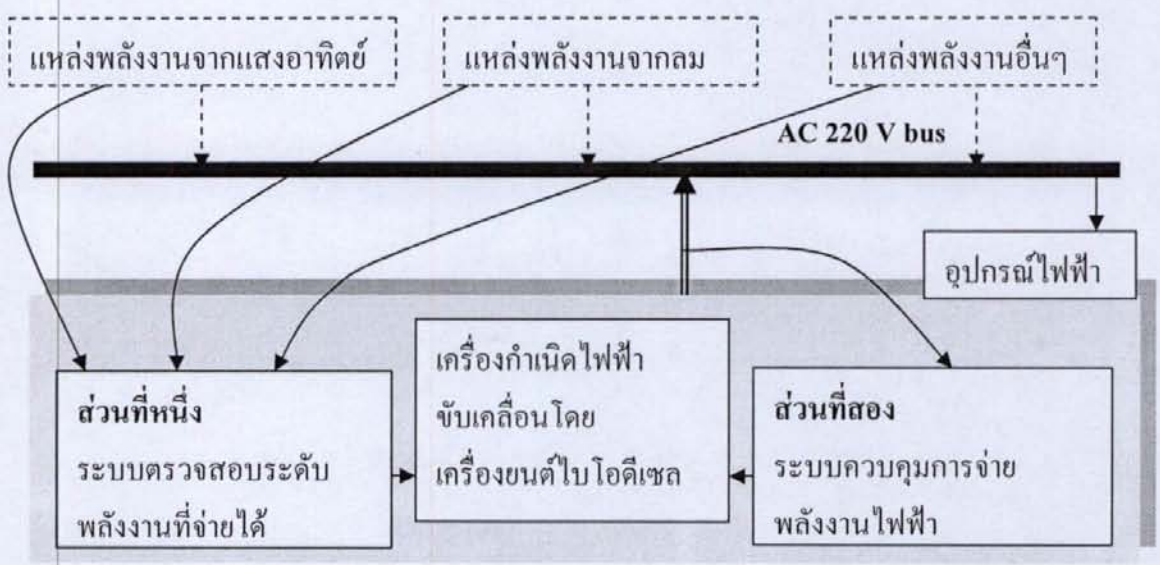
บทที่ 2
ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

บ้านพักอาศัยที่ใช้ระบบผลิตไฟฟ้าแบบลูกผสม(ระบบผลิตไฟฟ้าซึ่งประกอบไปด้วยแหล่งกำเนิดไฟฟ้าที่แตกต่างกัน) ต้องมีแหล่งพลังงานสำรองที่จะรองรับการจ่ายพลังงานในกรณีที่ไฟฟ้าที่ผลิตจากแหล่งพลังงานหมุนเวียน เช่น เซลล์แสงอาทิตย์ กังหันลมผลิตไฟฟ้า และพลังงานไฟฟ้าในแบตเตอรี่ ซึ่งเป็นแหล่งพลังงานหลักไม่เพียงพอต่อความต้องการ เครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังเครื่องยนต์จึงถูกติดตั้งเพื่อวัตถุประสงค์ดังกล่าว โดยที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังเครื่องยนต์ต้องเดินเครื่องเพื่อผลิตไฟฟ้าจ่ายในส่วนที่เหลือโดยจะต้องสามารถควบคุมให้จ่ายพลังงานก่อนที่ระบบจะมีพลังงานไม่เพียงพอต่อความต้องการอันจะทำให้เกิดเหตุบกพร่องในระบบตามมา เพื่อป้องกันเหตุบกพร่องจะต้องมีระบบตรวจสอบพลังงานที่จะจ่ายได้จากแหล่งพลังงานหมุนเวียนต่างๆ เพื่อสั่งให้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังเครื่องยนต์ทำงานล่วงหน้า โดยพลังงานที่จ่ายออกจะต้องถูกควบคุมให้มีค่าใช้จ่ายจากค่าเชื้อเพลิงต่ำที่สุด สำหรับเชื้อเพลิงที่นำมาใช้กับเครื่องยนต์จะทำการวิจัยโดยใช้ไบโอดีเซลเพื่อเป็นการส่งเสริมการการใช้แหล่งพลังงานที่ผลิตได้ในประเทศ

อธิบายเงื่อนไขการออกแบบดังนี้คือ เมื่อระดับพลังงานจากแหล่งจ่ายอื่นๆ ลดลงในระดับที่ตั้งไว้ ระบบต้องควบคุมให้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าเริ่มทำงาน หลังจากนั้นตรวจสอบความต้องการพลังงานไฟฟ้าที่ระบบต้องการเพิ่มแล้วควบคุมการจ่ายพลังงานตามที่ระบบต้องการ โดยจะต้องใช้พลังงานจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าให้มีค่าใช้จ่ายน้อยที่สุด เพราะเป็นแหล่งพลังงานไฟฟ้าที่มีค่าเชื้อเพลิงแปรตามค่าพลังงานไฟฟ้าที่ใช้



รูปที่ 2.1 ระบบควบคุมการจ่ายพลังงานไฟฟ้าอัจฉริยะของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

2.1 หลักการทำงานของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

เครื่องกำเนิดไฟฟ้าเป็นเครื่องกลที่สามารถเปลี่ยนพลังงานกลให้เป็นพลังงานไฟฟ้าโดยอาศัยการหมุนของขดลวดตัดสนามแม่เหล็ก หรือการหมุนสนามแม่เหล็กตัดขดลวดลักษณะทั่วไปของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจำแนกออกเป็นประเภทใหญ่ ๆ ได้ 2 ชนิด คือ

- เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ (Alternator)
- เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง (Dynamo)

ในที่นี้จะกล่าวเฉพาะเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ มีส่วนประกอบใหญ่ๆ 2 ส่วน คือ

2.1.1 เครื่องต้นกำลัง เป็นส่วนที่ผลิตพลังงานกลเพื่อหมุนเพลาของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า เช่น

- กังหันน้ำ ได้แก่ เขื่อนต่าง ๆ
- กังหันไอน้ำ ได้แก่ การนำเอาน้ำมาทำให้เกิดความร้อนแล้วนำเอาไอน้ำไปใช้งาน
- กังหันแก๊ส มีแบบใช้น้ำมันดีเซล น้ำมันเบนซิน ส่วนใหญ่ใช้น้ำมันดีเซลเพราะราคาถูก

2.1.2 เครื่องกำเนิดไฟฟ้า เป็นตัวผลิตพลังงานไฟฟ้า โดยหลักการเหนี่ยวนำของแม่เหล็กมีหลายแบบดังนี้

