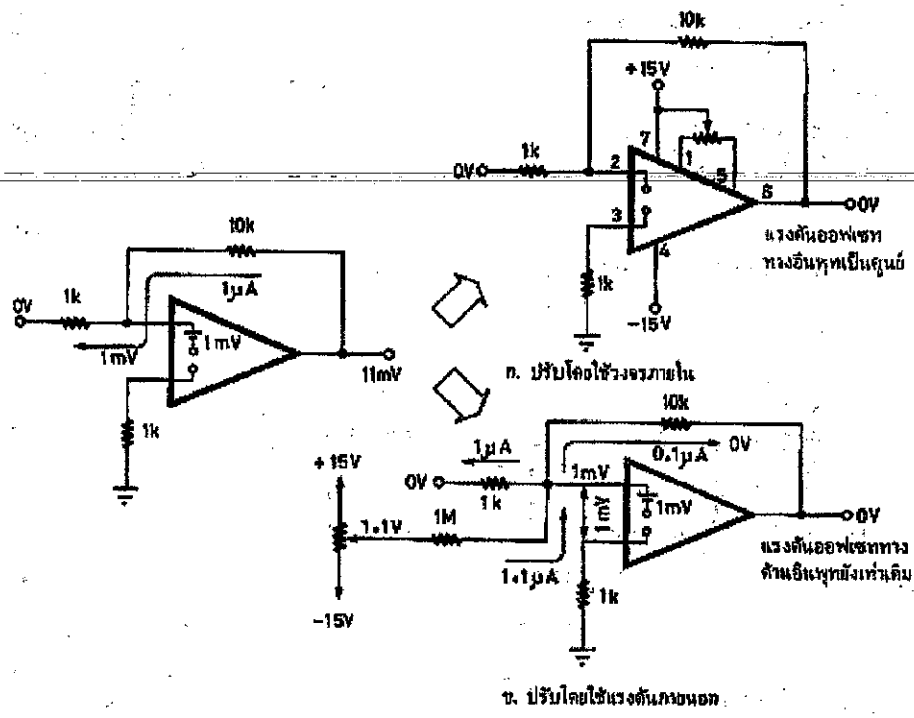
รูปที่ 2.29 แรงดันออฟเซ็ทเปลี่ยนจาก 1 มิลลิโวลต์ เป็น 10 มิลลิโวลต์ ที่เอาท์พุทเมื่อออปแอมป์มีอัตราการขยาย 10 เท่า

สำหรับวงจรที่ไม่ต้องการขยายแรงดันไฟตรง มักพยายามกำจัดผลของแรงดันออฟเซทนี้ ไม่ให้ไปปรากฏที่เอาท์พุท อย่างเช่น วิธีการในรูปที่ 2.30 ซึ่งเป็นวงจรขยายแรงดัน ไฟสลับด้วยออปแอมป์สังเกตจากรูปทางซ้าย มีตัวเก็บประจุต่ออยู่ ซึ่งคุณสมบัติของตัวเก็บประจุคือจะกันไฟตรงเอาไว้ และยอมให้ผ่านเฉพาะไฟสลับ ดังนั้นเมื่อมีแรงดันไฟตรงป้อนกลับมาที่อินพุทลบ ตัวเก็บประจุจะทำให้สัญญาณไฟตรงทั้งหมดไหลผ่านเข้าอินพุทลบหักล้างกับแรงดันไฟตรง ที่จะออกทางเอาท์พุทได้อัตราการขยายเท่ากับ 1



รูปที่ 2.30 การกำจัดแรงดันออฟเซ็ทโดยการให้ขยายเฉพาะแรงดันที่เป็นไฟสลับ

เมื่อมีสัญญาณไฟสลับผ่านเข้ามาจากเอาท์พุท มันจะเลือกไหลผ่านตัวเก็บประจุลงดินไป เสมือนกับว่าตัวต้านทานค่า 10 กิโลโอห์ม ในวงจรถูกต่อลงดินกลายเป็นรูปทางขวามือล่าง เมื่อคำนวณอัตราการขยายจากค่าของอุปกรณ์แล้วได้เท่ากับ 100 เท่า

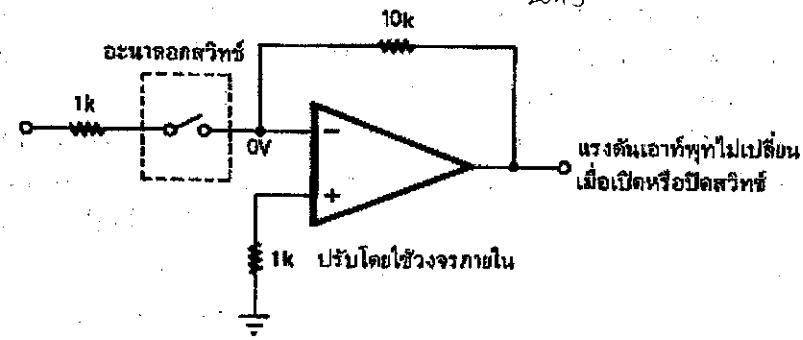


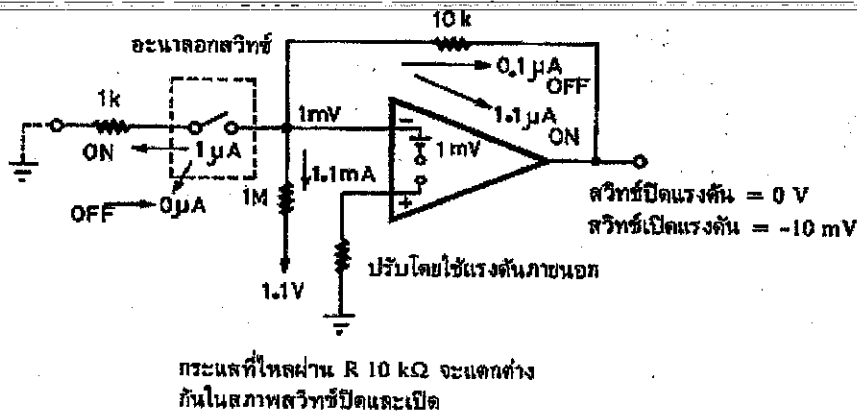
รูปที่ 2.31 แสดงวิธีการปรับแรงดันออฟเซ็ท

การปรับเพื่อลดขนาดแรงดันออฟเซทที่อินพุทสามารถทำได้ 2 วิธีคือ ใช้วงจรภายในของออปแอมป์เอง โดยต่ออุปกรณ์ปรับเข้ากับขาของออปแอมป์และอีกวิธีหนึ่งคือ ป้อนแรงดันจากภายนอกเข้าไปลบล้างผลของแรงดันออฟเซทนี้การป้อนแรงดันจากภายนอกแม้จะลดผลของออฟเซท ไม่ให้ไปปรากฏที่เอาท์พุทได้จริง แต่อย่าลืมว่า แรงดันออฟเซททางอินพุทของออปแอมป์ ก็ยังไม่ได้หายไปไหน ดูรูปที่ 2.31 ประกอบ

