บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

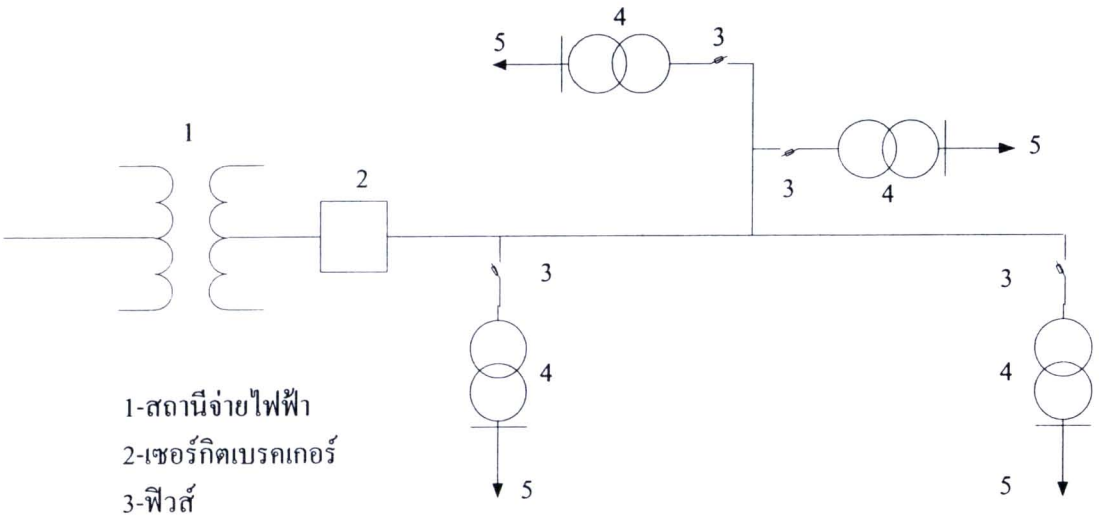
2.1บทนำ

เนื้อหาในบทนี้จะกล่าวถึงทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยอันได้แก่ ระบบจำหน่ายไฟฟ้า ปัญหาทางด้านคุณภาพกำลังไฟฟ้า การผลิตไฟฟ้าแบบกระจายเช่น พลังงานหมุนเวียนที่นำมาใช้ในการผลิต รวมทั้งการชดเชยกำลังไฟฟ้าเข้าไปในระบบ การผลิตกระแสไฟฟ้าแบบไมโครกริด โครงสร้างของไมโครกริด หลักการทำงานโครงสร้างของดี-สแตตคอมและการจำลองระบบการแก้ปัญหาด้วยโปรแกรม PSCAD/EMTDC ทั้งนี้เพื่อให้เกิดความเข้าใจพื้นฐานเกี่ยวกับทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยนี้

2.2 ระบบการจำหน่ายไฟฟ้า

ระบบจำหน่ายไฟฟ้าเป็นระบบที่รับกำลังไฟฟ้าที่ส่งมาจากระบบผลิตไฟฟ้าผ่านระบบการส่งไฟฟ้าเพื่อจำหน่ายกำลังไฟฟ้าให้แก่ผู้ใช้ที่กระจายอยู่ตามพื้นที่ต่างๆในประเทศไทย ซึ่งรูปแบบและลักษณะการจำหน่ายกำลังไฟฟ้าสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ประเภทหลักๆ คือ ระบบจำหน่ายไฟฟ้าแบบเรเดียล ระบบจำหน่ายไฟฟ้าแบบวงแหวน และระบบจำหน่ายไฟฟ้าแบบเครือข่าย ในงานวิจัยนี้จะใช้รูปแบบการจำหน่ายแบบเรเดียลในการจำลองระบบ เนื่องจากเป็นระบบที่มีการติดตั้งใช้งานมากที่สุด ใช้เงินลงทุนที่ต่ำและเป็นระบบจำหน่ายที่ง่ายต่อการวิเคราะห์กว่าระบบแบบอื่นๆโดยทั่วไปแรงดันของระบบจำหน่ายไฟฟ้าในประเทศไทยมีตั้งแต่ 11 กิโลโวลต์12 กิโลโวลต์ 22 กิโลโวลต์ 24 กิโลโวลต์ และ 33 กิโลโวลต์ ซึ่งเมื่อจำหน่ายกำลังไฟฟ้าไปยังผู้ใช้ตามพื้นที่ต่างๆจะลดระดับแรงดันไฟฟ้าลงมาในระดับใช้งานที่ 380/220 โวลต์ดังรูปที่ 2.1 ปัจจุบันระบบการจำหน่ายไฟฟ้ามักจะเกิดปัญหาต่างๆที่ก่อให้เกิดผลกระทบต่ออุปกรณ์รวมทั้งผู้ใช้ไฟฟ้า อาทิ การเกิดแรงดันไฟฟ้าตกในสายส่ง ตัวประกอบกำลังไฟฟ้าต่ำเนื่องจากโหลดมีการใช้กำลังไฟฟ้ารีแอคทีฟที่สูง[1] ส่วนอีกสาเหตุหนึ่งของการเกิดแรงดันตกที่สามารถพบเจอได้มากที่สุดนั่นก็คือกราวนด์ฟอลต์ (Ground Fault) ผลกระทบจากแรงดันไฟฟ้าตกจะส่งผลโดยตรงต่อส่วนงานหรือเครื่องมือ-อุปกรณ์ที่มีความไวสูงในการทำงาน การเกิดการผิดเพี้ยนของรูปคลื่นไซน์อันเนื่องมาจากโหลดในระบบเป็นพวกอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำหรือไม่