1. แบบทุ่นหมุน (Revolving Armature Type ,Ra Type) แบบนี้ใช้วิธีหมุนขดลวดทองแดงที่พันอยู่บนแกนเพลาหมุนตัดผ่านเส้นแรงแม่เหล็กที่อยู่บนเปลือกทำให้เกิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำขึ้นที่ปลายขดลวดทองแดง นำเอาแรงดันไฟฟ้านี้ไปใช้งานโดยผ่าน Slip Ring (วงแหวนทองเหลือง) และแปรงถ่าน ขั้วแม่เหล็กที่จะทำให้เกิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำนี้ ไม่ได้เป็นแม่เหล็กถาวรหรือแม่เหล็กธรรมชาติที่มีความเข้มของสนามแม่เหล็กคงที่ แต่ใช้ไฟฟ้ากระแสตรงป้อนผ่านขดลวดทองแดงที่พันรอบแกนเหล็กอ่อน เพื่อทำให้เกิดแม่เหล็กไฟฟ้าเหนี่ยวนำขึ้น ปริมาณของไฟฟ้ากระแสตรงนี้จึงสามารถควบคุมปริมาณแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับได้ โดยการเพิ่มหรือลดปริมาณของไฟฟ้ากระแสตรง

2. แบบขั้วแม่เหล็กหมุน (Revolving Field Type ,Rf Type) แบบนี้ใช้วิธีหมุนขั้วแม่เหล็กที่อยู่บนเพลา ทำให้เส้นแรงแม่เหล็กตัดผ่านขดลวดทองแดงที่พันติดอยู่บนเปลือก ทำให้เกิดแรงดันไฟฟ้าบนปลายขดลวดทองแดง แ บบนี้ไม่ต้องมี Slip Ring และแปรงถ่าน เ พื่อนำแรงดันไฟฟ้าไปใช้งาน แ ต่มีแปรงถ่านและ Slip Ring ต่อกับขดลวดทองแดง ที่พันอยู่บนแกนแม่เหล็ก เพื่อใช้สำหรับป้อนไฟฟ้ากระแสตรงไปเลี้ยงขดลวดทองแดง เพื่อสร้างความเข้มของสนามแม่เหล็ก

3. แบบไม่มีแปรงถ่าน (Brushless Type ,Bl Type) แบบนี้แบ่งตามขั้นตอนการทำงานออกเป็นส่วน ๆ ได้ 4 ส่วน คือ

ก. Exciter ประกอบด้วย

- *Exciter Field Coil* เป็นขดลวดที่ทำให้เกิดแม่เหล็กไฟฟ้าเหนี่ยวนำจะติดอยู่กับส่วนที่อยู่กับที่
- *Exciter Armature* เป็นชุดที่ประกอบด้วยขดลวดที่จะถูกทำให้เกิดกระแสไฟฟ้าเหนี่ยวนำ โดยเป็นส่วนที่ติดอยู่กับเพลาและหมุนไปพร้อมกับเพลากระแสที่เกิดขึ้นใน Exciter Armature จะเป็นไฟฟ้ากระแสสลับ 3 เฟส

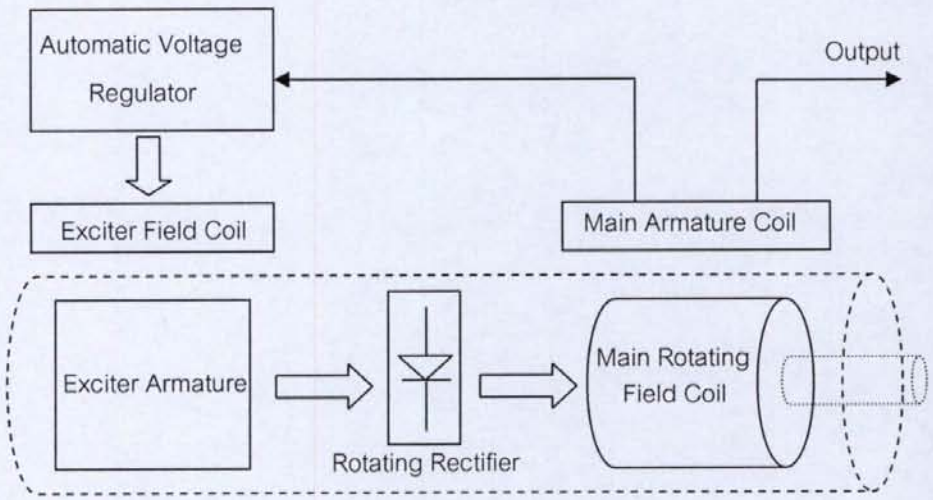
ข. *Rotating Rectifier* จะติดอยู่บนเพลาจึงหมุนตามเพลาไปด้วย มีหน้าที่แปลงกระแสไฟฟ้าสลับที่เกิดจาก Exciter Armature ให้เป็นไฟฟ้ากระแสตรง

ค. *Main Generator* เป็นส่วนที่ผลิตกระแสไฟฟ้าเพื่อออกไปใช้งานจริง ประกอบด้วย

- *Rotating Field Coil* เป็นขดลวดที่พันรอบแกนเหล็กที่ติดกับเพลาเพื่อทำให้เหล็กกลายเป็นสนามแม่เหล็กไฟฟ้า โดยได้รับไฟฟ้ากระแสตรงที่ป้อนมาจาก Rotating Rectifier

- *Stator Coil (Alternator Armature)* เป็นขดลวดที่จะถูกทำให้เกิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำขึ้นและจ่ายกระแสไฟฟ้าสลับออกไปใช้งาน

ง. *Automatic Voltage Regulator (A.V.R.)* เป็นชุดควบคุมแรงดันไฟฟ้าที่นำไปใช้งานให้คงที่ ซึ่งเป็นการทำงานควบคุมอย่างอัตโนมัติ หลักการทำงานของ A.V.R. เป็นการนำกระแสสลับที่เกิดจาก Stator Coil มาแปลงเป็นกระแสตรง จ่ายเข้า Exciter Field Coil โดยปริมาณกระแสตรงจะมีการควบคุมให้มากหรือน้อยตามสภาพการณ์ของแรงดันไฟฟ้าจาก Stator Coil โดยเป็นไปอย่างอัตโนมัติ



รูปที่ 2.2 แผนผังของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบไร้แปลงถ่าน

2.1.3 การควบคุมแรงดันไฟฟ้า แรงดันของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าสามารถควบคุมได้โดยการเปลี่ยนแปลงค่าแรงดันขดลวดสนามแม่เหล็กกระตุ้น โดยทั่วไปวงจรที่ควบคุมแรงดันของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจะทำหน้าที่ดังนี้

