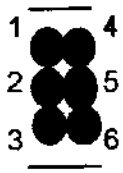
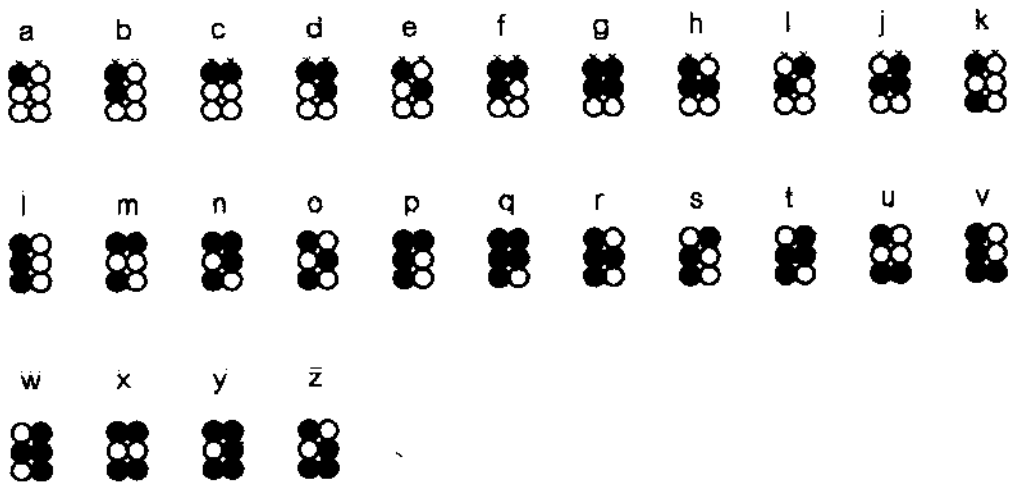
บทที่ 2

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

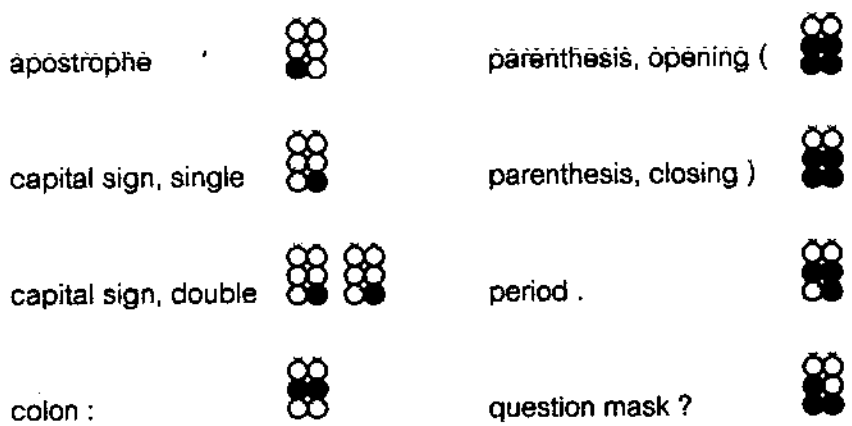
2.1 อักษรเบรลล์



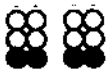
ALPHABET AND NUMBERS



PUNCTUATION AND COMPOSIION SIGNS



comma ,

dash - 

exclamation point !

hyphen _

number sign #

question mask,

double, opening "..
question mask,

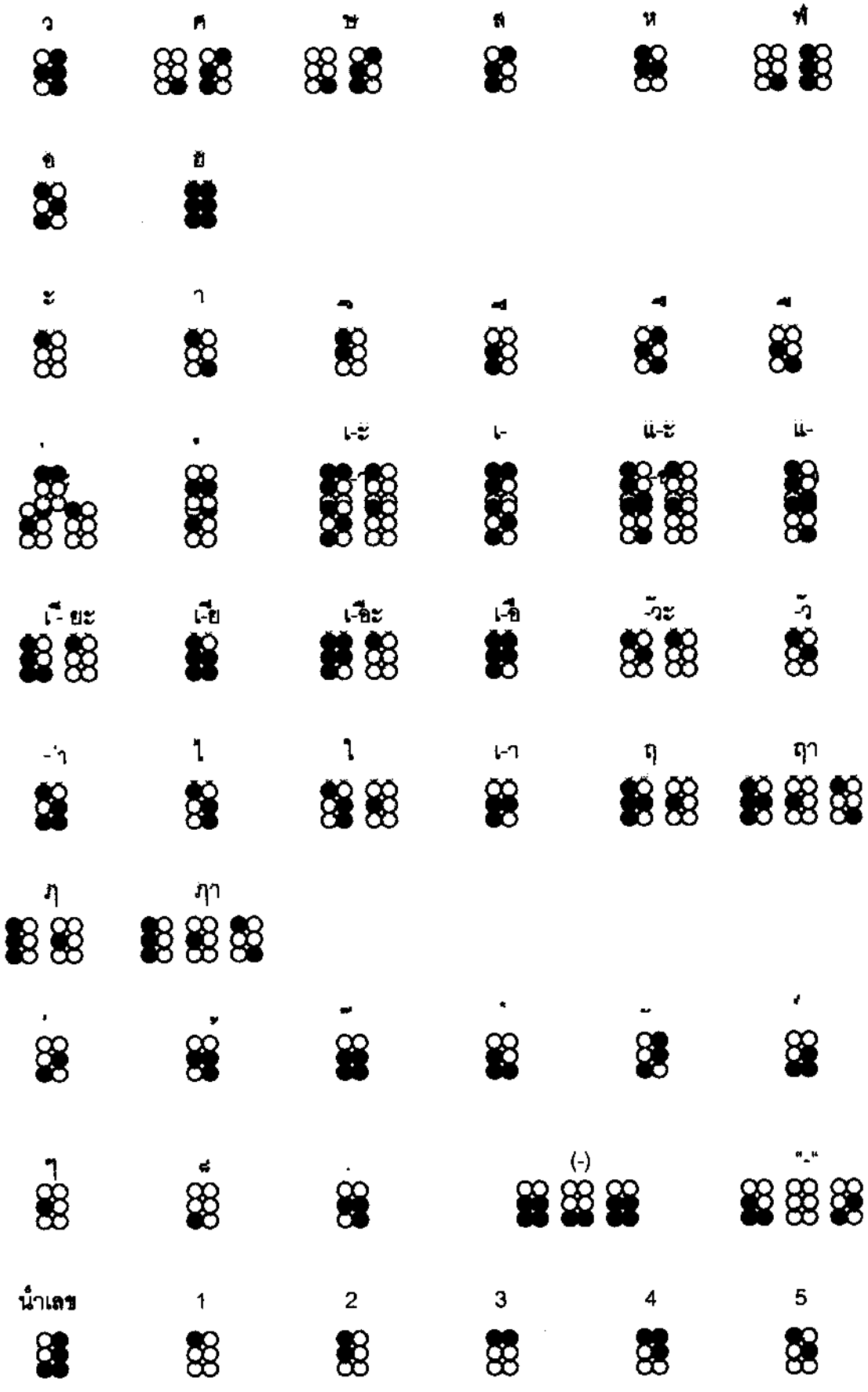
double, closing .."
question mask,

single, opening '..
question mask,

single, closing ..'
semicolon ;

อักษรเบรลล์ภาษาไทย

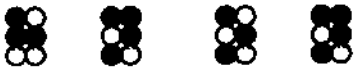
ก
ข
ฃ
ค
ฅ
ฆ
ง
จ
ฉ
ช
ซ
ฌ
ญ
ฎ
ฏ
ฐ
ฑ
ฒ
ณ
ด
ต
ถ
ท
ธ
น
บ
ป
ผ
ฝ
พ
ฟ
ภ
ม
ย
ร
ล


ว
ศ
ษ
ส
ห
ฬ
อ
ฮ
ะ
า
เ-ะ
แ-ะ
แ-
เ- ยะ
เ-ีย
เ-ือะ
เ-ือ
-ัวะ
-ัว
-ำ
ไ
ใ
เ-า
ฤ
ฤา
ฦ
ฦา
(-)
"-"
นำเลข
1
2
3
4
5

6 7 8 9 0

อักษรเบรลล์มีทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ แต่เนื่องจากภาษาไทยมีทั้งพยัญชนะ, สระ และวรรณยุกต์ ซึ่งมากกว่าภาษาอังกฤษมาก และตัวอักษรเบรลล์เองก็มีน้อยจึงอาจมีการซ้ำกันบ้างในบางอักษร และสำหรับภาษาไทยซึ่งมีความยุ่งยากในการทำความเข้าใจ จึงจะอธิบายไว้ดังนี้คือ ในการอ่านจากการสัมผัสของผู้พิการทางตาดังนั้น จะอ่านเรียงจากพยัญชนะก่อนแล้วจึงตามด้วยสระ ดังตัวอย่าง เช่น

- คำว่า หมอน อักษรเบรลล์จะอ่านเรียงดังนี้ ห-ม-อ-น

เขียนเป็นอักษรเบรลล์คือ 

ห น อ น

- แต่ถ้าคำว่า เธอ อักษรเบรลล์จะอ่านเรียงดังนี้ ธ-(เ-อ)

เขียนเป็นอักษรเบรลล์คือ

ธ เ-อ

และถ้าเป็นตัวเลข 1,2,... ก็มีการแสดงตัวอักษรเบรลล์นำเลขก่อนเพื่อที่จะแสดงให้ทราบว่าเป็นตัวเลข ซึ่งเรียกว่าเป็นตัวนำเลข มีรูปแบบดังนี้

เช่น เลข 1 การเขียนเป็นอักษรเบรลล์คือ

ตัวนำเลข 1

2.2 พื้นฐานการสื่อสาร

การพัฒนาของอารยธรรมในปัจจุบันนั้นมีมากกมายนัก เนื่องมาจากความสามารถของมนุษย์ในการที่จะแลกเปลี่ยนข้อมูลข่าวสารและความคิดโดยอาศัยการมองการฟัง และโดยคำที่ถูกเขียนโดยใช้รูปแบบของภาษาหรือโค้ดที่เกิดการยอมรับ จากแรกเริ่มมนุษย์ได้เสาะหาวิธีการส่งข้อมูลข่าวสารให้ได้ระยะทางไกลเท่าที่จะทำได้ส่วนใหญ่จะคุ้นเคยกับวิธีการใช้สัญญาณควัน สัญญาณไฟ สัญญาณท่าทาง หรือสัญญาณวัตถุ เป็นต้น ชาวอินเดียนแดงนิยมใช้สัญญาณควันไฟหรือสัญญาณธง ชาวประมงก็อาจจะใช้ไฟกระพริบ สิ่งที่ควรจะชี้ให้เห็นถึงความหมายของการสื่อสารโทรคมนาคมที่ดี น่าจะมาจากรากศัพท์ของคำนั้น ๆ คำว่า "tele" นั้นมาจากภาษากรีกโบราณซึ่งแปลว่าระยะทางที่ไกล ส่วนคำว่า"phone" หมายถึงเสียงหรือคำพูด คำว่า "graph" หมายถึงการเขียนหรือการวาด คำว่า "vision" หมายถึงการดูมอง และคำว่า "communication" หมายถึงการติดต่อสื่อสาร รวมความแล้วคำต่าง ๆ น่าจะมีความหมายดังนี้

- โทรศัพท์ (tele+phone) แปลว่าการพูดที่ระยะทางไกล
- โทรเลข (tele+graph) แปลว่าการเขียนที่ระยะทางไกล
- โทรทัศน์ (tele+vision) แปลว่าการดูที่ระยะทางไกล
- การสื่อสารโทรคมนาคม (tele+communication) แปลว่าการติดต่อสื่อสารที่ระยะทางไกล

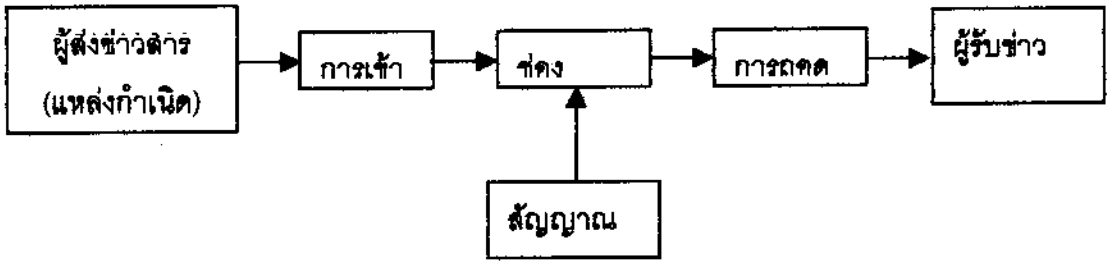
ดังนั้นการสื่อสารโทรคมนาคม จึงเป็นขั้นตอนของการส่งผ่านพลังงานของข่าวสารเป็นระยะทางไกล ๆ โดยวิธีการทางไฟฟ้า พลังงานของข่าวสารจะถูกส่งผ่านไปยังปลายทาง อาจจะโดยวิธีใช้เส้นลวดตัวนำหุ้มฉนวน หรือจะใช้วิธีส่งผ่านขั้นบรรยากาศโดยการเชื่อมต่อของสัญญาณวิทยุโดยไม่ต้องใช้ลวดตัวนำใด ๆ ตัวอย่างของการใช้พลังงานไฟฟ้าสำหรับงานต่าง ๆ ที่รู้จักกันทั่วไป เช่น อุปกรณ์ไฟฟ้า แสงไฟ มอเตอร์ไฟฟ้า เป็นต้น พลังงานไฟฟ้าจะถูกเปลี่ยนเป็นพลังงานในรูปต่าง ๆ ตามวัตถุประสงค์นั้น ๆ ในด้านการสื่อสารโทรคมนาคม จะพบว่าบางรูปแบบของพลังงานเมื่อบรรจุข่าวสารลงไป จะถูกเปลี่ยนเป็นพลังงานไฟฟ้าเพื่อที่จะส่งผ่านไปยังจุดหมายปลายทางที่อยู่ห่างไกลออกไป เมื่อถึงจุดหมายปลายทาง พลังงานไฟฟ้าก็จะถูกเปลี่ยนกลับมาเป็นรูปแบบเดิม มีความหมายเหมือนเดิม ซึ่งเป็นอันว่าการติดต่อสื่อสารได้เกิดขึ้น

องค์ประกอบขั้นพื้นฐานของระบบ

องค์ประกอบขั้นพื้นฐานของระบบสื่อสารโทรคมนาคมดังแสดงในรูปที่ 2.1 สามารถจำแนกออกเป็นส่วนประกอบได้ดังต่อไปนี้

1. ผู้ส่งข่าวสารหรือแหล่งกำเนิดข่าวสาร(source) อาจจะเป็นสัญญาณต่าง ๆ เช่น สัญญาณภาพ ข้อมูล และเสียง เป็นต้น ในการติดต่อสื่อสารสมัยก่อนอาจจะใช้แสงไฟ ควันไฟ หรือท่าทางต่าง ๆ ก็นับว่าเป็นแหล่งกำเนิดข่าวสาร จัดอยู่ในหมวดหมู่นี้เช่นกัน

2. ผู้รับข่าวสารหรือจุดหมายปลายทางของข่าวสาร (sink) ซึ่งจะรับรู้จากสิ่งที่ผู้ส่งข่าวสารหรือแหล่งกำเนิดข่าวสารส่งผ่านมาให้ ตราบใดที่การติดต่อสื่อสารบรรลุวัตถุประสงค์ ผู้รับสารหรือจุดหมายปลายทางของข่าวสารก็จะได้รับข่าวสารนั้น ๆ ถ้าผู้รับสารหรือจุดหมายปลายทางไม่ได้รับข่าวสาร ก็แสดงว่าการสื่อสารนั้นไม่ประสบความสำเร็จ กล่าวคือไม่มีการสื่อสารเกิดขึ้นนั่นเอง
3. ช่องสัญญาณ (channel) ในที่นี้อาจจะหมายถึงสื่อกลางหรือตัวกลางที่ตัวกลางเดินทางผ่าน อาจจะเป็นอากาศ สายนำสัญญาณต่าง ๆ หรือแม้กระทั่งของเหลว เช่น น้ำ น้ำมัน เป็นต้น เปรียบเสมือนเป็นสะพานที่ให้ข่าวสารข้ามจากฝั่งหนึ่งไปยังอีกฝั่งหนึ่ง
4. การเข้ารหัส (encoding) เป็นการช่วยให้ผู้ส่งข่าวสารและผู้รับข่าวสารมีความเข้าใจตรงกันในการสื่อความหมาย จึงมีความจำเป็นต้องแปลงความหมายนี้การเข้ารหัสจึงหมายถึงการแปลงข่าวสารให้อยู่ในรูปพลังงานที่พร้อมจะส่งไปในสื่อกลาง และทางผู้รับมีความสามารถในการแปลงพลังงานให้กลับไปอยู่ในรูปข่าวสารที่สามารถเข้าใจได้ ข้อสำคัญคือความเข้าใจต้องตรงกันระหว่างผู้ส่งและผู้รับ หรือมีรหัสเดียวกันการสื่อสารจึงเกิดขึ้นได้
5. การถอดรหัส (decoding) หมายถึงการที่ผู้รับข่าวสารแปลงพลังงานจากสื่อกลางให้กลับไปอยู่ในรูปข่าวสารที่ส่งมาจากผู้ส่งข่าวสาร โดยมีความเข้าใจหรือรหัสตรงกัน
6. สัญญาณรบกวน (noise) เป็นสิ่งที่มีอยู่ในธรรมชาติ มักจะลดทอนหรือรบกวนระบบ อาจจะเกิดขึ้นได้ทั้งทางด้านผู้ส่งข่าวสาร ผู้รับข่าวสาร และช่องสัญญาณ แต่ในการศึกษาขั้นพื้นฐานมักจะสมมติให้ทางด้านผู้ส่งข่าวสารและผู้รับข่าวสารไม่มีความผิดพลาด ตำแหน่งที่ใช้วิเคราะห์มักจะเป็นตัวกลางหรือช่องสัญญาณ เมื่อไรที่รวมสัญญาณรบกวนด้านผู้ส่งข่าวสารและด้านผู้รับข่าวสาร สิ่งที่ส่งมาจะเป็นข่าวสารจากแหล่งกำเนิดรวมกับสัญญาณรบกวนทางด้านส่ง ในทางปฏิบัติมักจะใช้วงจรกรอง (filter) กรองสัญญาณรบกวนแต่ต้นทาง เพื่อให้การสื่อสารมีคุณภาพดียิ่งขึ้นแล้วค่อยดำเนินการ เช่น การเข้ารหัสแหล่งข้อมูล เป็นต้น