เป็นเชิงเส้นส่งผลรบกวนการทำงานของโหลดอื่นๆที่ต่อร่วมกันในระบบเกิดการทำงานที่ผิดพลาด เกิดการสูญเสียในระบบ หม้อแปลงเกิดความร้อน การจัดโหลดในแต่ละเฟสที่ไม่เหมาะสมทำให้เกิดการไหลของกระแสที่ไม่เท่ากัน จากที่กล่าวมาข้างต้นล้วนแต่เป็นปัญหาที่เกิดขึ้นในระบบจำหน่ายไฟฟ้า ดังนั้นจึงต้องทำการปรับปรุงคุณภาพกำลังไฟฟ้า



รูปที่ 2.1 ตัวอย่างไดอะแกรมเส้นเดี่ยวของระบบจำหน่ายไฟฟ้าในประเทศไทย

2.3 ปัญหาด้านคุณภาพกำลังไฟฟ้า [2], [3]

นิยามของคุณภาพกำลังไฟฟ้าตามมาตรฐานสากลให้ความหมาย คือ คุณลักษณะ กระแส แรงดัน และความถี่ของแหล่งจ่ายไฟฟ้าในสภาวะปกติ ไม่ทำให้อุปกรณ์ไฟฟ้ามีการทำงานผิดพลาดหรือเกิดการเสียหาย [2] ปัจจุบันกระบวนการผลิตในภาคอุตสาหกรรมมีการใช้อุปกรณ์ไฟฟ้าที่มีเทคโนโลยีชั้นสูง ซึ่งมีความไวในการตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของกำลังไฟฟ้ามากกว่าในอดีตโดยเฉพาะอุปกรณ์ประเภทอิเล็กทรอนิกส์กำลังการใช้อุปกรณ์ Adjustable Speed Drive (ASD) เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการผลิตซึ่ง ASD เป็นแหล่งจ่ายฮาร์มอนิกส์ก็จะทำให้เกิดปัญหาฮาร์มอนิกส์ผลกระทบต่อระบบไฟฟ้านั้นได้และถ้ามีคาปาซิเตอร์ติดตั้งอยู่ในระบบเพื่อปรับปรุงกำลังไฟฟ้าก็ยิ่งทำให้เกิดปัญหาฮาร์มอนิกส์รุนแรงมากยิ่งขึ้น หรือแม้แต่การเกิดฟอลต์ในระบบจำหน่าย กรณีใช้โหลด

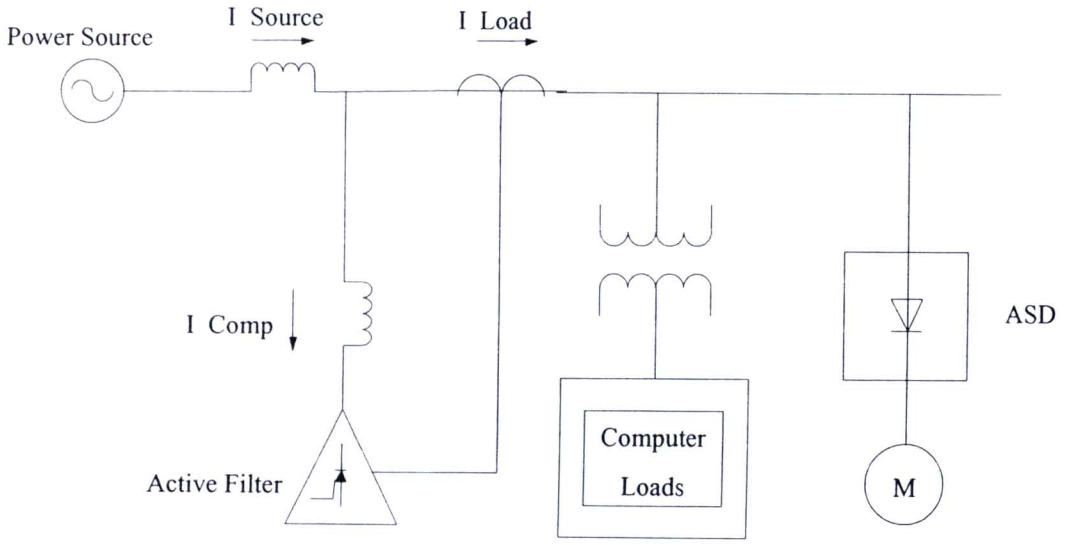
ไม่เท่ากันในระบบเฟส ทำให้รูปคลื่นแรงดันและกระแสไฟฟ้าผิดเพี้ยน ปัญหาคุณภาพกำลังไฟฟ้าสามารถแบ่งได้ดังตารางที่ 2.1 ซึ่งสิ่งเหล่าต่างๆเหล่านี้เป็นปัจจัยที่ทำให้คุณภาพกำลังไฟฟ้าในระบบจำหน่ายมีคุณภาพที่ต่ำและขาดเสถียรภาพในระบบ เป็นเหตุผลที่ทำให้การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทยต้องดำเนินการแก้ไขและปรับปรุงคุณภาพกำลังไฟฟ้าให้ดีขึ้น

