



## บทที่ 2

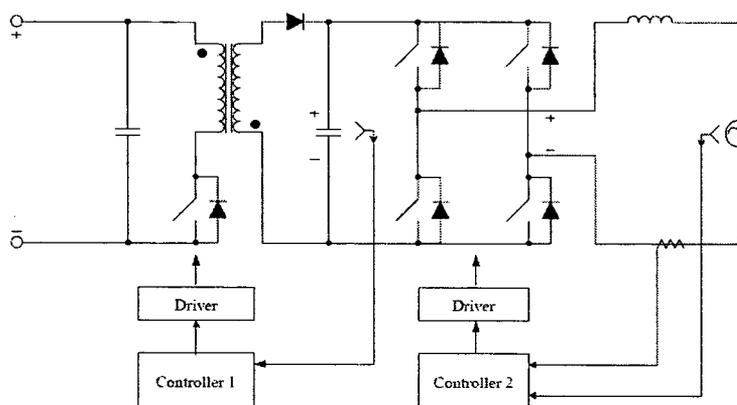
### ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในปัจจุบันได้มีการนำพลังงานทดแทนมาใช้ เพื่อทดแทนพลังงานจากเชื้อเพลิงที่ก่อให้เกิดปัญหามลพิษต่อสิ่งแวดล้อม ระบบไฟฟ้าจากพลังงานทดแทนมีหลายแบบขึ้นอยู่กับแหล่งกำเนิดพลังงานทดแทนและภูมิประเทศ ตัวอย่างเช่นการแปลงพลังงานไฟฟ้าได้จากพลังงานทดแทนแสงอาทิตย์จ่ายให้กับเครื่องใช้ไฟฟ้าภายในบ้าน เมื่อพลังงานที่ได้รับมากเกินไปขนาดพิกัดของโหลดพลังงานไฟฟ้าส่วนที่เหลือใช้จะถูกจ่ายคืนให้กับระบบของการไฟฟ้าหรือเก็บสะสมในรูปแบบของแบตเตอรี่ ซึ่งระบบนี้จะมีเสถียรภาพที่ดี วงจรคอนเวอร์เตอร์เป็นรูปแบบที่ใช้งานกันทั่วไป มีลักษณะของวงจรที่ง่าย และราคาถูก ในงานวิจัยนี้เป็นการวิเคราะห์และออกแบบวงจรแปลงผันไฟฟ้าสำหรับพลังงานทดแทนแบบเชื่อมต่อกับระบบของการไฟฟ้า และการควบคุมแรงดันและกระแสอย่างแม่นยำ

ในแผนการวิจัยครั้งนี้ มุ่งเน้นที่การสร้างต้นแบบวงจรแปลงผันพลังงานจากพลังงานทดแทนราคาประหยัด ที่ใช้วัสดุส่วนมากในเมืองไทย เพื่อลดการนำเข้าแบ่งออกได้ 4 โครงสร้างหลัก ดังนี้

1. วงจรแปลงผันไฟฟ้ากระแสสลับเป็นไฟฟ้ากระแสตรง (AC-to-DC Converter)
2. วงจรแปลงผันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสตรง (DC-to-DC Converter)
3. วงจรแปลงผันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับ (DC-to-AC Converter)
4. วงจรแปลงผันไฟฟ้ากระแสสลับเป็นไฟฟ้ากระแสสลับ (AC-to-AC Converter)

รูปที่ 2.1 แสดงวงจรแปลงผันไฟตรงเป็นไฟสลับแบบเชื่อมต่อกับระบบของระบบของการไฟฟ้า ส่วนภูมิภาค เป็นวงจรแปลงผันพลังงานที่ได้มาจากพลังงานทดแทนเพื่อนำไปใช้งาน โดยเป็นพลังงานไฟฟ้ากระแสตรงและผ่านเข้าสู่วงจรแปลงผันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับเพื่อจ่ายพลังงานกลับคืนให้กับระบบของการไฟฟ้า

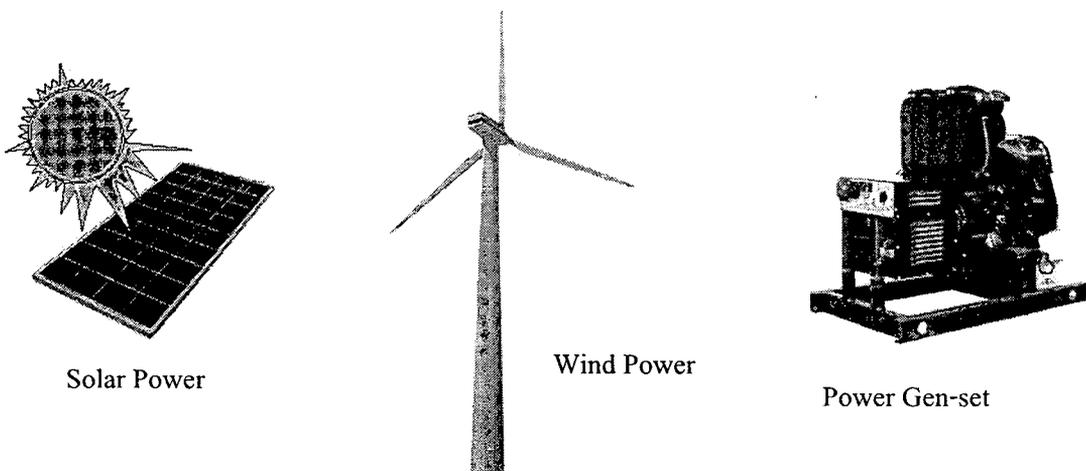


รูปที่ 2.1 วงจรแปลงพลังงานและวงจรควบคุมแบบง่าย



กรอบแนวความคิดของแผนงานวิจัยคือ จากโครงสร้างการทำงานของระบบพลังงานทดแทนแนวทางในการทำวิจัยจะมุ่งเน้นไปที่การสร้างระบบพลังงานทดแทนขึ้นมา ที่สามารถจัดการพลังงานอย่างมีประสิทธิภาพ เมื่อแหล่งพลังงานส่วนใดมีใช้จะนำมาใช้และเก็บประจุไว้ที่ตัวเก็บไฟฟ้า จากแนวความคิดของการวิจัยนี้จะทำให้สามารถสร้างวงจรแปลงผันระบบพลังงานทดแทนได้อย่างต่อเนื่องโดยมีระบบการจัดการพลังงานแบบผสมผสานที่มีประสิทธิภาพเพื่อนำพลังงานไปใช้อย่างสูงสุด องค์ประกอบหลักที่นำมาใช้งานวิจัยนี้คือ

1. ชุดพลังงานไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ ประกอบด้วย
  - 1.1 ทฤษฎีการประจุพลังงานไฟฟ้าในแบตเตอรี่ (Battery Charger)
  - 1.2 ทฤษฎีการแปลงพลังงานไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับ (Inverter)
  - 1.3 ทฤษฎีการรักษาระดับแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง (DC Regulator)
  - 1.4 ทฤษฎีการติดตามหาจุดทำงานสูงสุดของแบตเตอรี่ (Maximum Power Point)
  - 1.5 ทฤษฎีการเชื่อมต่อไฟฟ้าเข้ากับระบบอื่น (Grid-connected System)
2. ชุดพลังงานไฟฟ้าจากพลังงานลม ประกอบด้วย
  - 2.1 ทฤษฎีเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาดเล็ก
  - 2.2 ทฤษฎีการรักษาความเร็วรอบของกังหันลม
  - 2.3 ทฤษฎีการรักษากำลังไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า
  - 2.4 ทฤษฎีการเชื่อมต่อไฟฟ้าเข้ากับระบบอื่น
3. ชุดเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซล
  - 3.1 การพัฒนาเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจากเครื่องยนต์ขนาดเล็ก
  - 3.2 การควบคุมการปิดเปิดเครื่องกำเนิดแบบทันทีทันใด
  - 3.3 ทฤษฎีการเชื่อมต่อไฟฟ้าเข้ากับระบบอื่น



รูปที่ 2.2 แหล่งกำเนิดพลังงานไฟฟ้า

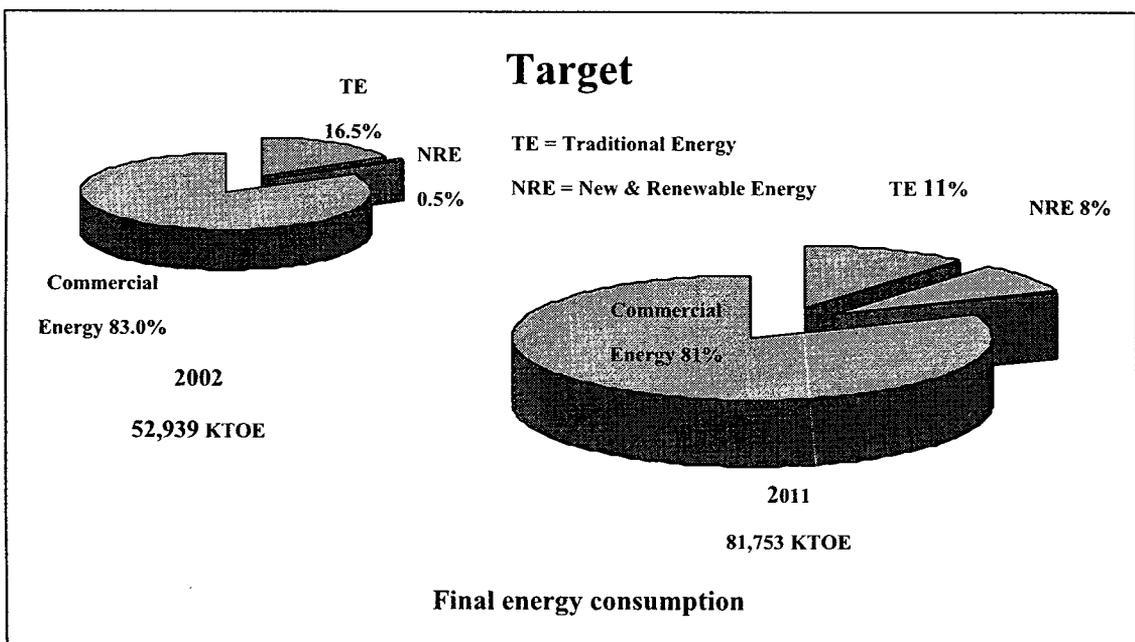


## 2.1 แหล่งกำเนิดพลังงานทดแทน

งานวิจัยนี้ได้มีการค้นคว้าและศึกษาข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับชุดพลังงานไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ ชุดพลังงานไฟฟ้าจากพลังงานลม และชุดพลังงานไฟฟ้าจากพลังงานเซลล์เชื้อเพลิง เพื่อศึกษาพลังงานไฟฟ้าที่ออกมาจากแหล่งกำเนิดทั้ง 3 ชนิด

1. ชุดพลังงานไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์
2. ชุดพลังงานไฟฟ้าจากพลังงานลม
3. ชุดพลังงานไฟฟ้าจากพลังงานเซลล์เชื้อเพลิง

พลังงานแสงอาทิตย์ พลังงานลมและพลังงานเซลล์เชื้อเพลิง เป็นพลังงานทดแทนที่น่าสนใจมาก เพราะในประเทศไทย มีการวิจัยและจัดทำข้อมูลศักยภาพของพลังงานแสงอาทิตย์ และพลังงานลมไว้เมื่อปี 2546 โดยกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน (พพ.)