รูปที่ 2.1 องค์ประกอบขั้นพื้นฐานของระบบสื่อสารโทรคมนาคม

ความต้องการขั้นพื้นฐานของระบบโทรคมนาคมในการส่งสัญญาณนั้นพลังงานที่มีข้อมูลข่าวสารจะต้องถูกเปลี่ยนไปอยู่ในรูปของพลังงานไฟฟ้าเพื่อที่จะผลิตสัญญาณแอนะล็อกหรือดิจิตอล ซึ่งสามารถทำได้โดยใช้เครื่องแปลงสัญญาณที่เหมาะสมในการแปลงพลังงานจากรูปแบบหนึ่งไปเป็นอีกรูปแบบหนึ่งในการใช้งานจริงอาจจะต้องใช้ชิ้นส่วนอื่น ๆ เพิ่มเติมอีกเพื่อความเหมาะสม เช่น วงจรขยาย วงจรกรอง เป็นต้น สิ่งสำคัญที่พึงจะตระหนักคือ ในระบบโทรคมนาคมจะมีการรบกวนจากสัญญาณรบกวน และยังมีการบิดเบือนของสัญญาณเกิดขึ้นด้วย สิ่งเหล่านี้เป็นผลที่เราไม่ต้องการ และควรให้มีน้อยที่สุด ในการพิจารณาระบบโทรคมนาคม หลักเบื้องต้นที่จะต้องคำนึงถึงคือทำอย่างไรให้ข่าวสารหรือข้อมูลที่ได้รับมีความสมบูรณ์และมีสภาพเหมือนข่าวสารที่ส่งมามากที่สุด แล้วค่อยมาพิจารณาถึงประสิทธิภาพของระบบ

สัญญาณ

สัญญาณที่ใช้ในระบบสื่อสารโทรคมนาคมแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภทคือสัญญาณแอนะล็อกและสัญญาณดิจิตอล สัญญาณแอนะล็อกเป็นสัญญาณที่มีขนาดเป็นค่าต่อเนื่อง ส่วนสัญญาณดิจิตอลเป็นสัญญาณที่มีขนาดเปลี่ยนแปลงเป็นค่าของเลขลงตัว โดยปกติมักแทนด้วยระดับแรงดันที่แสดงสถานะเป็น "0" และ "1" หรืออาจจะมีหลายสถานะ ซึ่งจะกล่าวถึงในเรื่องระบบสื่อสารดิจิตอล มีค่าที่ตั้งไว้(threshold) เป็นค่าบอกสถานะ ถ้าสูงเกินค่าที่ตั้งไว้ สถานะเป็น "1" ถ้าต่ำกว่าค่าที่ตั้งไว้ สถานะเป็น "0" สัญญาณรบกวนมีค่า 0.2 โวลต์ แต่ค่าที่ตั้งไว้เท่ากับ 0.5 โวลต์ สถานะยังคงเดิมคือเป็น "0" ในขณะที่ระบบแอนะล็อกสัญญาณรบกวนจะเติมเข้าไปในสัญญาณจริงโดยตรง กล่าวคือสัญญาณจริงบวกสัญญาณรบกวนเป็นสัญญาณขณะนั้น ทำให้สัญญาณรบกวนมีผลต่อสัญญาณจริงและมีความผิดพลาดเกิดขึ้น ในโครงงานนี้จะกล่าวถึงสัญญาณแอนะล็อกและสัญญาณดิจิตอลในเชิงประยุกต์ใช้งานมากกว่าที่จะกล่าวถึงรายละเอียดทางคณิตศาสตร์

กระแสไฟฟ้าแบ่งออกได้เป็นไฟฟ้ากระแสตรงและไฟฟ้ากระแสสลับ หลาย ๆ คนอาจจะคิดว่าไม่มีส่วนเกี่ยวข้องกับระบบสื่อสารโทรคมนาคม เมื่อกล่าวถึงสัญญาณในเชิงประยุกต์ก็อาจจะจำแนกไปในหมวดหมู่นี้ได้ การไหลของไฟฟ้ากระแสตรงในวงจรอย่างสม่ำเสมอไม่สามารถส่งข่าวสารได้ แต่เมื่อไรที่ทำการควบคุมกระแสให้เป็นพัลส์โดยการเปิดสวิตช์ กระแสก็จะมีค่าค่าหนึ่ง พัลส์ของกระแสถูกผลิตตามรหัสที่ใช้แทนแต่ละตัวอักษรหรือตัวเลขโดยการรวมของพัลส์การทำงานของสวิตช์สามารถส่งข้อความใด ๆ ได้ ตัวอย่างที่เห็นได้เสมอได้แก่ รหัสมอร์ส เป็นต้น ส่วนไฟฟ้ากระแสสลับในรูปของคลื่นอยู่ในจำพวกคลื่นวิทยุมีการใช้งานอย่างกว้างขวางเป็นที่รู้จักกันดี

สัญญาณหนึ่งที่น่าสนใจคือรูปคลื่นที่ซับซ้อนตัวอย่างของรูปคลื่นที่ซับซ้อนที่พบได้บ่อย ๆ ในระบบสื่อสารโทรคมนาคม โดยใช้การวิเคราะห์ทางคณิตศาสตร์เราจะพบว่ารูปคลื่นที่ซับซ้อนใด ๆ ถูกสร้างขึ้นจากรูปคลื่นไซน์ที่มีความถี่ที่แน่นอนค่าหนึ่งที่เรียกว่า ความถี่พื้นฐาน (undamental frequency) และจำนวนของรูปคลื่นไซน์อื่น ๆ จะมีความถี่เป็นจำนวนเท่าของความถี่พื้นฐาน และมีค่าสูงสุด (peak value) ที่ลดลง

จำนวนเท่าเหล่านี้เรียกว่า ฮาร์มอนิก (harmonic) ของความถี่พื้นฐานเช่น รูปคลื่นที่ซับซ้อนมีความถี่พื้นฐาน f เฮิรตซ์ จะมีความถี่ฮาร์มอนิกเป็น 2f,3f,4f,5f,6f และอื่น ๆ ซึ่งมักจะเป็นเลขคู่และเลขคี่ของจำนวนเท่าของความถี่ รูปคลื่นเหล่านี้จะมีประโยชน์มากในการวิเคราะห์สัญญาณต่าง ๆ โดยเฉพาะสัญญาณรบกวนการวิเคราะห์ทางคณิตศาสตร์ที่ค่อนข้างจะยุ่งยากเป็นสิ่งจำเป็นในการตีความหมายของสัญญาณเหล่านี้

สัญญาณอีกชนิดที่ไม่สามารถจัดประเภทได้ ไม่มีรูปแบบ ซึ่งมักจะเป็นสัญญาณรบกวน ไม่สามารถนำมาใช้งานได้ เมื่อเกิดขึ้นก็จะไม่คำนึงถึง เกิดขึ้นชั่วคราวแล้วก็หายไป เมื่อไรที่คำนึงถึงหรือมีผลต่อระบบความจำเป็นในการกำหนดรูปแบบหรือจำลองแบบโดยอาศัยวิธีการทางคณิตศาสตร์ก็สามารถกระทำได้ และจัดการใส่รูปแบบเข้าไปเพื่อผลในการกำจัดหรือลดทอนสัญญาณที่ไม่พึงประสงค์ออกไป วิธีการทางคณิตศาสตร์สามารถวิเคราะห์หรือหารูปแบบที่เหมาะสมในการอธิบายพฤติกรรมของสัญญาณที่ไม่มีรูปแบบนี้ รวมถึงการหาองค์ประกอบย่อย ๆ ของสัญญาณนั้นได้ แต่ค่อนข้างที่จะยุ่งยากและไม่สามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้ ในทางปฏิบัติจึงนิยมที่จะละเลยไป เว้นแต่มีความสำคัญต่อระบบ เช่น เกรนฮิต (gainhit) หรือเฟสฮิต (phase hit) เป็นต้น เกรนฮิตและเฟสฮิตนี้มักเกิดจากการกดปุ่มผิดชั่วขณะ ตามมาตรฐาน CCITT ระบุไว้ให้ผลที่เกิดตั้งแต่ 4 มิลลิวินาทีจนถึงนานนับชั่วโมงเข้าข่ายนี้ และกำหนดให้โมเด็ม (modem) มีมาตรฐานว่าเกิดขึ้นได้กี่ครั้งในเวลา 15 นาที มีขนาดสูงสุดและเฟสสูงสุดเท่าใด ความยากของการจัดรูปแบบอยู่ที่ตำแหน่งที่กดปุ่มว่าอยู่ที่ใดของระบบ ณ จุดนั้นมีการไหลของข้อมูลและสัญญาณอย่างไร การจัดรูปแบบสามารถทำได้เมื่อผ่านการทดสอบทางแอนะล็อก (analog testing) บางครั้งก็อาจจะไม่เพียงพอต้องดูไปที่การทดสอบดิจิตอล (digital testing) เพื่อดูการทำงานในชั้นการเชื่อมต่อ บางครั้งอาจจะต้องทดสอบทางโปรโตคอล (protocal testing) เพื่อดูการทำงานในชั้นประมวลผลการทำงานทั้งระบบ และวิเคราะห์กลับมาสู่รูปแบบของสัญญาณนั้น ๆ วิธีการดังกล่าวจะได้กล่าวต่อไป

ความถี่และสายนำสัญญาณ

ตามปกติแล้วคลื่นที่ใช้ในการติดต่อสื่อสารได้แก่คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ซึ่งมีความสัมพันธ์ระหว่างความถี่ ความยาวคลื่น และความเร็วในการเคลื่อนที่ของคลื่นดังนี้

$$\text{ความถี่} = \frac{\text{ความเร็ว}}{\text{ความยาวคลื่น}}$$

ความยาวคลื่นนี้เป็นการวัดระหว่างจุดสูงสุดหรือจุดต่ำสุดของคลื่นทั้งสองคลื่นที่อยู่ติดต่อกัน ความเร็วของแสงในอากาศเป็น 3×10^8 เมตรต่อวินาที ความถี่มีหน่วยเป็นเฮิรตซ์ (hertz หรือ Hz) ช่วงของความถี่เรียกว่า สเปกตรัม (spectrum) และในสเปกตรัมนี้แบ่งเป็นช่วง ๆ เรียกว่า แบนด์ (band) อันเป็นที่มาของความกว้างของช่วงคลื่นหรือแถบความถี่เรียกว่า แบนด์วิดท์ (bandwidth) และมักจะพบเสมอเมื่อกล่าวถึงความถี่ สมมติว่าวิทยุ AM ส่งกระจายเสียงที่ความถี่ 1 เมกะเฮิรตซ์ ความยาวคลื่นในการส่งเท่ากับ

$3X10^8/1X10^6 = 3X10^2 = 300$ เมตรเป็นต้น ตารางที่ 1.1 แสดงสเปกตรัมที่ความถี่ต่าง ๆ ตามมาตรฐานข้อตกลงระหว่างประเทศ ซึ่งกำหนดโดยองค์การโทรคมนาคมนานาชาติ (International Telecommunication Union หรือ ITU) การเคลื่อนที่ของคลื่นเป็นไปตามหลักฟิสิกส์ คือคลื่นเดินทางเป็นเส้นตรง มีการสะท้อนของสัญญาณ มีการหักเหของสัญญาณ รวมไปถึงการที่มีสัญญาณรบกวนมาเกี่ยวข้องด้วย คุณสมบัติต่าง ๆ ของคลื่นขึ้นอยู่กับความถี่ที่ใช้งาน ความถี่ที่สูงจะมีความยาวคลื่นที่สั้นกว่า แต่มีอำนาจทะลุทะลวงได้ดี กว่าในขณะที่ความถี่ต่ำจะมีความยาวคลื่นมากกว่า ทำให้คลื่นเดินทางได้ไกลกว่าสัญญาณข่าวสารที่เป็นคำพูดหรือเสียง จึงมีแบนด์วิดท์ของความถี่ที่ต่ำสุดค่าหนึ่งในการนำพาข่าวสาร รูปแบบอื่น ๆ ของสัญญาณข่าวสารในระบบโทรคมนาคม เช่น โทรภาพ โทรทัศน์ ดนตรี ข้อมูล เป็นต้น มีแบนด์วิดท์ต่ำสุดที่แตกต่างกันไป แบนด์วิดท์ของสัญญาณข่าวสารเป็นส่วนสำคัญในการออกแบบระบบในด้านของวงจรและตัวกลางสำหรับส่งสัญญาณ ความรู้เรื่องความถี่เป็นสิ่งสำคัญมากเนื่องจากมีการประยุกต์ใช้งานที่ความถี่ย่านต่าง ๆ ในระบบโทรคมนาคม

ตารางที่ 2.1 แสดงสเปกตรัมที่ความถี่ต่าง ๆ

แถบความถี่	ชื่อเรียก (ชื่อย่อ) ของแถบความถี่
3 – 10 kHz	Extremely low frequency (ELF)
10 – 30 kHz	Very low frequency (VLF)
30 – 300 kHz	Low frequency (LF)
300 – 3000 kHz	Medium frequency (MF)
3 – 30 MHz	High frequency (HF) (หรือ short wave)
30 – 300 MHz	Very high frequency (VHF)
300 – 3000 MHz	Ultra high frequency (UHF) (หรือ microwave)
3 – 30 GHz	Super high frequency (SHF)
30 – 300 GHz	Extremely high frequency (EHF)

โดยที่ 1000 kHz = 1 MHz

1000 MHz = 1 GHz

คลื่นที่กล่าวถึงในการนำไปใช้งานจะมีรูปแบบเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า มีคุณสมบัติที่ความถี่ต่าง ๆ ไม่เหมือนกัน และมีผลต่อช่องสัญญาณในการติดต่อสื่อสาร ด้วย คุณสมบัติและตัวอย่างการใช้ประโยชน์ที่ความถี่ต่าง ๆ พอกล่าวย่อย ๆ ได้ดังนี้

ความถี่ ELF เป็นย่านความถี่ต่ำมาก มักได้แก่เสียงดนตรี เสียงสัตว์ หรือเสียงของมนุษย์บางส่วน ความถี่ย่าน VLF และ LF สมัยก่อนจะใช้กับวิทยุโทรเลขแต่ในปัจจุบันใช้กับงานบางชนิดเท่านั้น ความถี่ย่าน

MF นี้ใช้ในการส่งกระจายเสียงในระบบ AM และ HF หรือที่เรียกอีกชื่อว่าคลื่นสั้น ใช้ในการส่งกระจายเสียงในระบบ AM แบบคลื่นสั้น และใช้กับกิจการวิทยุสมัครเล่น คุณสมบัติของคลื่นในความถี่ย่าน MF และ HF คือเมื่อคลื่นเดินทางไปในชั้นของบรรยากาศชั้นสูงสุดที่ห่อหุ้มโลกคือไอโอโนสเฟียร์ (ionosphere) คลื่นก็จะสะท้อนกลับมา อันเป็นเหตุให้คลื่นเดินทางได้ไกลมาก แต่มีการสูญเสียพลังงานพอสมควร เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงของชั้นบรรยากาศที่มีผลต่อคลื่น ทำให้ความแรงของสัญญาณมีค่าไม่คงที่ ส่วนคลื่นความถี่ย่าน VHF และ UHF เป็นคลื่นที่สามารถเดินทางทะลุผ่านชั้นของบรรยากาศไปได้เนื่องจากมีความถี่สูง การติดต่อสื่อสารจึงอยู่ในลักษณะเป็นแนวเส้นตรง (line of sight) จึงจะทำการสื่อสารได้ การประยุกต์ใช้งานมีอยู่มากมาย เช่น การส่งสัญญาณ โทรทัศน์ วิทยุสื่อสาร เซลลูล่าร์ หรือแม้กระทั่งดาวเทียมวงโคจรต่ำเป็นต้น

การที่จะติดต่อสื่อสารได้นั้น ข้อมูลข่าวสารในรูปของสัญญาณต่าง ๆ ต้องเคลื่อนที่ผ่านช่องสัญญาณ รูปแบบพอแยกแยะได้เป็น 2 หลักคือ แบบมีสายและแบบไม่มีสาย แบบไม่มีสายมักจะเป็นประเภทคลื่นวิทยุที่ความถี่ต่าง ๆ ส่วนแบบมีสายก็จะได้แก่สายนำสัญญาณ สายนำสัญญาณพอจะจำแนกได้ 3 ประเภทคือ สายทองแดงตีเกลียวคู่ (twisted pair) สายโคแอกเชียล (coaxial) และสายใยแก้วนำแสง (optic fiber) สายนำสัญญาณแต่ละชนิดจะมีข้อดีข้อเสียแตกต่างกัน เช่น ราคา การทนต่อสัญญาณรบกวน รวมไปถึงความสูญเสียของสัญญาณ ความยากง่ายในการใช้งาน รวมถึงความเหมาะสม เป็นต้น นอกจากนี้ยังมีสายนำที่มีลักษณะเป็นท่อเรียกว่า ท่อนำคลื่น (waveguid) ท่อนำคลื่นนี้มีลักษณะเป็นท่อสี่เหลี่ยม ใช้ความกว้างและความยาวของท่อในการคำนวณกำหนดรูปแบบและคุณสมบัติของคลื่น เหมาะที่จะใช้งานในย่านที่ความถี่สูง ซึ่งจะทดแทนคุณสมบัติบางประการของเคเบิล เช่นการสูญเสียพลังงานของคลื่น ผลของ Skin Efect และการสูญเสียการเป็นสื่อนำไฟฟ้า (dieletric) เป็นต้น