2.3.1 ตัวประกอบกำลังของโหลดต่ำ (Low Power Factor) ค่าแรงดันเฉลี่ยกำลังสอง (Root Mean Square: RMS) มีขนาดลดลงระหว่าง 0.8-0.9 pu. ในช่วงเวลาที่นานกว่า 1นาทีมีสาเหตุเกิดขึ้นจากผลของการสวิตชิ่งโหลดขนาดใหญ่เข้าระบบ หรือมีการปลดคาปาซิเตอร์ออกจากระบบผลทำให้อุปกรณ์ได้รับความเสียหายเนื่องจากเกิดการรับภาระเกิน นิยามของแรงดันไฟฟ้าตกที่ให้ไว้โดย IEEE Std. 1100-1992 คือการลดลงของแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับที่ความถี่กำลังไฟฟ้า 50 เฮิรตซ์ เป็นช่วงเวลามากกว่า 2-3 วินาทีแรงดันไฟฟ้าตกสำหรับสาเหตุที่ทำให้เกิดปัญหาในเรื่องแรงดันไฟฟ้าตกสามารถจำแนกออกได้ 2 สาเหตุใหญ่คือ

1.ระยะห่างระหว่างแหล่งจ่ายไฟฟ้า (สถานีการไฟฟ้า) กับระบบงานมีมากเกินไปส่งผลให้เกิดแรงดันไฟฟ้าตกคร่อมอยู่ตามสายตัวนำ

2.เกิดจากโหลดที่ใช้กำลังไฟฟ้าสูงผลกระทบจากปัญหาในเรื่องแรงดันไฟฟ้าตกส่งผลให้เกิดความร้อนที่สูงเกินผิดปกติที่มอเตอร์ไฟฟ้าหรือสามารถส่งผลให้ระบบงานหยุดทำงานได้เป็นต้นการแก้ไขปัญหาแรงดันตกด้วยการนำดี-สแตตคอม[4],[5]มาใช้ในการลดผลกระทบดังกล่าวด้วยการออกแบบระบบควบคุมที่เหมาะสมจึงเป็นที่นิยมในปัจจุบันเนื่องจากดี-สแตตคอมให้เวลาในการตอบสนองที่เร็วและสัญญาณรบกวนน้อยกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับอุปกรณ์ชดเชยเดิมอย่างเอสวีซี [6],[7]

2.3.2 ฮาร์มอนิกส์(Harmonic) คือ ส่วนประกอบในรูปสัญญาณคลื่นไซน์ของสัญญาณหรือปริมาณเป็นคาบใดๆ ซึ่งมีความถี่เป็นจำนวนเต็มเท่าของความถี่หลักมูล (Fundamental Frequency) ในระบบไฟฟ้าสำหรับประเทศไทยมีค่า 50 เฮิรตซ์ เช่น ฮาร์มอนิกส์ลำดับที่ 3 มีค่าความถี่เป็น 150 เฮิรตซ์ ฮาร์มอนิกส์ลำดับที่ 5 มีค่าความถี่เป็น 250 เฮิรตซ์ ผลของฮาร์มอนิกส์เมื่อรวมกันกับสัญญาณความถี่หลักมูลด้วยทางขนาด(Amplitude) และมุมเฟส(Phase Angle) ทำให้สัญญาณที่เกิดขึ้นมีขนาดเปลี่ยนไปและมีรูปสัญญาณเพี้ยน (Distortion) ไปจากสัญญาณคลื่นไซน์ทำให้อุปกรณ์ในระบบไฟฟ้ามีการทำงานผิดพลาดและถ้ามีการขยายของฮาร์มอนิกส์ที่มี ขนาดมากพออาจจะทำให้อุปกรณ์เกิดการชำรุดขึ้นได้



รูปที่ 2.2 แอคทีฟฟิลตอร์

การแก้ไขปัญหาความผิดเพี้ยนของรูปคลื่นกระแสและแรงดันหรือปัญหาฮาร์มอนิกส์โดยทั่วไปทำได้โดยการติดตั้งอุปกรณ์ฮาร์มอนิกส์ฟิลเตอร์แบบพาสซีฟฟิลตอร์ (Passive Filter) แต่จากข้อจำกัดมากมายและง่ายต่อการเสียหายหากเกิดโอเวอร์โหลดปัจจุบันนิยมใช้แอคทีฟฟิลเตอร์(Active Filter) เพื่อแก้ปัญหาฮาร์มอนิกส์แทน[8]-[16]โดยแอคทีฟฟิลเตอร์นี้จะมีชุดวงจรที่ใช้อุปกรณ์ชนิดแอคทีฟ (เซมิคอนดักเตอร์สวิตช์) ร่วมกับอุปกรณ์ชนิดพาสซีฟอันได้แก่ตัวต้านทานตัวเหนี่ยวนำตัวเก็บประจุ อาศัยเทคโนโลยีทางด้านอิเลคทรอนิกส์กำลังโดยการใช้การตรวจจับกระแสเข้ามาควบคุมแบบลูปปิด ดังรูปที่2.2 การใช้อุปกรณ์ชนิดนี้ทำให้สามารถกรองความถี่ได้ทุกความถี่ที่ต้องการรูปคลื่นสัญญาณกระแสที่ได้จะมีความเป็นสัญญาณไซน์เกือบสมบูรณ์อีกทั้งค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าใกล้เคียงหนึ่ง แต่อย่างไรก็ตามอุปกรณ์ชนิดนี้มีข้อเสียคือยังมีต้นทุนในการติดตั้งที่สูงอยู่และอาจจะมีข้อจำกัดสำหรับกรณีที่โหลดสูงมากๆเนื่องจากข้อจำกัดในการทนกระแสไฟฟ้าของอุปกรณ์สวิตช์เซมิคอนดักเตอร์