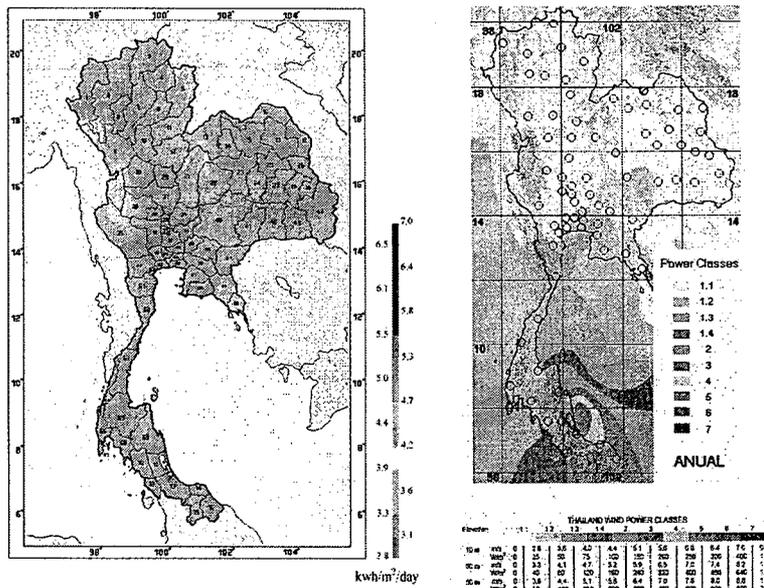
รูปที่ 2.3 กราฟแสดงเป้าหมายของยุทธศาสตร์พลังงานทดแทนของประเทศไทย [1]

จากแผนที่ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ของประเทศไทย (พ.ศ. 2542) โดยกรมพัฒนาและส่งเสริมพลังงานและคณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร พบว่าการกระจายของความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ตามบริเวณต่างๆ ทั่วทั้งประเทศ และพื้นที่ส่วนใหญ่ของประเทศได้รับรังสีดวงอาทิตย์สูงสุด ระหว่างเดือนเมษายนและพฤษภาคม โดยมีค่าอยู่ในช่วง 20 ถึง 24 MJ/m<sup>2</sup>-day เมื่อพิจารณาแผนที่ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์รายวันเฉลี่ยต่อปี พบว่าบริเวณที่ได้รับรังสีดวงอาทิตย์สูงสุดเฉลี่ยทั้งปีอยู่ที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ โดยครอบคลุมบางส่วนของจังหวัดนครราชสีมา บุรีรัมย์ สุรินทร์ ศรีสะเกษ ร้อยเอ็ด ยโสธร อุบลราชธานี และอุดรธานี และบางส่วนของภาคกลางที่จังหวัด



สุพรรณบุรี ชัยนาท อุทัย และลพบุรี โดยได้รับรังสีดวงอาทิตย์เฉลี่ยทั้งปี 19 ถึง 20 MJ/m<sup>2</sup>-day พื้นที่ดังกล่าวคิดเป็น 14.3% ของพื้นที่ทั้งหมดของประเทศ นอกจากนี้ยังพบว่า 50.2% ของพื้นที่ทั้งหมดได้รับรังสีดวงอาทิตย์เฉลี่ยทั้งปี ในช่วง 18-19 MJ/m<sup>2</sup>-day จากการคำนวณรังสีรวมของดวงอาทิตย์รายวันเฉลี่ยต่อปีของพื้นที่ทั่วประเทศ พบว่ามีค่าเท่ากับ 18.2 MJ/m<sup>2</sup>-d จากผลที่ได้นี้แสดงให้เห็นว่าประเทศไทยมีศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ค่อนข้างสูง

สำหรับศักยภาพของพลังงานลมในประเทศไทยนั้น พบว่าแหล่งพลังงานลมที่ดีอยู่บริเวณชายทะเลตะวันออกของจังหวัดนครศรีธรรมราช สงขลา ปัตตานี และพังงา และเขตภาคเหนือที่ดอยอินทนนท์ และจังหวัดตาก และบริเวณภาคกลาง คือ จังหวัดเพชรบุรี กาญจนบุรี มีกำลังลมเฉลี่ยทั้งปี ตั้งแต่ระดับ 1.3 ถึง ระดับ 2 (Class 1.3 – Class 2) ความเร็ว 4.4 เมตร/วินาที คือที่จังหวัดเพชรบุรี ประจวบคีรีขันธ์ ชุมพร สุราษฎร์ธานี เชียงใหม่ เพชรบูรณ์ เลย จันทบุรี และระยอง นั้นหมายความว่าศักยภาพของพลังงานลมในประเทศไทยมีสูงพอที่จะนำระบบผลิตไฟฟ้าจากกังหันลม (Wind turbine generator) มาใช้ได้เป็นอย่างดี



รูปที่ 2.4 แผนที่ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ และพลังงานลมในประเทศไทย

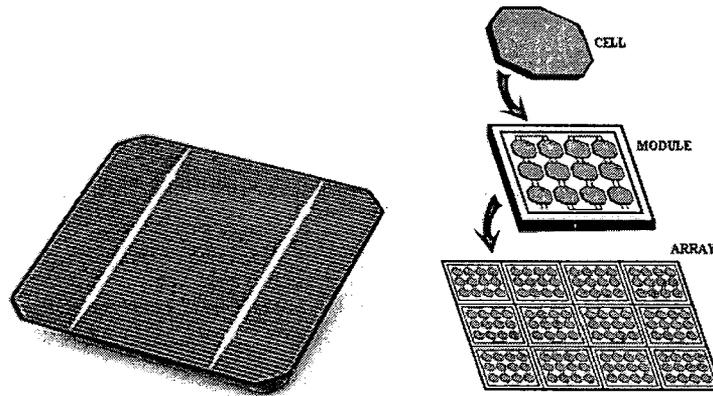
สำหรับจังหวัดนนทบุรี และจังหวัดอื่นๆ ในภาคกลาง เมื่อพิจารณารูปที่ 2.2 จะพบว่าศักยภาพของพลังงานลมในจังหวัดนนทบุรี มีค่าอยู่ในระดับที่ 1.2 ถึง 1.3 (Class 1.2 – Class 1.3) ซึ่งมีความเร็วลมเฉลี่ย 3.6 เมตร/วินาที ถึง 5.1 เมตร/วินาที ที่ความสูง 50 เมตร ซึ่งสามารถติดตั้งกังหันลมผลิตไฟฟ้าได้เช่นกัน



### 2.1.1 เซลล์แสงอาทิตย์

เซลล์แสงอาทิตย์เป็นสิ่งประดิษฐ์สารกึ่งตัวนำที่สามารถเปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์ให้เป็นพลังงานไฟฟ้าโดยอาศัยปรากฏการณ์โฟโตโวลตาอิก

แผงโซลาเซลล์ (Photovoltaic Cell: PV) เป็นสิ่งประดิษฐ์ที่สร้างขึ้นให้เป็นอุปกรณ์ที่สามารถเปลี่ยนพลังงานจากแสงอาทิตย์เป็นพลังงานไฟฟ้าได้ ถูกสร้างขึ้นครั้งแรกโดย แชปปีน(Chapin) ฟูลเลอร์ (Fuller) และเพียสัน (Pearson) ในปี ค.ศ. 1954 ซึ่งทำงานที่บริษัท เบลเทิลโพน (Bell Telephone) ซึ่งได้ค้นพบเทคโนโลยี การสร้างรอยต่อ P-N ของผลึกซิลิคอน จนได้เซลล์แสงอาทิตย์ขึ้นมาเป็นครั้งแรกในโลก ซึ่งมีประสิทธิภาพเพียง 6 % โดยในระยะเวลาต่อมาได้มีการพัฒนามาขึ้นมากกว่า 15 % ในระยะแรกเริ่มมีการนำไปใช้งานในการผลิตพลังงาน ไฟฟ้าทางด้านอวกาศ ดาวเทียม ระบบสื่อสารต่างๆ จนในปัจจุบันมีการผลิตใช้งานอย่างแพร่หลาย มีราคาถูกลง และมีประสิทธิภาพเพิ่มมากขึ้น



รูปที่ 2.5 Solar Cell [2]

เซลล์แสงอาทิตย์ทำจากซิลิคอนที่ใช้วัสดุเช่นเดียวกัน ทรานซิสเตอร์ และวงจรรวม (Integrated Circuit :IC) โดยผลึกซิลิคอนจะถูกทำให้ไม่บริสุทธิ์ โดยการเติมธาตุที่มีอิเล็กตรอนวงนอกสุดในกลุ่ม 3 และ 5 ซึ่งจะ ได้ผลึกซิลิคอนที่มีคุณสมบัติทางไฟฟ้าต่างกัน (P-Type และ N-type) เมื่อนำมาต่อเชื่อมกันด้วยกรรมวิธีการแพร่ สารระหว่างผลึกทำให้ระหว่างรอยต่อมีสถานะที่เป็นกลาง (Depletion Region) ผลึกซิลิคอนจะวางซ้อนกันเป็นชั้น บาง (Layer) เมื่อมีอนุภาคโฟตอน (Photon) มาตกกระทบแผ่นชั้นซิลิคอน อิเล็กตรอนที่ได้รับจะทำให้แผ่นธาตุ ซิลิคอนมีอิเล็กตรอนที่มีอยู่ไม่สมดุลกันระหว่างชั้นเซลล์ เมื่อมีการต่อเชื่อมขั้วไฟฟ้าออกไปก็จะเกิดการความต่างศักย์ไฟฟ้าขึ้นที่ขั้วไฟฟ้านั้น เมื่อนำมาต่อเชื่อมกันเป็นวงจรไฟฟ้าก็จะเกิดการถ่ายเทอิเล็กตรอนระหว่างขั้ว เกิดมี กระแสไฟฟ้าไหลผ่านวงจรทำให้เกิดพลังงานไฟฟ้าขึ้นมาได้

แผงเซลล์แสงอาทิตย์สามารถแบ่งตามวัสดุที่ใช้ผลิตได้ 3 ชนิด คือ และแต่ละชนิดมีประสิทธิภาพการใช้งานในห้องทดลองและใช้งานจริงแตกต่างกันดังแสดงในตารางที่ 2.1



ตารางที่ 2.1 ชนิดของแผงเซลล์แบ่งตามวัสดุและประสิทธิภาพการใช้งานในห้องทดลองและใช้ในงานจริง [3]

วัสดุ	ประสิทธิภาพการใช้งานในห้องทดลอง (%)	ประสิทธิภาพการใช้งานในงานจริง (%)
Monocrystalline Silicon	24	14-17
Polycrystalline Silicon	18	13-15
Amorphous Silicon	13	5-7

### 2.1.2 กังหันลมผลิตกระแสไฟฟ้า

การผลิตไฟฟ้าจากพลังงานลมมีต้นทุนต่ำลงมากในช่วง 20 ปีที่ผ่านมา พลังงานลมจึงเป็นพลังงานหมุนเวียนที่ขยายตัวเร็วที่สุดในโลก

#### 2.1.2.1 ชนิดของกังหันลมผลิตไฟฟ้า

ปัจจุบันการพัฒนาเทคโนโลยีกังหันลมเพื่อใช้สำหรับผลิตไฟฟ้าได้รับการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง หลายประเทศทั่วโลกได้ให้ความสนใจ โดยเฉพาะในทวีปยุโรป เช่น ประเทศเดนมาร์ก กังหันลมที่ได้มีการพัฒนาขึ้นมานั้นจะมีลักษณะและรูปร่างแตกต่างกันออกไป แต่ถ้าจำแนกตามลักษณะแนวแกนหมุนของกังหันจะได้ 2 แบบ คือ

1. กังหันลมแบบแนวนอน (Horizontal Axis Wind Turbine) เป็นกังหันลมที่มีแกนหมุนขนานกับทิศทางของลม โดยมีใบพัดเป็นตัวตั้งฉากกับแรงลม มีอุปกรณ์ควบคุมกังหันให้หันไปตามทิศทางของกระแสลม เรียกว่า หางเสือ และมีอุปกรณ์ป้องกันกังหันชำรุดเสียหายขณะเกิดลมพัดแรง

2. กังหันลมแนวแกนตั้ง (Vertical Axis Wind Turbine) มีข้อดีกว่าแบบแนวนอนคือ ในแบบแนวแกนตั้งนั้นไม่ว่าลมจะเข้ามาทิศไหนก็ยังสามารถหมุนได้ โดยไม่ต้องมีอุปกรณ์ควบคุมให้กังหันหันหน้าเข้าหาลม นอกจากนี้แล้วแบบแนวแกนตั้งนั้น เครื่องกำเนิดไฟฟ้าและระบบการส่งกำลังวางไว้ใกล้พื้นดินมากกว่าแบบแนวนอน เวลาเกิดปัญหาแก้ไขง่ายกว่าแบบแนวนอนที่ติดตั้งบนหอคอยสูง

#### 2.1.2.2 ส่วนประกอบของกังหันลมในการผลิตกระแสไฟฟ้า

ขนาดของกังหันลมผลิตไฟฟ้าถูกพัฒนาขึ้นเพื่อให้มีความสามารถในการผลิตไฟฟ้าได้ตามความต้องการใช้งาน ซึ่งจะขึ้นอยู่กับขนาดกำลังผลิตไฟฟ้า (Capacity) เส้นผ่านศูนย์กลางใบพัด (Rotor Diameter) และพื้นที่กวาดของใบพัด (Swept Area) ของกังหันลมผลิตไฟฟ้ารุ่นนั้น ๆ ดังแสดงรายละเอียดในตารางที่ 2.2



ตารางที่ 2.2 ขนาดของกังหันลม

ขนาดของกังหันลม	ขนาดกำลังผลิต (kW)	เส้นผ่านศูนย์กลาง (m)	พื้นที่กวาด (m <sup>2</sup> )
ขนาดเล็ก (Micro Wind Turbine)	< 1.5	< 3	< 7
ขนาดกลาง (Small Wind Turbine)	1.5-2.0	3-10	7-80
ขนาดใหญ่ (Medium Wind Turbine)	20-200	10-25	80 - 500
ขนาดใหญ่ (Large Wind Turbine)	200-1,500	25-70	50-3,850
ขนาดใหญ่มาก (Very Large Wind Turbine)	> 1,500	> 70	> 3,850

### 2.1.3 เซลล์เชื้อเพลิง

#### 2.1.3.1 ส่วนประกอบของระบบเซลล์เชื้อเพลิง

การออกแบบระบบเซลล์เชื้อเพลิง สามารถที่จะปรับเปลี่ยนได้ ซึ่งขึ้นอยู่กับชนิดของเซลล์เชื้อเพลิงและการนำไปใช้งาน ระบบเซลล์เชื้อเพลิงนี้จะประกอบด้วยชิ้นส่วนพื้นฐาน 4 อย่างด้วยกันคือ Fuel Cell Stack, Fuel Cell Processor, ตัวแปลงกระแส (Current Converter) และระบบชดเชยความร้อน (Heat Recovery System)