ซึ่งเรื่องนี้อาจจะเป็นปัญหาได้เมื่อวงจรออปแอมป์ซับซ้อนขึ้น หรือในวงจรที่ใช้อะนาลอกสวิทช์ (Analoqueswitch) อะนาลอกสวิทช์เป็นสวิทช์อิเลคทรอนิคส์ ชนิดหนึ่งมีการทำงานคล้ายคลึงกับรีเลย์ เพียงแต่ไม่มีหน้าสัมผัสเชิงกลแบบรีเลย์ ใช้ในการเปิดปิดสัญญาณไฟฟ้าภายในมักจะทำด้วยทรานซิสเตอร์หรือเฟ็ท อะนาลอกสวิทช์ที่มีขายตามท้องตลาดในปัจจุบัน มักจะเป็นชนิดที่ทำจากเฟ็ท ทั้งนั้น

TK
2960
.A392 W
2545
4640103
13 มี.ค. 2546
สำนักหอสมุด





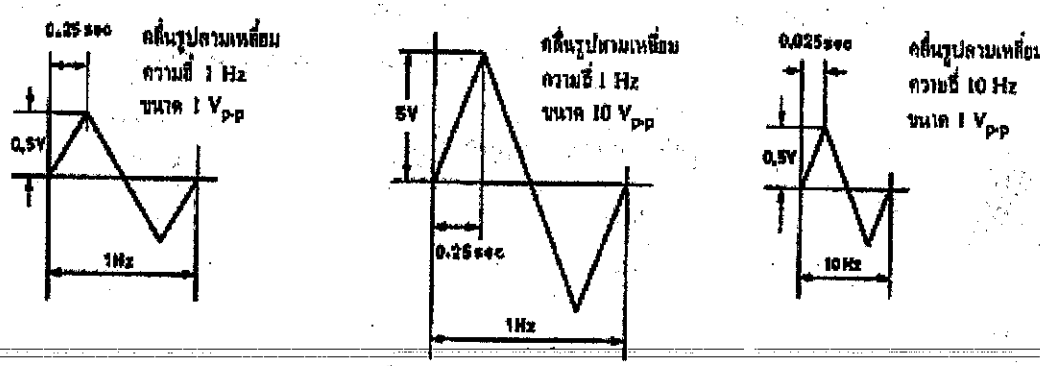
รูปที่ 2.32 แสดงการใช้อนาลอกสวิทช์เพื่อเปิดปิดวงจรทางอินพุท

ดูตัวอย่างในรูปที่ 2.32 จะเห็นว่าการปรับออฟเซทโดยใช้แรงดันภายนอกจะทำให้เอาท์พุท มีแรงดันแตกต่างกันเมื่อสวิทช์อยู่ในสภาพเปิดหรือปิด

2.4.2 ลักษณะสมบัติเชิงความถี่

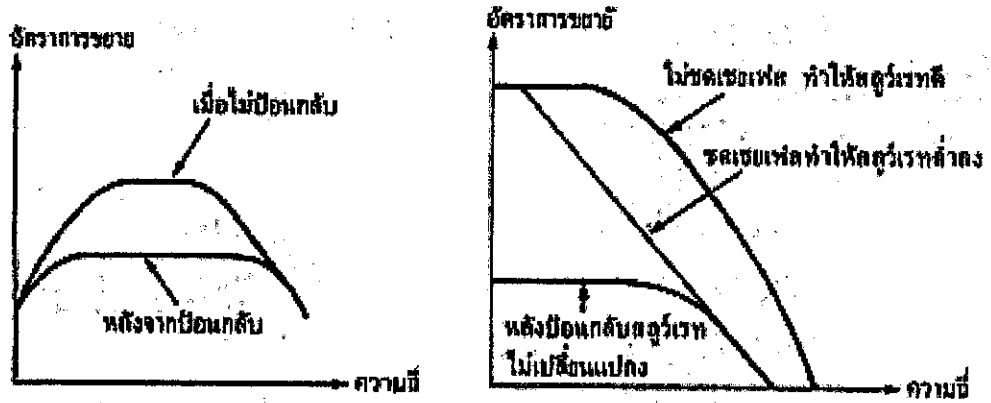
คุณสมบัติข้อนี้เรียกว่าเป็นตัวกำหนดความสามารถของออปแอมป์ทีเดียว ออปแอมป์จะดีไม่ดีก็มักดูกันที่ลักษณะเชิงความถี่นี้แต่มีคุณสมบัติอีกข้อหนึ่งที่มักจะดูควบคู่กันไปคือ สบูว์เรท (Slew rate) สลูว์เรท หมายถึง ความสามารถในการให้เอาท์พุท เพื่อไล่ให้ทันการเปลี่ยนแปลงทางอินพุท ที่ป้อนเข้ามา ถ้าป้อนแรงดันรูปคลื่นสี่เหลี่ยมซึ่งมีแอมปลิจูดใหญ่ให้กับออปแอมป์ แล้ววัดดูความเร็วในการขึ้นลงของรูปคลื่นทางเอาท์พุทจะได้เป็นค่าสลูว์เรทออกมา

ตัวอย่างที่ 2.1 เอาท์พุทให้แรงดันที่เปลี่ยนแปลงไป 10 V ในเวลา 0.1 ms แสดงว่ามีสลูว์เรท เท่ากับ 10 / 0.1 µs = 100 V / µs คลื่นสามเหลี่ยมความถี่ 1 Hz ขนาด 1 Vpp มีสลูว์เรทเท่ากับ 0.5 V / 0.25 µs หรือ 2 V/s แต่ถ้าขนาดเพิ่มเป็น 10 Vpp ค่าสลูว์เรทจะเป็น 5 V / 0.25 s หรือ 20 V / s นั่นเอง ซึ่งจะเพิ่มขึ้นถึง 10 เท่าตัว อัตราการเปลี่ยนแรงดันนี้เราเรียกว่า สลูว์เรท



รูปที่ 2.33 รูปคลื่นที่เหมือนกัน ความถี่เท่ากันแต่ขนาดต่างกัน สลูว์เรทจะไม่เท่ากัน

จากรูปที่ 2.33 การเพิ่มความถี่หรือเพิ่มขนาดสัญญาณ ให้ออปแอมป์ จะเป็นปัญหาทางด้านสลูว์เรททั้งสิ้น การป้อนกลับจะทำให้ผลตอบสนองความถี่ของวงจรขยายดีขึ้นจริง แต่จะไม่ทำให้สลูว์เรทสูงขึ้นเลย แนวความคิดของการใช้วงจรป้อนกลับในสมัยก่อนนั้น มีจุดมุ่งหมายเพื่อปรับปรุงผลตอบสนองทางความถี่ให้ดีขึ้น ตามรูปที่ 2.34 แต่การใช้งานออปแอมป์ในปัจจุบัน มักจะไม่คำนึงถึงผลตอบสนองความถี่มากนักบางครั้งเพื่อให้ได้อัตราขยายของระบบสูงขึ้น อาจจะต้องทำให้ผลตอบสนองความถี่เลวลง โดยพยายามไม่ให้เกิดการออสซิลเลทเกิดขึ้นได้ง่าย