2.3.3 โหลดไม่สมดุล

ในระบบไฟฟ้ากระแสสลับสามเฟสนั้นจำเป็นต้องมีการทำงานที่สมดุลของระบบทั้งกระแสและแรงดันไฟฟ้า การเกิดกระแสไม่สมดุลเป็นสาเหตุอันดับแรกของการเกิดแรงดันไฟฟ้าไม่สมดุลอันเนื่องมาจากการจัดโหลดในเฟสเดียวไม่ดีพอหรือแม้กระทั่งการเกิดความผิดพร่อง (Fault) ที่เกิดขึ้นกับ

ระบบ ผลเสียที่เกิดขึ้นกับระบบงานจากปัญหาความไม่สมดุลของแรงดันไฟฟ้าจะทำให้เกิดความร้อนที่สูงเกินผิดปกติที่โหลดชนิดสามเฟสตัวอย่างเช่นหม้อแปลงไฟฟ้ามอเตอร์ไฟฟ้ารีเลย์เร็กติไฟเออร์สามเฟสเกิดการสูญเสียในมอเตอร์ และเครื่องกำเนิดไฟฟ้า เกิดการแกว่งของแรงบิดในเครื่องจักรกลไฟฟ้ากระแสสลับ การเกิดความกระเพื่อมในส่วนของการเรียงไฟฟ้ากระแสสลับเป็นไฟฟ้ากระแสตรง(Rectifiers)ความอิ่มตัวของแกนเหล็กในหม้อแปลงไฟฟ้า ทำให้มีการไหลของกระแสไฟฟ้าในสายนิวทรัล การทำให้อุปกรณ์ไฟฟ้าอื่นๆทำหน้าที่ผิดปกติหรือผิดพลาดได้ ความไม่สมดุลของแรงดันไฟฟ้ายังมีอิทธิพลต่อประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องเร็กติไฟเออร์สามเฟสโดยเอาต์พุตจะมีค่าริเบิล (Ripple) ที่สูงขึ้น สาเหตุต่างๆเหล่านี้จะส่งผลกระทบเป็นลูกโซ่ต่อระบบไฟฟ้าในลำดับถัดไปซึ่งวิธีที่จะลดผลกระทบดังกล่าวเพื่อให้อุปกรณ์ที่ต่ออยู่ที่จุดร่วมนั้นทำงานได้ต่อไป โดยทั่วไปผู้ใช้อุปกรณ์ไฟฟ้าชนิดสามเฟสคาดหวังว่าแรงดันไฟฟ้าที่จ่ายมาจากการไฟฟ้าจะมีค่าแรงดันที่มีทั้งขนาดและมีมุมระหว่างเฟสของแรงดันที่เท่ากัน การแก้ปัญหาสามารถทำได้หลายวิธี เช่นการย้ายภาระไฟฟ้าที่เป็นแบบหนึ่งเฟสให้สมดุล การจัดวางสายไฟฟ้าให้สมดุล การติดตั้งรีเลย์แบบแรงดันไฟฟ้าไม่สมดุล โดยเป็นที่รู้กันดีว่าปรากฏการณ์ที่แรงดันไฟฟ้าทั้งสามเฟสมีค่าไม่เท่ากันนั้นจะมีค่าของลำดับเฟสลบเกิดขึ้นด้วยเสมอทำให้ค่าขนาดของแรงดันไฟฟ้าและมุมทางไฟฟ้ามีค่าไม่เท่ากัน วิธีการควบคุมการชดเชยกระแสลำดับเฟสลบเพื่อเข้าไปหักล้างทำให้ระบบเกิดการสมดุลทั้งขนาดและมุม โดยการแยกส่วนประกอบลำดับเฟสบวก ลำดับเฟสลบ สามารถที่จะทำได้โดยเทคนิคการทำให้ระบบเกิดความสมดุลด้วยวิธีการขจัดส่วนประกอบของลำดับลบให้หมดไปด้วยดี-สแตตคอมนั้นเป็นอีกวิธีหนึ่งที่นิยมนำมาใช้ในการแก้ปัญหาดังกล่าว[7],[17-23]

ตารางที่ 2.1 คุณลักษณะแต่ละประเภทของปัญหาทางด้านคุณภาพกำลังไฟฟ้า [2]