1. Fuel Cell Stack หน้าที่หลักคือการก่อให้เกิดไฟฟ้าขึ้น โดยจะอยู่ในรูปแบบของกระแสตรง (DC) จากปฏิกิริยาทางเคมีที่ถูกบรรจุอยู่ในเซลล์เชื้อเพลิง
2. Fuel Processor ทำหน้าที่แปลงเชื้อเพลิงให้เข้าสู่รูปแบบที่เซลล์เชื้อเพลิงสามารถนำไปใช้ได้
3. ตัวแปลงกระแสและตัวปรับสภาพ (Current Inverters and Conditioners) จะทำการแปลงกระแสไฟฟ้าจากเซลล์เชื้อเพลิงให้อยู่ในสภาพที่เหมาะสมกับการนำไปใช้งานโดยทั่วไป
4. ระบบชดเชยความร้อน (Heat Recovery System)

#### 2.1.3.2 ชนิดของเซลล์เชื้อเพลิง

ชนิดของเซลล์เชื้อเพลิงถูกจำแนกแยกแยะตามชนิดของอิเล็กโทรไลต์ที่ใช้ การกำหนดนี้จะแยกตามชนิดปฏิกิริยาทางเคมีที่ถูกใส่ในเซลล์ ตามชนิดความต้องการของสารเร่งปฏิกิริยาทางเคมี ย่านของอุณหภูมิในขณะที่เซลล์ทำงาน ความต้องการของเชื้อเพลิง และปัจจัยอื่นๆ ด้วยคุณลักษณะเช่นนี้ บางครั้งการนำไปใช้งานจะต้องคำนึงถึงผลกระทบที่เกิดขึ้นด้วย จะต้องมีความเหมาะสมที่สุด

1. เซลล์เชื้อเพลิงแบบกรดฟอสฟอริก (Phosphoric Acid) ใช้กรดฟอสฟอริกเป็นสารอิเล็กโทรไลต์



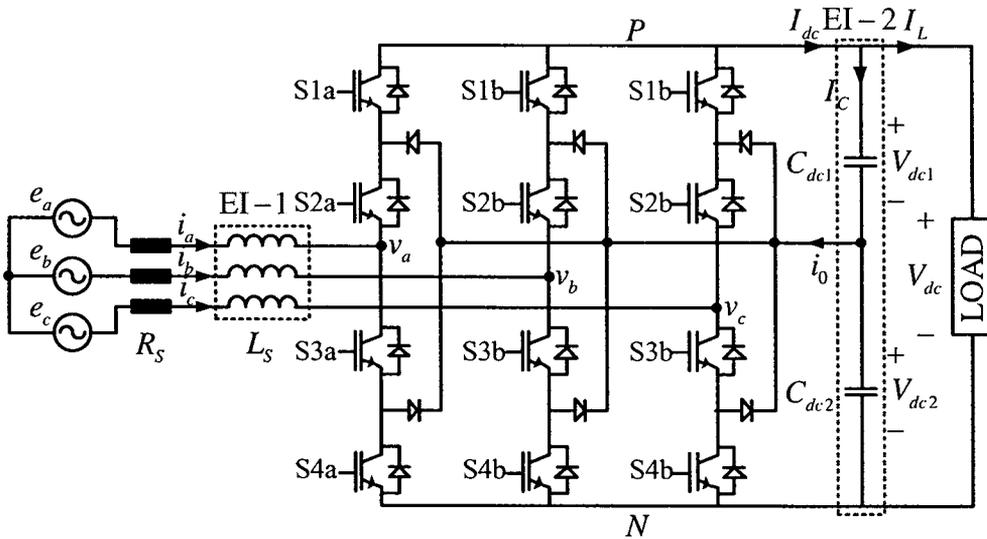
2. เซลล์เชื้อเพลิงแบบเมมเบรนแลกเปลี่ยนโปรตอน (Proton Exchange Membrane - PEM) เป็นเซลล์เชื้อเพลิงที่ใช้อิเล็กโทรไลต์ในรูปแบบแผ่นโพลีเมอร์บาง
  3. เซลล์เชื้อเพลิงแบบออกไซด์ของแข็ง (Solid Oxide) เซลล์ชนิดนี้ใช้อิเล็กโทรไลต์ที่เป็นของแข็งทำจากสารประกอบเซรามิก เช่น เซอร์โคเนียมออกไซด์ เป็นต้น
  4. เซลล์เชื้อเพลิงแบบอัลคาไลน์ (Alkaline) ใช้สารอิเล็กโทรไลต์ เช่น โพตัสเซียมไฮดรอกไซด์ เป็นต้น
  5. เซลล์เชื้อเพลิงแบบเกลือคาร์บอเนตหลอม (Molten Carbonate) เซลล์เชื้อเพลิงชนิดนี้ใช้สารลิเทียมคาร์บอเนต หรือ โซเดียมคาร์บอเนต หรือ โพตัสเซียมคาร์บอเนตที่หลอมเหลวเป็นสารอิเล็กโทรไลต์
  6. เซลล์เชื้อเพลิงแบบป้อนสารเมทานอลโดยตรง (Direct Methanol) เป็นเซลล์ที่เพิ่งถูกพัฒนาขึ้นมาจากแบบเมมเบรนแลกเปลี่ยนโปรตอน
  7. เซลล์เชื้อเพลิงแบบระบบหมุนเวียนน้ำ (Regenerative) เป็นเซลล์เชื้อเพลิงที่ทำงานแบบหมุนเวียนน้ำในระบบ
  8. เซลล์เชื้อเพลิงแบบสังกะสี-อากาศ (Zinc-Air) เซลล์เชื้อเพลิงสังกะสี-อากาศใช้โลหะสังกะสีเป็นขั้วแอโนด เชื้อเพลิงที่ใช้คือ ก๊าซไฮโดรเจนหรือสารประกอบไฮโดรคาร์บอน
- เซลล์เชื้อเพลิงต้องการออกซิเจนและไฮโดรเจนในการผลิตไฟฟ้า โดยปกติออกซิเจนจะได้มาจากอากาศประมาณ 20% ซึ่งต่างจากไฮโดรเจนที่มีข้อจำกัดในเรื่องของการกักเก็บและการขนส่ง จากเหตุผลดังกล่าวทำให้มีการศึกษาและวิจัยการใช้เชื้อเพลิงชนิดอื่นๆ ทดแทนการใช้ไฮโดรเจนโดยตรง เช่น แอลกอฮอล์ และสารไฮโดรคาร์บอนต่างๆ ซึ่งปัจจุบันได้เริ่มมีการนำมาใช้งานแล้ว แต่การใช้เชื้อเพลิงในลักษณะนี้จำเป็นต้องมีอุปกรณ์เปลี่ยนรูป (reformer) เชื้อเพลิงเหล่านั้นให้เป็ไฮโดรเจนเพื่อป้อนให้กับเซลล์เชื้อเพลิง ซึ่งเชื้อเพลิงบางตัวทำให้เกิดปัญหาในเรื่องของการจัดการอิเล็กโทรไลต์ (electrolyte management) เช่น อิเล็กโทรไลต์แบบของเหลวมีปัญหาเรื่องการกัดกร่อน อิเล็กโทรไลต์แบบของแข็งบางชนิดมีราคาที่สูงมาก เช่น แพลทินัมในเซลล์เชื้อเพลิงชนิด PEMFC อิเล็กโทรไลต์บางประเภทต้องการอุณหภูมิทำงานที่สูงมาก เช่น SOFC และ Molten Carbonate Fuel Cell (MCFC)

## 2.2 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของวงจรแปลงผันไฟฟ้ากระแสสลับเป็นไฟฟ้ากระแสตรงสามระดับแบบพีดีดับลิวเอ็ม (Three-Level PWM Rectifier)

โครงสร้างของวงจรแปลงผันไฟฟ้ากระแสสลับเป็นไฟฟ้ากระแสตรงสามระดับแบบพีดีดับลิวเอ็มแสดงได้ดังรูปที่ 2.6 โดยที่  $S_{ni}$  ( $n = 1, 2, 3, 4$  และ  $i = a, b, c$ ) คืออุปกรณ์สวิตชิงของวงจรแปลงผันจำนวน 12 ตัว,  $L_s$  และ  $R_s$  คือค่าความเหนี่ยวนำและความต้านทานระหว่างแหล่งจ่ายไฟฟ้าและวงจรแปลงผัน,  $C_{dc1}$  และ  $C_{dc2}$  คือค่าตัวเก็บประจุสไฟตรง (dc-link),  $V_{dc1}$



และ  $V_{dc2}$  คือแรงดันของตัวเก็บประจุสไฟตรงทั้ง 2 ตัว,  $V_{dc}$  คือผลรวมของ  $V_{dc1}$  และ  $V_{dc2}$ ,  $I_L$  คือกระแสที่โหลด,  $I_0$  คือกระแสที่ไหลจากจุดกลาง (neutral point) ของบัสไฟตรง,  $e_i$ ,  $i_i$  และ  $v_i$  ( $i = a, b, c$ ) คือแรงดันของแหล่งจ่าย 3 เฟส, กระแสของแหล่งจ่ายและแรงดันฝั่งด้านไฟฟ้ากระแสสลับของวงจรแปลงผันฯ ตามลำดับ



รูปที่ 2.6 โครงสร้างของวงจรแปลงผันไฟฟ้ากระแสสลับเป็นไฟฟ้ากระแสตรงสามระดับแบบพีดับบลิวเอ็ม (Three-Level PWM Rectifier) [4]

กำหนดให้แรงดันแหล่งจ่ายของระบบไฟฟ้า 3 เฟสเป็นรูปคลื่นไซน์และสมมูลทั้ง 3 เฟสมุมเฟสของแรงดัน  $e_a$  คือ  $\theta$  ดังนั้นแรงดันของแหล่งจ่ายสามารถหาได้จาก

$$\begin{bmatrix} e_a \\ e_b \\ e_c \end{bmatrix} = \sqrt{2}E \begin{bmatrix} \cos \theta \\ \cos(\theta - 120^\circ) \\ \cos(\theta + 120^\circ) \end{bmatrix} \quad (2.1)$$

เมื่อ  $E$  คือค่า rms ของแรงดันแหล่งจ่าย

การแปลงแกนจาก 3 เฟส  $abc$  ไปยังแกนนิ่ง  $\alpha - \beta$  และเป็นแกนหมุนด้วยความเร็วซิงโครนัส  $d - q$  ได้ดังสมการ

$$\begin{bmatrix} x_\alpha \\ x_\beta \end{bmatrix} = \sqrt{\frac{2}{3}} \begin{bmatrix} 1 & -\frac{1}{2} & -\frac{1}{2} \\ 0 & \frac{\sqrt{3}}{2} & -\frac{\sqrt{3}}{2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_a \\ x_b \\ x_c \end{bmatrix} \quad (2.2)$$

$$\begin{bmatrix} x_d \\ x_q \end{bmatrix} = \sqrt{\frac{2}{3}} \begin{bmatrix} \cos \theta & \cos(\theta - 120^\circ) & \cos(\theta + 120^\circ) \\ \sin \theta & \sin(\theta - 120^\circ) & \sin(\theta + 120^\circ) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_a \\ x_b \\ x_c \end{bmatrix} \quad (2.3)$$

เมื่อ  $x \in e, i, v$



จากสมการที่ (2.2) แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของวงจรแปลงผันไฟฟ้ากระแสสลับเป็นไฟฟ้ากระแสตรงสามระดับแบบพีดับบลิวเอ็มในแกนนี้  $\alpha - \beta$  สามารถหาได้จากแกน  $abc$  ดังสมการ [5]

$$L_S \frac{di_\alpha}{dt} = -R_S i_\alpha - v_\alpha + e_\alpha \quad (2.4a)$$

$$L_S \frac{di_\beta}{dt} = -R_S i_\beta - v_\beta + e_\beta \quad (2.4b)$$

$$C_{dc1} \frac{dV_{dc1}}{dt} = s_{\alpha p} i_\alpha + s_{\beta p} i_\beta - I_L \quad (2.4c)$$

$$C_{dc2} \frac{dV_{dc2}}{dt} = -s_{\alpha n} i_\alpha - s_{\beta n} i_\beta - I_L \quad (2.4d)$$

เมื่อ  $s_{\alpha p}$ ,  $s_{\beta p}$ ,  $s_{\alpha n}$  และ  $s_{\beta n}$  คือฟังก์ชันการสวิตช์ในแกน  $\alpha - \beta$