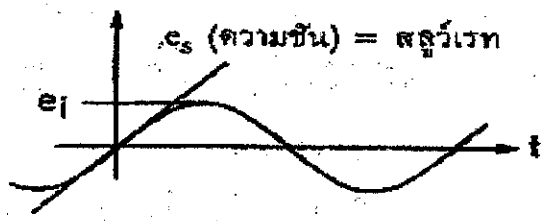


ก. แสดงการป้อนกลับเพื่อปรับปรุงผลตอบสนองทางความถี่

ข. การเพิ่มอัตราการขยายโดยออมให้ผลตอบสนองทางความถี่เลวลง

รูปที่ 2.34 ผลของการป้อนกลับ

ปัญหาที่เกี่ยวข้องกับสลูว์เรท คือการที่จะให้รูปคลื่นที่สมบูรณ์มีขนาดใหญ่ได้เท่าใด ในขณะที่ความถี่สูงขึ้น ซึ่งไม่เกี่ยวข้องกับผลตอบสนองทางความถี่เลย



$$e_s = \omega e_i \cos \omega t$$

$$e_{s\,(max)} = 2\pi f e_i \text{ (V/sec)}$$

ที่ความถี่ 1 MHz ขนาด 20 $V_{p\text{-}p}$ จะได้สลูว์เรทเท่ากับ

$$e_s \text{ (max)} = 2 \times 3.14 \times 10^6 \times 10$$

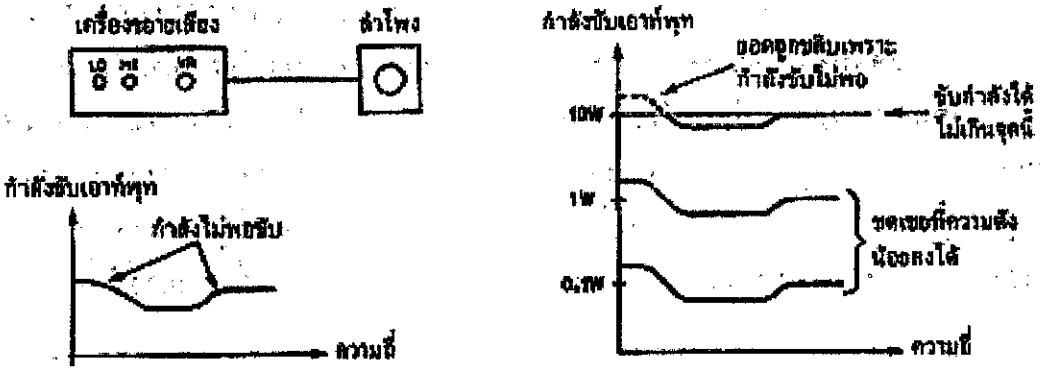
$$= 62.8 \times 10^6 \text{ (V/sec)}$$

$$= 62.8 \text{ (V/}\mu\text{s)}$$

รูปที่ 2.35 อัตราสลูว์เรทที่ดีทำให้ได้รูปซายน์ที่ไม่ผิดเพี้ยนจากการขยาย

ลองดูในรูปที่ 2.35 การที่ออปแอมป์จะสามารถผลิตสัญญาณรูปซายน์ความถี่ 1 MHz ขนาด 20 Vp-p ได้นั้น ออปแอมป์จะต้องมีสลูว์เรทดีถึง 62.8 V / S

ออปแอมป์เบอร์ LM741 ที่นิยมใช้กันนั้น มีสลูว์เรทเพียง 0.5 V / μs หากนำมาผลิตรูปคลื่นซายน์ที่มีขนาด 20 Vp-p ก็คงจะได้ความถี่เพียงประมาณ 10 KHz เท่านั้นเอง แต่ถ้าใช้ LM741 เป็นบัฟเฟอร์ที่มีอัตราขยายเพียง 1 เท่า และพยายามผลิตสัญญาณให้ได้ 1 MHz จะได้ขนาดสัญญาณเพียง 0.1 V เท่านั้น



รูปที่ 2.36 ขีดความสามารถของโทนคอนโทรล

เปรียบเหมือนการพยายามใช้โทรคอนโทรล ในการปรับให้เครื่องขยายเสียงที่มีกำลังน้อยขับเสียงต่ำให้ดังขึ้น ตามในรูปที่ 2.36 นั่นเอง

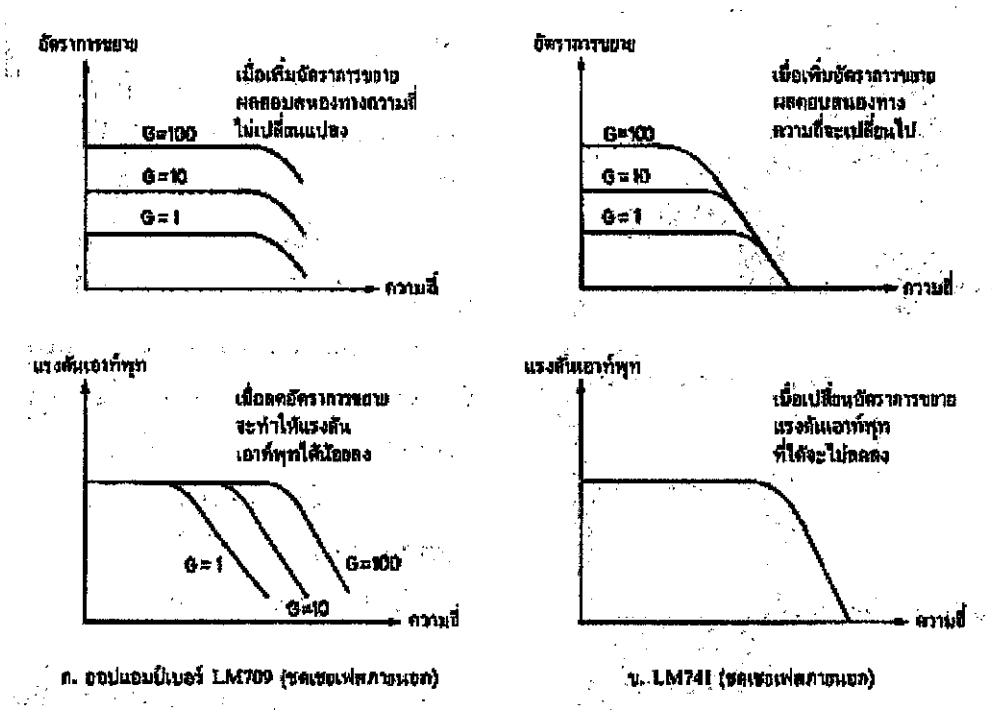
แต่ถ้าสลูว์เรทดีก็ไม่ได้หมายความว่าผลตอบสนองทางความถี่จะดีตามไปด้วย ออปแอมป์ในสมัยแรก ๆ นิยมใช้เบอร์ LM709 ซึ่งเป็นออปแอมป์เบอร์ที่มีสลูว์เรท 2 V / microS แต่ในการใช้งานทุกครั้งจะต้องต่ออุปกรณ์ เพื่อชดเชยเฟสเสมอ ซึ่งจะมีผลทำให้ค่าสลูว์เรทต่ำลงจนอาจจะเลวกว่า LM741 ซึ่งมีสลูว์เรทเพียง 0.5 V / microS ดูรูปที่ 2.37 ประกอบ

การชดเชยเฟส มักจะทำให้ค่าสลูว์เรทต่ำลง แต่ก็มีวิธีชดเชยที่จะไม่ทำให้สลูว์เรทต่ำลง บางครั้งอาจทำได้ดีขึ้นด้วย แต่ถ้าใช้ออปแอมป์หลายตัวทำงานร่วมกัน จะทำให้เกิดปัญหาเรื่องเสถียรภาพของการทำงานได้