1) ป้องกันการเกิดแรงดันต่ำ ซึ่งทำได้โดยการเพิ่มแรงดันที่ขดลวดสนามแม่เหล็กกระตุ้นถึงแม้ว่าจะมีโหลดต่ออยู่ก็ตาม

2) รักษาแรงดันให้อยู่ที่พิกัดทางด้านแรงดันไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า เช่น ขณะที่ความเร็วตกลงเนื่องจากการที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้าได้รับโหลดมากขึ้น

3) ปรับแรงดันของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าให้เหมาะสม เช่น ปรับแรงดันให้มีค่าเพิ่มขึ้นเล็กน้อยเนื่องจากแรงดันเกิดการสูญเสียไปในสาย

พิจารณาความสัมพันธ์ ระหว่างกระแสที่ขดลวดสนามแม่เหล็กกับแรงดันไฟฟ้าที่จ่ายออกจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้า เพื่อเป็นแนวทางในการออกแบบเครื่องรักษาระดับแรงดันไฟฟ้าให้คงที่ถ้าไม่คิดในกรณีสภาวะอิ่มตัวของเส้นแรงแม่เหล็ก จะได้แรงดันที่จ่ายออกจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าสามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$E = 4.44\, f N\, \phi_m\, K_w$$

เมื่อ E = แรงดันที่จ่ายออกจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้า (โวลต์)

F = ความถี่

N = ความเร็วรอบ

ϕ_m = เส้นแรงแม่เหล็กต่อขั้ว (เวเบอร์)

K_w = ค่าตัวประกอบของการพันขดลวด (Widing Factor)

และถ้าไม่คิดกระแสไหลวน (eddy current) เส้นแรงแม่เหล็กที่เกิดขึ้นในสภาวะคงตัว (steady state) และสภาวะทรานเซี้ยน (transient) จะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับกระแสที่ขดลวดสนามกระตุ้นดังนั้นจะได้สมการแรงดันของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเป็น

$$Eg = K_2 I_2$$

เมื่อ I_2 = กระแสที่ขดลวดสนามแม่เหล็กกระตุ้น

K_2 = ค่าคงที่

นั่นคือสมการแรงดันที่จ่ายออกจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับกระแสที่ขดลวดสนามแม่เหล็กกระตุ้น ดังนั้นการควบคุมแรงดันที่ผลิตหรือจ่ายออกจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าทำได้โดยการควบคุมกระแสที่ขดลวดสนามแม่เหล็กกระตุ้น และการควบคุมกระแสที่ขดลวดแม่เหล็กกระตุ้นสามารถทำได้โดยใช้วงจรเรคกูเรเตอร์ (Regulator circuit) หรือวงจรรักษาระดับแรงดันไฟฟ้า (Voltage regulator)

2.1.4 การขนานเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเข้าระบบไฟฟ้ากำลัง เมื่อระบบกำลังไฟฟ้าหลักจ่ายโหลดมากขึ้นจนมีปริมาณถึงค่าอัตราพิกัด จึงจำเป็นต้องเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้า เพื่อช่วยกันจ่ายโหลดในระบบไฟฟ้ากำลัง (Electric Power System) ประกอบด้วยเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนานเข้ากับระบบพลังงานทดแทนเพื่อร่วมกันจ่ายโหลดของระบบไฟฟ้า ดังนั้นระบบไฟฟ้ากำลังประกอบด้วย การผลิต การส่งจ่าย และการใช้ประโยชน์จากพลังงานไฟฟ้า ข้อดีของการจ่ายโหลดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจำนวนมากให้จ่ายโหลดร่วมกันอย่างมีประสิทธิภาพ เป็นสิ่งที่ยุ่งยากมาก ต้องคำนึงถึงประสิทธิภาพของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ตัวต้นกำลังขับแต่ละตัว กำลังสูญเสียในสาย และยังมีปัญหาอื่น ๆ ที่ต้องคำนึงถึงด้วย เช่น การจัดระบบป้องกันที่มีประสิทธิภาพ การรักษาระบบไฟฟ้ากำลังให้อยู่ในสภาวะเสถียรภาพ (Power System Stability) มีส่วนเกี่ยวข้องกับการจัดระบบป้องกัน และอุปกรณ์ควบคุมเครื่องกำเนิดไฟฟ้าด้วย วิธีการขนานเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ เข้ากับระบบกำลังไฟฟ้า เข้ากับบัส

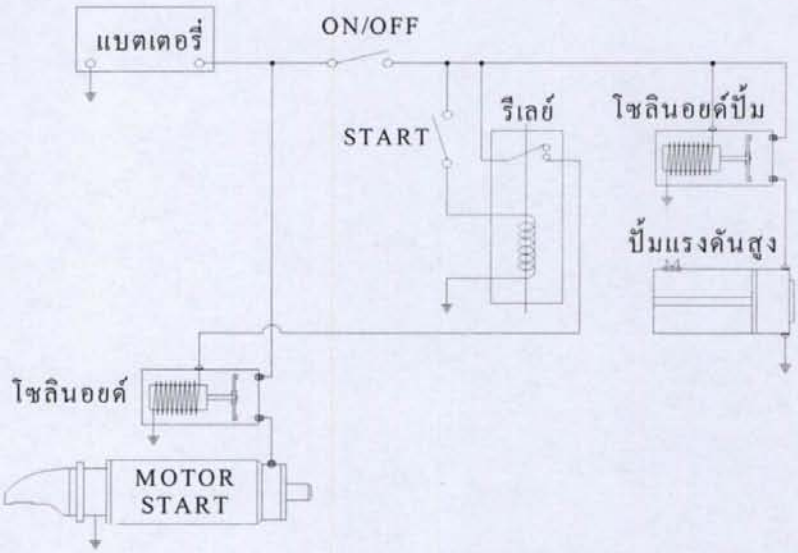
บาร์และสับสวิทช์ขนานเข้ากับพลังงานทดแทน ซึ่งเรียกว่าการซิงโครไนซิ่ง (Synchronizing) โดยจะต้องตรวจสอบเงื่อนไขในการ Synchronizing ดังนี้

1) แรงเคลื่อนไฟฟ้าที่ขั้วของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ทั้งสองต้องเท่ากัน

2) ความถี่แรงเคลื่อนไฟฟ้า ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าทั้งสองต้องเท่ากันโดยประมาณ

3) มุมเฟสจะต้องตรงกัน (In phase)