ในทำนองเดียวกัน จากสมการที่ (2.3) แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของวงจรแปลงผันไฟฟ้ากระแสสลับเป็นไฟฟ้ากระแสตรงสามระดับแบบพีดับบลิวเอ็มในแกนหมุนด้วยความเร็วเชิงโรตอร์สามารถหาได้จาก

$$L_S \frac{di_d}{dt} = -R_S i_d + \omega L_S i_q - v_d + e_d \quad (2.5a)$$

$$L_S \frac{di_q}{dt} = -R_S i_q - \omega L_S i_d - v_q + e_q \quad (2.5b)$$

$$C_{dc1} \frac{dV_{dc1}}{dt} = s_{dp} i_d + s_{qp} i_q - I_L \quad (2.5c)$$

$$C_{dc2} \frac{dV_{dc2}}{dt} = -s_{dn} i_d - s_{qn} i_q - I_L \quad (2.5d)$$

เมื่อ  $s_{dp}$ ,  $s_{qp}$ ,  $s_{dn}$  และ  $s_{qn}$  คือฟังก์ชันการสวิตช์ในแกน  $d - q$

$$\omega = d\theta/dt$$

ความสัมพันธ์ระหว่างฝั่งทางด้านแรงดันกระแสสลับ (ac-side) และแรงดันบัสไฟตรง (dc-link) ในแกน  $\alpha - \beta$  และแกน  $d - q$  สามารถหาได้จาก

$$v_\alpha = s_{\alpha p} V_{dc1} - s_{\alpha n} V_{dc2} \quad (2.6a)$$

$$v_\beta = s_{\beta p} V_{dc1} - s_{\beta n} V_{dc2} \quad (2.6b)$$

$$v_d = s_{dp} V_{dc1} - s_{dn} V_{dc2} \quad (2.7a)$$

$$v_q = s_{qp} V_{dc1} - s_{qn} V_{dc2} \quad (2.7b)$$



จะสังเกตว่าในแกน  $d-q$  ที่หมุนด้วยความเร็วเชิงโคโรนัส เวกเตอร์ของแรงดันแหล่งจ่าย (grid-source voltage)  $e$  จะอยู่ในแกน  $d$  ซึ่งจะได้ว่า

$$e_d = \sqrt{3}E \quad (2.8a)$$

$$e_q = 0 \quad (2.8b)$$

นำสมการที่ (2.4a) และ (2.4b) มารวมกัน สมการกำลังไฟฟ้าของ EI-1 สามารถหาได้จาก

$$\begin{aligned} \text{EI-1:} \quad \frac{dW_{EI-1}}{dt} &= \frac{d \left[ \frac{1}{2} L_s (i_\alpha^2 + i_\beta^2) \right]}{dt} \\ &= (e_\alpha i_\alpha + e_\beta i_\beta) - (v_\alpha i_\alpha + v_\beta i_\beta) - R_s (i_\alpha^2 + i_\beta^2) \end{aligned} \quad (2.9a)$$

จากสมการ (2.4d) และ (2.4c) สมการกำลังไฟฟ้าของ EI-2 สามารถหาได้จาก

$$\begin{aligned} \text{EI-2:} \quad \frac{dW_{EI-2}}{dt} &= \frac{d \left[ \frac{1}{2} C_{dc1} V_{dc1}^2 + \frac{1}{2} C_{dc2} V_{dc2}^2 \right]}{dt} \\ &= (v_\alpha i_\alpha + v_\beta i_\beta) - V_{dc} I_L \end{aligned} \quad (2.9b)$$

ในสมการ (2.9a) และ (2.9b),  $W_{EI-1}$  และ  $W_{EI-2}$  คือพลังงานที่เก็บใน EI-1 และ EI-2 ตามลำดับ

ตามทฤษฎีกำลังไฟฟ้าทันทีทันใด (instantaneous power theory) [6] กำลังไฟฟ้าแอกทีฟและกำลังไฟฟ้รีแอกทีฟด้านเข้าของวงจรแปลงผันฯ สามารถคำนวณในแกน  $\alpha-\beta$  ได้ดังสมการ

$$p_{in} = e_\alpha i_\alpha + e_\beta i_\beta \quad (2.10a)$$

$$q_{in} = e_\beta i_\alpha - e_\alpha i_\beta \quad (2.10b)$$

และในแกน  $d-q$  เมื่อแทนค่าสมการ (2.8a) และ (2.8b) ลงไปจะได้

$$p_{in} = e_d i_d + e_q i_q = \sqrt{3} E i_d \quad (2.11a)$$

$$q_{in} = e_q i_d - e_d i_q = -\sqrt{3} E i_q \quad (2.11b)$$

กำลังไฟฟ้าด้านออกของวงจรแปลงผันคือ

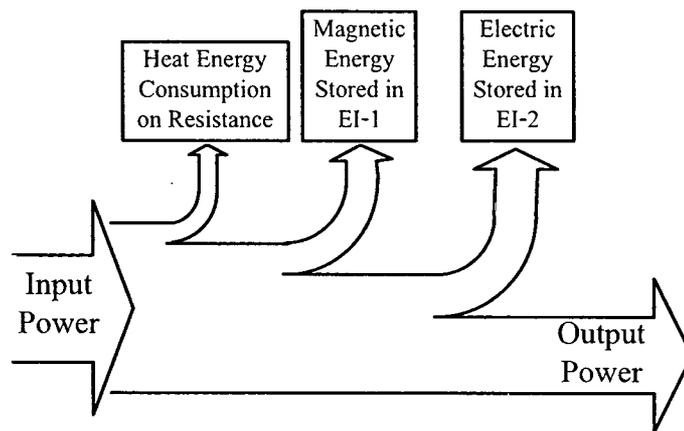
$$p_{out} = V_{dc} I_L \quad (2.12)$$



ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้าด้านเข้าและด้านออกของวงจรแปลงผันฯ แสดงได้ดังนี้

$$\begin{aligned}
 p_{in} - p_{out} &= (e_{\alpha} i_{\alpha} + e_{\beta} i_{\beta}) - V_{dc} I_L \\
 &= R_S (i_{\alpha}^2 + i_{\beta}^2) + \Delta W_{EI-1}/T_S + \Delta W_{EI-2}/T_S
 \end{aligned}
 \tag{2.13}$$

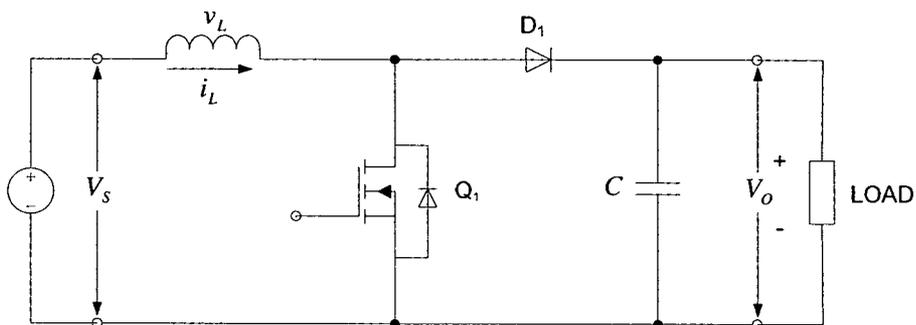
เมื่อ  $\Delta W_{EI-1}$  และ  $\Delta W_{EI-2}$  คือเป็นการเพิ่มขึ้นของพลังงานที่เก็บไว้ใน EI-1 และ EI-2 ในช่วงระยะเวลา  $T_S$  จากสมการที่ (2.13) จะเห็นได้ว่าความแตกต่างระหว่างกำลังไฟฟ้าด้านเข้าและกำลังไฟฟ้าด้านออกของวงจรแปลงผันฯ จะประกอบไปด้วยการใช้พลังงานของตัวต้านทานและอัตราการเปลี่ยนแปลงของส่วนที่เก็บพลังงานที่ใช้ในการเชื่อมต่อ แผนภูมิการไหลของกำลังไฟฟ้าของวงจรแปลงผันฯ แสดงได้ดังรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 แผนภูมิการไหลของกำลังไฟฟ้าของวงจรแปลงผันไฟฟ้ากระแสสลับเป็นไฟฟ้ากระแสตรงสามระดับแบบพีดับบลิวเอ็ม

### 2.3 วงจรทบทระดับแรงดัน [7]

ตัวแปลงผันแบบทบทระดับเป็นวงจรแปลงผันไฟตรง (DC-DC Converter) ชนิดหนึ่งที่จะทำให้แรงดัน ทางด้านเอาต์พุตมีค่ามากกว่าแรงดันทางด้านอินพุตดังวงจรในรูปที่ 2.8 การทำงานจะแบ่งเป็น 2 แบบ คือ แบบกระแสต่อเนื่องและแบบกระแสไม่ต่อเนื่อง



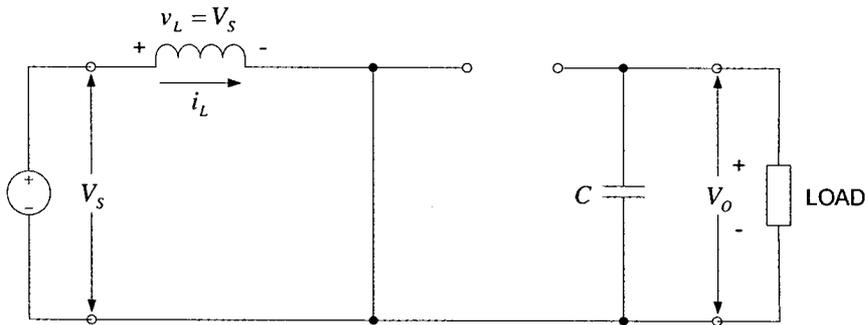
รูปที่ 2.8 วงจรแปลงผันแบบทบทระดับแรงดัน



หลักการการทำงานของวงจรทระดับแรงดันเพื่อให้ได้แรงดันไฟฟ้าด้านออกตามต้องการ จะเริ่มต้นจากข้อกำหนดที่ว่าแรงดันไฟฟ้าเฉลี่ยตกคร่อมตัวเหนี่ยวนำในแต่ละคาบเวลาจะเท่ากับศูนย์ และสามารถหากระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำได้โดยวิเคราะห์การทำงานของสวิตช์ในแต่ละโหมด

### 2.3.1 ขณะสวิตช์นำกระแส

จากรูป 2.8 กระแสไฟฟ้าจากแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสตรงจะไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำ โดยผ่านสวิตช์ ขณะเดียวกันไดโอดจะถูกไบอัสย้อนกลับทำให้ไม่สามารถนำกระแสไฟฟ้าได้ดังรูป 2.9 จากกฎของเคอร์ชอฟจะได้สมการแรงดันไฟฟ้าดังนี้



รูปที่ 2.9 วงจรสมมูลเมื่อสวิตช์นำกระแส

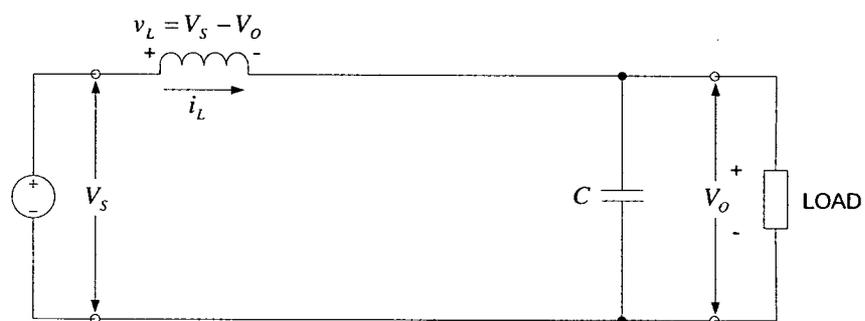
ขณะที่สวิตช์นำกระแส  $dt = DT$  เมื่ออัตราการเปลี่ยนแปลงของกระแสคงที่ อาจจะถือว่าการเพิ่มของกระแสไฟฟ้าเป็นเชิงเส้น ทำให้สามารถคำนวณได้จาก

$$\frac{\Delta i_L}{\Delta t} = \frac{\Delta i_L}{Dt} = \frac{V_s}{L} \quad (2.14)$$

$$\Delta i_{L,on} = \frac{V_s DT}{L} \quad (2.15)$$

$\Delta i_{L,on}$  หมายถึงอัตราการเปลี่ยนแปลงของกระแสไฟฟ้าในตัวเหนี่ยวนำขณะนำกระแส

### 2.3.2 ขณะสวิตช์ไม่นำกระแส



รูปที่ 2.10 วงจรสมมูลเมื่อสวิตช์ไม่นำกระแส



ขณะสวิตช์ไม่นำกระแส  $dt = (1 - D)T$  อัตราการเปลี่ยนแปลงของกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำมีค่าคงที่และอาจจะถือว่าการลดลงของกระแสไฟฟ้าเป็นเชิงเส้น ทำให้สามารถคำนวณได้จาก

$$\Delta i_{L,off} = \left( \frac{V_s - V_o}{L} \right) (1 - D)T \quad (2.16)$$

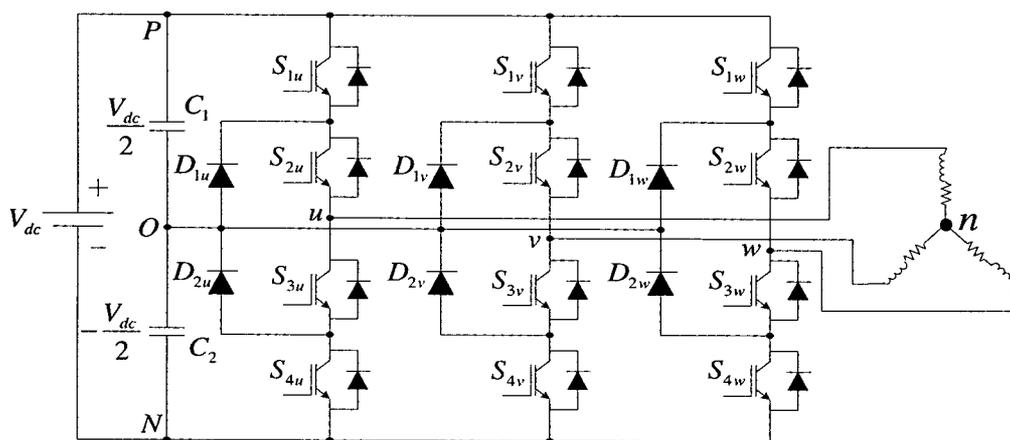
ที่สภาวะคงตัว การเปลี่ยนแปลงของกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำสุทธิมีค่าเท่ากับศูนย์ จะได้ว่า

$$\frac{V_o}{V_s} = \frac{1}{1 - D} \quad (2.17)$$

## 2.4 อินเวอร์เตอร์สามระดับ

### 2.4.1 โครงสร้างพื้นฐานของวงจรอินเวอร์เตอร์สามระดับ

วงจรอินเวอร์เตอร์สามระดับจะแตกต่างจากวงจรอินเวอร์เตอร์สองระดับคือ มีอุปกรณ์ในการสวิตช์ซึ่งเพิ่มจากหกตัวเป็นสิบสองตัวดังรูปที่ 2.11 และมีการใช้แรงดันไฟตรงเป็นสามระดับ ซึ่งได้จากการนำตัวเก็บประจุสองตัวต่ออนุกรมกันเพื่อแบ่งแรงดันจากแหล่งจ่ายไฟตรง วงจรอินเวอร์เตอร์สามระดับมีข้อดีกว่าวงจรอินเวอร์เตอร์สองระดับคือ มีระดับแรงดันที่เพิ่มขึ้น ทำให้กระแสเอาต์พุตมีความผิดเพี้ยนของสัญญาณน้อย และช่วยลดค่ากระแสพุ่งเข้า (Inrush Current) ที่มีต่ออุปกรณ์สวิตช์ซึ่งเช่น มอสเฟต (Metal-Oxide-Semiconductor-Field Effect Transistor, MOSFET) ไอจีบีที (Insulated Gate Bipolar Transistors, IGBT) เมื่อเรานำมาเปรียบกับวงจรอินเวอร์เตอร์สองระดับที่มีการใช้แรงดันดีซีลิงก์ (DC-Link) เท่ากัน เพราะวงจรอินเวอร์เตอร์สามระดับมีการใช้อุปกรณ์สวิตช์ซึ่งมาต่ออนุกรมทำให้ได้รับแรงดันน้อยลง