ตารางที่ 2.1 การชดเชยเฟสของออปแอมป์เบอร์ LM709

อัตราการขยาย	C_1 (pF)	C_2 (pF)	R_1 (kΩ)	ผลตอบสนองความถี่	สลูเรท
1000	10	3	0	↑ เหมือนเดิม ↓	ดี ↓ เลว
100	100	3	1.5		
10	470	22	1.5		
1	4700	220	1.5		

จากตารางที่ 2.1 จะเห็นว่า การชดเชยเฟสให้ LM709 จะทำให้ผลตอบสนองความถี่ดีขึ้น แต่จะทำให้สลูว์เรทเลวลง เนื่องจากผลของตัวเก็บประจุที่ใช้ในการชดเชย ดูผลจากรูปที่ 2.37



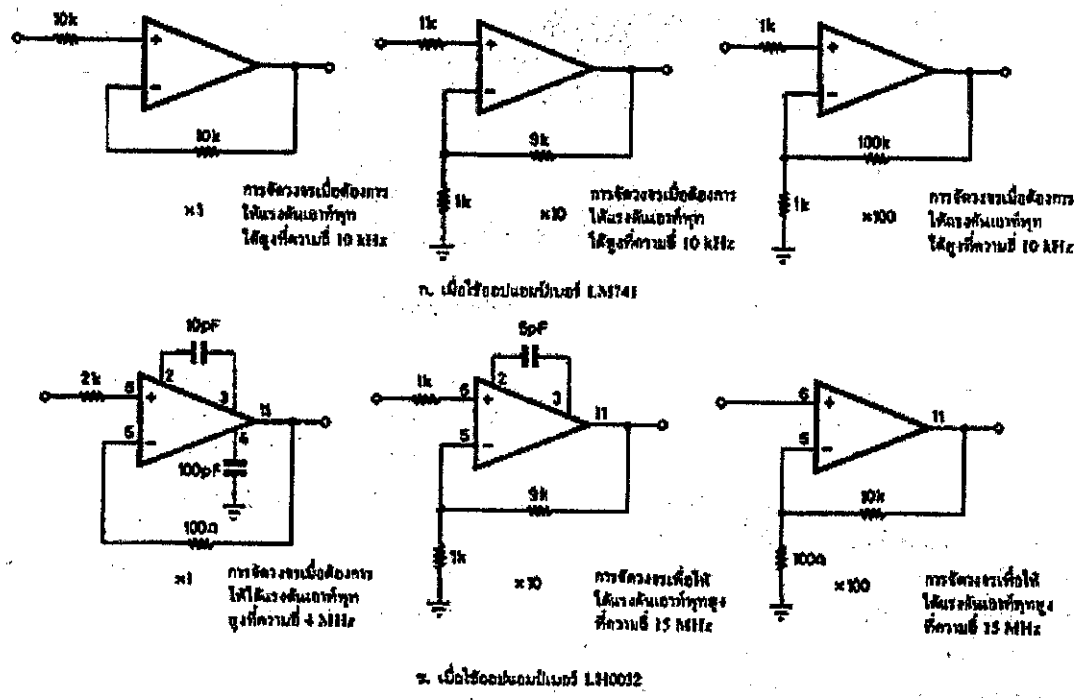
ก. ออปแอมป์เบอร์ LM709 (ชดเชยเฟสภายนอก) ข. LM741 (ชดเชยเฟสภายนอก)

รูปที่ 2.37 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการขยายกับสลูว์เรท

การชดเชยเฟสจะต้องต่ออุปกรณ์ภายนอก แต่ค่า C และ R ที่เหมาะสมจะต้องปรับไปตามอัตราการขยายที่ต้องการ

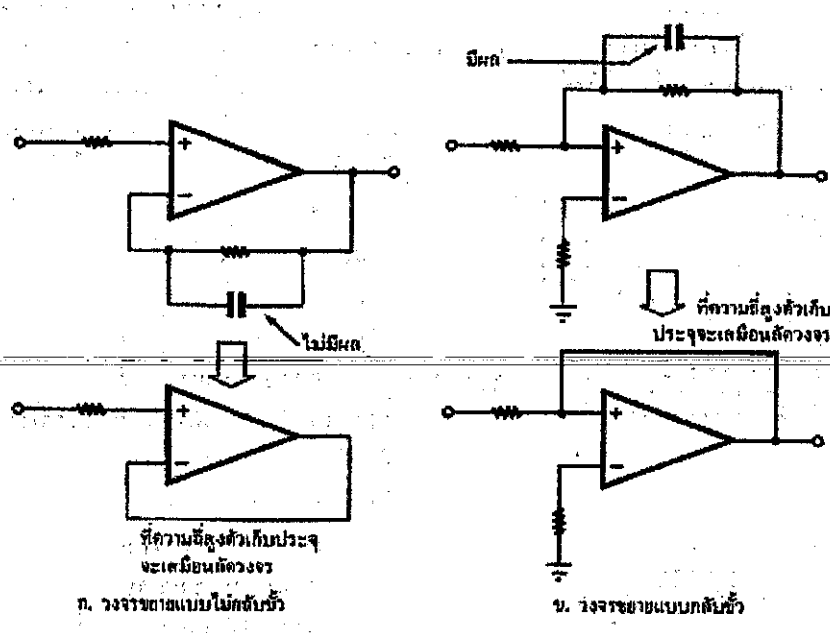
ออปแอมป์ในปัจจุบันนั้น จะมีวงจรชดเชยเฟสใส่ไว้ภายในตัวไอซี ไม่จำเป็นจ้องต่ออุปกรณ์ภายนอก และไม่จำเป็นต้องเปลี่ยนขนาดของอุปกรณ์ตามอัตราขยายที่ได้ แต่ถ้าใช้ในกรณีที่อัตราการขยายสูงมาก จะทำให้ผลตอบสนองความถี่เลวลงไปได้

ออปแอมป์ความเร็วสูง ก็มีการชดเชยเฟสภายในเช่นเดียวกัน แต่การชดเชยจะน้อยที่สุด ดังนั้นในบางครั้งอาจจะต้องต่ออุปกรณ์ภายนอกช่วย เช่น เมื่อใช้กรณีที่อัตราการขยายสูงไม่ต้องต่ออุปกรณ์ชดเชย แต่ถ้าอัตราการขยายต่ำจะต้องต่อตัวเก็บประจุชดเชยเป็นต้นดูรูปที่ 2.38 ประกอบ



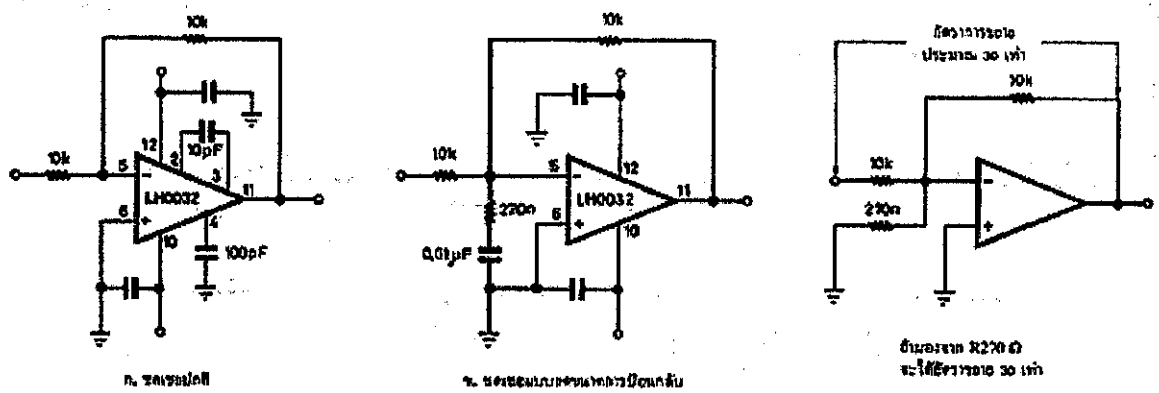
รูปที่ 2.38 อัตราการขยายของออปแอมป์ที่ความถี่แตกต่างกัน