2.1.5 วงจรการสตาร์ทและหยุดเดินเครื่องยนต์ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า เป็นที่ทราบกันดีอยู่แล้วว่าเครื่องยนต์นั้นไม่สามารถที่จะเริ่มการทำงานได้ด้วยตัวเอง จำเป็นต้องอาศัยแรงบางอย่างจากภายนอก เช่นการใช้เชือกกระตุก การใช้แรงคนหมุนด้วยมือหมุน (สมัยก่อน) การเข็นรถ และการใช้มอเตอร์สตาร์ท ดังที่กล่าวมาแล้วข้างต้น

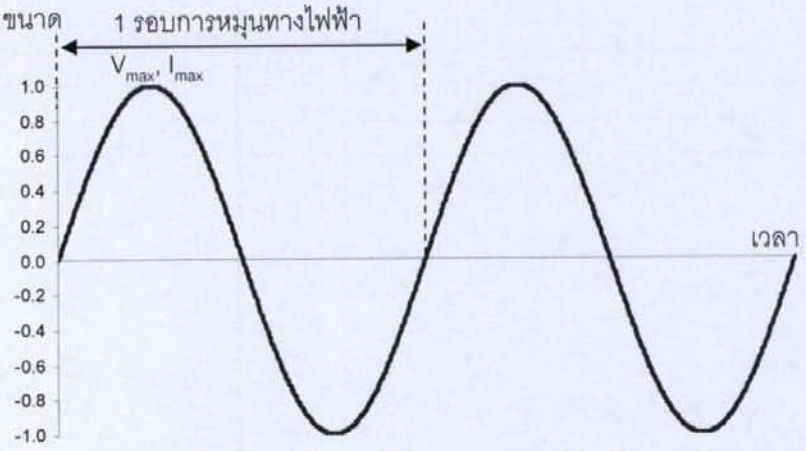


รูปที่ 2.3 วงจรการสตาร์ทและหยุดเดินเครื่องยนต์ดีเซล

มอเตอร์สตาร์ทเป็นอุปกรณ์ที่ใช้เปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าให้เป็นพลังงานกล เมื่อมอเตอร์หมุนชุดเฟืองขับของมอเตอร์สตาร์ทจะไปขับเฟืองฟลายวีลของเครื่องยนต์ ก็จะทำให้เครื่องยนต์หมุนได้ และการที่จะสตาร์ทให้เครื่องยนต์ดีเซลติดได้นั้นจะต้องให้ความเร็วรอบของเครื่องยนต์มีความเร็วรอบหนึ่ง คือ เมื่อเราได้ยินเสียงสตาร์ทของรถขนาดใหญ่ เช่น รถขนาด 60 ซีซี .มีเสียงของสตาร์ทหมุนช้ากว่ารถขนาดเล็ก ก็ถือว่าไม่มีข้อบกพร่องสำหรับมอเตอร์สตาร์ทแต่อย่างใดถือว่าเป็นเรื่องปกติ การใช้รีเลย์กับมอเตอร์สตาร์ทที่มีการกินกระแสเป็นจำนวนมาก คือ ประมาณ 50 แอมป์ดังนั้น เพื่อเป็นการรักษาสวิตช์สตาร์ทให้มีอายุการใช้งานที่ยาวนาน จึงใช้รีเลย์ไปควบคุมสวิตช์แม่เหล็กสตาร์ทอีกต่อหนึ่ง เหตุผลเพราะว่ารีเลย์นั้นกินกระแสน้อยกว่าสวิตช์แม่เหล็กของมอเตอร์สตาร์ท

2.2 การคำนวณปริมาณทางไฟฟ้า

โดยหลักการการเหนี่ยวนำแม่เหล็กไฟฟ้าในเครื่องกำเนิดไฟฟ้าประกอบด้วยขดลวดหมุนตัดกับสนามแม่เหล็กเหนี่ยวนำให้เกิดกระแสไฟฟ้าขึ้น ตามหลักการนี้เป็นวิธีการหนึ่งที่เปลี่ยนพลังงานกลให้เป็นพลังงานไฟฟ้า เมื่อมีลวดตัวนำขดเป็นวงหมุนรอบเส้นผ่านศูนย์กลางตัดกับสนามแม่เหล็ก พื้นที่ครึ่งหนึ่งของขดลวดจะเคลื่อนขึ้นในขณะที่อีกครึ่งเคลื่อนที่ลงจึงเป็นผลทำให้กระแสรวมเหนี่ยวนำในวงรอบขดลวดมีขนาดแปรเปลี่ยนอย่างสม่ำเสมอ พร้อมกับกลับทิศทางสองครั้งในหนึ่งรอบของการหมุน ลักษณะดังกล่าวเรียกกระแสไฟฟ้าที่ได้นี้ว่า "ไฟฟ้ากระแสสลับ" การแสดงลักษณะของแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับดังรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 ลักษณะสัญญาณแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ

จากรูปที่ 4.3 เขียนเป็นสมการของกระแส และแรงดันได้ตามสมการด้านล่าง

$$i(t)=I_{max}\sin(wt)$$

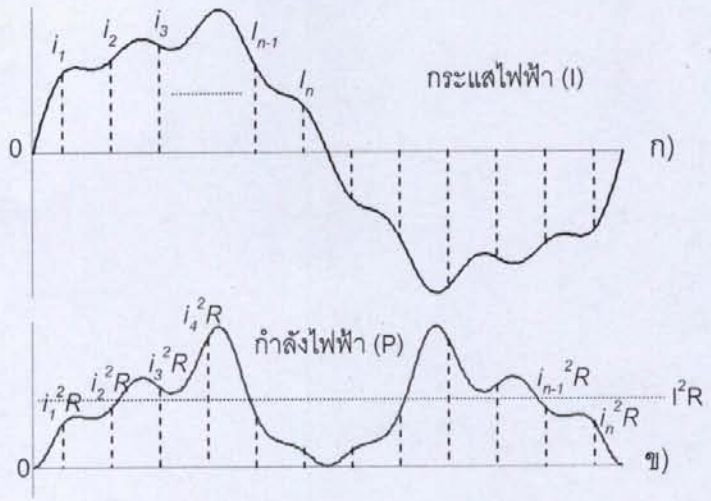
$$v(t)=V_{max}\sin(wt)$$

เมื่อ $i(t), v(t)$ คือ ค่ากระแสและแรงดันไฟฟ้า ณ เวลาใดๆ

I_{max}, V_{max} คือ ค่าค่ากระแสและแรงดันไฟฟ้าสูงสุดของสัญญาณ

w คือ ค่าความถี่เชิงมุม มีค่า $2\pi f$

2.2.1 ค่าเฉลี่ยและค่าประสิทธิผลของไฟฟ้ากระแสสลับ เนื่องจากไฟฟ้ากระแสสับเปลี่ยนขนาดอย่างต่อเนื่อง จากรูปที่ 2.3 มีขนาดสูงสุดที่ค่า I_{max} หรือ V_{max} แต่ขนาดสูงสุดนี้ไม่ได้เป็นตัวชี้ว่าจะทำให้เกิดงานหรือความร้อนขนาดเท่าใดเหมือนกรณีของไฟฟ้ากระแสตรง เช่น ไฟฟ้ากระแสตรงขนาด 10 A กับกระแสสูงสุด (I_{max}) ของไฟฟ้ากระแสสลับขนาด 10 A ที่ไหลผ่านโหลดความต้านทานตัวเดียวกันมิได้ทำให้เกิดงานเท่ากัน ดังนั้นการสื่อความหมายของปริมาณไฟฟ้ากระแสสลับจะต้องสื่อให้ได้ปริมาณที่ทำให้เกิดงานเท่ากันกับงานที่เกิดจากค่าไฟฟ้ากระแสตรงค่าเดียวกัน



รูปที่ 2.5 การหาค่าเฉลี่ยของรูปคลื่นสัญญาณใด ๆ

ตัวอย่างรูปคลื่นกระแสดังในรูปที่ 2.5 ก) จะหาค่าเฉลี่ยกระแสครึ่งไซเคิลได้จาก

$$I_{av} = \frac{i_1 + i_2 + ... + i_n}{n}$$

เมื่อ n คือจำนวนข้อมูลใน 1 คาบเวลา ยิ่งค่า n มากก็จะทำให้ได้ค่าที่ถูกต้องมากขึ้น วิธีนี้เป็นการแสดงการหาค่าเฉลี่ยที่สะดวกวิธีหนึ่งที่ ส่วนงานที่ได้จากกระแสไฟฟ้า ก็ยังมีการหาค่าเฉลี่ยกำลังงานด้วยเช่นกันจากรูปที่ 2.5 ข) กำลังงานในแต่ละเวลาหาได้จากกระแสยกกำลังสองคูณกับค่าความต้านทาน ดังนั้นค่าเฉลี่ยกำลังงานจากรูปคลื่นคือ

$$P_{av} = \frac{i_1^2 R + i_2^2 R + ... + i_n^2 R}{n}$$

สมมุติว่า I คือค่าของไฟฟ้ากระแสตรงที่ไหลผ่านความต้านทาน R ทำให้เกิดความร้อน ซึ่งความร้อนที่ได้ดังกล่าวจะมีค่าเท่ากับค่าเฉลี่ยกำลังงานที่เกิดจากไฟฟ้ากระแสสลับ นั่นคือ

$$I^2 R = \frac{i_1^2 R + i_2^2 R + ... + i_n^2 R}{n}$$

จากความสัมพันธ์ของกำลังไฟฟ้า จะได้ค่ากระแสของไฟฟ้ากระแสสลับที่ทำให้เกิดงานเท่ากับไฟฟ้ากระแสตรง โดยหาได้จากค่ารากที่สองของค่าเฉลี่ยกระแสยกกำลังสองหรือเรียกค่ากระแสของไฟฟ้ากระแสสลับนี้ว่าค่าประสิทธิผล (Root-mean-square ,rms)

$$I_{rms} = \sqrt{\frac{i_1^2 + i_2^2 + ... + i_n^2}{n}}$$

ในทำนองเดียวกันค่าประสิทธิผลของแรงดัน ก็จะหาได้จาก

$$V_{rms} = \sqrt{\frac{v_1^2 + v_2^2 + ... + v_n^2}{n}}$$

จากกฎของโอห์ม $v = iR$ ได้สมการ V_{rms} ดังนี้

$$V_{rms} = \sqrt{\frac{i_1 R + i_2 R + ... + i_n R}{n}} = R\sqrt{\frac{i_1 + i_2 + ... + i_n}{n}}$$

$$V_{rms} = I_{rms} R$$

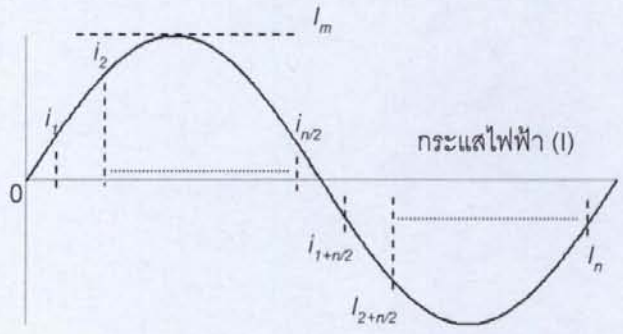
จัดรูปสมการของ P_{av} ใหม่

$$P_{av} = \frac{i_1^2 + i_2^2 ... + i_n^2}{n} R$$

ความสัมพันธ์ของ P_{av} และ I_{rms} แสดงได้ดังนี้

$$P_{av} = \left(\sqrt{\frac{i_1^2 + i_2^2 + ... + i_n^2}{n}} \right)^2 R$$

2.2.2 การหาค่าประสิทธิผลของรูปคลื่นไซน์



รูปที่ 2.6 สัญญาณกระแสแบบไซน์

ถ้า I_m คือค่าสูงสุดของกระแสรูปคลื่นไซน์ จากรูปที่ 2.6 จะได้ค่ากระแส ณ องศาทางไฟฟ้าใดๆ คือ

$$i_j = I_m \sin(\theta_j)$$

เมื่อ i_j = ค่ากระแส ณ มุมองศาทางไฟฟ้าที่ ลำดับที่ j

θ_j = ค่าของมุมองศาทางไฟฟ้า ลำดับที่ j

ดังนั้นกระแสประสิทธิผลหาได้จาก

$$I_{rms} = \sqrt{\frac{\{I_m \sin(\theta_1)\}^2 + \{I_m \sin(\theta_2)\}^2 + ... + \{I_m \sin(\theta_n)\}^2}{n}}$$