รีโมตคอนโทรลโดยใช้คลื่นวิทยุความถี่สูงย่าน UHF

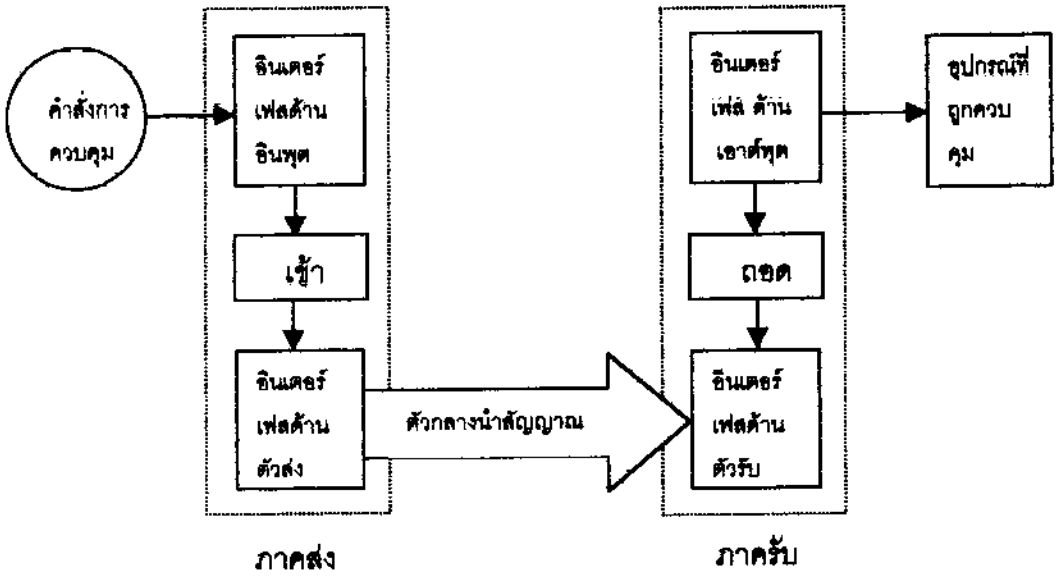
รีโมตคอนโทรล หมายถึงระบบควบคุมระยะไกล ที่ทำหน้าที่เสมือนแขนขาของมนุษย์ ระบบการทำงานเป็นระบบการเข้ารหัสและถอดรหัส ไปจนถึงแนวความคิดของการประยุกต์ใช้งาน

การทำงานของระบบควบคุมระยะไกลทั่วไป ในลักษณะของการควบคุมแบบทางเดียว เริ่มจากตัวกำหนดคำสั่งที่ใช้สำหรับการควบคุมว่ามีคำสั่งอะไรบ้าง ชุดคำสั่งทั้งหมดมีกี่คำสั่งเป็นต้น เมื่อมีการกำหนดรูปแบบของคำสั่งแล้ว รูปแบบของคำสั่งที่ถูกเลือกจะถูกส่งไปยังภาคส่งสัญญาณที่ทำหน้าที่แปลงสัญญาณหรือรวมสัญญาณควบคุมให้มีรูปแบบที่เหมาะสมกับวงจร

โดยอาจทำการเข้ารหัสสัญญาณให้แต่คำสั่งมีรหัสเฉพาะของตัวมันเองให้เป็นสัญญาณไฟฟ้า ก่อนที่จะถูกส่งออกไปยังภาครับโดยตัวอินเตอร์เฟสด้านตัวส่ง เพื่อทำหน้าที่ส่งสัญญาณที่ภาครับต้องเข้าใจได้นั่นก็คือต้องเป็นระบบเดียวกัน สัญญาณที่ถูกส่งออกมาอาจอยู่ในรูปของสัญญาณไฟฟ้า, สัญญาณแสง หรือสัญญาณเสียงความถี่สูง สัญญาณนี้สามารถเดินทางผ่านตัวกลางที่เป็นสายนำสัญญาณ หรือผ่านตัวกลางอากาศ ขึ้นอยู่กับระบบที่ถูกออกแบบ

TK
7887.5
.ว77ท
2541
C.1
2 8 มี.ค. 2543
4340087

หากใช้สายสัญญาณเป็นตัวนำสัญญาณจะเรียกว่า ระบบไร้สาย ซึ่งถ้าใช้สัญญาณไฟฟ้าเป็นสัญญาณควบคุม (ที่มีการจัดรูปแบบหรือเข้ารหัสแล้ว) ก็จะใช้สายไฟฟ้าเป็นตัวนำสัญญาณ แต่ถ้าหากใช้สัญญาณแสงเป็นตัวควบคุม ตัวนำสัญญาณจะเป็นเส้นใยแก้วนำแสงหรือไฟเบอร์ออปติก ในกรณีที่สัญญาณควบคุมถูกส่งไปในอากาศ เพื่อเดินทางไปยังเครื่องรับ เช่น การใช้สัญญาณไฟฟ้าในรูปของคลื่นวิทยุ หรือการใช้สัญญาณแสงอินฟาเรดโดยตรง ระบบจะมีชื่อว่า ระบบไร้สาย ระบบนี้เองที่กำลังเป็นนิยมใช้กันอยู่ในปัจจุบัน



รูปที่ 2.2 แสดงการทำงานของภาคส่งและภาครับ

สัญญาณที่เข้ามายังเครื่องรับหรือภาครับ จะถูกตัวอินเตอร์เฟสทำหน้าที่แปลงสัญญาณ ให้อยู่ในรูปของสัญญาณไฟฟ้าที่เข้ากับระบบของตัวรับ ก่อนถูกถอดรหัสเพื่อทราบวัตถุประสงค์ของคำสั่ง จากนั้นส่วนของวงจรอินเตอร์เฟสด้านเอาต์พุตจะทำหน้าที่ควบคุมการทำงานของอุปกรณ์ที่ต้องการ ตามลักษณะคำสั่งที่ได้รับ

ระบบที่กล่าวมาถึงนั้น เป็นระบบรีโมตคอนโทรลหรือการควบคุมระยะไกลแบบทางเดียว ที่มีการสั่งงานจากจุดหนึ่งแล้วเกิดการทำงานขึ้นอีกจุดหนึ่ง หากจุดที่ถูกสั่งให้ทำงาน มีความตามารถในการสั่งการกลับมายังจุดเริ่มต้นให้ทำงานได้ด้วยแล้ว แสดงว่าการทำงานของจุดหรือตำแหน่งทั้งสองมีความเสมอภาคกัน อย่างนี้ถือเป็นระบบการควบคุมระยะไกลแบบสองทาง ซึ่งมักปรากฏให้เห็นอย่างชัดเจนในระบบการสื่อสารทั่วไป

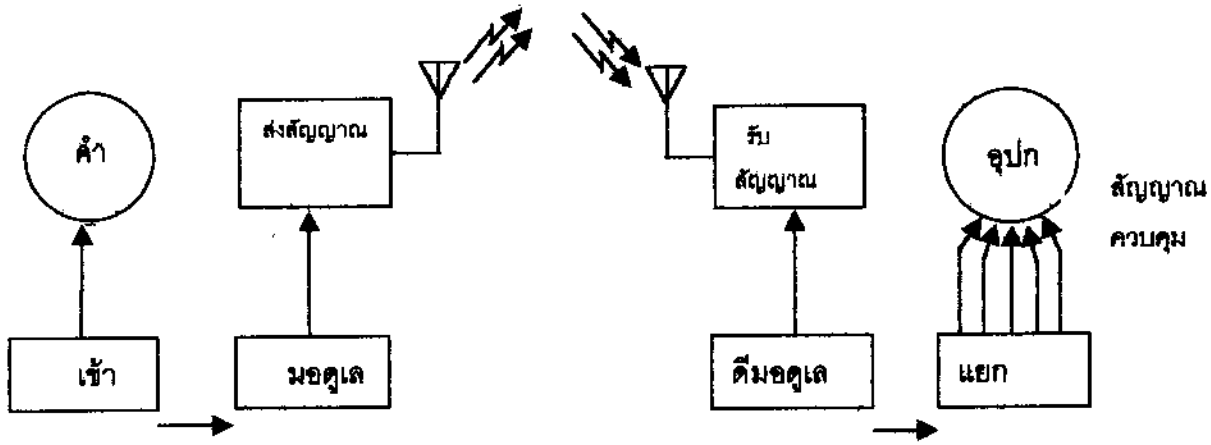
ระบบของสัญญาณควบคุม

ปัจจุบันนี้การแบ่งประเภทการควบคุมระบบรีโมตคอนโทรล อาจจำแนกออกได้เป็น 2 ประเภท ตามลักษณะของการส่งผ่านสัญญาณ หรือตัวกลางในการเชื่อมโยงสัญญาณ

ระบบไร้สาย

เป็นระบบควบคุมที่ต้องมีอุปกรณ์นำสัญญาณจากตัวส่ง (สถานีส่ง) ไปยังตัวรับ (สถานีรับ) อุปกรณ์การนำสัญญาณนั้น ขึ้นอยู่กับชนิดของสัญญาณพาหะ อาจได้แก่สัญญาณไฟฟ้าและสัญญาณแสง เป็นต้น

ในกรณีของสัญญาณควบคุมที่เป็นสัญญาณไฟฟ้า อุปกรณ์นำสัญญาณอาจได้แก่ สายไฟ, สายโทรศัพท์, สายโคแอกเชียล ฯลฯ แต่ถ้าในกรณีของสัญญาณควบคุมที่เป็นสัญญาณแสง อุปกรณ์นำสัญญาณจะเป็นเส้นใยแก้วนำแสง หรือไฟเบอร์ออปติก



รูปที่ 2.3 บล็อกไดอะแกรมของระบบวิทยุบังคับ

ระบบไร้สาย เป็นระบบควบคุมที่ไม่ต้องมีอุปกรณ์ใด ๆ เป็นตัวนำสัญญาณ โดยสัญญาณควบคุมจะเดินทางผ่านไปในอากาศ ชนิดของสัญญาณควบคุมที่เดินทางผ่านไปในอากาศได้ อาจอยู่ในรูปของสัญญาณเสียง สัญญาณแสง และคลื่นวิทยุ

กรณีของการควบคุมด้วยการใช้คลื่นวิทยุนั้น นิยมใช้กับเครื่องเล่นประเภทวิทยุบังคับ เช่น เครื่องบินเล็ก, เรือเร็ว, รถเด็กเล่น เป็นต้น ทั้งนี้ก็เพราะรัศมีทำการของระบบวิทยุบังคับ มีรัศมีการควบคุมที่ไกลมาก ขึ้นอยู่กับกำลังการส่งสัญญาณออกอากาศ และใช้ได้แม้ในพื้นที่คับแคบ, คดเคี้ยววนเวียน แต่รัศมีทำการอาจจะแคบเข้ามาด้วย เพราะคลื่นวิทยุสามารถทะลุสิ่งกีดขวางได้ สัญญาณควบคุมของระบบวิทยุอาจถูกกำหนดและเข้ารหัสด้วยวิธีเดียวกับรีโมตคอนโทรลทั่วไป เพียงแต่จะถูกนำมามอดดูเลต (modulate) กับคลื่นวิทยุที่ภาคส่งก่อน การมอดดูเลตสัญญาณใช้หลักการของการสื่อสารทั่วไป เช่น การมอดดูเลตแบบ AM FM เป็นต้น

ส่วนของวงจรภาครับ เมื่อได้รับสัญญาณวิทยุก็จะทำการดีมอดดูเลต (demodulate) เพื่อแยกชนิดของสัญญาณควบคุมออกมาจากความถี่วิทยุ สำหรับใช้สั่งงานอุปกรณ์ส่วนอื่นต่อไป

2.3 แม่เหล็ก (Magnetism)

แม่เหล็กธรรมชาติ ในธรรมชาติปรากฏว่า มีสินแร่เหล็กชนิดหนึ่ง ซึ่งปัจจุบันนี้เรียกกันว่าแร่ Magnetite ประกอบด้วย อ็อกไซด์ของเหล็ก มีสูตรทางเคมีคือ Fe_3O_4 แร่ชนิดนี้มีปรากฏพบตามส่วนต่าง ๆ ของโลก เช่นที่ นอร์เวย์, สวีเดน และสเปน แร่ชนิดนี้บางอันมีคุณสมบัติประหลาด คือสามารถดูดโลหะบางชนิดได้ เช่น เหล็ก, นิเกิ้ล และโคบอลท์ เมื่อนำก้อนแร่นี้คลุกผงตะไบเหล็ก ผงตะไบเหล็กจะเกาะติดเป็นกลุ่มอยู่ที่ปลายทั้งสองของก้อนแร่ และนำก้อนแร่นี้ขึ้นแขวนให้แกว่งได้รอบตัวในแนวราบ เมื่อหยุดแกว่งแล้ว ปลายทั้งสองของก้อนแร่จะอยู่ในแนวทิศเหนือ-ใต้เสมอ เมื่อก้อนแร่ชนิดนี้ไปถูแท่งเหล็กธรรมดาหลาย ๆ ครั้ง แท่งเหล็กธรรมดาแท่งนั้นจะปรากฏมีคุณสมบัติดังกล่าวแล้วนั้นทุกประการ เราเรียกก้อนแร่ชนิดนี้ว่า แม่เหล็กธรรมชาติ มนุษย์ได้รู้จักคุณสมบัติในการแสดงแนวทิศเหนือ-ใต้ ของแร่ชนิดนี้มาตั้งแต่ในสมัยโบราณ จึงได้นำก้อนแร่ชนิดนี้มาตบแต่งรูปร่างให้สะดวกต่อการใช้งาน และใช้เป็นเครื่องมือสำหรับชี้ทิศ เพื่อแสดงแนวทิศเหนือ-ใต้ โดยในที่นี้จึงเรียก ก้อนแร่ชนิดนี้ว่า Lodestone หรือ Leading stone ซึ่งหมายความว่า หินนำทาง

กฎของการดูดและการผลัก แท่งแม่เหล็กทุกชนิด จะมีขั้วเพียงสองชนิดเท่านั้น คือ ขั้วเหนือ และ ขั้วใต้ ถ้าเข็มแม่เหล็กถูกนำไปแขวนไว้ใกล้กับแท่งแม่เหล็ก จะเห็นว่าขั้วเหนือออกแรงผลักกับขั้วเหนือ และขั้วใต้ออกแรงผลักกับขั้วใต้ อย่างไรก็ตามขั้วตรงกันข้ามกันจะออกแรงดูดซึ่งกันและกัน ดังนั้นกฎการดูดและการผลัก ขั้วแม่เหล็กชนิดเดียวกันผลักกัน กล่าวคือขั้วเหนือผลักกับขั้วเหนือ และขั้วใต้ผลักกับขั้วใต้ แรงที่เกิดขึ้นนี้เป็น แรงผลัก ขั้วแม่เหล็กต่างชนิดเดียวกันดูดกัน กล่าวคือขั้วเหนือกับขั้วใต้ดูดกัน แรงที่เกิดขึ้นนี้เป็น แรงดูด

สารแม่เหล็ก (Magnetic Materials) ได้แก่ เหล็ก, นิเกิ้ล, โคบอลท์และโลหะผสมบางอย่าง เช่น โลหะผสมที่ประกอบด้วยเหล็กและซิลิกอน เป็นต้น ซึ่งก่อให้เกิดแรงดูดอย่างแรง สารที่ก่อให้เกิดแรงดูดอย่างอ่อน ๆ ก็มีแมงกานีส, อลูมิเนียม, ปลาตินัม สารที่ก่อให้เกิดแรงผลักก็มีบิสมัส, แอนติโมนี่ ซึ่งเป็นสารที่ก่อให้เกิดแรงผลักอย่างอ่อน ๆ เท่านั้น

ชนิดของแม่เหล็ก แม่เหล็กอาจแบ่งออกได้เป็น 3 ชนิดคือ

1. แม่เหล็กธรรมชาติ (Natural Magnets) เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ
2. แม่เหล็กถาวร (Permanent Magnets) เป็นแม่เหล็กประดิษฐ์ขึ้น ใช้โลหะผสมหรือเหล็กกล้ามาทำเป็นแม่เหล็กถาวร
3. แม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnets) ใช้ลวดหุ้มพันรอบแกนเหล็กอ่อน เมื่อกระแสไฟฟ้าเข้าในขดลวด แกนเหล็กอ่อนจะกลายเป็นแม่เหล็ก เมื่อกระแสไฟฟ้าหยุดไหล แกนเหล็กอ่อนก็หมดอำนาจแม่เหล็กไป

สนามแม่เหล็กและเส้นแรงแม่เหล็ก (Magnetic field and line of force) สนามแม่เหล็กของแท่งแม่เหล็กใด หมายถึงบริเวณโดยรอบแม่เหล็กแท่งนั้น ซึ่งแม่เหล็กแท่งนั้นสามารถส่งอำนาจแม่เหล็กไปถึงได้ บริเวณโดยรอบลักษณะดังกล่าวเฉพาะอยู่ที่ภายนอกแท่งแม่เหล็ก เรียกว่าสนามแม่เหล็กภายนอก ส่วนบริเวณภายในโดยรอบเฉพาะที่อยู่ภายในแท่งแม่เหล็ก เรียกว่าสนามแม่เหล็กภายใน โดยปกติเมื่อกล่าวถึงสนามแม่เหล็กแล้ว เรามักจะหมายถึงบริเวณที่อยู่ภายนอกแท่งแม่เหล็กเหล่านั้น ซึ่งเรียกกันสั้น ๆ ว่า สนามแม่เหล็ก โดยที่สนามแม่เหล็กก็มีลักษณะประกอบไปด้วยเส้นแผ่กระจายเต็มสนามแม่เหล็ก และกำหนดเรียกเส้นต่าง ๆ เหล่านั้นว่า เส้นแรงแม่เหล็ก ปริมาณของเส้นแรงแม่เหล็กรอบ ๆ แท่งแม่เหล็กทั้งหมด เรียกว่า ฟลั๊กแม่เหล็ก (Flux) จำนวนของเส้นแรงแม่เหล็กต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ เรียกว่าความหนาแน่นฟลั๊ก (Flux density) ซึ่งอาจจะวัดเป็นเส้นต่อตารางนิ้วหรือเส้นต่อตารางเซนติเมตร