ถ้าใช้ออปแอมป์ความเร็วสูง ที่มีอัตราการขยายเพียง 1 จะต้องต่ออุปกรณ์ชดเชยเข้าไปหลายตัว มิฉะนั้นการทำงานจะขาเสถียรภาพ (ออสซิสเลทได้ง่ายมาก) การใส่ตัวเก็บประจุเข้าไปเพื่อชดเชยจะทำให้สลูว์เรทเลวลง และคุณสมบัติการตอบสนองความถี่ในย่านความถี่สูงจะเกิดยอดทำให้ไม่เป็นผลดีต่อการใช้งาน



รูปที่ 2.39 การต่อตัวเก็บประจุชดเชยเฟสขนานเข้ากับตัวต้านทานป้อนกลับ

การชดเชยเฟสในรูปที่ 2.39 จะใช้การต่อตัวเก็บประจุ คร่อมตัวต้านทานที่ใช้ในการป้อนกลับ ซึ่งเป็นวิธีที่นิยมใช้กันมาก จากในรูปจะเห็นว่า ในย่านความถี่สูงจะทำให้เสมือนเกิดลัดวงจรที่ตัวเก็บประจุ เป็นผลให้วงจรขยายแบบไม่กลับขั้ว จะมีอัตราการขยายเหลือเพียง 1 และวงจรขยายแบบกลับขั้วจะมีอัตราการขยายเป็นศูนย์ ถ้าป้อนกลับมากเกินไป จะทำให้ออสซิลเลทง่าย แต่ถ้าป้อนกลับน้อยไปจะทำให้อัตราขยายสูงเกินไป



รูปที่ 2.40 การชดเชยเฟสที่สลูว์เรทไม่เปลี่ยนแปลง

วิธีการชดเชยเฟส โดยไม่ทำให้สลูว์เรทไม่เปลี่ยนแปลง แสดงในรูปที่ 2.40 รูป ก. การต่อตัวเก็บประจุจะทำให้สลูว์เรทเลวลง แต่รูป ข. สลูว์เรทไม่เลวลง

ในย่านความถี่ต่ำตัวเก็บประจุขนาด 0.01 μF จะมีอิมพีแดนซ์สูง จนละเลยได้ แต่ในย่านความที่สูงจะเปรียบเหมือนลัดวงจร ทำให้อัตราการขยายของวงจรยังเท่าเดิม คือประมาณ 30 เท่า ขนาดของการป้อนกลับจะลดลง จึงไม่จำเป็นต้องมีการชดเชยเฟส

2.5 โครงสร้างภายในไมโครคอนโทรลเลอร์เบอร์ 8051 [5-6]

โครงสร้างภายในของไมโครคอนโทรลเลอร์เบอร์ 8051 ประกอบด้วยอุปกรณ์ต่างๆ ดังนี้

- หน่วยความจำภายในสำหรับข้อมูลขนาด 128 ไบต์
- หน่วยความจำสำหรับเก็บโปรแกรมขนาด 4 กิโลไบต์
- อุปกรณ์ควบคุมอินเตอร์รัพท์ ตัวตั้งเวลาและตัวนับขนาด 16 บิต 2 ชุด
- พอร์ตควบคุมการสื่อสารอนุกรมแบบ Full Duplex ซึ่งสามารถรับและส่งข้อมูลพร้อมกัน
- พอร์ตขนานสำหรับติดต่อกับอุปกรณ์ภายนอกจำนวน 4 พอร์ตๆ ละ 8 บิต
- วงจรผลิตสัญญาณนาฬิกาภายใน

2.5.1 หน่วยความจำสำหรับเก็บโปรแกรม (Internal Program Memory)

หน่วยความจำสำหรับเก็บโปรแกรมทำหน้าที่เก็บโปรแกรมที่ผู้ใช้เขียนขึ้น เพื่อใช้ควบคุมการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยหน่วยความจำจะเป็นแบบ ROM มีความจุ 4 KBytes (ตำแหน่ง 0000H - 0FFFH) ในการใช้งานเราสามารถกำหนดให้ไมโครคอนโทรลเลอร์สามารถเลือกใช้โปรแกรมที่เก็บอยู่ภายในตัวไมโครคอนโทรลเลอร์ หรือโปรแกรมที่เก็บอยู่ในหน่วยความจำ (EPROM) ที่อยู่ภายนอกก็ได้ การเลือกการติดต่อทำได้โดย การป้อนสัญญาณควบคุมที่ขา EA \ (External Access) ถ้าต้องการให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ติดต่อกับโปรแกรมที่อยู่ในหน่วยความจำภายในตัวไมโครคอนโทรลเลอร์ จะต่อขานี้กับลอจิก 1 หากต้องการให้ ไมโครคอนโทรลเลอร์ ติดต่อกับโปรแกรมที่เก็บอยู่ในหน่วยความจำภายนอก จะต่อขานี้กับลอจิก 0 การติดต่อกับหน่วยความโปรแกรมจำภายนอก จะติดต่อได้ทั้งหมด 64 KBytes (ตำแหน่ง 0000H - FFFFH) ในกรณีที่กำหนด ให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ติดต่อกับโปรแกรมที่อยู่ในหน่วยความจำ ภายในตัวไมโครคอนโทรลเลอร์จะติดต่อได้ 4 KBytes หากตำแหน่งของโปรแกรม มีค่าเกินกว่าตำแหน่งของหน่วยความจำภายใน (โปรแกรมมีความยาวเกินกว่า 4 KBytes) ตัวไมโครตอนโทรลเลอร์จะทำการติดต่อกับโปรแกรมที่อยู่ในหน่วยความจำภายนอกอัตโนมัติ

2.5.2 หน่วยความจำข้อมูลภายใน (Internal Data Memory)

หน่วยความจำข้อมูลภายในทำหน้าที่เก็บข้อมูลทั่วไป และทำหน้าที่เป็นสแตก (Stack) บางส่วน หน่วยความจำข้อมูลภายในเบอร์ 8051มีอยู่ 128 ไบต์ โดยอยู่ในตำแหน่ง 00H-7FH

2.5.3 อุปกรณ์ควบคุมการอินเตอร์รัพท์ (Interrupt Control Unit)

เป็นส่วนที่ทำหน้าที่ควบคุมการอินเตอร์รัพท์ ของไมโครคอนโทรลเลอร์ ซึ่งมีการร้องขออินเตอร์รัพท์ได้จาก 5 แหล่งกำเนิด คือ สัญญาณจากภายนอก 2 สัญญาณจากตัว Timer0 และ Timer1 และ

จากอุปกรณ์รับส่งข้อมูลแบบอนุกรม 1 สัญญาณ สัญญาณอินเตอร์รัพท์ที่เกิดขึ้น เราสามารถควบคุมให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ ตอบรับหรือไม่ตอบรับก็ได้ นอกจากนี้เรายังสามารถจัดลำดับความสำคัญ ของการอินเตอร์รัพท์ (Interrupt priority) จากสัญญาณต่างๆ ได้เป็น 2 ระดับแตกต่างกัน