รูปที่ 2.11 วงจรอินเวอร์เตอร์สามระดับ



วงจรมูลของวงจรอินเวอร์เตอร์สามระดับเป็นดังรูปที่ 2.11 แต่ละเฟสประกอบด้วย ฟรีวิลลิงไดโอด (Free-Wheeling Diode) สี่ตัว แคลมป์ไดโอด (Clamping Diodes) สองตัวต่อกับจุดนิวทรัลพอยต์ (Neutral Point (O)) เมื่อให้แรงดันทั้งสามจุด (PON) เทียบกับจุดอ้างอิงจุด O จะได้แรงดัน 3 ระดับ ดังนี้

- แรงดัน P ( $V_{PO}$ ) เป็นแรงดันบัสไฟตรงที่ตกคร่อมตัวเก็บประจุ  $C_1$
- แรงดัน O ( $V_{OO}$ ) เป็นแรงดันที่จุดอ้างอิง
- แรงดัน N ( $V_{NO}$ ) เป็นแรงดันบัสไฟตรงที่ตกคร่อมตัวเก็บประจุ  $C_2$

สถานะการสวิตช์ในแต่ละเฟสของวงจรอินเวอร์เตอร์สามระดับสรุปได้ดังตาราง 2.3

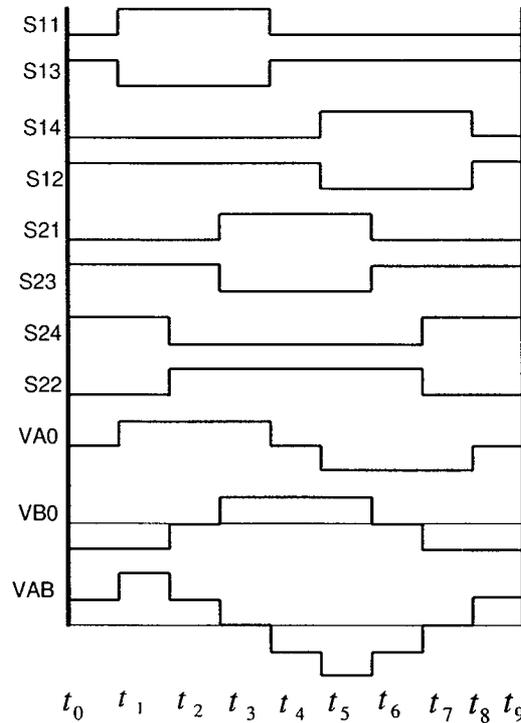
ตารางที่ 2.3 สถานะการสวิตช์ในแต่ละเฟส

Terminal Symbols	Switch State				Terminal Voltage
	$S_{1x}$	$S_{2x}$	$S_{3x}$	$S_{4x}$	
P	ON	ON	OFF	OFF	$V_{dc} / 2$
O	OFF	ON	ON	OFF	0
N	OFF	OFF	ON	ON	$-V_{dc} / 2$

เมื่อ  $x = u, v, w$

#### 2.4.2 หลักการทำงานของอินเวอร์เตอร์สามระดับ

จากรูปที่ 2.11 จะเห็นว่าในแต่ละกิ่งของอินเวอร์เตอร์สามระดับจะประกอบด้วยสวิตช์หลัก  $S_{11}$  กับ  $S_{14}$  ทำหน้าที่เหมือนในวงจรอินเวอร์เตอร์ 2 ระดับ ส่วนสวิตช์ช่วย  $S_{12}$  กับ  $S_{13}$  ทำหน้าที่แคลมป์แรงดันเทียบกับจุดนิวทรัลที่ขั้วเอาต์พุตพร้อมกับไดโอดช่วย  $D_{11}$  กับ  $D_{12}$  ส่วนแหล่งจ่ายไฟตรงเกิดจากตัวเก็บประจุทั้งสองตัว แบ่งแรงดันบัสตรงตัวละครึ่งสัญญาณ PWM ที่ใช้ควบคุมแต่ละตัวในหนึ่งกิ่งสามารถแสดงได้ดังรูป ซึ่งสามารถแบ่งโหมดการทำงานในหนึ่งไซเคิลของแรงดัน  $V_{ab}$  ออกเป็น 9 โหมดดังแสดงดังรูปที่ 2.12

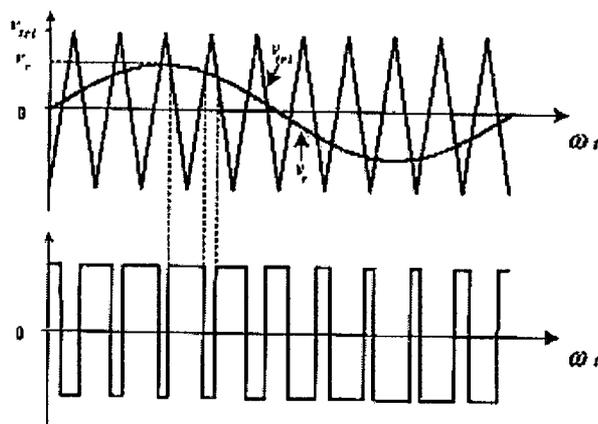


รูปที่ 2.12 สัญญาณสวิตชิงในแต่ละกลุ่ม

### 2.4.3 เทคนิคการสร้างสัญญาณควบคุมวงจรอินเวอร์เตอร์สามระดับ

#### 2.4.3.1 เทคนิคพีดับเบิลยูเอ็ม (Sinusoidal Pulse Width Modulation : SPWM)

เทคนิคนี้จะใช้หลักการโดยการนำรูปคลื่นไซน์เป็นสัญญาณอ้างอิงที่มีความถี่เท่ากับ ความถี่มูลฐานที่ต้องการออกแบบมาเปรียบเทียบกับคลื่นพาหนะ โดยทั่วไปจะเป็นรูปคลื่นสัญญาณ สามเหลี่ยมที่มีความถี่เท่ากับความถี่การสวิตช์ที่ออกแบบ ดังแสดงในรูปที่ 2.13

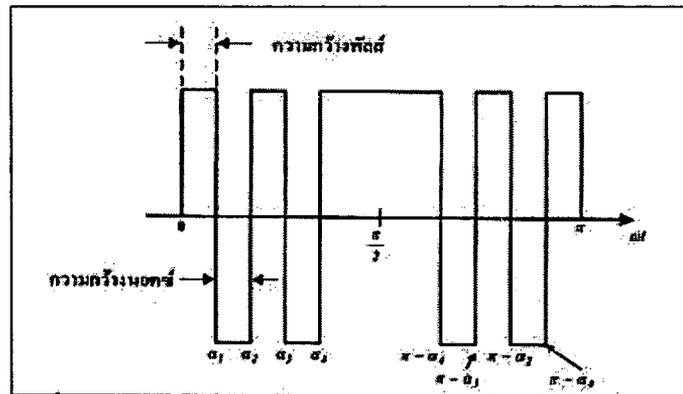


รูปที่ 2.13 หลักการสร้างรูปแบบพีดับเบิลยูเอ็มแบบ SPWM



### 2.4.3.2 เทคนิคพีดับเบิลยูเอ็มแบบกำจัดฮาร์โมนิกส์ ( Harmonic Elimination Method )

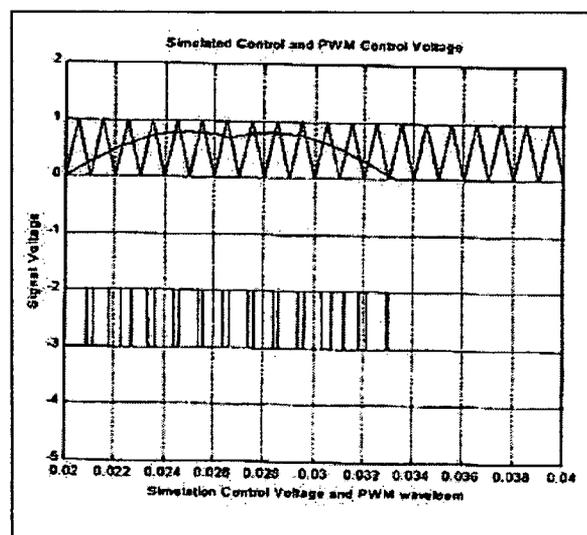
รูปคลื่นของเทคนิคนี้จากทฤษฎีการวิเคราะห์รูปคลื่นด้วยอนุกรมฟูเรียร์พบว่าหากมีการกำหนดมุม  $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \alpha_4$  ให้เหมาะสมจะสามารถกำจัดฮาร์โมนิกส์ที่ต้องการรวมถึงสามารถควบคุมแรงดันมูลฐานได้ ดังแสดงในรูปที่ 2.14



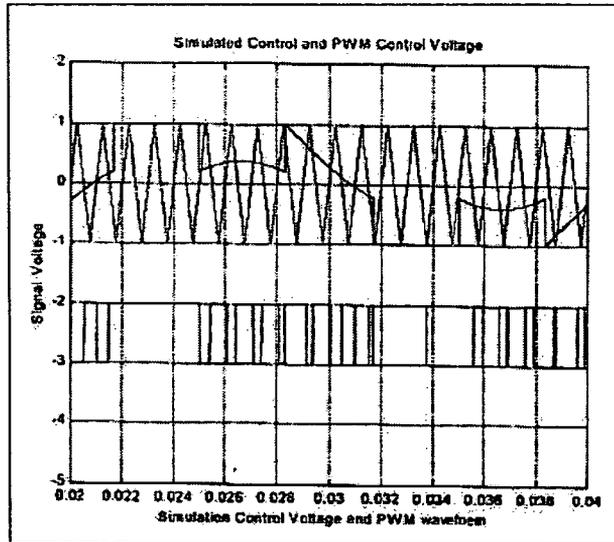
รูปที่ 2.14 รูปคลื่นพีดับเบิลยูเอ็มแบบเทคนิคการกำจัดฮาร์โมนิกส์

### 2.4.3.3 เทคนิคแบบดิสคอนทิวอิวส์พีดับเบิลยูเอ็ม (Discontinuous PWM)

เทคนิคการสวิตช์นี้จะมีช่วงหนึ่งของสัญญาณที่มีระดับสัญญาณเป็นศูนย์ หรือเท่ากับระดับของสัญญาณแคเรียร์ที่นำมาเปรียบเทียบ ทำให้มีช่วงหนึ่งใน 1 รอบของคาบเวลาความถี่มูลฐาน ไม่มีการสวิตช์ โดยเทคนิคการสวิตช์แบบนี้จะมีรูปแบบอยู่ สองแบบคือ เทคนิคดิสคอนทิวอิวส์พีดับเบิลยูเอ็ม 120 องศาและเทคนิคแบบเจนเนอโรเซชันดิสคอนทิวอิวส์พีดับเบิลยูเอ็ม ดังแสดงในรูปที่ 2.15 และรูปที่ 2.16 ตามลำดับ



รูปที่ 2.15 การสวิตช์แบบดิสคอนทิวอิวส์พีดับเบิลยูเอ็ม 120 องศาที่ค่ามอดูเลชันอินเด็กซ์เท่ากับ 0.8 ความถี่ของสัญญาณอ้างอิง = 50 HZ ความถี่สัญญาณแคเรียร์ = 1 kHz