เส้นแรงแม่เหล็กมีคุณสมบัติต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

1. เส้นแรงแม่เหล็กพุ่งออกจากขั้วเหนือสู่ขั้วใต้ และเส้นแรงแม่เหล็กจะมีปรากฏอยู่อย่างหนาแน่นในบริเวณใกล้ขั้วแม่เหล็ก ส่วนในบริเวณห่างออกไป เส้นแรงแม่เหล็กจะกระจายอยู่ห่าง ๆ กัน ย่อมแสดงว่า สนามแม่เหล็กมีความแรงของสนามแม่เหล็กมากกว่าบริเวณห่างออกไป
2. เส้นแรงแม่เหล็กแต่ละเส้นไม่ตัดกัน
3. เส้นแรงแม่เหล็กจากขั้วแม่เหล็กต่างชนิดกัน จะเสริมเป็นแนวเดียวกัน ส่วนเส้นแรงแม่เหล็กจากขั้วชนิดเดียวกัน ไม่เสริมเป็นแนวเดียวกันแต่จะเบนออกจากกันเป็นคนละแนว
4. เมื่อมีแท่งวัตถุวางอยู่ในสนามแม่เหล็ก
   ก. ถ้าแท่งวัตถุนั้นไม่ใช่สารแม่เหล็ก เช่น แท่งไม้, แท่งทองแดง เป็นต้น เส้นแรงแม่เหล็กในสนามแม่เหล็กนั้น คงพุ่งผ่านแท่งวัตถุนั้น ๆ ไปได้โดยปกติ
   ข. ถ้าแท่งวัตถุเป็นสารแม่เหล็ก เส้นแรงแม่เหล็กจะเบนเข้าสู่แท่งสารแม่เหล็กนั้น ๆ ในการนี้จะเป็นผลให้ทิศทางของเส้นแรงแม่เหล็ก และความเข้มข้นของสนามแม่เหล็กตรงบริเวณที่วางวัตถุนั้นเปลี่ยนแปลงไป

ความเข้มข้นสนามแม่เหล็ก

ความเข้มข้นของสนามแม่เหล็กไฟฟ้า ความเข้มข้นของสนามแม่เหล็กของขดลวด ขึ้นอยู่กับตัวประกอบหลายอย่าง ตามหัวข้อต่อไปนี้

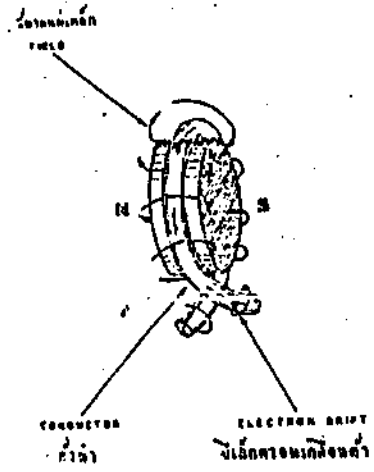
1. จำนวนรอบของตัวนำไฟฟ้า
2. จำนวนกระแสที่ไหลผ่านขดลวด
3. อัตราส่วนของความยาวต่อความกว้างของขดลวด
4. ชนิดของวัตถุที่ใช้ทำแกน

สนามแม่เหล็กรอบ ๆ ตัวนำที่เป็นขด

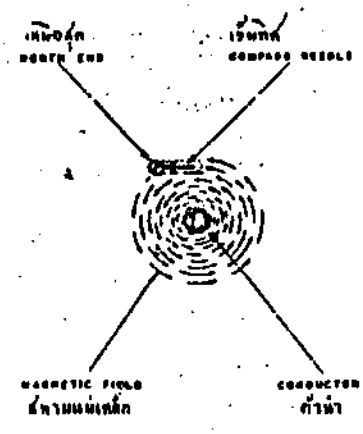
ตัวนำขดเดียว (Single Loop)

สมมุติให้กระแสไหลไปตามลวดตัวนำขดเดียว ดังรูปที่ 2.15 เส้นแรงแม่เหล็กจะอยู่รอบลวดตัวนำตามลูกศร ความสัมพันธ์ระหว่างทิศทางของกระแสที่ไหลกับสนามแม่เหล็กที่อยู่รอบ ๆ จะยังเป็นไปดังรูปที่ 2.16 แต่เนื่องจากตัวนำ Conductor มีรูปร่างเป็นห่วง ๆ หรือขด Loop ดังนั้นเส้นแรงแม่เหล็กจึงวิ่งเข้าทางจุดศูนย์กลางด้านขวามือของห่วง และออกทางจุดศูนย์กลางด้านซ้ายมือของห่วง เพราะเหตุว่าเส้นแรงแม่เหล็กประจุวิ่งออกจากขั้วเหนือของแม่เหล็ก และ จะกลับเข้าสู่ทางขั้วใต้ จึงทำให้เส้นแรงแม่เหล็ก เกิดเป็นห่วง ๆ รอบ ๆ ตัวนำและเกิดขั้วเหนือทางด้านซ้ายมือของขดลวดตัวนำเดี่ยว

ขดของสนามแม่เหล็กที่เกิดขึ้น จะเล็กกว่าขดของตัวนำ จึงทำให้สนามแม่เหล็กที่ได้มีความเข้มสูง เพราะมีสนามแม่เหล็กอยู่ในพื้นที่ ที่จำกัด



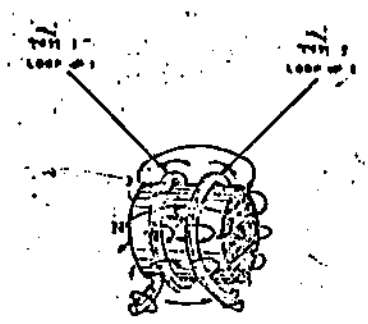
รูปที่ 2.4 เส้นแรงแม่เหล็กรอบขดลวดตัวนำเดียว



รูปที่ 2.5 ทิศทางสนามแม่เหล็กรอบตัวนำเมื่อกระแสพุ่งเข้าหากระดาษ

ตัวนำหลาย ๆ ขด (Multiple Loop)

ในรูปที่ 2.17 จะเห็นว่าลวดตัวนำทำเป็น 2 ห่วง และมีสนามแม่เหล็กเกิดขึ้นที่แต่ละห่วงของลวดตัวนำให้เส้นแรงแม่เหล็กห่วงที่ 1 ที่พุ่งลงไปให้เครื่องหมายเป็น x ในขณะเดียวกัน แรงแม่เหล็กของ Loop ที่ 2 ก็พุ่งขึ้นมาในบริเวณเดียวกันทำให้บริเวณนี้มีสนามสองสนามที่ต้านกัน



รูปที่ 2.6 เส้นแรง Magnetic Field Around Helix

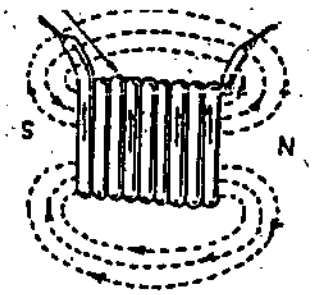
อย่างไรก็ตาม เส้นแรงแม่เหล็กของแต่ละสนามในบริเวณที่ต้านกัน ทำให้มีความต้านทานเกิดขึ้นเล็กน้อย และมีการหักล้างเส้นแรงแม่เหล็กด้วย ดังนั้นผลของสนามแม่เหล็กทั้งหมดที่อยู่รอบขดลวดตัวนำดังแสดงด้วยลูกศรขนาดใหญ่

ถ้าจำนวนของขดลวดมีมาก การขดแบบนี้มีลักษณะเป็นก้นหอย (Helix) สนามรวมออกจากจุดศูนย์กลางที่ตอนปลายสุดทางด้านซ้ายมือหลังจากที่ครบตามต้องการ แล้ววงจรภายนอกจะวกกลับมาที่จุดศูนย์กลาง ที่ตอนปลายสุดทางด้านขวามือ

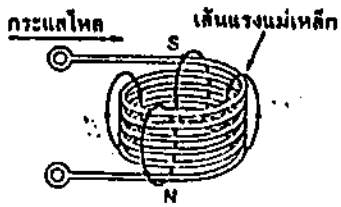
ตามกฎของแม่เหล็กจะได้ว่า ขั้วเหนือของแม่เหล็กจะอยู่ทางปลายสุดของซ้ายมือของขดลวดและขั้วใต้ของแม่เหล็กจะอยู่ทางปลายสุดของขวามือ

เส้นแรงแม่เหล็กรอบขดลวดโซลีนอยด์

ดังในรูปที่ 2.18 จะเห็นด้านข้างของขดลวดเป็นวง ๆ หรือดังในรูปที่ 2.19 จะเห็นรูปร่างแบบ 3 มิติของขดลวด ซึ่งแต่ละวงแยกออกจากกัน ถ้าผ่านกระแสไฟฟ้าเข้าไปในขดลวด และวงของขดลวดทั้งหมด มีความสัมพันธ์กันในแต่ละวงแล้วจะเกิดการทำงานขึ้นไปในขดลวด ทำให้มีเส้นแรงแม่เหล็กเกิดขึ้นรอบ ๆ ขดลวดทั้งหมด ซึ่งในรูปที่ 2.8 แสดงด้วยเส้นไข่ปลา และในรูปที่ 2.19 แสดงด้วยเส้นทึบนั้นจะเกิดขึ้นที่ปลายข้างหนึ่ง และจะเกิดขั้วใต้ขึ้นอีกปลายหนึ่ง



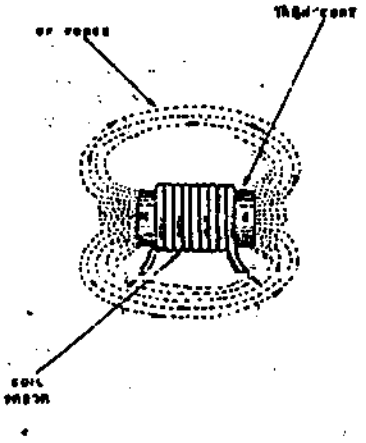
รูปที่ 2.7 ขดลวดโซลีนอยด์มองทางด้านข้าง



รูปที่ 2.8 ขดลวดโซลีนอยด์มองแบบ 3 มิติ

โดยทั่วไปแล้วขดลวดโซลีนอยด์ (Solenoid) ก็คือขดลวด ที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเท่ากันทั้งขดและมีจำนวนรอบของขดลวดมาก และแต่ละรอบของขดลวดจะติดกัน ดังนั้นถ้าจำนวนรอบของขดลวดที่มากกว่าหนึ่งแล้วจะเป็นโซลีนอยด์

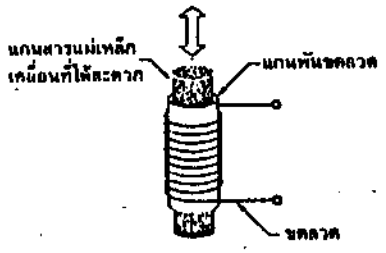
โซลีนอยด์อาจจะใช้อากาศเป็นตัวกลางในการนำเส้นแรงแม่เหล็ก แต่อย่างไรก็ตาม เหล็กเป็นตัวนำที่ดีในการนำเส้นแรง พบว่าในอากาศจะมีคุณสมบัติความเป็นแม่เหล็กมากขึ้น เมื่อใช้แกนกลางขดลวดที่ทำด้วยเหล็ก (Iron Core) เพราะทำให้เส้นแรงผ่านได้ง่าย หรือกล่าวได้ว่าแกนเหล็กจะดูดเส้นแรงที่อยู่ไกลออกไปให้เข้ามารวมกันทำให้ความเข้มมากการจัดตัวใหม่ในรูปแบบนี้เรียกว่าแม่เหล็กไฟฟ้า(Electromagnetic)



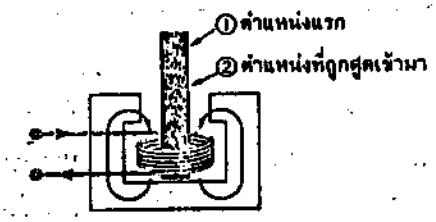
รูปที่ 2.9 ขดลวดที่มีแกนกลางทำด้วยเหล็ก

การเกิดแม่เหล็กไฟฟ้า จะทำให้มีขั้วเหนืออยู่ที่ปลายซ้าย และขั้วใต้อยู่ที่ปลายขวาดังในรูปที่ 2.9 ด้วยเหตุผลอย่างเดียวกันกับการเกิดขั้วในโซลีนอยด์ ถ้ากลับทิศการไหลของกระแสในโซลีนอยด์ จะทำให้ทิศทางของแม่เหล็กเปลี่ยนไป และขั้วแม่เหล็กก็เปลี่ยนไปด้วย

การนำโซลีนอยด์มาใช้งาน โดยใช้โซลีนอยด์มาประยุกต์ใช้งานกับงานที่ต้องการเชื่อมโยงพลังงานไฟฟ้ามาเป็นพลังงานกลโดยตรง โดยสัญญาณไฟที่ป้อนให้เข้ามาทางขดลวด จะทำให้แกนสารแม่เหล็กของโซลีนอยด์เกิดการเคลื่อนที่ขึ้น การเคลื่อนที่นี้เองที่นำมาใช้ในการวิจัยในครั้งนี้ ซึ่งโซลีนอยด์ที่ใช้กันมีทั้งชนิดใช้กับไฟฟ้ากระแสสลับและไฟฟ้ากระแสตรง โดยมีข้อแตกต่างอยู่ระหว่างโซลีนอยด์ไฟตรงและโซลีนอยด์ไฟสลับ คือ ในโซลีนอยด์ไฟตรง กระแสที่ไหลในขดลวดจะค่อนข้างคงที่ไม่เปลี่ยนแปลงไม่ว่าแกนกระทุ้งจะอยู่ในตำแหน่งใดก็ตาม แต่ในโซลีนอยด์ไฟสลับ กระแสในขณะที่แกนกระทุ้งอยู่นอกขดลวดจะมีค่าสูง และเมื่อแกนกระทุ้งถูกดูดเข้ามาจนสุดขดลวดกระแสจะลดต่ำลง ลักษณะแบบนี้นี่เองที่ทำให้ต้องระวังอย่าให้เกิดการติดขัดของแกนกระทุ้งในโซลีนอยด์ไฟสลับ เพราะจะทำให้เกิดกระแสมาก ๆ ไหลค้างอยู่ ทำให้ขดลวดร้อนขึ้นและอาจจะไหม้เสียหายได้



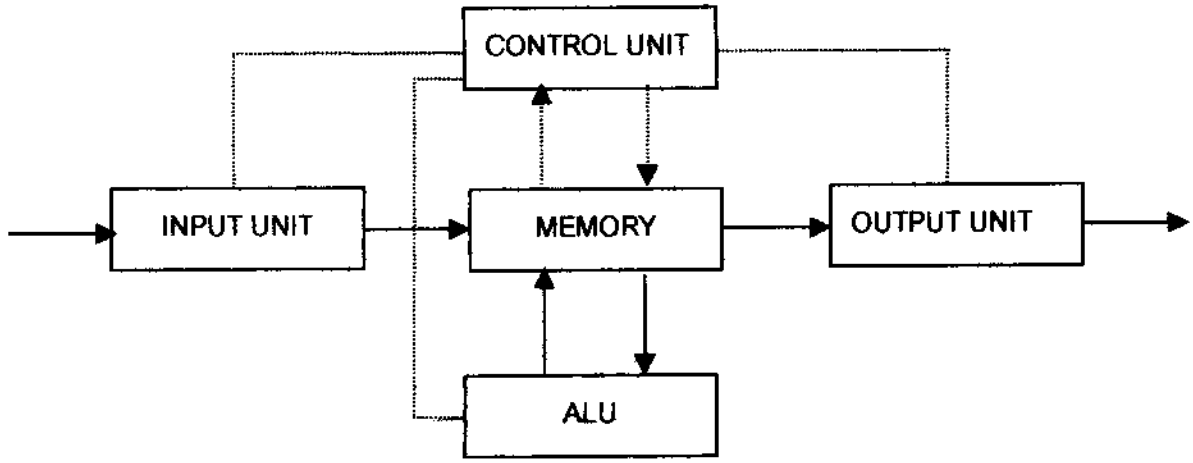
รูปที่ 2.10 โครงสร้างพื้นฐานของโซลีนอยด์



รูปที่ 2.11 แสดงการเคลื่อนที่ของแกนกระทุ้ง

2.4 พื้นฐานของคอมพิวเตอร์ IBM PC

โครงสร้างพื้นฐานของคอมพิวเตอร์จะแบ่งออกเป็นส่วน ๆ ได้ดังรูป



รูปที่ 2.12 แสดงโครงสร้างพื้นฐานของคอมพิวเตอร์
เส้นประแสดงสัญญาณควบคุมและสัญญาณเลือก
เส้นทึบแสดงสัญญาณข้อมูล

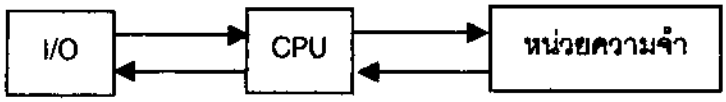
ระบบคอมพิวเตอร์จะประกอบไปด้วยหน่วยต่าง ๆ ดังนี้

1. หน่วยควบคุม (Control Unit)
2. หน่วยความจำ (Memory Unit)
3. หน่วยคำนวณ (Arithmatic Unit)
4. หน่วยส่งและรับสัญญาณ (I/O Unit)