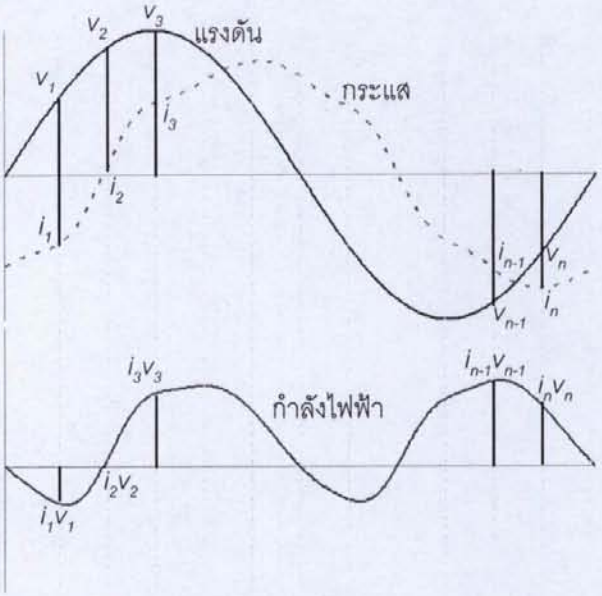
จากความสัมพันธ์ของตรีโกณมิติจะได้

$$I_{rms} = \frac{I_m}{\sqrt{2}} = 0.707 I_m$$

ในทำนองเดียวกันค่าประสิทธิผลของแรงดัน ก็จะหาได้จาก

$$V_{rms} = \frac{V_m}{\sqrt{2}} = 0.707 V_m$$

2.2.3 การหาค่ากำลังไฟฟ้า ในวงจรไฟฟ้ากระแสตรงและไฟฟ้ากระแสสลับ เราสามารถหากำลังที่ขณะใดๆที่จ่ายแก่โหลดโดยหาผลคูณ ของกระแส(i) และแรงดัน(v) อย่างไรก็ตามในวงจรไฟฟ้ากระแสสลับค่าผลคูณขณะใดๆจะแปรเปลี่ยนไปตลอดเวลา อีกทั้งมุมเฟสอาจแตกต่างกันด้วย ทำให้การคำนวณค่ากำลังเฉลี่ยเป็นเรื่องที่ซับซ้อนกว่ากรณีโหลดกระแสตรง เพราะไม่สามารถนำค่า V_{rms} และ I_{rms} มาคูณกันเพื่อให้ได้เป็นค่ากำลังไฟฟ้ากระแสสลับที่ต้องการ(ยกเว้นเฉพาะกรณีกระแสและแรงดันมีเฟสตรงกัน) ซึ่งกำลังไฟฟ้าของระบบไฟฟ้ากระแสสลับมีกำลังไฟฟ้า 3 รูปแบบ มีหลักการคำนวณตามรายละเอียดต่อไปนี้



รูปที่ 2.7 กราฟกระแส แรงดันและกำลังไฟฟ้า

ค่ากำลังไฟฟ้าจริง(Active Power,P) ในหนึ่งลูกคลื่นหาได้จาก

$$P = \frac{v_1 i_1 + v_2 i_2 + v_3 i_3 + \ldots + v_n i_n}{n} \quad W$$

เมื่อ n คือจำนวนข้อมูลใน 1 คาบเวลา

ค่ากำลังไฟฟ้าปรากฏ(Apparent Power, S) หาได้จากผลคูณของแรงดันกับกระแสตามสมการ

$$S = V_{rms} I_{rms} \quad VA$$

ค่ากำลังไฟฟ้ารีแอคตีฟ(Reactive Power, Q) หาได้จากผลคูณของแรงดันกับกระแสตามสมการ

$$Q = \sqrt{S^2 - P^2} \quad VAR$$

ค่าตัวประกอบกำลังหาได้จาก

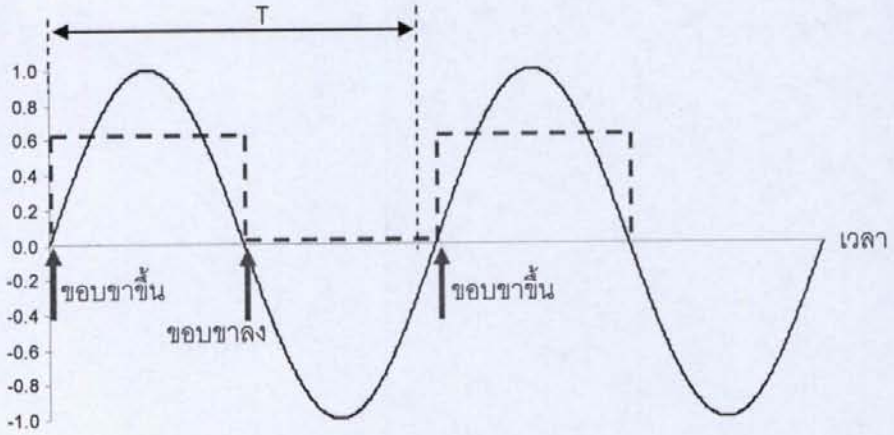
$$pf. = \frac{P}{S}$$

2.2.5 การหาค่าความถี่ ในระบบไฟฟ้ากระแสสลับมีความเกี่ยวข้องกับความถี่ (frequency, f) ในการคำนวณจะใช้การหาค่าเวลาในหนึ่งรูปคลื่น แล้วคำนวณหาค่าความถี่ตามสมการ

$$f = \frac{1}{T} \qquad \text{Hz (cycle/sec.)}$$

เมื่อ f คือ ความถี่ไฟฟ้า หน่วย Hz

T คือ คาบเวลาในหนึ่งลูกคลื่น หน่วย วินาที



รูปที่ 2.8 ความถี่จากการตรวจสอบเวลาที่เกิดการเปลี่ยนของสัญญาณ

ในการหาค่าความถี่จะใช้การแปลงจากสัญญาณ Sine ไปเป็นสัญญาณสี่เหลี่ยมที่ไม่มีซีกบวก ดังนั้นการหาค่าความถี่ก็จะหาจากระยะเวลาที่มีการเปลี่ยนของสัญญาณ เช่น คำนวณจากระยะเวลาตั้งแต่ขอบขาขึ้นจนเกิดขอบขาขึ้นอีกครั้ง หรือคำนวณหาจากเวลาจากขอบขาขึ้นถึงขอบขาลง โดยแบบหลังจะต้องคูณเวลาที่ได้เป็นสองเท่า