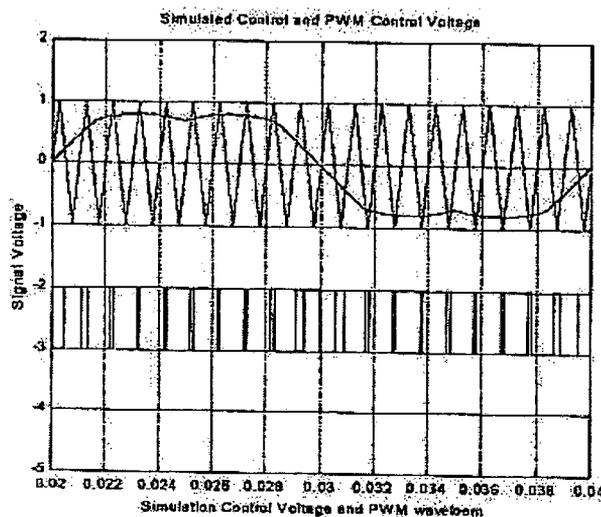


รูปที่ 2.16 การสวิตช์แบบเจนเนอโรเซชันดิสคอนทิวอัสพีดับเบิลยูเอ็ม30 องศาที่ค่ามอดูเลชันอินดีกซ์เท่ากับ 0.8 ความถี่ของสัญญาณอ้างอิง =50 Hz ความถี่สัญญาณแคเรียร์=1kHz

#### 2.4.3.4 เทคนิคพีดับเบิลยูเอ็มแบบสเปซเวกเตอร์ (Space Vector PWM, SVPWM)

เทคนิคนี้จะใช้หลักการสวิตช์ที่วิเคราะห์จากสถานะการทำงานของอินเวอร์เตอร์ที่มีการวิเคราะห์และการสร้างขึ้นโดยแรงดันควบคุมของเทคนิคนี้สามารถเขียนอยู่ในรูปของสมการคณิตศาสตร์ได้ดังสมการที่ 2.18

$$V_{control,a} = \sin(\omega t) + \frac{1}{\sqrt{3\pi}} \sum_{r=0}^{\alpha} \frac{(-1)^r}{\left[ (2r+1) - \frac{2}{s} \right] \left[ (2r+1) + \frac{2}{s} \right]} \sin[(2r+1)3\omega t] \quad (2.18)$$



รูปที่ 2.17 ลักษณะการสวิตช์แบบสเปซเวกเตอร์พีดับเบิลยูเอ็ม ที่ค่ามอดูเลชันอินดีกซ์เท่ากับ 0.8 ความถี่ของสัญญาณอ้างอิง =50 Hz และความถี่สัญญาณแคเรียร์=1kHz



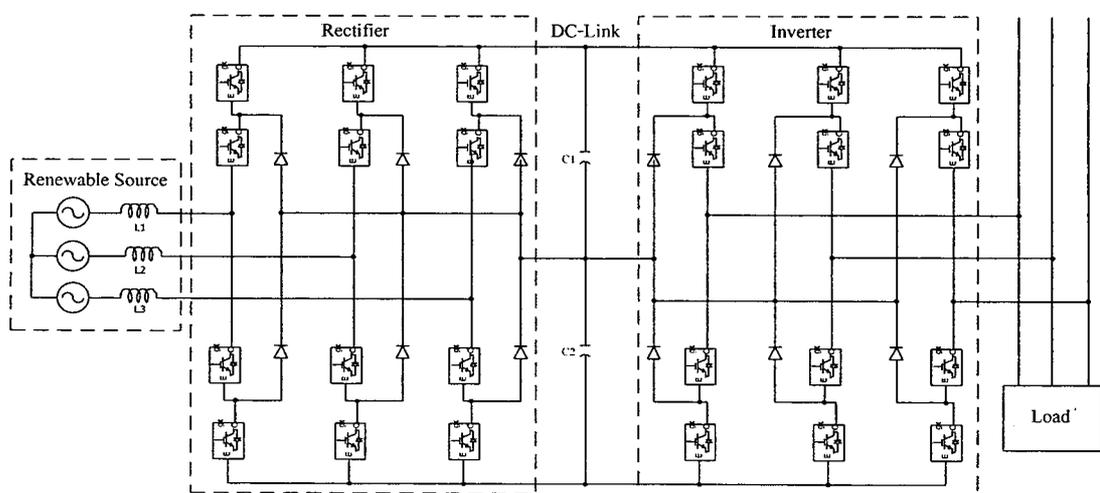
โดยเทคนิคนี้จะเหมาะสมสำหรับการสร้างสัญญาณพีดับบลิวเอ็มด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์เพราะมีความเหมาะสมของสมการที่ใช้คำนวณ และจะมีย่านเชิงเส้นของการมอดูเลตสูงกว่า SPWM ประมาณ 15% รูปคลื่นสมมูลของเทคนิคนี้สามารถสร้างด้วยวงจรทางอนาล็อกซึ่งทำได้โดยการผสมสัญญาณไซน์อ้างอิงกับสัญญาณสามเหลี่ยมที่มีความถี่เป็น 3 เท่าของสัญญาณไซน์อ้างอิงด้วยขนาด 25% ของสัญญาณอ้างอิง

#### 2.4.4 วงจรกรองความถี่ (Filter Circuit)

วงจรกรองความถี่สามารถแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ วงจรกรองความถี่แบบดิจิตอล (Digital Filter) และวงจรกรองความถี่แบบแอนาล็อก (Analog Filter) โดยวงจรกรองความถี่แบบแอนาล็อกนั้น ยังสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 แบบด้วยกันคือ วงจรกรองความถี่แบบพาสซีฟ (Passive Filter) ซึ่งเป็นวงจรกรองความถี่ที่สร้างจากอุปกรณ์จำพวกพาสซีฟเท่านั้น เช่น สร้างจากขดลวดตัวนำกับตัวต้านทานหรือสร้างจากตัวเก็บประจุกับตัวต้านทาน และวงจรกรองความถี่แบบแอคทีฟ (Active Filter) จะสร้างจากอุปกรณ์ประเภทแอคทีฟ เช่น ทรานซิสเตอร์ ออปแอมป์ มาต่อทำงานร่วมกับอุปกรณ์พาสซีฟ

#### 2.5 โครงสร้างและการทำงานของวงจรแปลงผันไฟฟ้ากระแสสลับเป็นไฟฟ้ากระแสสลับ

โครงสร้างวงจรแปลงผันไฟฟ้ากระแสสลับเป็นไฟฟ้ากระแสสลับนี้ประกอบด้วยแหล่งกำเนิดพลังงานทดแทน (Renewable source) และโหลด (Load) อย่างละ 1 ชุด และอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์กำลังซึ่งในที่นี้ใช้ไอจีบีทีจำนวน 24 ตัว โดยแบ่งออกเป็น 12 ชุดๆ ละ 12 ตัว ซึ่งแต่ละชุดจะแบ่งทำหน้าที่เป็นวงจรแปลงผันไฟฟ้ากระแสสลับเป็นไฟฟ้ากระแสตรง (Rectifier) และวงจรแปลงผันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับ (Inverter) นอกจากนี้ก็มีตัวเก็บประจุ  $C_1$  และ  $C_2$  ซึ่งอยู่บริเวณที่เรียกว่า DC-Link



รูปที่ 2.18 โครงสร้างวงจรแปลงผันไฟฟ้ากระแสสลับเป็นไฟฟ้ากระแสสลับแบบสามระดับ



การทำงานของวงจรแปลงผันไฟฟ้ากระแสสลับเป็นไฟฟ้ากระแสสลับนี้ เริ่มจากรับแหล่งกำเนิดพลังงานทดแทน เช่น พลังงานจากกังหันลม เป็นต้น ส่งเข้าวงจรแปลงผันไฟฟ้ากระแสสลับเป็นไฟฟ้ากระแสตรง ซึ่งทำหน้าที่ปรับรูปคลื่นแรงดันกระแสและความถี่ที่ออกจากแหล่งกำเนิดพลังงานทดแทนให้เป็นไฟฟ้ากระแสตรง เพื่อนำแรงดันและกระแสไปป้อนให้กับอินเวอร์เตอร์ต่อไป โดยมีตัวเก็บประจุบริเวณ DC-Link เพื่อรักษาระดับแรงดันให้คงที่ หลังจากนั้นพลังงานที่ได้จากแหล่งกำเนิดพลังงานทดแทนได้ปรับเปลี่ยนเป็นไฟฟ้ากระแสตรงแล้วนั้น จะถูกส่งไปยังวงจรแปลงผันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับ เพื่อปรับเปลี่ยนรูปคลื่นและความถี่ให้ใกล้เคียงกับระบบไฟฟ้ากำลังก่อนเชื่อมต่อเข้ากับระบบกริดของระบบไฟฟ้า ด้วยเหตุนี้วงจรแปลงไฟฟ้ากระแสสลับเป็นไฟฟ้ากระแสสลับสามารถปรับเปลี่ยนแรงดัน กระแส และความถี่ให้เหมาะสมกับระบบไฟฟ้าได้และอีกประการหนึ่ง ข้อดีของวงจรแปลงผันไฟฟ้ากระแสสลับเป็นไฟฟ้ากระแสสลับแบบสามระดับนี้ คือเมื่อมีระดับแรงดันที่เพิ่มขึ้นทำให้กระแสเอาต์พุตมีความผิดเพี้ยนของสัญญาณน้อยลง และช่วยลดค่ากระแสพุ่งเข้า (Inrush current) ที่มีผลต่ออุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์กำลัง เช่น MOSFET, IGBT เป็นต้น น้อยลง เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับแบบสองระดับที่มีการใช้แรงดันที่ DC-Link เท่ากัน

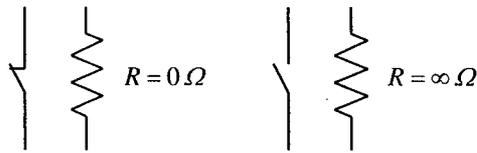
### 2.5.1 อุปกรณ์สวิตซ์อิเล็กทรอนิกส์กำลัง

อุปกรณ์สวิตซ์อิเล็กทรอนิกส์กำลังเป็นอุปกรณ์หลักที่ใช้ในวงจรอิเล็กทรอนิกส์กำลังทั่วไป ซึ่งอุปกรณ์ดังกล่าวจะทำงานใน 2 สถานะคือ สถานะนำกระแส และสถานะหยุดนำกระแส ทั้งนี้ในเชิงทฤษฎี อุปกรณ์สวิตซ์อิเล็กทรอนิกส์จะถูกสมมติให้เป็นสวิตซ์อุดมคติ เพื่อให้ง่ายต่อการวิเคราะห์ห้วงจร อย่างไรก็ตามความเข้าใจคุณลักษณะแรงดัน-กระแสของอุปกรณ์สวิตซ์อิเล็กทรอนิกส์กำลังแต่ละชนิดมีความจำเป็นอย่างยิ่งในการนำไปประยุกต์ใช้งาน

อุปกรณ์สวิตซ์อิเล็กทรอนิกส์กำลังควรมีคุณลักษณะทางอุดมคติดังนี้

1. สามารถทนแรงดันพังทลาย (Breakdown Voltage) ได้สูง ซึ่งขึ้นอยู่กับพิกัดแรงดันใช้งาน
2. มีแรงดันตกคร่อมขณะนำกระแสต่ำทำให้มีกำลังไฟฟ้าสูญเสียต่ำ
3. มีความเร็วสูงในการเปลี่ยนสถานะการทำงาน
4. ทนต่ออุณหภูมิสูงขณะใช้งาน
5. ควบคุมได้ง่าย

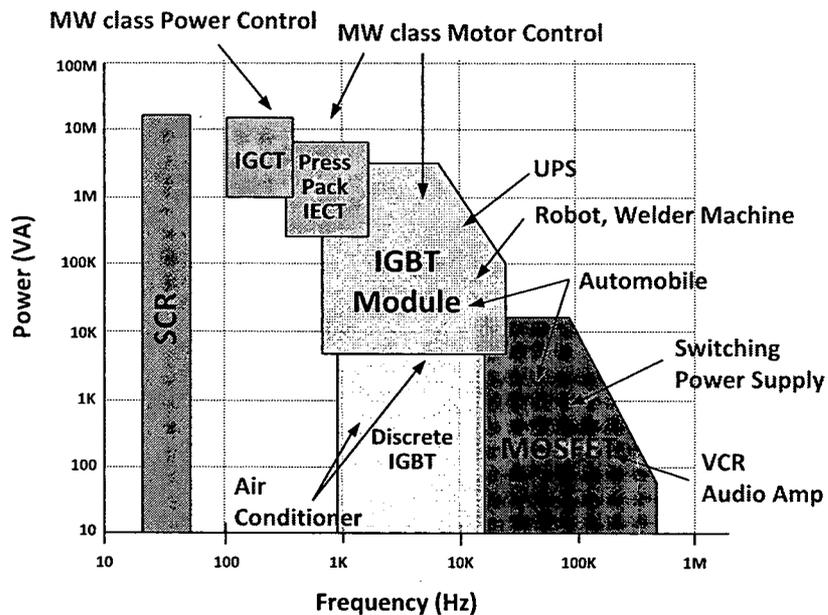
โดยทั่วไปอุปกรณ์สวิตซ์อิเล็กทรอนิกส์กำลังจะทำงานเป็นสวิตซ์ในวงจร ซึ่งขณะนำกระแส ค่าความต้านทานของอุปกรณ์จะต่ำมาก (ใกล้เคียงศูนย์) และขณะหยุดนำกระแส ค่าความต้านทานของอุปกรณ์จะสูงมาก (ใกล้เคียงค่าอนันต์) ดังวงจรสมมูลในรูปที่ 2.19