โดยคอมพิวเตอร์สามารถที่จะทำการคำนวณทางคณิตศาสตร์และทำฟังก์ชันลอจิกได้ ซึ่งหน่วยที่รับผิดชอบด้านคำนวณในเครื่องคอมพิวเตอร์คือ หน่วยคำนวณ (Arithmatic and Logical Unit) และเมื่อหน่วยคำนวณจะสามารถทำฟังก์ชั่นใด ๆ ก็ต้องอาศัยการควบคุมจาก หน่วยควบคุม (Control Unit) และเมื่อทำการคำนวณก็ต้องมีข้อมูลที่จะนำมาคำนวณและคำนวณแล้วก็ต้องมีที่เก็บผล จึงจำเป็นต้องมี หน่วยความจำ (Memory Unit) ซึ่งจะเป็นตัวเก็บและให้ข้อมูลแก่หน่วยคำนวณ และการที่จะนำคอมพิวเตอร์มาติดต่อเอาข้อมูลมาจากภายนอกและให้แสดงข้อมูลภายนอกได้ด้วยนั้นก็ต้องมี หน่วยส่งและรับสัญญาณ (I/O Unit)

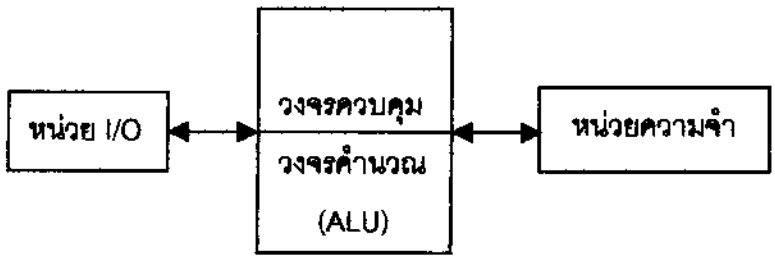
ซึ่งหน่วยต่าง ๆ ของคอมพิวเตอร์ อันได้แก่ หน่วยควบคุม (Control Unit) หน่วยความจำบางส่วน (Memory Unit) หน่วยคำนวณ (Arithmatic Unit) วงจรควบคุม I/O บางส่วน ทั้งหมดนี้รวมไว้ในแผ่นวงจร

เดียวกัน เรียกว่า ไมโครโปรเซสเซอร์ (Microprocessor) ซึ่งสามารถทำหน้าที่ประมวลข้อมูลและควบคุมหน่วยอื่น ๆ ให้ทำงานไปด้วยกันได้ คอมพิวเตอร์ที่มีโปรเซสเซอร์เป็นหน่วยประมวลกลาง เราเรียกคอมพิวเตอร์นั้นว่า ไมโครคอมพิวเตอร์ (Microcomputer) ดังมีรูปร่างดังนี้



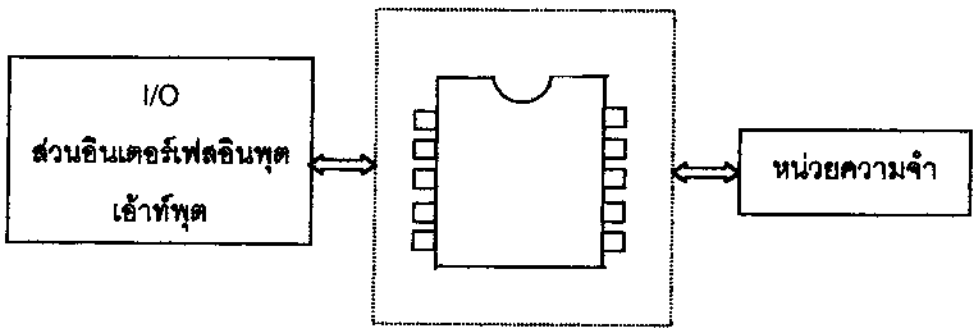
รูปที่ 2.13 ไมโครคอมพิวเตอร์

ไมโครคอมพิวเตอร์คือ คอมพิวเตอร์ที่มีไมโครโปรเซสเซอร์เป็นตัวประมวลผลกลางหรือ ซีพียู(CPU) และทำงานร่วมกับหน่วยอื่น ๆ อีก 2 หน่วย คือ หน่วยความจำ (Memory Unit) หน่วยรับส่งสัญญาณเข้าออก (Input Output Unit) เขียนเป็นบล็อกไดอะแกรมได้ดังนี้



รูปที่ 2.14 บล็อกไดอะแกรมของไมโครคอมพิวเตอร์

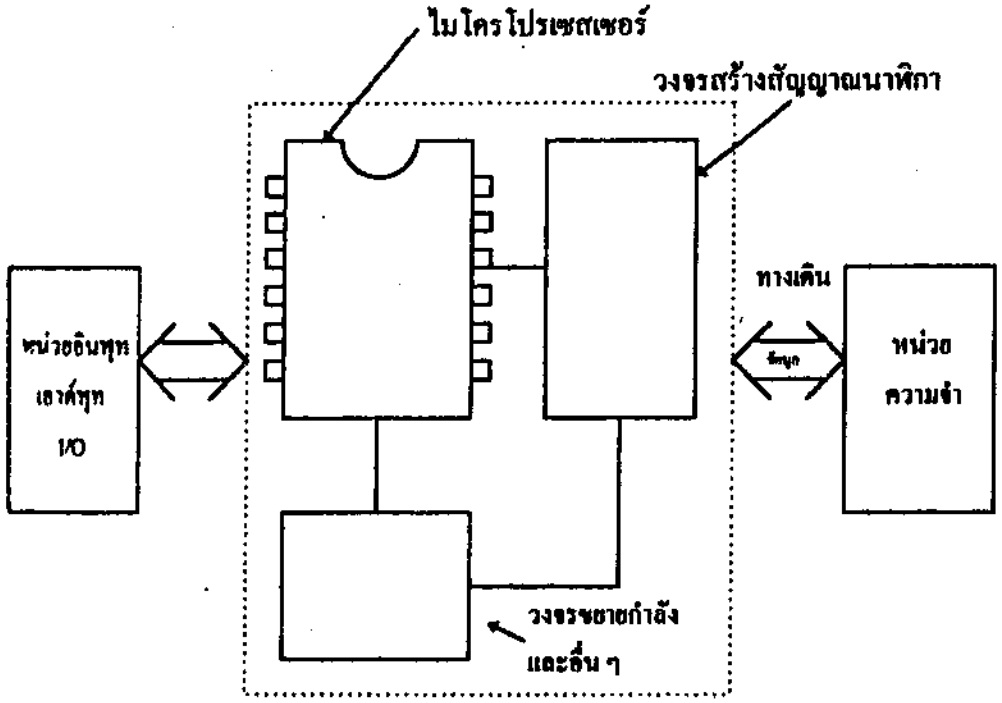
หน้าที่ CPU นอกจากจะคำนวณทางคณิตศาสตร์แล้ว ยังต้องส่งสัญญาณควบคุม หรือให้จังหวะแก่หน่วยอื่น ๆ ให้ทำงานไปพร้อม ๆ กันได้ด้วย ภายในตัว CPU จึงแบ่งเป็น 2 ส่วนใหญ่ ๆ คือวงจรควบคุม และวงจรคำนวณ ซึ่งสามารถแทนบล็อกไดอะแกรม CPU ด้วยรูปของไมโครโปรเซสเซอร์ดังนี้



CPU

รูปที่ 2.15 บล็อกไดอะแกรม CPU

ซึ่งเฉพาะตัวไมโครโปรเซสเซอร์เองนั้นไม่สามารถทำอะไรได้ จำเป็นต้องอาศัยวงจรส่วนประกอบอื่นที่เพิ่มเติมเข้ามาคือ วงจรสัญญาณนาฬิกา, วงจรถอดรหัส , วงจรขยายกำลังดังรูปที่2.27

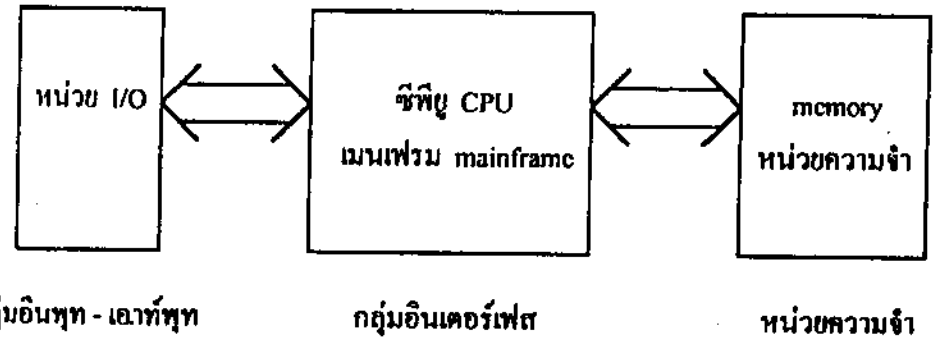


รูปที่ 2.16 วงจรสัญญาณนาฬิกา,วงจรขยายกำลังและอื่น ๆที่เพิ่มเติม

และวงจรที่สำคัญที่ช่วยต่อเชื่อม CPU กับหน่วยอื่น ๆ เรียกว่าวงจรอินเตอร์เฟส (Interface Circuits) วงจรอินเตอร์เฟสมีตั้งแต่วงจรถอดรหัสวงจรขับกำลัง วงจรควบคุมการส่งผ่านสัญญาณ ความสลับซับซ้อนของวงจรอินเตอร์เฟสจะมีมากน้อยเพียงใดขึ้นอยู่กับชนิดของหน่วยต่าง ๆ ที่ CPU ต้องติดต่อ โดยวงจรอินเตอร์เฟสจะติดตั้งรวมกับหน่วยของ CPU อยู่ในกล่องเดียวกัน อาจเรียกว่า เมนเฟรม ก็ได้

หน่วย I/O ได้แก่ส่วนแสดงผลหรือใส่ข้อมูลมีมากมายหลายชนิด เช่น เครื่องพิมพ์ชนิดต่าง ๆ เครื่องเจาะเทป อ่านเทป ทีวีแสดงผลเป็นตัวหนังสือ (CRT) แป้นคีย์บอร์ด (Key board)

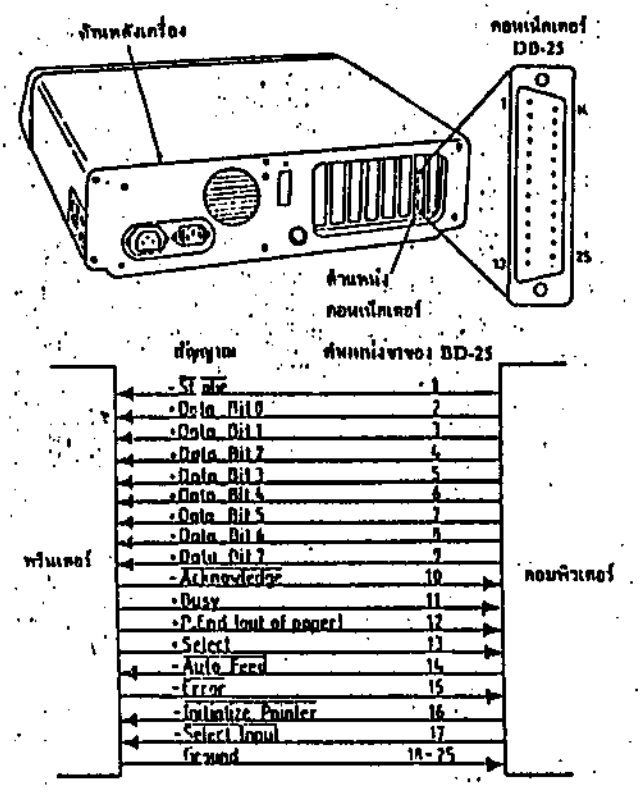
หน่วยความจำ เป็นส่วนเก็บคำสั่งและข้อมูลต่าง ๆ แยกแยะตามชนิดได้มากมาย เช่นหน่วยความจำแบบสารกึ่งตัวนำ (Semiconductor Memory) หน่วยความจำขนาดใหญ่ได้แก่ แผ่นแม่เหล็ก (Disk) แบบอ่อนเรียกว่าฟลอปปี้ดิสค์(Floppy Disk) แบบแข็งเรียกว่าฮาร์ดดิสค์(Hard Disk) เป็นต้น



รูปที่ 2.17 ระบบไมโครคอมพิวเตอร์

2.5 พอร์ตขนาน (Parallel Port)

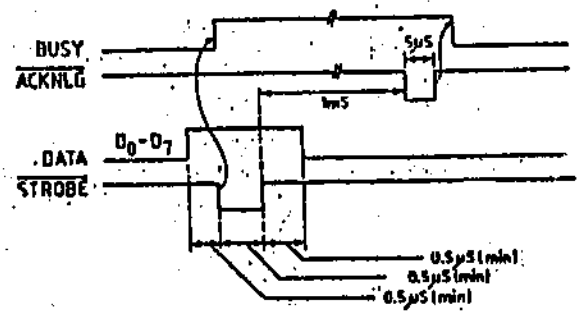
คอมพิวเตอร์จะเชื่อมต่อกับพริ้นเตอร์ทางพอร์ตขนาน โดยส่งข้อมูลเป็นแบบ 8 บิต ทางคอนเน็คเตอร์ของพริ้นเตอร์ มีการจัดขาสัญญาณเป็นแบบ เซ็นทรอนิกส์ ซึ่งมีขาสัญญาณทั้งหมด 36 ขา แต่คอนเน็คเตอร์ทางด้านคอมพิวเตอร์จะตัดสัญญาณที่ไม่จำเป็นออกไป เหลือเพียง 25 ขาดังนั้น จึงใช้คอนเน็คเตอร์แบบ DB – 25 ได้ โดยมีรูปแบบของขาสัญญาณต่าง ๆ ของ DB – 25 ดังนี้



รูปที่ 2.18 ขาสัญญาณต่าง ๆ ของพอร์ตขนาน

เมื่อคอมพิวเตอร์ต้องการส่งข้อมูลจะต้องตรวจสอบสัญญาณ BUSY, PE, EPROM ว่าอยู่ในสภาวะปกติหรือไม่ ถ้าปกติแสดงว่าขณะนี้พร้อมที่จะรับข้อมูลแล้ว คอมพิวเตอร์จะต้องทำการส่งข้อมูลมา บัสข้อมูล หลังจากนั้นจากน้อย 0.5 μs สัญญาณ STROBE จะถูกส่งตามออกมา ในขณะเดียวกันกับที่ BUSY ถูกดึงขึ้นเป็น "1" ในช่วงขอบขาของสัญญาณ STROBE และข้อมูลจะต้องยังคงค้างอยู่ต่อไปอีกอย่างน้อย 0.5 μs หลังจากที่ส่ง STROBE จึงจะถือว่าเป็นการเสร็จสิ้น การส่งข้อมูล 1 ไบต์

เมื่อพริ้นเตอร์ทำการรับข้อมูลเข้าไปเก็บไว้ในบัฟเฟอร์เรียบร้อยแล้ว คือหลังจากที่ส่ง STROBE ไปแล้ว ไม่นานกว่า 1 ms พริ้นเตอร์จะส่งสัญญาณ ACKNLG มาให้แก่คอมพิวเตอร์ เพื่อเป็นการตอบรับว่าขณะนี้พร้อมที่จะรับข้อมูลชุดต่อไป และในช่วงขอบขาขึ้นของสัญญาณ ACKNLG นี้ จะดึงให้ BUSY ตกลงเป็น "0" อีกครั้งหนึ่งก็คือ การกลับไปยังสถานะเริ่มแรกนั่นเอง ผังเวลาของระบบแสดงดังรูป 2.19



รูปที่ 2.19 ผังเวลาของขาสัญญาณบน DB-25

ตารางที่ 2.2 ตารางแสดงขาสัญญาณการเชื่อมต่อกับพอร์ตพริ้นเตอร์

ฟังก์ชั่นของพริ้นเตอร์	ขาสัญญาณของพริ้นเตอร์	ขาสัญญาณของคอมพิวเตอร์
STROBE IN	1	1
+DATA 1 IN	2	2
+DATA 2 IN	3	3
+DATA 3 IN	4	4
+DATA 4 IN	5	5
+DATA 5 IN	6	6
+DATA 6 IN	7	7
+DATA 7 IN	8	8
+DATA 8 IN	9	9
- SELECT IN	36	1
+ AUTO LF IN	14	14
- INIT IN	31	16
- ACK OUT	10	10
+ BUSY OUT	11	11
+ PAPER END OUT	12	12
+ SELECT OUT	13	13
- FAULT OUT	32	15
GND	19-30	18-25

สำหรับหน้าที่การทำงานของขาสัญญาณต่าง ๆ ได้แสดงรายละเอียดไว้ในตามรางที่ 2.3

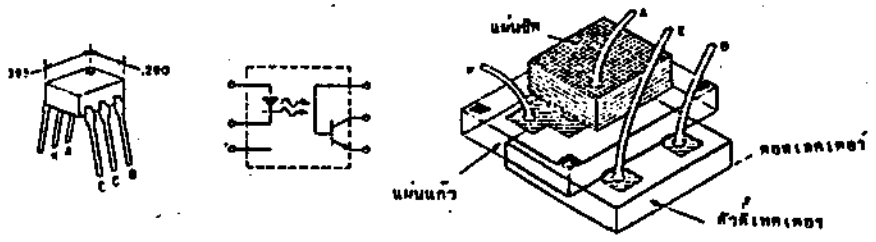
ตารางที่ 2.3 แสดงรายละเอียดสัญญาณที่ขาต่าง ๆ ของ DB-25