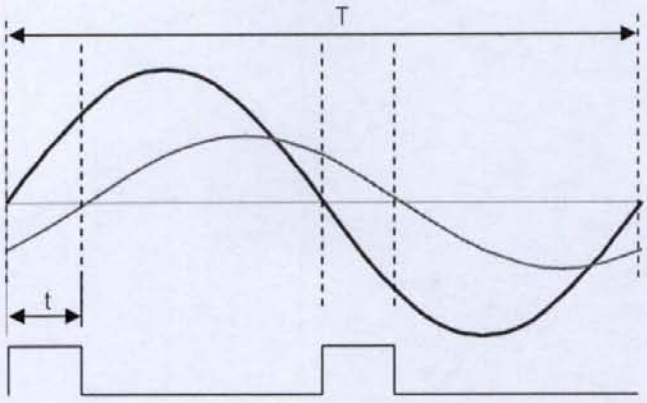
2.2.6 การหามุมต่างเฟส เมื่อมีสัญญาณ 2 สัญญาณ เช่น กระแสและแรงดัน สิ่งที่ต้องการพิจารณาคือค่ามุมต่างเฟสระหว่างสองสัญญาณ ในการคำนวณใช้การหาค่าเวลาของความต่างกันของสัญญาณทั้งสองแล้วเทียบเวลาที่ได้กับค่าเวลาในหนึ่งรูปคลื่นเพื่อเทียบอัตราส่วนสำหรับมุมต่างเฟสที่เกิดขึ้นคำนวณหาค่าได้ตามสมการ

$$\theta = \frac{t}{T} \times 360 \qquad \text{องศา}$$

เมื่อ θ คือ มุมต่างเฟส หน่วย องศา

t คือ เวลาของความต่างสัญญาณทั้งสอง หน่วย วินาที

T คือ คาบเวลาในหนึ่งลูกคลื่น หน่วย วินาที

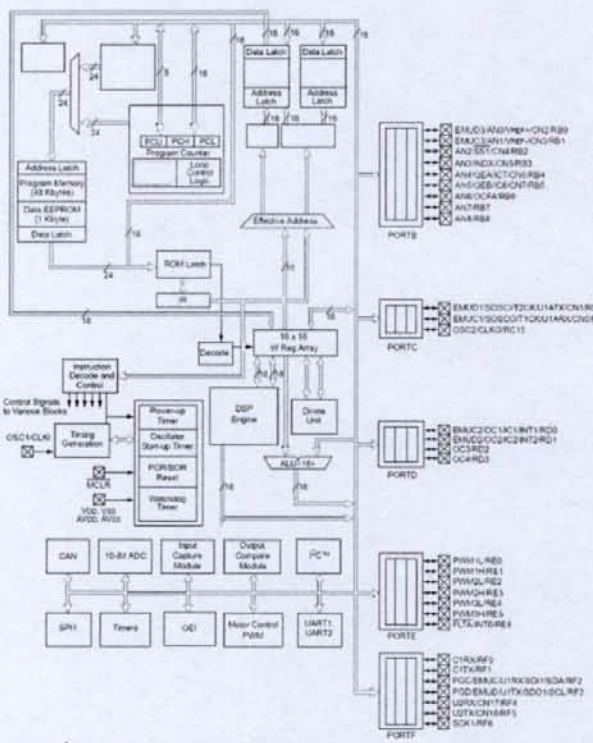


รูปที่ 2.9 มุมต่างเฟสของสองสัญญาณ

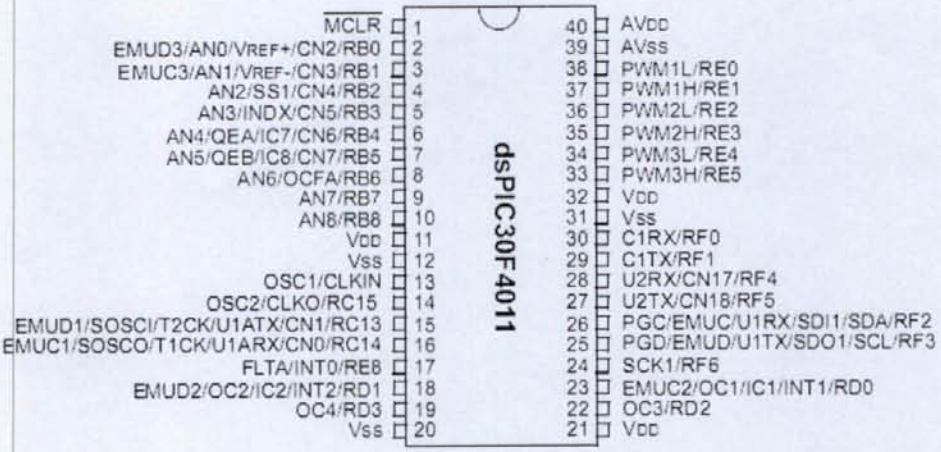
ในการคำนวณมุมต่างเฟสจะใช้การรวมสัญญาณทั้งสองเมื่อสัญญาณต่างกันต้องให้สัญญาณเป็นหนึ่ง แล้วคำนวณหาค่าเวลาเช่นเดียวกับความถี่ โดยมุมต่างเฟสที่คำนวณได้สามารถนำมาคำนวณหาค่าตัวประกอบกำลังได้ถ้าสัญญาณทั้งสองคือกระแสและแรงดัน โดยคำนวณจาก cos(θ)

2.3 อุปกรณ์ประมวลผล

ชุดประมวลผลเลือกใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ dsPIC dsPIC คือชื่อของไมโครคอนโทรลเลอร์ 16 บิต จาก Microchip Technology Inc. เป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ได้รับการออกแบบมาเป็นพิเศษเพื่อให้งานประมวลผลสัญญาณดิจิตอลสำหรับสร้างระบบควบคุมอัตโนมัติที่มีความสามารถสูง ตัวอย่างโครงสร้างของ dsPIC จะใช้เบอร์ dsPIC30F4011 มีคุณสมบัติโดยรวมดังนี้