2.5.4 ตัวตั้งเวลาและตัวนับ (Timer/Counter)

ไมโครคอนโทรลเลอร์เบอร์ 8051 ประกอบด้วยรีจีสเตอร์ ตัวตั้งเวลา/ตัวนับ ขนาด 16 บิต จำนวน 2 ชุด คือ Timer0 และ Timer1 โดย Timer ทั้งหมดสามารถกำหนดให้ทำงานในลักษณะ ของตัวนับหรือตัวจับเวลาก็ได้ การทำงานในโมดของตัวตั้งเวลา ค่าของรีจีสเตอร์จะเพิ่มขึ้นทุกๆ แมชชีนไซเคิลโดย 1 แมชชีนไซเคิล ประกอบด้วยสัญยาณนาฬิกา 12 ลูก ดังนั้นอัตราการจับเวลาจะเป็น 1/12 เท่าของความถี่สัญญาณนาฬิกา ของระบบ ค่าสูงสุดที่ตั้งได้คือ 2 ยกกำลัง 16 การทำงานในโมดการนับ ค่าของการนับจะเพิ่มขึ้น เมื่อสัญญาณเข้ามาที่ขา T0 และ T1 เปลี่ยนจาก 1 เป็น 0 ความเร็วในการนับสูงสุดคือ 1/24 เท่าของสัญญาณนาฬิกา โดยสัญญาณที่เข้ามาที่ขา T0 หรือ T1 จะมี Duty Cycle เท่าใดก็ได้

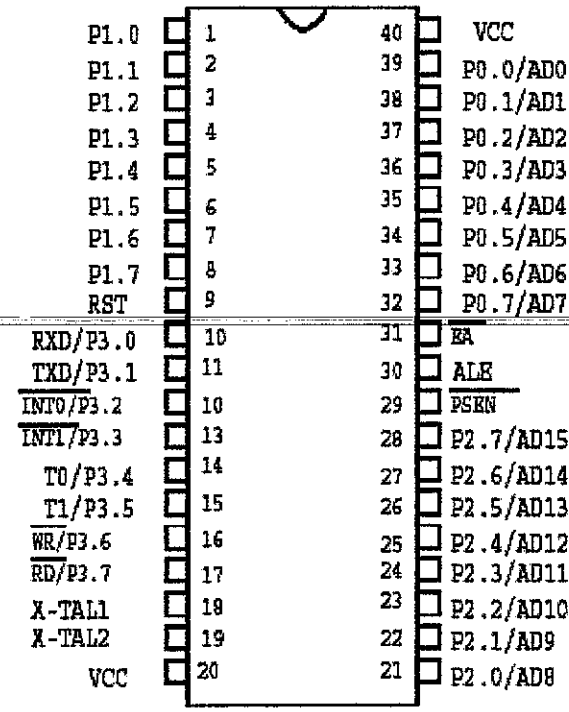
2.5.5 พอร์ตอินพุตเอาท์พุต

ในไมโครคอนโทรลเลอร์เบอร์ 8051 ประกอบด้วยพอร์ตอินพุตเอาท์พุตแบบ 2 ทิศทาง (Bidirectional) จำนวน 4 พอร์ต แต่ละพอร์ตมีอุปกรณ์แลทช์ข้อมูล และเอาท์พุตไดรเวอร์ประกอบอยู่ทางด้านเอาท์พุต และทางด้านอินพุตจะมีบัฟเฟอร์ (พอร์ตทั้ง 4 เป็นรีจีสเตอร์พิเศษชื่อ P0, P1, P2 และ P3) เราสามารถใช้งานแต่ละพอร์ตเป็นอินพุต หรือเอาท์พุตได้ตามต้องการ แต่ละบิตของพอร์ตสามารถเชื่อมต่อกับสัญญาณ TTL ได้โดยตรง ในการติดต่อกับหน่วยความจำภายนอกพอร์ต P0 และ P2 จะใช้สำหรับกำหนดตำแหน่งของหน่วยความจำภายนอก โดยพอร์ต P0 จะทำงานในลักษณะของมัลติเพล็ก คือเป็นทั้งพอร์ตตำแหน่งและ พอร์ตข้อมูล โดย P0 จะเป็นตำแหน่งขงหน่วยความจำด้านต่ำ (Low byte) และ P2 จะเป็นตำแหน่งของหน่วยความจำด้านสูง (High byte)

2.5.6 สัญญาณต่างๆ ของไมโครคอนโทรลเลอร์เบอร์ 8051

สัญญาณต่างๆ ของไมโครคอนโทรลเลอร์เบอร์ 8051 สามารถจำแนกตามการทำงานออกได้เป็น 3 กลุ่มคือ

- กลุ่มสัญญาณตำแหน่ง เป็นตัวกำหนดตำแหน่งของหน่วยความจำ
- กลุ่มสัญญาณควบคุม เป็นสัญญาณควบคุมการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์
- กลุ่มสัญญาณข้อมูล ทางผ่านข้อมูลระหว่างไมโครคอนโทรลเลอร์กับหน่วยความจำ



รูปที่ 2.41 ไมโครคอนโทรลเลอร์เบอร์ 8051 เป็นไอซีขนาด 40 ขา

Port 1 (P1.0 – P1.7)

เป็นพอร์ตอินพุต เอาท์พุตแบบ 2 ทิศทาง ขนาด 8 บิต ที่มีพูลอัพ อยู่ภายใน ในกรณีเอาท์พุตจะต่อกับอินพุตของ TTL ตระกูล LS ได้ 4 ตัว เมื่อต้องการใช้เป็นอินพุต ต้องเริ่มต้นด้วยการส่งค่าลอจิก 1 ออกไปที่พอร์ตนี้ก่อน เพื่อทำให้เกิดพูลอัพภายใน เมื่อมีสัญญาณอินพุตเป็น 0 เข้ามาจะทำให้พอร์ตจ่ายกระแสออกเนื่องจากมีการพูลอัพอยู่ภายใน นอกจากนี้พอร์ต P1 ยังทำหน้าที่รับตำแหน่งด้านต่ำ ในช่วงของการโปรแกรม EPROM และช่วงการตรวจสอบโปรแกรมใน ROM หรือ EPROM

ขาสัญญาณรีเซท (RST)

เมื่อเปิดเครื่องครั้งแรกต้องทำให้ขาสัญญาณนี้เป็นลอจิก "1" อย่างน้อยประมาณ 2 แมชชีนไซเคิล หรือ 12 คาบเวลาของสัญญาณนาฬิกา จากนั้นCPU จึงจะเริ่มทำงานได้ และวงจรจะตรวจสอบสัญญาณรีเซททุกๆ คาบเวลาที่ 5 ของแต่ละแมชชีนไซเคิลเมื่ออยู่ในระหว่างการทำงานขารีเซทนี้ภายในจะมีวงจร schmitt trigger เพื่อขจัดสัญญาณรบกวน การรีเซต CPU จะเกิดขึ้นได้ 2 สภาพคือ เริ่มเปิดเครื่องครั้งแรกและอยู่ในระหว่างการทำงาน ถ้าอยู่ในระหว่างการทำงาน จะมีสัญญาณภายนกมาป้อนเข้าที่ขารีเซตให้เป็นลอจิก "1" แต่ถ้าเป็นการเปิดเครื่องครั้งแรกต้องสร้างวงจรเพิ่มเติมขึ้นมาโดยใช้ ตัวต้านทานค่า 8.2 K ต่อลงกราวด์ และใช้ C ค่า 10 uF ต่อขึ้นไฟบวก การต่อแสดงดังภาพ