ประเภท	ช่วงการเกิด	ช่วงระยะเวลาการเกิด	ช่วงขนาดของแรงดัน
1.ภาวะชั่วครู่(Transients)			
1.1 อิมพัลส์ชั่วครู่(Impulsive)			
1.1.1 Nanosecond	5 ns	<50 ms	
1.1.2 Microsecond	1 μs	50 μs – 1 ms	
1.1.3 Millisecond	0.1 ms	> 1 ms	
1.2 ออสซิเลทชั่วครู่(Oscillatory)			
1.2.1 ความถี่ต่ำ(Low frequency)	< 5 kHz	0.3 – 50 ms	0 – 4 pu
1.2.2 ความถี่ปานกลาง(Medium frequency)	5 – 500 kHz	20 μs	0 – 8 pu
1.2.3 ความถี่สูง(High frequency)	0.5 – 5 MHz	5 μs	0 – 4 pu
2. การเปลี่ยนแปลงแรงดันช่วงสั้น (Short duration variations)			
2.1 ฉับพลัน(Instantaneous)			
2.1.1 แรงดันตก(Sag)		0.5 - 30 cycles	0.1 - 0.9 pu
2.1.2 แรงดันเกิน (Swell)		0.5 - 30 cycles	1.1 - 1.8 pu
2.2 ชั่วขณะ(Momentary)			
2.2.1 ไฟดับ(Interruption)		0.5 cycles - 3 s	< 0.1 pu
2.2.2 แรงดันตก(Sag)		30 cycles - 3 s	0.1 - 0.9 pu
2.2.3 แรงดันเกิน(Swell)		30 cycles - 3 s	1.1 - 1.4 pu
2.3 ชั่วคราว(Temporary)			
2.3.1 ไฟดับ(Interruption)		3 s - 1 min	< 0.1 pu
2.3.2 แรงดันตก(Sag)		3 s - 1 min	0.1 - 0.9 pu
2.3.3 แรงดันเกิน(Swell)		3 s - 1 min	1.1 - 1.2 pu
3.การเปลี่ยนแปลงแรงดันช่วงระยะยาว (Long duration variations)			
3.1 ไฟดับ(Interruption, sustained)		> 1 min	0.0 pu
3.2 แรงดันตก(Under voltages)		> 1 min	0.8 - 0.9 pu
3.3 แรงดันเกิน(Over voltages)		> 1 min	1.1 - 1.2 pu
4.แรงดันไม่สมดุล(Voltage Unbalance)		สถานะคงตัว	0.5 – 2 %
5.ความผิดเพี้ยนของรูปคลื่น (Waveform distortion)			
5.1 องค์ประกอบไฟตรง(DC offset)		สถานะคงตัว	0 – 0.1 %
5.2 ฮาร์มอนิกส์(Harmonics)	0 – 100 th H	สถานะคงตัว	0 – 20 %
5.3 อินเตอร์ฮาร์มอนิกส์(Interharmonics)		สถานะคงตัว	0 – 2 %
5.4 คลื่นรอยบาก(Notching)		สถานะคงตัว	
5.5 สัญญาณรบกวน(Noise)	ช่วงกว้าง	สถานะคงตัว	0 – 1%
6. แรงดันกระเพื่อม(Voltage fluctuations)	<25 Hz	ไม่สม่ำเสมอ	0.1 – 7 %
7. ความแปรเปลี่ยนความถี่กำลังไฟฟ้า (Power frequency variations)		<10s	

2.4 การผลิตแบบกระจาย [24]

หลายประเทศได้มีการพัฒนาระบบการจัดการพลังงานแบบใหม่ที่เรียกว่าระบบพลังงานแบบกระจายศูนย์ (Decentralized Energy System) มาเป็นเวลานานแล้วระบบพลังงานแบบกระจายศูนย์จะกระจายศูนย์การผลิตพลังงานจากโรงไฟฟ้าขนาดใหญ่ที่มักจะใช้เชื้อเพลิงซากดึกดำบรรพ์ไปเป็นหน่วยผลิตไฟฟ้าขนาดเล็กซึ่งมักจะใช้พลังงานหมุนเวียน เช่น เชื้อเพลิงชีวมวล พลังงานลมหรือพลังงานแสงอาทิตย์ และอยู่ใกล้กับผู้ใช้พลังงานเพื่อให้ผู้ใช้พลังงานได้มีส่วนร่วมในการจัดการระบบพลังงานให้มากที่สุดข้อดีที่สำคัญของระบบพลังงานแบบกระจายศูนย์มีด้วยกัน 4 ประการ คือ

ประการแรกการเปลี่ยนจากระบบพลังงานขนาดใหญ่ที่ใช้เชื้อเพลิงซากดึกดำบรรพ์มาเป็นพลังงานหมุนเวียนขนาดเล็ก ย่อมเป็นการลดผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมทั้งการลดมลพิษทางอากาศ การลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกอันจะเป็นผลดีต่อสุขภาพตามมา

ประการที่สองการนำเอาทรัพยากรและของเหลือใช้ต่างๆที่มีอยู่ในท้องถิ่น มาเปลี่ยนสภาพเป็นพลังงานทำให้เกิดการจ้างงานและการสร้างรายได้ให้กับชุมชนท้องถิ่นและยังเป็นการส่งเสริมการพึ่งตนเองของท้องถิ่น