รูปที่ 2.19 วงจรสมมูลในอุปกรณ์สวิตซ์อิเล็กทรอนิกส์กำลังในอุดมคติ

ขณะอุปกรณ์สวิตซ์อิเล็กทรอนิกส์กำลังเปลี่ยนสถานะทำงาน จะเกิดกำลังไฟฟ้าสูญเสียขึ้น ซึ่งเกี่ยวข้องกับค่าประสิทธิภาพของวงจรโดยรวม ทั้งนี้ช่วงเวลาในการทำงานของสวิตซ์ และกำลังไฟฟ้าสูญเสียจากการทำงานทั้ง 2 สถานะ

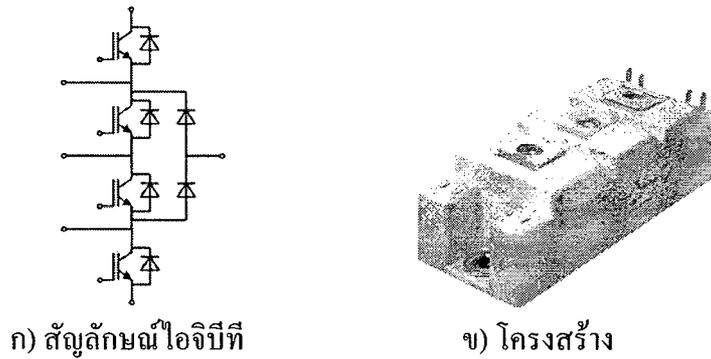
การพัฒนาอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ในปัจจุบันสามารถพัฒนาไปที่พิกัดสูงขึ้นมา ดังแสดงในรูปที่ 2.20 สำหรับงานวิทยานิพนธ์นี้จะพิจารณาเลือกใช้ IGBT เป็นอุปกรณ์สวิตซ์อิเล็กทรอนิกส์



รูปที่ 2.20 พิกัดกำลังไฟฟ้าของอุปกรณ์สวิตซ์อิเล็กทรอนิกส์กำลังและการประยุกต์ใช้งาน

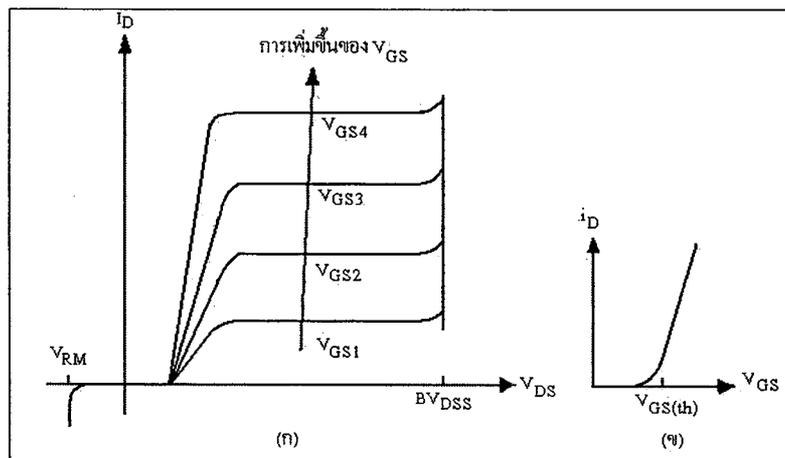
### 2.5.2 ไอจีบีที (Insulate Gate Bipolar Transistor)

ไอจีบีทีเป็นอุปกรณ์สวิตซ์ซึ่งมีข้อดีในด้านความเร็วในการสวิตซ์ที่สูงเกือบเท่ามอสเฟต และมีแรงดันตกคร่อมขณะนำกระแสที่ต่ำเหมือนกับทรานซิสเตอร์ ทำให้สามารถขับไอจีบีทีที่ความถี่สูงและเกิดความร้อนน้อยในการใช้งานเนื่องมาจากกำลังการสูญเสียที่ตกคร่อมบนตัวไอจีบีทีมีค่าต่ำ ในวิทยานิพนธ์นี้จะเลือกใช้ไอจีบีทีแบบโมดูลดังรูปที่ 2.21 ซึ่งทำให้สะดวกต่อการติดตั้งและนำไปใช้ในวงจรแปลงผันผันไฟฟ้ากระแสสลับเป็นไฟฟ้ากระแสสลับนั่นเอง



รูปที่ 2.21 สัญลักษณ์ของไอจีบีทีและ โครงสร้าง ไอจีบีที

โครงสร้างของไอจีบีทีส่วนมากจะมีลักษณะเหมือนมอสเฟตจะแตกต่างตรงที่ไอจีบีทีจะมีชั้น P+ หรือชั้นอิงเจกต์ติ้ง (injecting) ต่อยู่ระหว่างขาเดรน ซึ่งใน MOSFET จะไม่มี จากการที่ขาเกตถูกกั้นด้วยชั้นของซิลิคอนออกไซด์ ( $\text{SiO}_2$ ) เป็นผลทำให้ความต้านทานอินพุตที่ขาเกตมีค่าสูงมากเหมือนกับเพาเวอร์มอสเฟต โดยทั่วไปจะมีค่าอยู่ช่วง 10 จิกะโอห์ม จากผลดังกล่าวทำให้ลักษณะของกราฟแสดงคุณสมบัติของกระแสและแรงดันของไอจีบีทีที่มีลักษณะคล้ายกับกราฟของทรานซิสเตอร์ แต่การควบคุมกระแสเดรนจะอาศัยการควบคุมแรงดันระหว่างขาเกตและขาซอร์สมากกว่าการควบคุมกระแสที่ขาเกตเหมือนทรานซิสเตอร์ ซึ่งกราฟแสดงคุณสมบัติของกระแสและแรงดันของ IGBT แสดงดังรูปที่ 2.22 ซึ่งเป็นกราฟคุณสมบัติการถ่ายโอนกระแสและแรงดัน



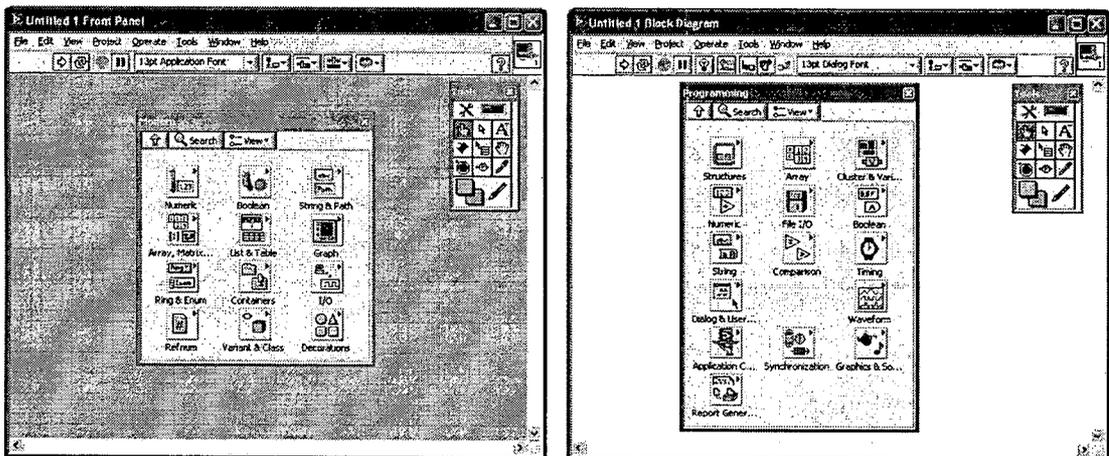
รูปที่ 2.22 (ก) คุณสมบัติระหว่างกระแสและแรงดันของ IGBT  
(ข) ลักษณะสมบัติการถ่ายโอนของ IGBT



## 2.6 อุปกรณ์อื่นๆ

### 2.6.1 โปรแกรม LabVIEW

LabVIEW เป็นโปรแกรมที่ใช้เพื่อสร้างโปรแกรมสำหรับการเก็บข้อมูล การเชื่อมต่อกับอุปกรณ์หรือเครื่องมือวัดและการควบคุมระบบต่างๆ LabVIEW จะใช้ภาษากราฟฟิกในการสร้างโปรแกรม ซึ่งแตกต่างจากโปรแกรมอื่นที่ใช้ตัวอักษรเพื่อสร้างโปรแกรม เช่น C/C++, Visual C++, Visual Basic เป็นต้น โปรแกรม มีฟังก์ชันและเครื่องมือดังรูปที่ 2.23 เพื่อช่วยให้ผู้ใช้สามารถนำมาสร้างโปรแกรมสำหรับงานประยุกต์ต่างๆ โปรแกรม LabVIEW โดยปกติจะเรียกว่า Virtual Instrument (VI) ซึ่งประกอบด้วย 2 ส่วนคือ Front Panel และ Block Diagram ดังรูปที่ 2.23 โดยแต่ละส่วนจะใช้สำหรับวัตถุประสงค์ที่ต่างกัน



รูปที่ 2.23 Front Panel และ Block Diagram [8]

#### 2.6.1.1 Front Panel

เป็นส่วนที่ใช้สำหรับเชื่อมต่อกับผู้ใช้งาน สำหรับใส่ค่าและแสดงผลของตัวโปรแกรมที่สร้างขึ้นมา โดยส่วนของการใส่ค่าจะเรียกว่า “Control” ส่วนการแสดงผลจะเรียกว่า “Indicator” ที่ถูกนำมาใช้ใน Front Panel ซึ่งจะมีจุดต่อเชื่อมอยู่ที่ Block Diagram เมื่อโปรแกรมเริ่มทำงานตัว Control ที่ Front Panel จะทำการส่งข้อมูลผ่านไปยัง Block Diagram และตัวแสดงผลจะส่งค่าจาก Block Diagram กลับมาแสดงผลที่ Front Panel ผ่านตัว Indicator ที่กำหนดไว้

#### 2.6.1.2 Block Diagram

เป็นส่วนที่เก็บ Source code ของโปรแกรม LabVIEW ซึ่งตัวโปรแกรม LabVIEW จะเรียกว่า “VI” ตัว Code ในโปรแกรม LabVIEW เป็นกราฟฟิกที่เรียกกันว่า Graphical Programming หลักการของโปรแกรมจะเชื่อมต่อตัวจุดเชื่อมต่างๆ เข้าด้วยกันแทนที่จะเขียนโดยใช้คำสั่งต่างๆ ดังที่ใช้ทั่วไปในโปรแกรมอื่นๆ เช่น C/C++, Visual C++ ซึ่งอาจจะกล่าวได้ว่า LabVIEW ใช้หลักการเดียวกับการเขียน Flow chart

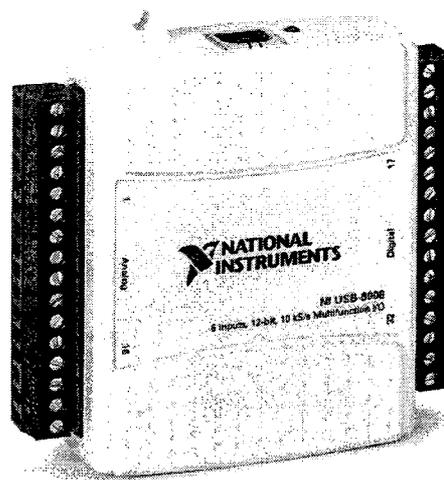
### 2.6.1.3 ฟังก์ชันอื่นๆ

โปรแกรม LabVIEW มีฟังก์ชันต่างๆ ที่ใช้ช่วยในการพัฒนาโปรแกรมที่มีความซับซ้อน เช่น Operation (+, -, \*, /, ^) ค่าคงที่ ( $\pi$ , e, ln2, lne, log10) ฟังก์ชันตรีโกณมิติ (sin, cos, tan) Loop & Case Structure (While Loop, For Loop, Case) และฟังก์ชัน File Input/Output (File I/O) เป็นต้น

### 2.6.2 อุปกรณ์เชื่อมต่อคอมพิวเตอร์ Data Acquisition

Data Acquisition หรือ DAQ คือกระบวนการอ่านค่าสัญญาณทางไฟฟ้าแบบอัตโนมัติ แล้วนำมาเก็บไว้บนคอมพิวเตอร์เพื่อการวัด วิเคราะห์ จัดเก็บหรือแสดงผลด้วยซอฟต์แวร์ โดย DAQ แบบพื้นฐานจะสามารถทำหน้าที่ได้หลายหน้าที่พร้อมกัน โดยมีหน้าที่หลักคือ

Analog Input สำหรับรับสัญญาณอนาล็อก ใช้วัดค่าสัญญาณแรงดันจากเซนเซอร์ต่างๆ  
 Analog Output สำหรับสร้างสัญญาณอนาล็อกทั้งแบบ DC และ AC ที่เป็น Waveform  
 Digital I/O ใช้ในการรับหรือสร้างสัญญาณดิจิทัล เพื่อทำงานร่วมกับอุปกรณ์ภายนอก  
 Counter I/O ทำหน้าที่วัดสัญญาณจาก Encoder หรือสร้างสัญญาณ Pulse



รูปที่ 2.24 Data Acquisition รุ่น NI USB-6008 [9]