Vss

สำหรับต่อกับกราวน์

Vcc

สำหรับต่อกับไฟเลี้ยง 5 โวลท์

Port 0 (P0.0 – P0.7)

เป็นพอร์ตอินพุต 2 ทางแบบ Open drain ขนาด 8 บิต P0.0 - P0.7 เมื่อใช้เป็นเอาท์พุตสามารถต่อกับไอซี TTL ตระกูล LS ได้ 8 ตัว เมื่อต้องการใช้งานเป็นอินพุต ต้องส่งค่าลอจิก 1 ออกไปที่พอร์ตก่อนเพื่อทำให้ลอย ซึ่งจะเป็นอิมพีแดนซ์สูง พอร์ต P0 จะทำงานอีกหน้าที่หนึ่งคือ เป็นมัลติเพล็กซของสัญญาณตำแหน่งด้านต่ำ และสัญญาณข้อมูลในการติดต่อกับหน่วย ความจำภายนอก การทำงานในลักษณะนี้จำใช้การพูลอัพ (Pull up) จากภายใน ที่สามารถจ่ายกระแสให้กับอินพุตของ TTL ได้ 8 ตัว นอกจาก 2 หน้าที่ดังกล่าวแล้ว พอร์ต P0 ยังใช้เป็นตัวรับข้อมูลในช่วงการโปรแกรม EPROM และเป็นตัวส่งข้อมูล ออกมาในช่วงการตรวจสอบ โปรแกรมภายใน ROM หรือ EPROM ซึ่งจะต้องใช้พูลอัพจากภายนอก ในขณะทำการตรวจสอบโปรแกรม การสร้างสัญญาณตำแหน่ง A0 - A7 และสัญญาณข้อมูล D0 - D7 ทำโดยใช้อุปกรณ์ แลทช์ข้อมูล

อุปกรณ์ที่นำมาใช้แลทช์ตำแหน่ง A0 - A7 ที่ออกมาจากพอร์ต P0 คือ ไอซี 74LS373 ซึ่งเป็นบิตแลทช์

EA\ (External Access)

เป็นสัญญาณอินพุต ใช้สำหรับควบคุมให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ เลือกติดต่อกับโปรแกรมที่เก็บอยู่ในหน่วยความจำโปรแกรมภายใน หรือโปรแกรมที่เก็บอยู่ในหน่วยความจำโปรแกรมภายนอก ตัวไมโครคอนโทรลเลอร์ หากให้ค่าลอจิก 1 ที่ขานี้จะเป็นการเลือกใช้หน่วยความจำภายในตัวไมโครคอนโทรลเลอร์ หากต้องการให้ซีพียูติดต่อกับหน่วยความจำโปรแกรมภายนอก ต้องต่อสัญญาณเข้ากับลอจิก 0

ALE/PROG\ (Address Latch Enable)

เป็นสัญญาณเอาท์พุตซึ่งไมโครคอนโทรลเลอร์จะส่งออกไปเป็นพัลซ์เพื่อแลทช์ค่าตำแหน่งไบต์ต่ำที่อยู่ที่พอร์ต P0 ในขณะติดต่อกับหน่วยตวามจำภายนอก สัญญาณนี้จะถูกส่งออกด้วยอัตราเร็วคงที่คือ 1/6 เท่าของความถี่สัญญาณนาฬิกาซึ่งสามารถนำไปใช้เป็นสัญญาณนาฬิกาให้กับอุปกรณ์ภายนอกได้ สัญญาณพัลซ์นี้จะถูกข้ามไป 1 พัลซ์เมื่อมีการติดต่อกับหน่วยความจำข้อมูลภายนอก EPROM และสัญญาณนี้จะใช้เป็นอินพุตเพื่อควบคุมโปรแกรม PROM ภายในตัวไมโครคอนโทรลเลอร์ด้วย

PSEN\ (Program Store Enable)

เป็นเอาท์พุตสำหรับส่งสัญญาณสโตป์ (พัลซ์ต่ำ) เพื่ออ่านข้อมูลจากหน่วยความจำโปรแกรมภายนอก External Program Memory เมื่อ CPU อ่านรหัสคำสั่งจากหน่วยความจำภายนอก จะส่ง

สัญญาณสโตปออกมา 2 ครั้งใน 1 แมชชีนไซเคิล แต่สัญญาณสโตปทั้ง 2 ครั้งจะถูกข้ามไปหากเป็นช่วงที่ CPU ติดต่อกับ External Data Memory

Port 2

เป็นพอร์ตอินพุต เอาท์พุตแบบ 2 ทิศทาง ขนาด 8 บิต ที่มีพูลอัพ อยู่ภายใน ในกรณีเอาท์พุตจะต่อกับอินพุตของ TTL ตระกูล LS ได้ 4 ตัว เมื่อต้องการใช้เป็นอินพุต ต้องเริ่มต้นด้วยการส่งค่าลอจิก 1 ออกไปที่พอร์ตนี้ก่อน เพื่อทำให้เกิดพูลอัพภายใน เมื่อมีสัญญาณอินพุตเป็น 0 เข้ามาจะทำให้พอร์ต P2 จ่ายกระแสออกเนื่องจากการพูลอัพภายใน ในระหว่างการติดต่อกับโปรแกรมภายนอก หรือการติดต่อกับหน่วยความจำข้อมูลภายนอก ที่มีการอ้าง ตำแหน่งแบบ 16 บิต พอร์ต P2 จะส่งตำแหน่งไบต์สูงออกไป ซึ่งการทำงานในลักษณะนี้จะมีการพูลอัพภายในอยู่ ในช่วงของการติดต่อกับหน่วยความจำภายนอกที่ใช้การอ้างตำแหน่งแบบ 8 บิต(คำสั่ง MOVX @Ri) สัญญาณที่ขาของพอร์ต P2 จะมีค่าเท่ากับรีจีสเตอร์ P2 ที่อยู่ใน SFR นอกจากนี้พอร์ต P2 ยังทำหน้าที่รับตำแหน่งไบต์สูง ในช่วงของการโปรแกรม EPROM และการตรวจสอบโปรแกรมใน ROM และ EPROM อีกด้วย

2.5.7 การจัดหน่วยความจำของไมโครคอนโทรลเลอร์เบอร์ 8051

การจัดหน่วยความจำของไมโครคอนโทรลเลอร์เบอร์ 8051 จะจัดแบ่งหน่วยความจำออกเป็น 3 กลุ่มคือ

1. หน่วยความจำสำหรับเก็บโปรแกรม (Program Memory)
2. หน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูล (Data Memory)
3. รีจีสเตอร์ที่ทำหน้าที่เฉพาะ (Special Function Register)

2.5.8 หน่วยความจำสำหรับเก็บโปรแกรม (Program Memory)

หน่วยความจำสำหรับเก็บโปรแกรมจะเป็นที่เก็บชุดคำสั่งต่างๆ และข้อมูลที่โปรแกรมใช้งาน หน่วยความจำสำหรับเก็บโปรแกรมแบ่งออกได้เป็น 2 ส่วนคือ