ขาที่	สัญญาณ	ทิศทางของสัญญาณ	หน้าที่การทำงาน
1	$\overline{\text{STROBE}}$	in	เป็นสัญญาณที่เครื่องคอมพิเตอร์ใช้ในการบอกสถานะให้พริ้นเตอร์ทราบว่าได้ส่งข้อมูลมารอที่บัสข้อมูลแล้ว โดยจะส่งเป็นพัลซ์ "0" ที่มีความกว้างไม่น้อยกว่า 0.5 µs
2-9	DATA 0-7	in	สัญญาณเหล่านี้จะใช้แทนข้อมูลของบิตที่ 1 ถึงบิตที่ 8 ซึ่งเป็นข้อมูลแบบขนาน โดยแต่ละบิตจะมีลอจิกเป็น "0" หรือ "1" แล้วแต่ข้อมูลที่ต้องการพิมพ์
10	$\overline{\text{ACK}}$	out	เป็นสัญญาณที่พริ้นเตอร์ใช้บอกสถานะว่าข้อมูลขณะนั้นถูกรับเข้าเก็บไว้ในบัฟเฟอร์ และพริ้นก็พร้อมที่จะรับข้อมูลต่อไป
11	BUSY	out	เป็นสัญญาณที่พริ้นเตอร์ใช้บอกสถานะว่ายังไม่พร้อมที่จะรับข้อมูล โดยจะมีสัญญาณเป็น "1" ตลอดไป จนกว่าพริ้นเตอร์พร้อมที่จะรับข่อมูลแล้ว สัญญาณ BUSY จึงจะตกลงเป็น "0" สัญญาณ BUSY จะมีสัญญาณเป็น "1" ก็ต่อเมื่อ • ระหว่างที่ข้อมูลกำลังถูกอ่านเข้ามา • ระหว่างที่พริ้นเตอร์กำลังพิมพ์อยู่ • เมื่อพริ้นเตอร์ถูกกดสวิตช์ให้"OFF LINE" • เมื่อเกิดการผิดพลาดขึ้นกับพริ้นเตอร์ เช่น กระดาษพิมพ์หมด, หัวพิมพ์ติดขัด ฯลฯ
12	PE	out	เป็นสัญญาณที่พริ้นเตอร์ใช้บอกสถานะให้กับคอมพิวเตอร์ว่าขณะนี้ไม่มีกระดาษพิมพ์ หรือ พิมพ์ถึงสุดปลายกระดาษแล้ว
15	$\overline{\text{EPROM}}$	out	เป็นสัญญาณที่พริ้นเตอร์ใช้บอกสถานะว่าขณะนี้เกิดข้อผิดพลาดขึ้น โดยสัญญาณนี้จะตกลงเป็น "0" พร้อมกับที่พริ้นเตอร์หยุดการทำงานลง โดยการ "OFF LINE" ตัวมันเอง
16	$\overline{\text{INT}}$	in	เป็นพลัซ์ที่คอมพิวเตอร์ใช้รีเซตพริ้นเตอร์ให้อยู่ในสถานะเริ่มแรก และบัฟเฟอร์ภายในพริ้นเตอร์จะถูกเคลียร์ทั้งหมด
18-25	GND		กราวด์ของระบบ

หมายเหตุ ทิศทางของสัญญาณนี้อ้างอิงกับสัญญาณที่มองจากด้านพริ้นเตอร์

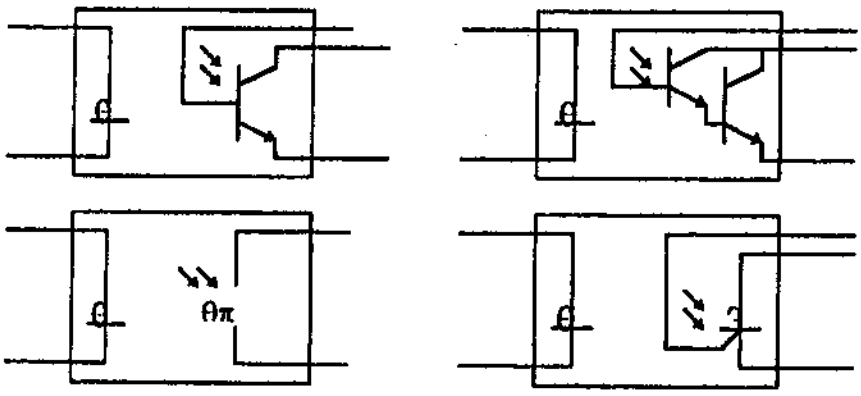
2.6 ตัวเชื่อมโยงทางแสง

ตัวเชื่อมโยงทางแสง ออปโตคอบเปอร์ (OPTO – COUPLER) หรือเรียกว่า ตัวแยกโดยใช้แสง ออปโต้ไอโซเลเตอร์ (optoisolator) เป็นอุปกรณ์ด้านอิเลคทรอนิคส์ล้วน ๆ ทิศทางการเคลื่อนที่จะคงที่อยู่ในตัวอุปกรณ์ ใช้เปลี่ยนสัญญาณทางไฟฟ้าเป็นแสงและจากแสงไปเป็นสัญญาณทางไฟฟ้า โดยไม่ต้องมีการเชื่อมโยงต่อระหว่างวงจร แรงดันระหว่างอุปกรณ์สองข้างคือตัวปล่อยแสงและตัวรับแสง จะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับระยะระหว่างตัวปล่อยแสงและตัวรับแสง ระยะยิ่งห่างกันมากแรงดันก็จะยิ่งมีค่าสูง แต่ข้อเสียคืออัตราการส่งผ่านสัญญาณจะน้อยจึงต้องจัดระยะห่างให้ได้ดีที่สุด



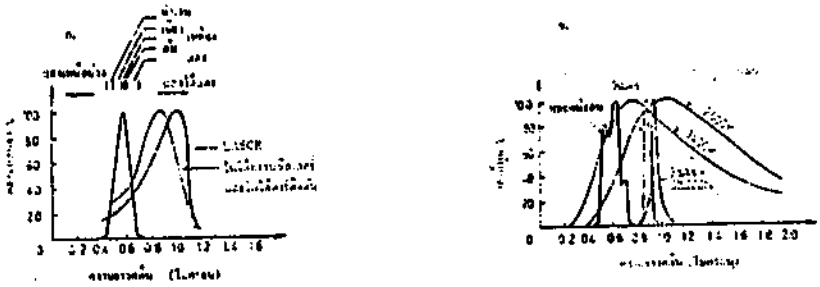
รูปที่ 2.20 แสดงอุปกณ์การเชื่อมต่อด้วยแสง และสัญญลักษณ์

แหล่งกำเนิดแสงสำหรับตัวเชื่อมโยงทางแสงส่วนมากแล้วจะใช้ ไดโอดเปล่งแสงอินฟาเรด (Infrared Emitting Diode) ที่ทำจากสารแกลเลี่ยม อาร์เซไนด์ (Gallium Arsenide : GaAs) ส่วนตัวตรวจรับหรืออุปกรณ์ภาคเอ้าท์พุตนั้น อาจจะเป็นโฟโต้ทรานซิสเตอร์, โฟโต้ดาร์ลิงตัน สวิทช์สองทิศทางซึ่งทำงานเมื่อมีแสงมากระตุ้นและ SCR ที่ถูกกระตุ้นด้วยแสงดังรูป



รูปที่ 2.21 วงจรแบบต่าง ๆ ของตัวเชื่อมโยงทางแสง

สัญญาณจะถูกส่งระหว่าง ชิ้นส่วนทั้งสองชิ้นที่แยกจากกันทางไฟฟ้า โดยอยู่ในรูปของสัญญาณแสง โดยที่ชิ้นส่วนทั้งสองนี้ไม่สามารถสลับหน้าที่กันได้ และไม่มีการเชื่อมโยงทางไฟฟ้าระหว่างชิ้นส่วนทั้งสองนี้ สัญญาณที่ถูกส่งผ่านจึงมีได้ในทิศทางเดียวเท่านั้น



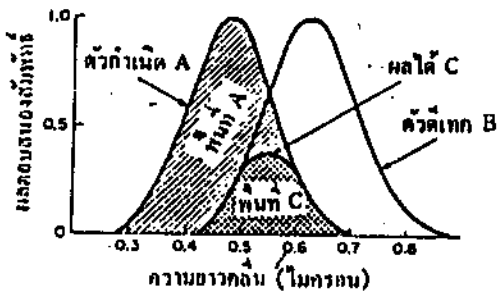
รูปที่ 2.22 แสดงอุปกรณ์ไวแสง

คำว่า "แสง" ที่ใช้ในที่นี้จะหมายถึงแสงทั่ว ๆ ไปในสเปคตรัมไม่เจาะจงว่าจะต้องเป็นแสงที่มองเห็นได้ด้วยตาเท่านั้น

รูปสเปคตรัมของอุปกรณ์ไวแสงแสดงให้เห็นว่าโฟโต้ทรานซิสเตอร์มีผลตอบสนองสูงสุดที่ความยาวคลื่นประมาณ 8500 อังสตรอม และ 10000 อังสตรอม แต่เมื่อเปรียบเทียบกับสเปคตรัมของตาซึ่งมีค่าในช่วงประมาณ 3700 ถึง 7500 อังสตรอม จะเห็นว่าโฟโต้ทรานซิสเตอร์ให้ผลตอบสนองต่อแสงที่ตามองเห็นได้ดีกว่า

เนื่องจากสเปคตรัมของตัวให้แสงและตัวรับแสงไม่ตรงกันพอดี จึงมีการหาประสิทธิผลของการเชื่อมต่อค่าประสิทธิผลนี้เท่ากับพื้นที่ร่วมกันใต้กราฟของสเปคตรัม ระหว่างตัวให้แสงและตัวรับแสง หารด้วยพื้นที่ใต้กราฟของตัวให้แสง

$$\text{ค่าประสิทธิผล} = \frac{\text{พื้นที่ใต้กราฟ A}}{\text{พื้นที่ใต้กราฟ C}}$$



รูปที่ 2.23 ค่าประสิทธิผลของตัวให้แสง บนตัวรับแสง

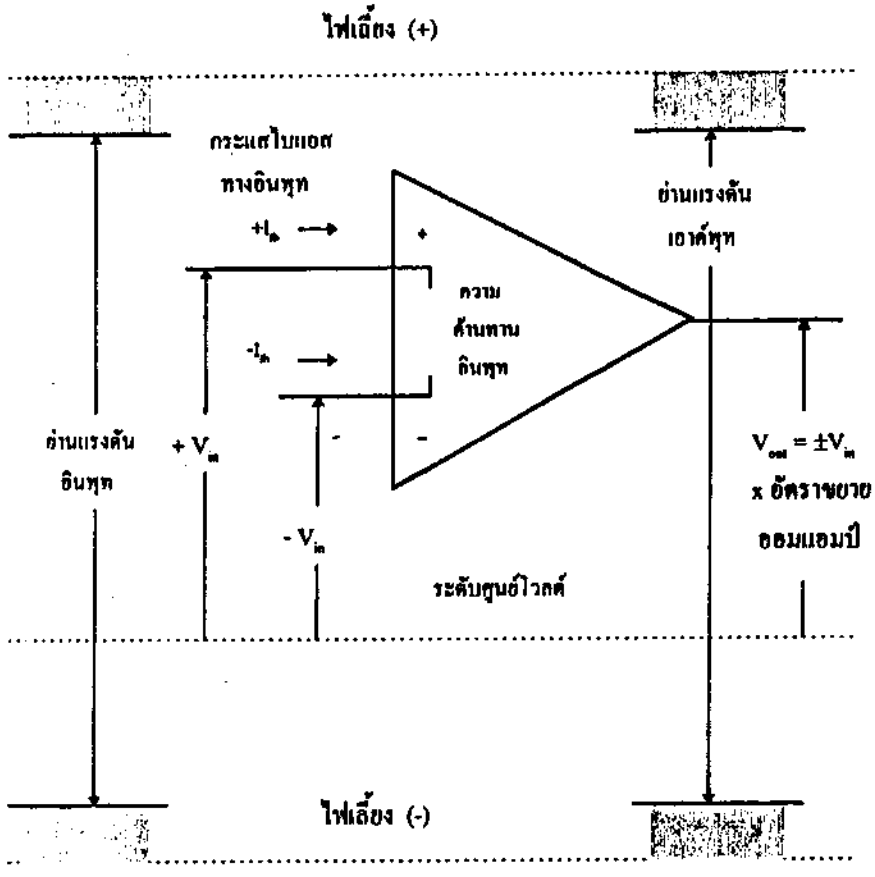
ตารางที่ 2.4 แสดงค่าประสิทธิผลของแหล่งกำเนิดแสงต่าง ๆ

ตัวให้แสง / ตัวรับแสง	ตามนุษย์	ซิลิกอนโฟโต้ทรานซิสเตอร์
หลอดทังสเตน 2000 องศาเคลวิน	0.003	0.16
" 2200 "	0.007	0.19
" 2400 "	0.013	0.22
" 2600 "	0.021	0.24
" 2800 "	0.030	0.27
" 3000 "	0.044	0.30
หลอดนีออน	0.35	0.7
Ga As LED 0.9 μ	0.0	1.0
Gap LED 0.7 μ	0.08	0.7
หลอดฟลูออเรสเซนต์	0.1	0.4
หลอดซีนอน	0.13	0.5
แสงอาทิตย์	0.16	0.5

2.7 ออปแอมป์

ออปแอมป์ (Operational Amplifier) เป็นไอซี (Integrated Circuit) ที่ทำหน้าที่ได้สารพัดประโยชน์ แต่โดยพื้นฐานแล้วออปแอมป์ถูกสร้างขึ้นมาเพื่อขยายสัญญาณสัญลักษณ์และขั้วขาใช้งานพื้นฐานของออปแอมป์แสดงดังรูปที่ 2.35

ออปแอมป์มีขาใช้งานพื้นฐานอยู่ 3 ประเภทคือ มีอินพุท 2 อินพุทคือ อินพุทกลับเฟส (Inverting Input) และขาอินพุทไม่กลับเฟส (Non – Inverting Input) มีเอาต์พุท 1 เอาต์พุทและขาต่อไฟเลี้ยง



รูปที่ 2.24 สัญลักษณ์และขั้วขาใช้งานพื้นฐานของออปแอมป์

คุณสมบัติในทางอุดมคติของออปแอมป์

(ก) มีอัตราการขยายแรงดันเป็นอนันต์

(ข) มีค่าอินพุทอิมพีแดนซ์หรือค่าความต้านทานทางอินพุทเป็นอนันต์กระแสอินพุทมีค่าเท่ากับศูนย์

(ค) มีค่าเอาต์พุทอิมพีแดนซ์เป็นศูนย์

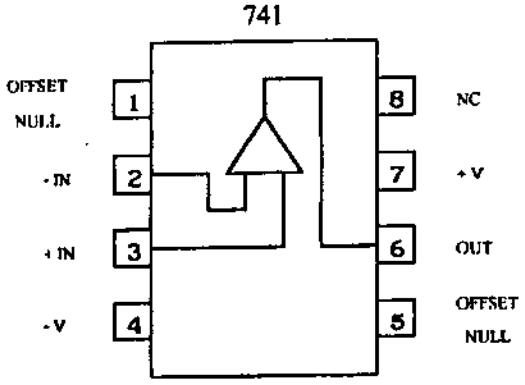
(ง) สามารถตอบสนองความถี่ได้ตั้งแต่ระดับไฟตรงไปจนถึงความถี่ที่มีค่าเป็นอนันต์

ความหมายของพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง

จากรูปที่ 2.35 แสดงพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องของตัวออปแอมป์ ความหมายของพารามิเตอร์แต่ละตัวมีดังนี้

ไฟเลี้ยง ± : ออปแอมป์โดยส่วนใหญ่ถูกออกแบบให้สามารถใช้งานกับไฟเลี้ยงคู่ ±15 โวลต์ แต่ถ้าเป็นไฟเลี้ยงสูงสุดผู้ผลิตจะเผื่อไว้ให้มากกว่าค่าที่ใช้งานปกติประมาณ± 3 โวลต์

แรงดันออฟเซตที่มีอินพุท (V_{os}) : คือค่าแรงดันที่ป้อนเข้าขาอินพุทของออปแอมป์โดยผ่านตัวต้านทาน 2 ตัวที่มีค่าเท่ากัน แล้วทำให้แรงดันเอาต์พุทมีค่าเป็นศูนย์



รูปที่ 2.25 การจัดขาของออปแอมป์เบอร์ 741

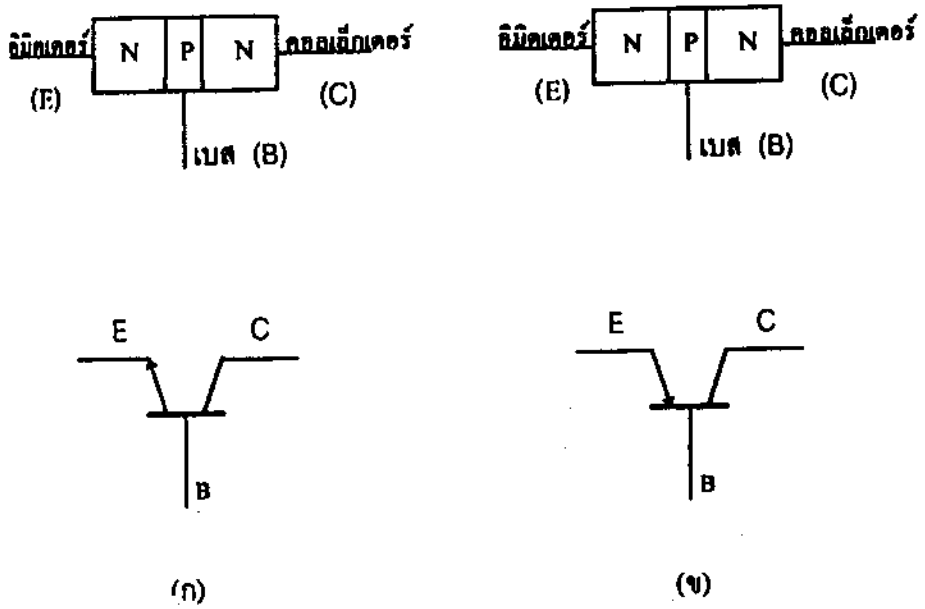
กระแสออฟเซตที่อินพุท (I_{os}) : คือค่าความแตกต่างของกระแสไฟฟ้าที่ป้อนเข้ามาทางอินพุทของออปแอมป์ เมื่อแรงดันเอาต์พุทมีค่าเท่ากับศูนย์ ปกติมีค่าอยู่ประมาณ 0.0008 – 0.5 ไมโครแอมป์