### 2.6.3 ตัวประมวลผลสัญญาณดิจิทัล [10]

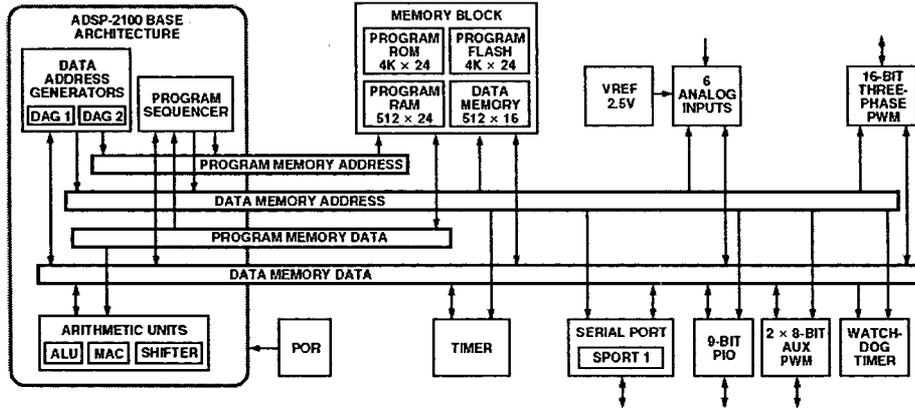
การพัฒนาด้านการประมวลผลทางคณิตศาสตร์ที่มีความเร็วสูง ทำให้มีการคิดค้นประดิษฐ์ตัวประมวลผลที่ใช้สำหรับการคำนวณทางคณิตศาสตร์ที่เรียกว่าตัวประมวลผลสัญญาณดิจิทัล หรือที่เรียกว่า ดีเอสพี (DSP) โดยตัวประมวลผลดังกล่าวจะเน้นที่ความเร็วของคำสั่งทางคณิตศาสตร์ ในปัจจุบันที่บริษัทผู้ผลิตชิปดีเอสพีอยู่หลายบริษัทและชิปของแต่ละบริษัทยังแบ่งตามลักษณะการใช้งานที่แตกต่างการไป



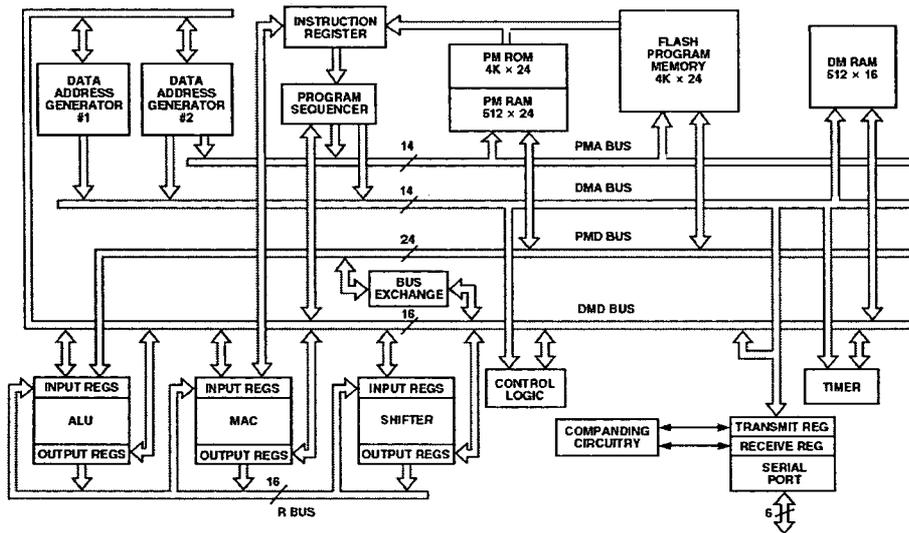
ตัวประมวลผลสัญญาณดิจิทัลเบอร์ ADMCF326BST ของบริษัท Analog Device มีโครงสร้างของตัวประมวลผลสัญญาณดิจิทัลเป็นแบบจุดทศนิยมคงที่ขนาด 16 บิต (16 bit fixed-point digital signal processing) โดยมีคุณสมบัติดังนี้

- เป็นตัวประมวลผลสัญญาณดิจิทัลขนาด 16 บิต ใช้แรงดันไฟเลี้ยง 5 โวลต์
- ความเร็วในการประมวลผล 20 MIPS (ล้านคำสั่งในหนึ่งวินาที) ต่อ 1 แมกซีนไซเคิล
- ฮาร์ดแวร์การคูณแบบขนานขนาด 16 บิต มีผลลัพธ์เป็น 32 บิต
- มี Accumulator ขนาด 32 บิต และ Arithmetic logic unit ขนาด 32 บิต
- มีพอร์ตอินพุต/เอาต์พุตขนาด 24 บิต
- หน่วยความจำโปรแกรมแบบแรม ขนาด 512 x 24 บิต แบบรวม ขนาด 4k x 24 บิต
- หน่วยความจำข้อมูลแบบแรม ขนาด 512 x 16 บิต
- หน่วยความจำโปรแกรมแบบแฟลช ขนาด 4k x 24 บิต
- ตัวสร้างสัญญาณพัลส์บวกลวเอม (Pulse width modulation, PWM) ขนาด 16 บิต
- ตัวแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิทัลขนาด 12 บิต จำนวน 7 ช่อง รับค่าอนาล็อกได้ 4 ช่องในเวลาเดียวกัน
- มีตัวโปรแกรมการประวิงเวลา (Dead time) และตัวยกเลิกพัลส์ที่แคบ (Narrow Pulse Deletion)
- มีขาทรี่ปของพีดีดับลิวเอมจากภายนอก (External PWM Trip)
- มีย่านอุณหภูมิการใช้งานตั้งแต่ -40 ถึง 85 องศาเซลเซียส
- มีปริโปรแกรมฟังก์ชันทางคณิตศาสตร์
- ติดต่อกับดีบั๊กเจอร์ (Debugger) ผ่านทางพอร์ตอนุกรมด้วยบอด (Baud) แบบอัตโนมัติ

ตัวประมวลผลสัญญาณดิจิทัลเบอร์ ADMCF326BST จะประกอบไปด้วยระบบประมวลผลอิสระ 3 ชุดคือ ส่วนประมวลผลทางคณิตศาสตร์ (Arithmetic and Logic Unit : ALU) ฮาร์ดแวร์การคูณ และฮาร์ดแวร์การบวก (Multiplier/Accumulator : MAC) และฮาร์ดแวร์การชิฟท์ (Shift) โดยกระบวนการประมวลผลจะเป็นแบบ 16 บิต โดยมีหน่วยความจำทั้งแบบรวม แบบแรม และแบบแฟลชติดต่อกับดีบั๊กเจอร์ (Debugger) ผ่านพอร์ตอนุกรม

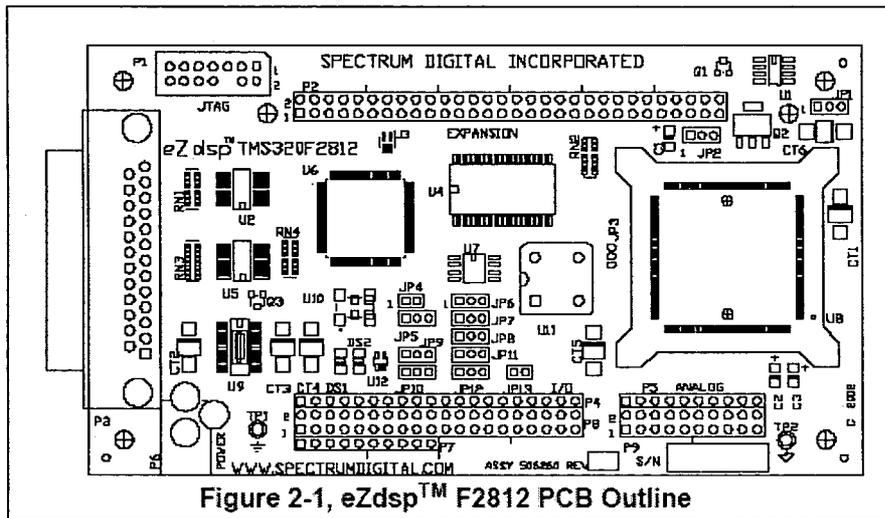


รูปที่ 2.25 โครงสร้างของตัวประมวลผลสัญญาณดิจิทัลเบอร์ ADMCF326BST



รูปที่ 2.26 สถาปัตยกรรมของตัวประมวลผลหลักของ ADMCF326BST

2.6.4 ตัวประมวลผลเชิงดิจิทัลเบอร์ TMS320F2812

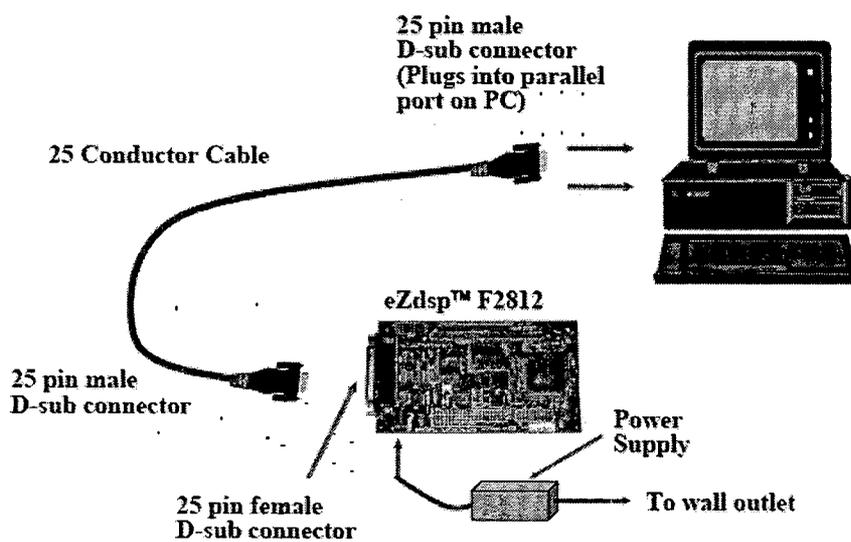


รูปที่ 2.27 บอร์ด eZdsp TMS 320F2812



ตัวประมวลผลสัญญาณดิจิทัลเบอร์ TMS320F2812 เป็นผลิตภัณฑ์ของบริษัทเทกซัส อินสตรูเมนต์ (Texas Instruments) ซึ่งเหมาะสำหรับใช้ในงานควบคุมมอเตอร์โดยเฉพาะเนื่องจาก โครงสร้างภายในมีความยืดหยุ่นเหมาะสำหรับประยุกต์ ใช้ในงานควบคุมมอเตอร์หลายชนิดเช่น มอเตอร์เหนี่ยวนำ, มอเตอร์กระแสตรงแบบไร้แปรงถ่าน, ซิงโครนัสมอเตอร์แบบแม่เหล็กถาวรและ รีแอกแตนซ์มอเตอร์ เป็นต้น

อุปกรณ์ที่ใช้เชื่อมต่อระหว่างคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล กับตัวประมวลผลสัญญาณดิจิทัลต่อ ผ่านทางช่องสัญญาณเครื่องพิมพ์ (Printer Port)



รูปที่ 2.28 การเชื่อมต่อระหว่างคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลกับตัวประมวลผลสัญญาณดิจิทัล

#### 2.6.4.1 คุณสมบัติของ eZdsp TMS32F2812

- 150 MIPS operating speed
- 18K words on-chip RAM
- 128K words on-chip Flash memory
- 18K words on-chip RAM
- 128K words on-chip Flash memory
- 64K words off-chip SRAM memory
- 30 MHz. clock
- 2 Expansion Connectors (analog, I/O)
- Onboard IEEE 1149.1 JTAG Controller
- 5-volt only operation with supplied AC adapter
- TI F28xx Code Composer Studio tools driver
- On board IEEE 1149.1 JTAG emulation connector



จากข้อมูลที่กล่าวมาในตอนต้นจะเห็นว่าบอร์ด eZdsp TMS 320F2812 มีคุณสมบัติเหมาะสมที่จะใช้ในการออกแบบโปรแกรมควบคุมอินเวอร์เตอร์สามระดับ เนื่องจากสามารถสร้างสัญญาณพัลส์ได้ 12 พัลส์โดยใช้ Event Manager EVA และ EVB จากคุณสมบัติข้างต้นสามารถสรุปเหตุผลในการเลือกใช้ตัวประมวลผลเชิงดิจิทัล (DSP) ในงานควบคุมได้ดังนี้

1. การใช้ DSP สามารถใช้การ โปรแกรมการคำนวณทางคณิตศาสตร์ที่ซับซ้อนได้ และสามารถคำนวณแบบเวลาจริง (real-time) ได้ และปัจจุบันความเร็วในการประมวลผลสัญญาณอยู่ในระดับ 40 ถึง 150 ล้านคำสั่งต่อวินาที ซึ่งเป็นผลดีต่อการตอบสนองต่ออินพุตทำให้การควบคุมถูกต้องและแม่นยำ

2. ประสิทธิภาพของ DSP ในปัจจุบันสามารถที่จะรวมเอาวงจรต่างๆเข้าไปไว้ในชิพเดียวกัน เช่น วงจรขับ PWM, วงจรสื่อสารแบบอนุกรม, วงจรถอดรหัส เป็นต้น

3. ในการกำหนดคุณสมบัติการทำงานจะใช้โปรแกรม ทำให้ DSP มีความยืดหยุ่นในการแก้ไขหรือเพิ่มเติมอัลกอริทึม ดังนั้นการใช้ DSP จะช่วยลดเวลาในการพัฒนาระบบได้

4. การใช้ DSP จะมีความถูกต้องแม่นยำสูง ซึ่งความแม่นยำในการประมวลผลนั้นจะขึ้นอยู่กับจำนวนบิตที่ใช้แทนสัญญาณและพารามิเตอร์ต่างๆ