- หน่วยความจำโปรแกรมภายในตัวไมโครคอนโทรลเลอร์
- หน่วยความจำภายนอกแบบตัวเดียว และ แบบหลายตัว

ภายในตัวไมโครคอนโทรลเลอร์เบอร์ 8051 มีหน่วยความจำที่เก็บโปรแกรมได้ 4 KBytes ซึ่งหน่วยความจำจะเป็นลักษณะของ ROM ในการใช้งานเราสามารถเก็บโปรแกรมเข้าในตัวไมโครคอนโทรลเลอร์ได้ ทำให้ประหยัดการใช้หน่วยความจำภายนอก การติดต่อกับหน่วยความจำโปรแกรมของไมโครคอนโทรลเลอร์ 8051 สามารถติดต่อกับหน่วยความจำโปรแกรม ที่อยู่ภายในตัวไมโครคอนโทรลเลอร์ หรือโปรแกรมที่เก็บอยู่ภายนอกก็ได้ โดยมีจำนวนข้อมูลทั้งหมด 64 KBytes การเลือกใช้หน่วยความจำภายในของไมโครคอนโทรลเลอร์ 8051 สามารถเลือกใช้งานได้ 2 ลักษณะคือ เลือกใช้หน่วยความจำที่มีอยู่ภายในตัวไมโครคอนโทรลเลอร์ มีอยู่ 4 KBytes รวมกับหน่วยความจำภายนอกอีก 60 KBytes หรือเลือกใช้หน่วยความจำภายนอกทั้งหมด 64 KBytes

การจัดหน่วยความจำโปรแกรมได้จำนวนตำแหน่งของหน่วยความจำทั้งหมดคือ 64 KBytes (ตำแหน่ง 0000H - FFFFH) หน่วยความจำโปรแกรมที่อยู่ในตัว 8051 มี 4 KBytes (ตำแหน่ง 0000H - FFFFH) ในการใช้งานเรากำหนดให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ ใช้หน่วยความจำภายใน หรือภายนอกได้ โดยการควบคุมสัญญาณที่ขา EA\ (External Access) หากทำให้ EA\ เป็น 1 จะเป็นการเลือกใช้หน่วยความจำภายใน หากทำให้ EA\ เป็น 0 เป็นการใช้หน่วยความจำโปรแกรมภายนอก การเลือกใช้หน่วยความจำโปรแกรมจะทำได้เฉพาะหน่วยความจำในตำแหน่ง 0000H - 0FFFH ซึ่งเป็นตำแหน่งที่ซ้อนกันระหว่าง หน่วยความจำภายในกับหน่วยความจำภายนอกเท่านั้น หากโปรแกรมที่อยู่ในตำแหน่งที่เกินกว่า 0FFFH ขึ้นไป ไมโครคอนโทรลเลอร์ จะทำการติดต่อกับหน่วยความจำภายนอกอัตโนมัติ ไม่ว่าสัญญาณ EA\ จะมีค่าเป็น 0 หรือ 1 ก็ตาม การจัดหน่วยความจำโปรแกรมของไมโครคอนโทรลเลอรีเบอร์ 8051

2.5.9 หน่วยความจำข้อมูล (Data Memory)

หน่วยความจำข้อมูลทำหน้าที่เก็บข้อมูลต่าง ๆ ในขณะที่โปรแกรมทำงาน และทำหน้าที่เป็นสแตกบางส่วน ไมโครคอนโทรลเลอร์เบอร์ 8051 จัดแบ่งหน่วยความจำออกเป็น 2 ส่วนคือ

- หน่วยความจำข้อมูลภายใน
- หน่วยความจำข้อมูลภายนอก

2.5.10 หน่วยความจำข้อมูลภายนอก (External Data Memory)

ไมโครคอนโทรลเลอร์เบอร์ 8051 สามารถต่อกับหน่วยความจำข้อมูลภายนอกได้ 64 KBytes เพิ่มเติมจากหน่วยความจำข้อมูลที่อยู่ในตัวไมโครคอนโทรลเลอร์ ซึ่งต่อหน่วยความจำภายนอกเพิ่มเมื่อต้องการใช้พื้นที่โปรแกรมทำงานจำนวนมาก ตำแหน่งของหน่วยความจำข้อมูลภายนอกจะอยู่ที่ 0000H - FFFFH ในการใช้งานสามารถแบ่งส่วนหนึ่งของพื้นที่ของหน่วยความจำข้อมูลภายนอก มาใช้เป็นพอร์ตอินพุตหรือพอร์ตเอาท์พุตก็ได้

การติดต่อรับส่งข้อมูลกับหน่วยความจำข้อมูลภายนอกจะใช้คำสั่ง MOVX สัญญาณต่างๆ ที่ใช้ติดต่อกับหน่วยความจำข้อมูลภายนอกจะมี P0, P2, RD\, WR\ โดยพอร์ต P0 จะเป็นสัญญาณตำแหน่งไบต์ต่ำ หรือข้อมูล ส่วนพอร์ต P2 เป็นสัญญาณตำแหน่งไบต์สูง สัญญาณ RD\ เป็นสัญญาณควบคุมการอ่านข้อมูล จากหน่วยความจำข้อมูลภายนอก จะแอคทีฟเมื่อไมโครคอนโทรลเลอร์ ต้องการอ่านข้อมูลจากหน่วยความจำภายนอก ที่เกิดจากการทำงานของคำสั่ง MOVX A,@DPTR ซึ่งเป็นการอ่านข้อมูลจากหน่วยความจำข้อมูลในตำแหน่งที่กำหนดโดยรีจีสเตอร์ DPTR มาเก็บไว้ที่รีจีสเตอร์ A สัญญาณ WR\ เป็นสัญญาณควบคุมการบันทึกข้อมูล ลงในหน่วยความจำข้อมูลภายนอกจะแอคทีฟเมื่อ ไมโครคอนโทรลเลอร์ ต้องการบันทึกข้อมูลลงในหน่วยความจำข้อมูลภายนอก ซึ่งเกิดจากการทำงานของคำสั่ง MOVX @DPTR,A ไดอะแกรมของเวลาการอ่านข้อมูล และบันทึกข้อมูลลงในหน่วยความจำภายนอก แสดงดังหน่วยความจำข้อมูลภายนอก ที่เรานำมาใช้ร่วมกับไมโครคอนโทรลเลอร์เบอร์ 8051 นั้น

ส่วนใหญ่จะใช้ RAM แบบสแตติกเช่น เบอร์ 6264 (ขนาด 8 KBytes x 8) ตัวอย่างการเชื่อมต่อไมโครคอนโทรลเลอร์ กับหน่วยความจำข้อมูลภายนอก RAM 6264

สัญญาณ RD\ ของไมโครคอนโทรลเลอร์ จะต่อกับขา OE\ ของ RAM และ WR\ จะต่อกับ WE\ ของ RAM สัญญาณกำหนดตำแหน่งของหน่วยความจำ จะนำมาจากพอร์ต P0 และพอร์ต P2 สัญญาณข้อมูลจะมาจากพอร์ต P0 การต่อกับ RAM จะมีลักษณะคล้ายกับการต่อกับ EPROM หากต้องการต่อ RAM มากกว่า 1 ตัว ใช้ไอซี 74LS138 เป็นตัวถอดรหัสตำแหน่งของ RAM แต่ละตัวเช่นเดียวกับการต่อกับ EPROM