กระแสไบแอสที่อินพุท (I_{os}) : คือกระแสที่ไหลเข้ามาทางอินพุททั้งสองของออปแอมป์โดยปกติจะมีค่าต่ำมากตั้งแต่ 50 พิโกแอมป์ – 0.1 ไมโครแอมป์

2.8 ทรานซิสเตอร์

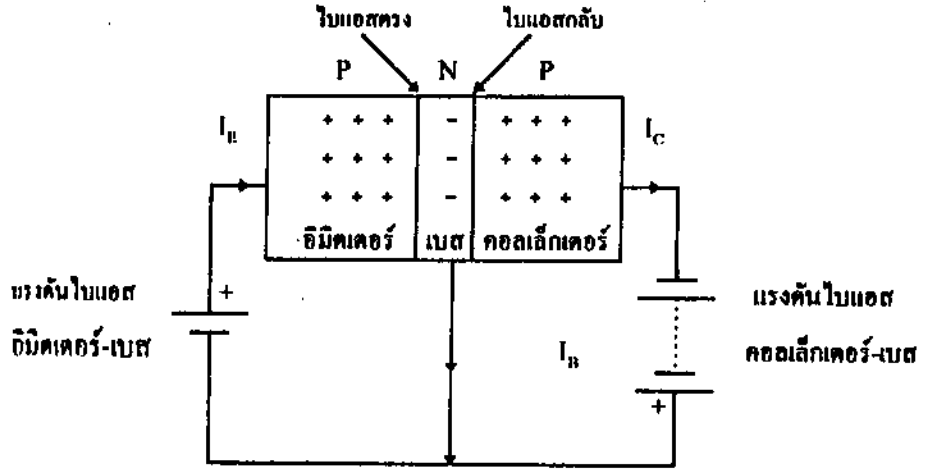
ทรานซิสเตอร์ (Transistor) เป็นอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำที่พัฒนามาจากไดโอด สามารถที่จะขยายสัญญาณให้มีขนาดโตขึ้นได้ ทรานซิสเตอร์แบ่งออกได้ 2 ชนิดตามลักษณะโครงสร้างคือ แบบ NPN และ PNP ในรูปที่ 38 แสดงโครงสร้างและสัญลักษณ์ของทรานซิสเตอร์ทั้ง 2 ชนิด

ทรานซิสเตอร์มีขาสัญญาณ 3 ขา คือ เบส (Base), คอลเล็กเตอร์ (Collector) และ อิมิตเตอร์ (Emitter)



รูปที่ 2.26 โครงสร้างและสัญลักษณ์ของทรานซิสเตอร์ (ก) NPN (ข) PNP

เนื่องจากทรานซิสเตอร์มี 3 ขา การไบแอสให้ทำงานจึงต้องมีวิธีการที่แตกต่างจากไดโอดในที่นี้ใช้ทรานซิสเตอร์ชนิด PNP ดังนั้นจะขอยกตัวอย่างทรานซิสเตอร์ชนิด PNP จะต้องให้ไบแอสตรงทางอินพุทคือให้ไฟบวกที่ขาอิมิตเตอร์ และไฟลบที่ขาเบส ส่วนทางเอาต์พุทจะให้ไบแอสกลับไว้ คือ ให้ไฟบวกที่ขาเบสและไฟลบที่ขาคอลเล็กเตอร์ ดังในรูปที่ 2.27



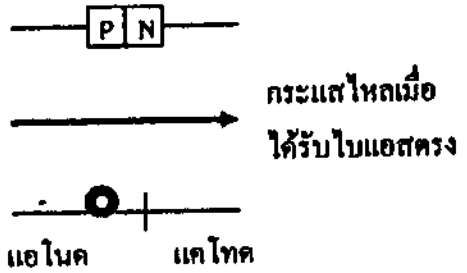
รูปที่ 2.27 การนำกระแสของทรานซิสเตอร์

จากรูปพิจารณาดูจะเห็นว่า ที่เบสกับอิมิตเตอร์เสมือนเป็นไดโอดตัวหนึ่ง เมื่อแรงดันที่เบสกับอิมิตเตอร์สูงถึงจุดทำงาน (ประมาณ 0.7 โวลต์ สำหรับซนิดซิลิกอน) จะทำให้ช่วงของสาร N แคบลง กระแสจึงสามารถไหลผ่านจากอิมิตเตอร์ไปยังคอลเล็กเตอร์ ก็จะทำให้ทรานซิสเตอร์นำกระแส

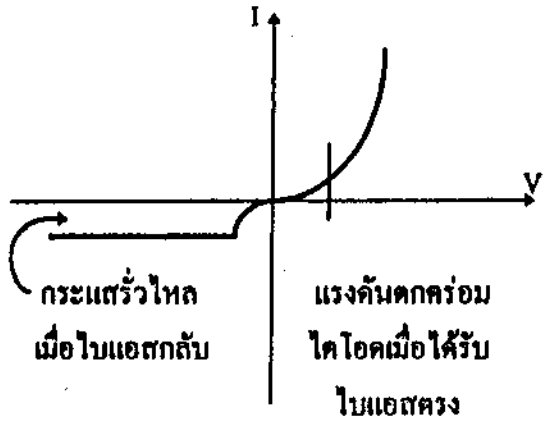
2.9 ไดโอด

ไดโอด (Diode) เป็นอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำตัวแรกที่ถูกสร้างขึ้น มีโครงสร้างและสัญลักษณ์ดังรูปที่ 2.28 ไดโอดสามารถนำกระแสได้ ถ้าให้แรงดันบวกที่ขาแอโนด และแรงดันลบที่ขาแคโทด เรียกว่า ให้แรงดันไบแอสตรง ไดโอดจะนำกระแสเมื่อเกิดแรงดันตกคร่อมตัวมันประมาณ 0.2 – 0.3 โวลต์ สำหรับไดโอดแบบเยอรมันเนียม และ 0.6 – 0.7 โวลต์ สำหรับไดโอดแบบซิลิกอน ในรูปที่ 2.29 เป็นกราฟแสดงการนำกระแสของไดโอดจะเห็นว่าในช่วงแรกที่แรงดันตกคร่อม (หรือแรงดันไบแอส) ตัวไดโอดยังไม่ถึงจุดทำงานของมันจะมีกระแสไหลผ่านตัวมันน้อยมาก เรียกว่า เป็นกระแสรั่วไหล(Leakage Current) แต่เมื่อแรงดันไบแอสตรงถึงจุดทำงานกระแสจะไหลอย่างมากมายทันที

ไดโอดมักถูกใช้ในวงจรเรกติไฟร์ (วงจรแปลงกระแสไฟสลับเป็นกระแสตรง), วงจรดีเท็กเตอร์, วงจรตัดยอดคลื่น (Clipper) เป็นต้น ไดโอดที่ใช้ในวงจรเร็กติไฟร์จะต้องมีอัตราการทนแรงดัน และกระแสที่ค่อนข้างสูง คือ มีขนาดตั้งแต่ 1 แอมป์ 50 โวลต์ ไปจนถึงหลายสิบแอมป์หลายร้อยโวลต์ ส่วนไดโอดที่ใช้ในการจัดการกับสัญญาณขนาดเล็ก เช่น ในวงจรดีเท็กเตอร์นั้นจะมีขนาดเล็กกว่ามาก แต่จะมีความเร็วในการทำงานสูงกว่า



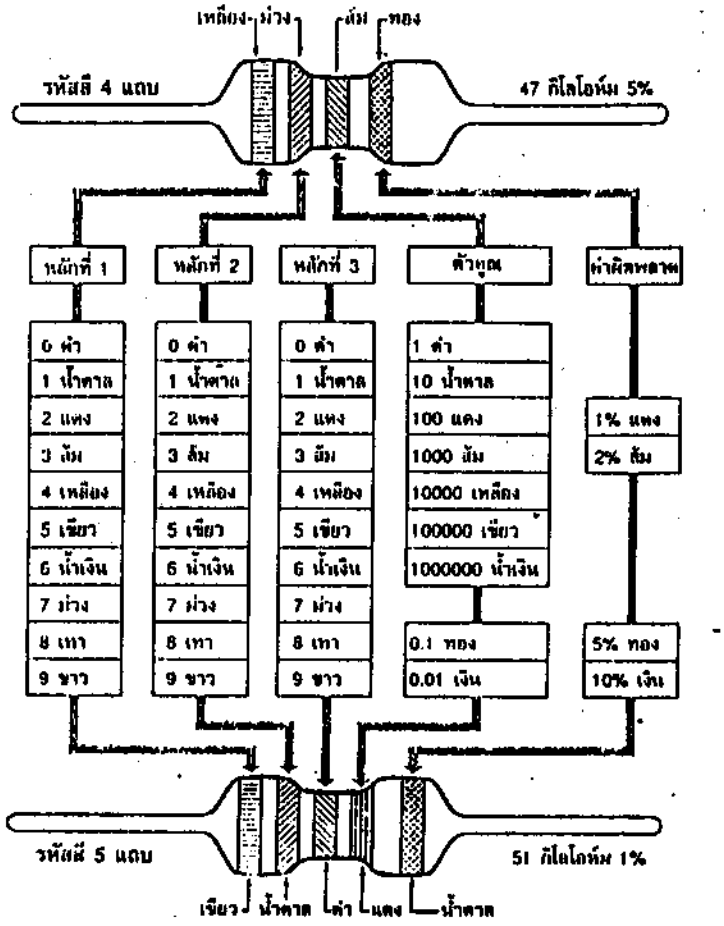
รูปที่ 2.28 โครงสร้างและสัญลักษณ์ของไดโอด



รูปที่ 2.29 กราฟคุณสมบัติการทำงานของไดโอด

2.10 ตัวต้านทาน

ตัวต้านทาน (Resistor) เป็นอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่จำกัดกระแสไฟฟ้า โดยในตัวของมันจะมีค่าเรียกว่าค่าความต่านทาน (Resistance) มีหน่วยเป็นโอมห์ (Ohm : Ω) ถ้าหากตัวต้านทางมีค่ามาก กระแสไฟฟ้าจะไหลผ่านตัวมันได้น้อย ในทางตรงข้ามถ้าหากมีค่าความต้านทานน้อย กระแสไฟฟ้าจะสามารถไหลผ่านได้มาก ตัวต้านทานมีหลายขนาดให้เลือกใช้ ตั้งแต่ 1/8 วัตต์ ไปจนถึงหลาย ๆ สิบวัตต์ ในการอ่านค่าของตัวต้านทาน ถ้าหากเป็นแบบวัตต์สูง ๆ จะมีตัวเลขค่าความต้านทานพิมพ์บนตัวต้านทานนั้น แต่หากเป็นขนาดวัตต์ต่ำตั้งแต่ 1/8-2 วัตต์ จะมีรหัสสีเป็นตัวบอกค่าความต้านทาน ซึ่งรหัสสีแต่ละแถบจะมีความหมายเป็นค่าตัวเลข, ตัวคูณและค่าความผิดพลาด ดังสรุปไว้ในรูปที่ 2.30



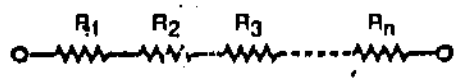
รูปที่ 2.30 การอ่านค่าความต้านทาน

จากตัวอย่างในรูปที่ 2.30 ตัวต้านทานที่อยู่ทางด้านบนมีแถบสี 4 แถบ ไล่จากซ้ายมาขวาดังนี้ เหลือง – ม่วง – ส้ม – ทอง แถบสีที่ 1 คือสีเหลืองแทนด้วยตัวเลข 4 แถบสีที่ 2 คือสีม่วงแทนด้วยเลข 7 แถบสีที่ 3คือตัวคูณ สีส้มหมายถึง X 1000 และสีทองคือค่าความผิดพลาด $\pm$ 5 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้นสามารถอ่านค่าความต้านทานได้ 47 X 1000 = 47,000 โอห์ม = 47 กิโลโอห์ม $\pm$ 5 เปอร์เซ็นต์

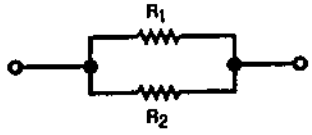
อีกตัวอย่างหนึ่ง เป็นตัวต้านทาน 5 แถบสี ไล่จากซ้ายมาขวา ดังนี้ เขียว – น้ำตาล – ดำ – แดง – น้ำตาล สีเขียวคือหลักแรกแทนด้วยเลข 5, สีน้ำตาลเป็นหลักที่สองแทนด้วยเลข 1, สีดำเป็นหลักที่สามแทนด้วยเลข 0, ต่อมาเป็นแถบสีของตัวคูณ สีแดงแทน X 100 และสีน้ำตาลสุดท้ายเป็นค่าความผิดพลาด แทนด้วยค่า $\pm$ 1 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้นค่าที่อ่านได้คือ 510 $\pm$ 100 = 51,000 โอห์ม = 51 กิโลโอห์ม $\pm$1 เปอร์เซ็นต์

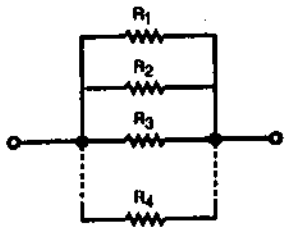
การคำนวณเกี่ยวกับตัวต้านทาน

(ก) ค่าความต้านทานรวม เมื่อต่อวงจรแบบอนุกรม



(ข) ค่าความต้านทานรวมเมื่อต่วงจรแบบขนาน





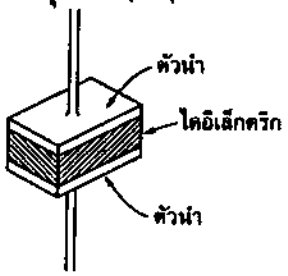
เมื่อต่อขนาน 2 ตัว $R_t = \dfrac{R_1 \times R_2}{R_1 + R_2}$

เมื่อต่อขนานกันหลาย ๆตัว $R_t = \dfrac{1}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \ldots + \frac{1}{R_n}}$

2.11 ตัวเก็บประจุ(Capacitor หรือ Condeser)

เป็นอุปกรณ์ที่สามารถเก็บประจุไฟฟ้าได้ มีการนำไปใช้ในวงจรกรองแรงดัน,วงจรกรองความถี่, ใช้ในการถ่ายทอดสัญญาณ (Coupling) เป็นต้น ภายในตัวเก็บประจุจะประกอบด้วยแผ่นโลหะตัวนำ 2 แผ่น วางห่างกันโดยมีสารไดอิเล็กตริกกั้นอยู่ระหว่างแผ่นตัวนำทั้งสอง ดังรูปที่ 2.31 ชนิดของตัวเก็บประจุจะขึ้นอยู่กับสารไดอิเล็กตริกที่ใช้ อันได้แก่ เซรามิก, ไมลาร์, อิเล็กทรอไลต์, โพลิเอสเตอร์, แทนทาลั่ม,แก้ว เป็นต้น ค่าของตัวเก็บประจุ

ตัวเก็บประจุมีค่าที่เรียกว่า ความจุไฟฟ้า(Capacitance) มีหน่วยเป็น ฟารัด (Farad)



รูปที่ 2.31 โครงสร้างของตัวเก็บประจุ

แต่เนื่องจากว่าหน่วยฟารัดนี้ใหญ่มาก จึงต้องทอนลงมาให้เป็นหน่วยย่อย โดยหน่วยของความจุไฟฟ้าที่นิยมใช้ คือ ไมโครฟารัด (microfarad : μF), นาโนฟารัด (nanofarad : nF) และพิโกฟารัด (pico-farad : pF) ซึ่งจะถูกพิมพ์ไว้บนตัวเก็บประจุด้วย ความสัมพันธ์ของหน่วยของตัวเก็บประจุและค่าที่พิมพ์ลงบนตัวเก็บประจุตามมาตรฐาน EIA (Electronic Industry Assocation) สรุปได้ดังตารางที่ 2 – 5

ตารางที่ 2.5 แสดงหน่วยของค่าของตัวเก็บประจุตามมาตรฐาน EIA

ไมโครโฟน (μF)	นาโนฟารัด (nF)	พิโกฟารัด (pF)	รหัสค่าความจุที่พิมพ์บนตัวเก็บประจุตามมาตรฐาน EIA
0.0001	0.10	100	101
0.00022	0.22(n22)	220	221
0.001	1.00(1n0)	1,000	102
0.0033	3.30(3n3)	3,300*	332
0.01	10.00	10,000*	103
0.047	47.00	47,000*	473
0.1(μ1)	100.00	100,000*	104
0.82 (μ82)	820.00	820,000*	824
1.0(1μ0)	1,000.00*	1,000,000*	105

* ตัวเลขค่านี้ไม่เป็นที่นิยมใช้

อัตราการทนแรงดัน

นอกจากค่าของตัวเก็บประจุแล้ว บนตัวถังของตัวเก็บประจุยังต้องระบุอัตราการทนแรงดันสูงสุดไว้ด้วย ปกติจะบอกเป็นค่าตัวเลข แล้วตามด้วยตัว "V" ซึ่งแทนโวลต์นั่นเอง แต่ในตัวเก็บประจุแบบเซรามิกมักจะไม่แสดงอัตราการทนแรงดัน อย่างไรก็ตาม ตัวเก็บประจุแบบเซรามิกมักจะมีอัตราการทนแรงดันประมาณ 50 โวลต์

ค่าความผิดพลาด

จะใช้รหัสอักษรแทนค่าความผิดพลาด โดยมักจะพิมพ์ลงบนตัวถังของตัวเก็บประจุเช่นกัน โดยจะอยู่ต่อจากตัวเลขบอกค่าความจุ สามารถสรุปได้ดังตารางที่ 2-6

สัมประสิทธิ์ทางอุณหภูมิ

ใช้รหัสแทนอักษรเช่นเดียวกัน โดยรหัสของสัมประสิทธิ์ทางอุณหภูมิ (Temperature coefficient) จะอยู่ถัดจากรหัสของพิกัดแรงดันของตัวเก็บประจุ รหัสสัมประสิทธิ์ทางอุณหภูมิมี 2 มาตรฐาน คือ EIA (Electronic Industry Association) และ JIS (Japan Industry Standard) สามารถสรุปได้ดังตารางที่ 2-7