ประการที่สามการมีแหล่งพลังงานที่กระจายอยู่ทั่วไปในพื้นที่ต่างๆ โดยใช้เชื้อเพลิงต่างชนิดกัน ตามที่หาได้ในแต่ละท้องถิ่นถือเป็นการกระจายความเสี่ยงเพราะมิได้ผูกติดอยู่กับเชื้อเพลิงชนิดใดชนิดหนึ่งมากเกินไปและช่วยแก้ปัญหาไฟตกไฟดับในระบบสายส่งเนื่องจากมีแหล่งผลิตพลังงานกระจายอยู่ทั่วไปหมดในระบบส่ง

ประการสุดท้ายการจัดการพลังงานในระบบกระจายศูนย์ยังถือเป็นการกระจายความรับผิดชอบและสร้างความเป็นธรรมในสังคม เนื่องจากในระบบพลังงานแบบกระจายศูนย์ผู้ใช้พลังงาน ผู้ผลิตพลังงานและผู้ที่อาจได้รับผลกระทบจากพลังงานจะเป็นคนที่อยู่ในพื้นที่เดียวกันการตัดสินใจที่จะเลือกใช้เทคโนโลยีใดๆจึงเป็นไปเพื่อผลประโยชน์ร่วมกันของทุกคนในท้องถิ่นมากกว่าที่จะคำนึงเฉพาะต้นทุนต่ำสุดเพียงอย่างเดียว

ในประเทศไทยระบบการผลิตแบบกระจายศูนย์เริ่มกลับมามีบทบาทสำคัญอีกครั้งเมื่อรัฐบาลได้มีการเปิดให้มีการรับซื้อไฟฟ้าจากผู้ผลิตไฟฟ้ารายเล็ก (หรือที่เรียกกันว่า SPPs) ตั้งแต่ปี พ.ศ.2537 โดยในระยะแรกการผลิตส่วนใหญ่มาจากการผลิตแบบระบบไฟฟ้าร่วมกับความความร้อนในพื้นที่นิคมอุตสาหกรรมต่างๆซึ่งแม้จะยังเป็นการใช้เชื้อเพลิงซากดึกดำบรรพ์แต่ก็เป็นระบบที่มีประสิทธิภาพทางด้านพลังงานสูงเพราะนำเอาความร้อนส่วนที่เหลือมาใช้ในกระบวนการผลิตภาคอุตสาหกรรม

ข้อดีของการผลิตแบบกระจายศูนย์คือช่วยสร้างความเชื่อมั่นในระบบจ่ายกำลังไฟฟ้าเพราะความสามารถในการจ่ายกำลังไฟฟ้าทั้งแบบแอคทีฟและรีแอคทีฟที่ได้จ่ายแหล่งพลังงานที่มาจากพวกระบบพลังงานหมุนเวียนเช่นระบบโซล่าเซลล์หรือพลังงานลมก็ตาม

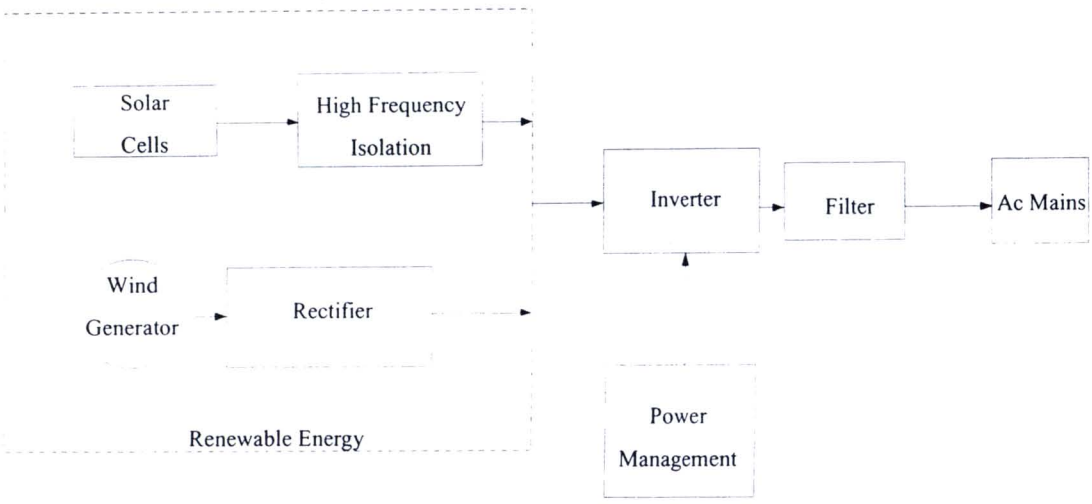
2.4.1 การผลิตไฟฟ้าจากพลังงานหมุนเวียน (Renewable Energy) [24], [25], [26]