รูปที่ 2.10 ส่วนประกอบของ dsPIC30F4011



รูปที่ 2.11 การจัดวางขาของไมโครคอนโทรลเลอร์ dsPIC30F4011

2.3.1 คุณสมบัติของซีพียู

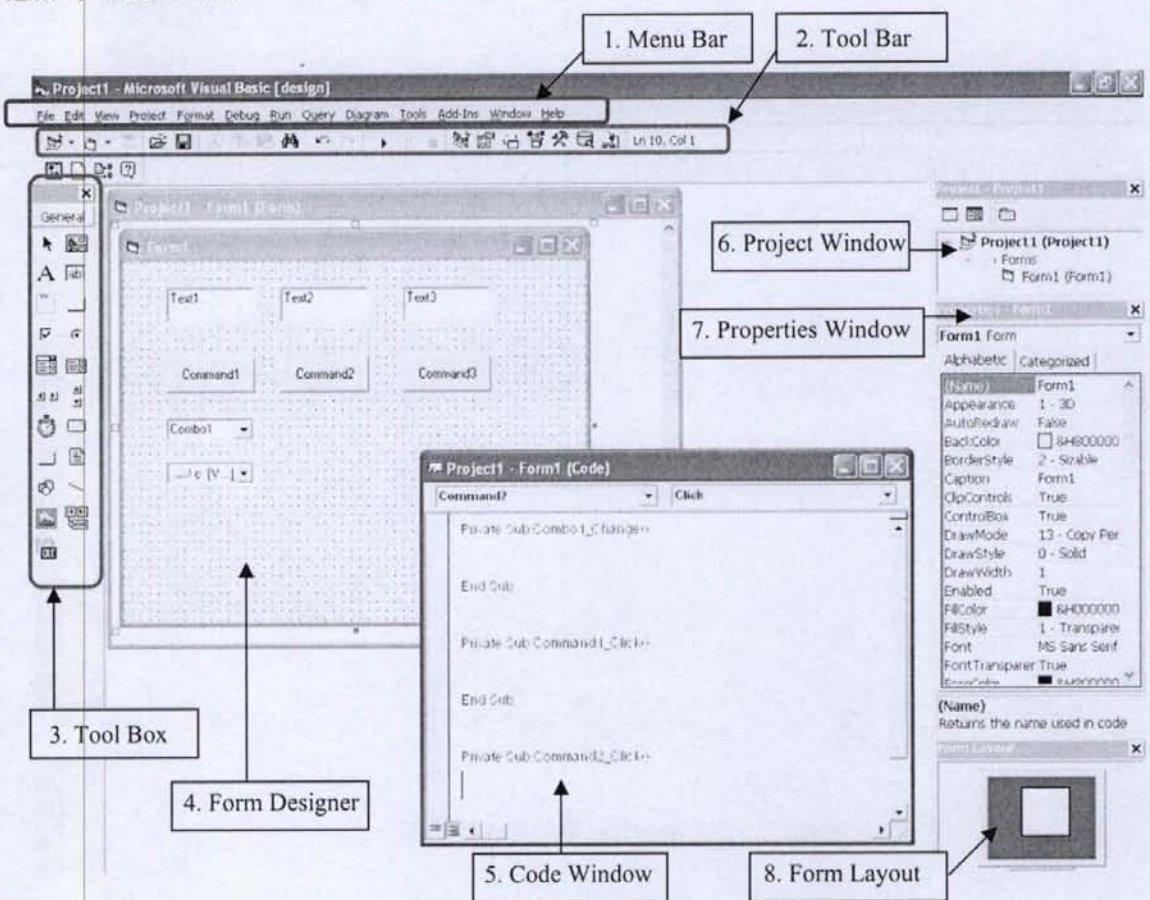
- ใช้ซีพียูแบบ RISC
- ความเร็วในการทำงานสูงสุดถึง 30 ล้านคำสั่งต่อวินาที
- คำสั่งภาษาแอสเซมบลีมาตรฐาน 84 คำสั่ง รองรับรูปแบบการอ้างแอสเดรสได้อิสระ
- ชุดคำสั่งมีขนาด 24 บิต สามารถประมวลผลข้อมูลได้ 16 บิต
- หน่วยความจำโปรแกรมแบบแฟลช สามารถลบและเขียนใหม่ได้ไม่น้อยกว่า 1000,000 ครั้ง
- หน่วยความจำอีอีพรอม 1 กิโลไบต์ ที่สามารถลบและเขียนใหม่ได้ไม่น้อยกว่า 1000,000 ครั้ง
- จำนวนอินเตอร์รัพต์เวกเตอร์มาก จึงรองรับการตอบสนองสัญญาณอินเตอร์รัพต์ได้ดี
- วงจรตรวจจับแรงดันไฟเลี้ยงต่ำกว่ากำหนดแบบโปรแกรมได้
- วอตช์ด็อกไทเมอร์แบบโปรแกรมได้
- วงจรตรวจสอบการทำงานของวงจรกำเนิดสัญญาณนาฬิกา
- สามารจ่ายกระแสออกทางขาพอร์ตได้ 25 mA ทั้งแบบกระแสซิงก์และซอร์ส
- ไฟเลี้ยง 2.5 ถึง 5.5 V

2.3.2 คุณสมบัติของโมดูลฟังก์ชันพิเศษ

- ไทม์เมอร์ / เคาน์เตอร์มีขนาด 16 บิต ไม่น้อยกว่า 3 ตัว ต่อใช้งานร่วมกันเป็นไทม์เมอร์ 32 บิต
- โมดูลตรวจจับและเปรียบเทียบสัญญาณดิจิตอล
- ส่วนเชื่อมต่ออุปกรณ์อนุกรมทั้งแบบ SPI และผ่านระบบบัส I2C
- โมดูลสื่อสาร ข้อมูลอนุกรม UART พร้อมบัฟเฟอร์แบบ FIFO
- วงจรแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิตอล ความละเอียด 10 หรือ 12 บิต
- โมดูลสร้างสัญญาณ PWM
- โมดูลเชื่อมต่อตัวเข้ารหัสแบบควอดราเจอร์

2.4 โปรแกรมคอมพิวเตอร์

โปรแกรมที่ใช้ติดต่อระหว่างส่วนประมวลผลและคอมพิวเตอร์เลือกเขียนขึ้นมาโดยใช้โปรแกรมวิชวลเบสิก(Visual Basic) ซึ่งโปรแกรมวิชวลเบสิกถือได้ว่าเป็นเครื่องมือที่ใช้เขียนโปรแกรม Windows ที่ได้รับความนิยมสูงสุด ทั้งนี้เพราะผ่านการพัฒนามาอย่างต่อเนื่องจากเวอร์ชันแรกที่ทำงานบนดอสจนก้าวมาถึงเวอร์ชันล่าสุด คือ 6.0 ที่ได้รับความนิยมทั้งเมืองไทยและทั่วโลก โดยส่วนประกอบของวิชวลเบสิก 6 มีดังต่อไปนี้



รูปที่ 2.12 ส่วนประกอบที่สำคัญของโปรแกรมวิชวลเบสิก

- Menu Bar เป็นที่รวบรวมคำสั่งเพื่อควบคุมการทำงานของโปรแกรมทั้งหมด
- Tool Bar เป็นที่รวบรวมคำสั่งเพื่อควบคุมการทำงานของโปรแกรมในรูปแบบช็อตคัต
- Tool Box เป็นที่รวบรวมเครื่องมือมาตรฐานต่างๆ ในการสร้าง Application
- Form Designer เป็นหน้าต่างของโปรแกรมที่เราต้องการออกแบบ
- Code Window เป็นส่วนที่ใช้เขียนคำสั่งควบคุมการทำงานของ Application
- Project Window เป็นเครื่องมือที่ใช้ควบคุมการทำงานของ Project
- Properties Window เป็นส่วนที่กำหนด Properties ให้กับ object ต่างๆ ใน Application
- Form Layout เป็นส่วนที่บอกตำแหน่งคร่าวๆ ของฟอร์มที่ได้จากการรัน Application