ตารางที่ 2.6 แสดงรหัสอักษรที่ใช้แทนค่าความผิดพลาดของตัวเก็บประจุ

รหัสอักษร	ค่าความผิดพลาด
A	+20%, -10%* *
C	± 0.25 พิโกฟารัด *
D	± 0.5 พิโกฟารัด *
E	± 1.00 พิโกฟารัด *
F	± 1%
G	± 2%
J	± 5%
K	± 10%
L	± 15%
M	± 20%
N	± 30%
P	± 100%
Q**	+ 30%, -10%
S	+ 50%, -20%
W	+ 50%, -10%
W**	+ 40%, -20%
Z	+ 80%, -20%

* มักใช้ในตัวเก็บประจุที่มีค่าน้อยกว่า หรือเท่ากับ 10 พิโกฟารัด

** ใช้กับตัวเก็บประจุแบบอิเล็คทรอไลต์

ตารางที่ 2.7 แสดงรหัสอักษรของสัมประสิทธิ์ทางอุณหภูมิของตัวเก็บประจุตามมาตรฐาน EIA และ JIS

รหัสของ EIA	รหัสของ JIS	สัมประสิทธิ์ทางอุณหภูมิ (ppm/^{o}C)
COG	C	0
S1G	H	-30
S1G	-	-33
U1G	-	-75
U1G	L	-80
P2G	P	-150
R2G	R	-220
S2H	S	-330
P2H	T	-470
U2J	U	-750
P3K	W	-1500
R3L	-	-2200
SL	SL	+350 ถึง -1000

ตัวเก็บประจุที่ใช้รหัสของ JIS บางทีจะมีรหัสอักษรตัวที่สอง ถัดจากรหัสของสัมประสิทธิ์ทางอุณหภูมิ แสดงค่าความผิดพลาดของสัมประสิทธิ์ สรุปได้ดังตารางที่ 2-8

ตารางที่ 2.8 แสดงรหัสอักษรค่าความผิดพลาดของสัมประสิทธิ์ทางอุณหภูมิของตัวเก็บประจุตามมาตรฐาน JIS

ตัวอักษร	ค่าความผิดพลาดของสัมประสิทธิ์ทางอุณหภูมิ
C	$\pm$ 30 ppm/^{o}C
H	$\pm$ 60 ppm/^{o}C
J	$\pm$ 120 ppm/^{o}C
K	$\pm$ 250 ppm/^{o}C
L	$\pm$ 500 ppm/^{o}C

ตารางที่ 2.9 แสดงรหัสอักษรค่าสัมประสิทธิ์ทางอุณหภูมิของตัวเก็บประจุแบบเซรามิก

อักษรตัวที่หนึ่ง	อุณหภูมิใช้งานต่ำสุด (°C)	อักษรตัวที่สอง	อุณหภูมิใช้งานสูงสุด (°C)	อักษรตัวที่สอง	ค่าเสถียรภาพ (%)
X	-55	5	85	F	±7.5
Y	-30	7	125	P	±10.0
Z	30	-	-	R	±15.0
-	-	-	-	S	±22.0
-	-	-	-	T	+ 22.0,-33
-	-	-	-	U	+ 22.0,-56
-	-	-	-	V	+ 22.0,-82

ตัวอย่าง ตัวเก็บประจุตัวหนึ่งพิมพ์รหัส "CH" ไว้บนตัวถัง มีความหมายว่า ตัวเก็บประจุนี้มีค่าสัมประสิทธิ์ทางอุณหภูมิอยู่ระหว่าง ± 60 ppm/°C สำหรับตัวเก็บประจุแบบเซรามิก จะมีสัมประสิทธิ์ทางอุณหภูมิที่ไม่เป็นเชิงเส้นบางครั้งจึงต้องใช้รหัสอักษร 3 ตัว เพื่อแสดงย่านของอุณหภูมิใช้งาน และเสถียรภาพในการทำงานในย่านอุณหภูมินั้น โดยอยู่ถัดจากรหัสของพิกัดแรงดัน อักษรตัวแรกแทนอุณหภูมิใช้งานต่ำสุด, อักษรตัวที่สองแทนอุณหภูมิใช้งานสูงสุด และตัวสุดท้ายแสดงค่าเสถียรภาพในการทำงาน สามารถสรุปได้ดังตารางที่ 2-10

ตัวอย่าง ตัวเก็บประจุตัวหนึ่งพิมพ์รหัส 104K63 Y5P บนตัวถังดังรูป จะสามารถอ่านค่าได้ดังนี้

104 = 1 0 0000 ไมโครฟารัด

= 100 นาโนฟารัด = 0.1 ไมโครฟารัด

K = ค่าความผิดพลาด 10 เปอร์เซ็นต์

63 = แรงดันใช้งานสูงสุด 63 โวลต์

Y = ค่าอุณหภูมิใช้งานต่ำสุด -30 องศาเซลเซียส

5 = ค่าอุณหภูมิใช้งานสูงสุด +85 องศาเซลเซียส

P = ประสิทธิภาพ ± 10 เปอร์เซ็นต์

ชนิดของตัวเก็บประจุและการใช้งาน

ตัวเก็บประจุมีหลายชนิด ดังนั้นแต่ละชนิดจึงมีความเหมาะสมในการใช้งานแตกต่างกันก่อนอื่นมาทำความรู้จักกับรหัสอักษรที่ใช้แทนชนิดของตัวเก็บประจุชนิดฟิล์ม ดังนี้

KP : โพลีโพรไพลีน

KS : โพลีสไตรลีน

KT : โพลีเอสเตอร์

MKP : เมตัลไลซ์โพลีโพรไพลีน

MKT : เมตัลไลซ์โพลีเอสเตอร์

MKT-P : เมตัลไลซ์โพลีเอสเตอร์ /กระดาษ

ตารางที่ 2.10 แสดงชนิดตัวเก็บประจุเทียบกับการใช้งาน

ชนิดของตัวเก็บประจุ	การใช้งาน
อิเล็กทรอไลต์	-ใช้ในวงจรกรองแรงดันไฟตรงที่ได้จากการเร็กติไฟร์
	-ใช้ในการคับปลิ้งสัญญาณในวงจรขยายเสียง
แทนทาลั่ม	-ใช้ในงานที่ต้องการความแม่นยำของค่าความจุสูง
เซรามิก	-ใช้ในวงจรเรโซแนนซ์
	-ใช้ในวงจรกรองความถี่สูง
กระดาษ	-ใช้ในการเพาเวอร์แฟกเตอร์
โพลีเอสเตอร์	-ใช้งานได้ทั่ว ๆ ไป
	-มีค่าให้เลือกใช้มากมาย
โพลีคาร์บอเนต	-ใช้ในการชดเชยอุณหภูมิ
โพลีสไตรีน	-ใช้ในวงจรจูนหรือออสซิลเลเตอร์
โพลีโพรไพลีน	-อินเวอร์เตอร์กำลังสูง ๆ
	-คอนเวอร์เตอร์

สรุปการเปรียบเทียบคุณสมบัติของตัวเก็บประจุชนิดต่าง ๆ

ตารางที่ 2.11 ตารางเปรียบเทียบคุณสมบัติของตัวเก็บประจุ

ชนิดของตัวเก็บประจุ	ข้อดี	ข้อเสีย	ค่าที่มีใช้งาน	ย่านแรงดัน (โวลต์)	ค่าสัมประสิทธิ์ทางอุณหภูมิ (ppm/^{o}C)
เซรามิก	-ที่ค่าความจุสูง ขนาดของตัวเก็บประจุไม่ใหญ่มาก -ราคาถูก	มีค่าให้ใช้น้อย	1.8 พิโกฟารัด – 0.47 ไมโครฟารัด	50-100	0 ถึง +300
ไมลาร์	-ประสิทธิภาพ -แข็งแรง -ความเที่ยงตรงสูง	-ราคาแพง ขนาดใหญ่	2.2 พิโกฟารัด 0.01 ไมโครฟารัด	100-400	-20 ถึง +100

อิเล็กทรอไลต์	-ค่าความจุสูง -มีขนาดเล็ก ราคาถูก	-มีอายุการใช้งานจำกัด ที่ที่อุณหภูมิสูงจะมีกระแสไฟฟ้ารั่วไหลมาก	1 – 470,000 ไมโครฟารัด	6.3 – 400	+ 1,000 ถึง + 10,000
แทนทาลัม	-ค่าความจุสูงมีขนาดเล็ก -ที่อุณหภูมิสูงจะมีกระแสไฟฟ้ารั่วไหลน้อยกว่าแบบอิเล็กทรอไลต์	-มีอายุการใช้งานจำกัด -ราคาสูงกว่าแบบอิเล็กทรอไลต์มากที่ค่าความจุเท่ากัน	0.1– 100 ไมโครฟารัด	6.3 – 400	1,000
โพลีคาร์บอเนต	-ประสิทธิภาพในการใช้งานระยะยาวสูง -มีค่าสัมประสิทธิ์ทางอุณหภูมิต่ำ	N/A	N/A	N/A	150
โพลีเอสเตอร์	-ประสิทธิ์ภาพในการใช้งานระยะยาวสูง -สามารถใช้งานย่านแรงดันสูงได้	-ประสิทธิภาพทางอุณหภูมิไม่ดี	N/A	N/A	500
โพลีโพรไพลีน	-มีค่าความสูญเสีย -ประจุไฟฟ้าต่ำ -สามาาถตอบสนองสัญญาณได้ดี	-ราคาแพง -ขนาดใหญ่	N/A	N/A	-200

* N/A ไม่มีข้อมูล

การคำนวนค่ารีแอกแตนซ์ของตัวเก็บประจุจะใช้สูตร

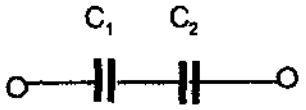
$$X_C = \frac{1}{2\pi fC}$$

โดยที่ X_C คือ ค่ารีแอกแตนซ์ของตัวเก็บประจุ มีหน่วยเป็น โอห์ม

(ก) การหาค่าความจุรวม เมื่อต่อวงจรแบบอนุกรม

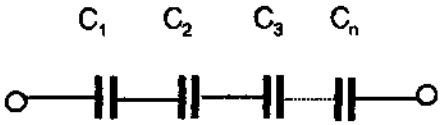
เมื่อต่ออนุกรม 2 ตัว

$$C_1 = \frac{C_1 \times C_2}{C_1 \times C_2}$$



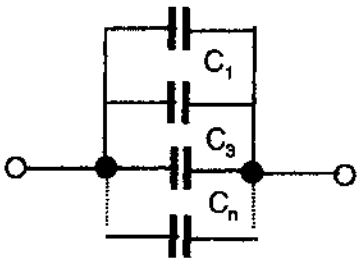
เมื่อต่ออนุกรมหลายตัว

$$C_1 = \frac{1}{\frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} + \ldots + \frac{1}{C_n}}$$



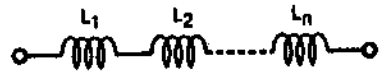
(ข) C_1การหาค่าความจุรวม เมื่อต่อวงจรแบบขนาน

$$C_1 = C_1 + C_2 + C_3 + \ldots + C_n$$



2.12 ตัวเหนี่ยวนำ

ตัวเหนี่ยวนำ (inductor) นี้มีมีสัญลักษณ์ดังรูปที่ 2.32 ภายในตัวเหนี่ยวนำมีค่าที่เรียกว่า "ค่าความเหนี่ยวนำ (inductance)" มีหน่วยเป็นเฮนรี่ (Henry : H) ปกติแล้วค่า เฮนรี่จะใหญ่มาก การใช้งานในวงจรอิเล็กทรอนิกส์จึงมักใช้หน่วยเล็กลงมาคือ เป็นมิลลิเฮนรี่(milli Henry : mH) และไมโครเฮนรี่ (micro Henry : μH)



รูปที่ 2.32 สัญลักษณ์ของตัวเหนี่ยวนำ

การอ่านค่าความเหนี่ยวนำ

ในการอ่านค่าความเหนี่ยวนำ บางครั้งผู้ผลิตจะพิมพ์ค่าลงไปบนตัวเหนี่ยวนำนั้น โดยใช้ตัวเลข 3 หลัก หรือใช้รหัสสีเป็นตัวบอกค่า ส่วนค่าความผิดพลาดก็เช่นกันมีทั้งแสดงโดยใช้รหัสสีหรือรหัสตัวอักษร

ในกรณีที่เป็นตัวเลข 3 หลัก แสดงค่าความเหนี่ยวนำ หน่วยของมันจะเป็นไมโครเฮนรี่ โดย 2 หลักแรกจะเป็นค่าตัวเลข หลักที่สามจะเป็นตัวคูณ หรือจำนวนเลขศูนย์ เช่น ถ้าพิมพ์ตัวเลขว่า 472 จะหมายถึง 4,700 ไมโครเฮนรี่ (4,700 μH) หรือ 4.7 มิลิเฮนรี่ (4.7mH) ในทำนองเดียวกัน ถ้าพิมพ์ว่า 103 ก็คือ 10 มิลลิเฮนรี่ ส่วนค่าความผิดพลาดจะใช้รหัสตัวอักษรแทนดังนี้

M แทนค่าความผิดพลาด ± 20%, K แทน ± 10% และ J แทน ± 5%

สำหรับกรณีใช้รหัสสี จะมีลักษณะเช่นเดียวกับการอ่านค่าความต้านทานด้วยรหัสสี แต่ค่าที่อ่านได้จะมีหน่วยเป็นไมโครเฮนรี่ ส่วนรหัสสีของค่าความผิดพลาดจะอยู่ถัดจากรหัสสีของค่าความเหนี่ยวนำ โดยสีเงินแทนค่าความผิดพลาด ± 10% และสีทองแทนค่าความผิดพลาด ± 5%

การออกแบบตัวเหนี่ยวนำ

ในการออกแบบตัวเหนี่ยวนำ จะแตกต่างกันออกไปตามลักษณะโครงสร้าง ซึ่งสามารถสรุปได้ดังนี้

(ก) ตัวเหนี่ยวนำพันชั้นเดียวบนแกนอากาศ ความยาวของตัวเหนี่ยวนำอย่างน้อยที่สุดเท่ากับรัศมีของตัวเหนี่ยวนำ มักใช้ในงานที่เกี่ยวข้องกับสัญญาณวิทยุ มีสูตรการคำนวณค่าความเหนี่ยวนำคือ

$$L = \frac{N^2 r^2}{245(0.9r+1)}$$

r = รัศมีของตัวเหนี่ยวนำ มีหน่วยเป็น มิลลิเมตร

(ข) ตัวเหนี่ยวนำหลายชั้นพันบนแกนอากาศ โดยที่ความสูงของตัวเหนี่ยวนำอย่างน้อยที่สุดต้องเท่ากับรัศมีภายในของตัวเหนี่ยวนำ ดังในรูปที่ 2 – 5 มักใช้ในครอสโอเวอร์เน็ตเวอร์ก มีสูตรการคำนวณดังนี้

$$H = 1.71\sqrt{\frac{L}{R}}$$

$$N = 19.9\sqrt{\frac{L}{H}}$$

$$d = \frac{0.841H}{\sqrt{N}}$$

โดยที่ L = ค่าความเหนี่ยวนำ มีหน่วยเป็น ไมโครเฮนรี

N = จำนวนรอบ

H = ความสูงของตัวเหนี่ยวนำ มีหน่วยเป็น มิลลิเมตร

d = เส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นลวด มีหน่วยเป็น มิลลิเมตร

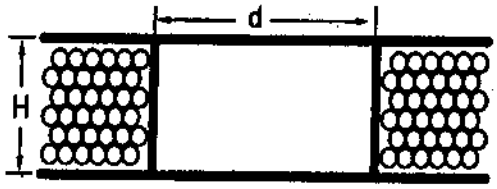
R = ความต้านทานไฟตรงของตัวเหนี่ยวนำ มีหน่วยเป็น โอห์ม

(ค) ตัวเหนี่ยวนำแบบหลายชั้นพันบนแกนอากาศ โดยที่ความสูงของตัวเหนี่ยวนำจะเท่ากับ 1.5 เท่าของรัศมีภายในของตัวเหนี่ยวนำ มีสูตรการคำนวณดังนี้

$$H = 0.323\sqrt{\frac{L}{R}}$$

$$N = 13.2\sqrt{\frac{L}{H}}$$

$$d = \frac{0.736H}{\sqrt{N}}$$



รูปที่ 2.33 ตัวเหนี่ยวนำหลายชั้นพันบนแกนอากาศ

ค่ารีแอกแตนซ์ของตัวเหนี่ยวนำ ณ ความถี่ใด ๆ

การคำนวณค่ารีแอกแตนซ์ของตัวเหนี่ยวนำจะใช้สูตร

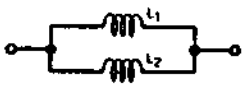
$$X_L = 2\pi fL$$

โดยที่ f คือ ความถี่ มีหน่วยเป็น เฮิรตซ์ (Hz)

L คือ ค่าความเหนี่ยวนำ มีหน่วยเป็น เฮนรี (H)

การคำนวณเกี่ยวกับตัวเหนี่ยวนำ

(ก) การหาค่าความเหนี่ยวนำรวม เมื่อต่อวงจรแบบอนุกรม



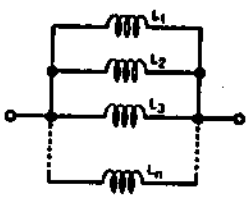
$$L_t = L_1 + L_2 + \ldots + L_n$$

(ข) การหาค่าความเหนี่ยวนำรวม เมื่อต่อวงจรแบบขนาน

กรณีที่ต่อขนาน 2 ตัว

$$L_t = \frac{L_1 X L_2}{L_1 + L_2}$$

ในกรณีต่อขนานหลายตัว



$$L_t = \frac{1}{\frac{1}{L_1} + \frac{1}{L_2} + \frac{1}{L_3} + \ldots + \frac{1}{L_n}}$$