การผลิตพลังงานหมุนเวียนเริ่มขยายตัวอย่างช้าๆ ตั้งแต่ปี พ.ศ.2540 โดยรัฐบาลมีการให้เงินสนับสนุนเพิ่มเติมเป็นช่วงๆ ต่อมาในปี พ.ศ.2545 รัฐบาลก็เปิดให้มีการรับซื้อไฟฟ้าจากผู้ผลิตรายเล็กมาก (หรือที่เรียกว่า VSPPs) ซึ่งในตอนแรกกำหนดให้มีกำลังการผลิตที่เสนอขายน้อยกว่าหนึ่งเมกะวัตต์และในปี พ.ศ.255 จึงมีการแก้ไขระเบียบให้ครอบคลุมขึ้นจนถึงสิบเมกะวัตต์พร้อมทั้งมีเงินส่วนเพิ่ม (หรือ adder) ให้อีกด้วยการผลิตพลังงานหมุนเวียนจึงเริ่มขยายตัวอย่างรวดเร็วขึ้นเรื่อยๆและมีกำลังการผลิตทะลุ 1,000 เมกะวัตต์ ตั้งแต่ปี 2549 จนกระทั่งปัจจุบัน (เดือนมิถุนายน พ.ศ.2551) ประเทศไทยเรามีผู้ผลิตไฟฟ้าจากพลังงานหมุนเวียนที่ขายเข้าระบบแล้วจำนวน 131 ราย คิดเป็นกำลังการผลิตติดตั้งรวมกันถึง 1,705 เมกะวัตต์นอกจากนี้ ยังมีผู้ผลิตไฟฟ้าจากพลังงานหมุนเวียนอีกประมาณ 200 รายที่ได้รับการตอบรับซื้อไฟฟ้าจากการไฟฟ้าฯ แล้วและอยู่ในระหว่างการดำเนินการและเชื่อมต่อไฟฟ้าเข้าสู่ระบบโดยหากรวมผู้ผลิตไฟฟ้ากลุ่มนี้กับผู้ผลิตไฟฟ้าที่ขายเข้าระบบแล้วจะพบว่า ประเทศไทยจะมีกำลังการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานหมุนเวียนมากถึง 2,900 เมกะวัตต์ จากผู้ผลิตกว่า 330 ราย

ทั้งนี้ผู้ผลิตไฟฟ้าจากพลังงานหมุนเวียนส่วนใหญ่เป็นการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานชีวมวล (ประมาณ 150 ราย) และพลังงานแสงอาทิตย์ (ประมาณ 100 ราย) รองลงมา คือพลังงานจากก๊าซชีวภาพ (44 ราย) แต่เมื่อพิจารณาในแง่กำลังการผลิตพบว่าร้อยละ 80 ของการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากพลังงานหมุนเวียนก็ยังมาจากเชื้อเพลิงชีวมวลโดยมีชานอ้อยและแกลบเป็นตัวนำประเทศไทยยังมีศักยภาพพลังงานหมุนเวียนอีกมากไม่ว่าจะเป็นเชื้อเพลิงชีวมวล ก๊าซชีวภาพ พลังน้ำขนาดเล็ก พลังงานลมและพลังงานแสงอาทิตย์โดยกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและการอนุรักษ์พลังงานก็คาดการณ์กันว่าศักยภาพการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานหมุนเวียนของประเทศไทยน่าจะมีมากกว่า 20,000 เมกะวัตต์การใช้พลังงานหมุนเวียนที่ได้จากพลังงานลมพลังงานแสงอาทิตย์มาเพื่อผลิตกระแสไฟฟ้าเชื่อมต่อกับระบบกริดของการไฟฟ้ากำลังเป็นที่นิยมโดยได้มีการศึกษาวิจัยเทคโนโลยีของระบบควบคุมเพื่อชดเชยกำลังไฟฟ้าแอคทีฟและรีแอคทีฟเข้าไปในระบบจ่ายกำลังไฟฟ้าหลักโดยพื้นฐานโครงสร้างของระบบสามารถที่จะแสดงได้ดังรูปที่ 2.3

สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ
ห้องสมุดงานวิจัย
วันที่ 20 ก.ย. 2555
เลขทะเบียน 249416
เลขเรียกหนังสือ

สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ห้องสมุดงานวิจัย



รูปที่ 2.3 ระบบการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานหมุนเวียนแบบเชื่อมต่อกับระบบกริด

2.4.2 ข้อกำหนดการเชื่อมต่อระบบโครงข่ายไฟฟ้าว่าด้วยการควบคุมคุณภาพไฟฟ้า

1. การควบคุมระดับแรงดัน และตัวประกอบกำลังไฟฟ้า

การติดตั้งต้องออกแบบระบบควบคุมระดับแรงดัน เพื่อให้สอดคล้องกับมาตรฐานระดับแรงดันสูงสุดและต่ำสุดของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค ต้องออกแบบระบบควบคุมตัวประกอบกำลังไฟฟ้าเพื่อใช้ในการรักษาระดับแรงดันให้อยู่ในเกณฑ์ที่กำหนด

2. การควบคุมความถี่ไฟฟ้า

การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทยจะเป็นผู้ควบคุมความถี่ของระบบโครงข่ายไฟฟ้าให้อยู่ในเกณฑ์ 50±0.5 รอบต่อวินาที ผู้ผลิตไฟฟ้าขนาดเล็กมากจะต้องควบคุมเครื่องกำเนิดไฟฟ้าให้ซิงโครไนซ์กับระบบโครงข่ายไฟฟ้าอยู่ตลอดเวลา ในกรณีเกิดเหตุผิดปกติถ้าความถี่ของระบบไม่อยู่ในช่วง 48.00 - 51.00 รอบต่อวินาที ต่อเนื่องเกิน 0.1 วินาที ผู้ผลิตไฟฟ้าขนาดเล็กมากจะต้องออกแบบให้ปลดเซอร์กิตเบรคเกอร์ที่จุดเชื่อมต่อด้วยระบบอัตโนมัติที่เชื่อมต่อกับระบบโครงข่ายไฟฟ้าทันที สำหรับผู้ผลิตไฟฟ้ารายเล็กจะต้องปฏิบัติตามที่การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทยกำหนด

3.การควบคุมแรงดันกระเพื่อม

การติดตั้งจะต้องออกแบบ ติดตั้ง และควบคุมอุปกรณ์ไม่ทำให้เกิดแรงดันกระเพื่อมที่จุดต่อร่วมเกินข้อกำหนดเกณฑ์แรงดันกระเพื่อมเกี่ยวกับไฟฟ้าประเภทธุรกิจและอุตสาหกรรมที่การไฟฟ้าส่วนภูมิภาคยอมรับ

4.**การควบคุมฮาร์มอนิกส์**

การติดตั้งจะต้องออกแบบ ติดตั้ง และควบคุมอุปกรณ์ที่ไม่ทำให้รูปคลื่นแรงดันและกระแสไฟฟ้าที่จุดต่อร่วมผิดเพี้ยนเกินค่าที่กำหนดตามข้อกำหนดเกณฑ์ฮาร์มอนิกส์เกี่ยวกับไฟฟ้าประเภทธุรกิจและอุตสาหกรรมที่การไฟฟ้าส่วนภูมิภาคยอมรับ ทั้งนี้ข้อกำหนดเกณฑ์ฮาร์มอนิกส์เกี่ยวกับไฟฟ้าอาจมีการปรับปรุงเป็นคราวๆไป

5.**การควบคุมการจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงเข้าสู่ระบบโครงข่ายไฟฟ้า**

ระบบอินเวอร์เตอร์จะต้องออกแบบป้องกันการจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงเข้าสู่ระบบโครงข่ายไฟฟ้าที่จุดเชื่อมต่อเกินร้อยละ 0.5 ของกระแสพิกัดของอินเวอร์เตอร์

2.5 ระบบไมโครกริด

ในการพัฒนาประเทศพลังงานถือเป็นปัจจัยพื้นฐานที่สำคัญจากความผันผวนของราคาเชื้อเพลิงความสนใจปัญหาสิ่งแวดล้อมทำให้เกิดความสนใจเกี่ยวกับการผลิตพลังงานไฟฟ้าที่จากแหล่งธรรมชาติหรือพลังงานหมุนเวียน เช่นพลังงานลม พลังงานแสงอาทิตย์หรือพลังงานชีวมวล ดังที่ได้กล่าวไว้ในตอนต้น อย่างไรก็ตามกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จากแหล่งพลังงานเหล่านี้ยังมีปริมาณที่ไม่แน่นอนจึงทำให้เกิดความกังวลเกี่ยวกับคุณภาพกำลังไฟฟ้ากรณีที่มีการเชื่อมต่อเข้ากับระบบไฟฟ้าหลัก จากปัญหาดังกล่าวจึงทำให้เกิดแนวคิดที่ที่จะผลิตไฟฟ้าและจ่ายให้กับโหลดภายในพื้นที่สำหรับระบบไฟฟ้าขนาดเล็กโดยที่เราเรียกระบบการผลิตแบบนี้ว่าการผลิตไฟฟ้าแบบไมโครกริด ซึ่งแนวคิดดังกล่าวนี้ทั้งแหล่งกำเนิดไฟฟ้าขนาดเล็กและโหลดภายในพื้นที่จะถูกมองรวมเป็นระบบอิสระขนาดเล็กระบบหนึ่ง แหล่งกำเนิดไฟฟ้าขนาดเล็กนี้จะประกอบด้วยอุปกรณ์อิเลคทรอนิกส์กำลังเพื่อความยืนหยุ่นในการทำงานและการควบคุม กรณีที่เกิดความผิดปกติจากทางฝั่งระบบไฟฟ้ากำลังหลัก ไมโครกริดจะสามารถปลดตัวเองออกจากระบบไฟฟ้ากำลังหลักได้และทำงานในแบบไอส์แลนดิง(Islanding) หรือการผลิตและส่งกำลังไฟฟ้าภายในพื้นที่อย่างอัตโนมัติและสามารถเชื่อมต่อเข้ากับระบบไฟฟ้ากำลังหลักอีกครั้งเมื่อความผิดปกติในระบบไฟฟ้ากำลังได้รับการแก้ไข แต่เนื่องจากระบบไมโครกริดไม่ได้มุ่งหวังที่จะขายไฟฟ้าเข้ากับระบบไฟฟ้าหลักเพียงแต่ต้องการที่จะผลิตไฟฟ้าจ่ายให้กับพื้นที่ของตัวเองเท่านั้นจึงไม่ทำให้เกิดปัญหากับระบบไฟฟ้ากำลังหลักในขณะเดียวกันก็ช่วยเสริมความมั่นคงทางการส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าให้แก่ผู้ใช้ และความเชื่อถือได้ของระบบไฟฟ้าและคุณภาพไฟฟ้าในพื้นที่ของไมโครกริด จากที่กล่าวมานี้สามารถสรุปความสำคัญของระบบการผลิตไฟฟ้าแบบไมโครกริด [27]

1.การรักษาคุณภาพกำลังไฟฟ้าและความน่าเชื่อถือได้ของระบบไฟฟ้า

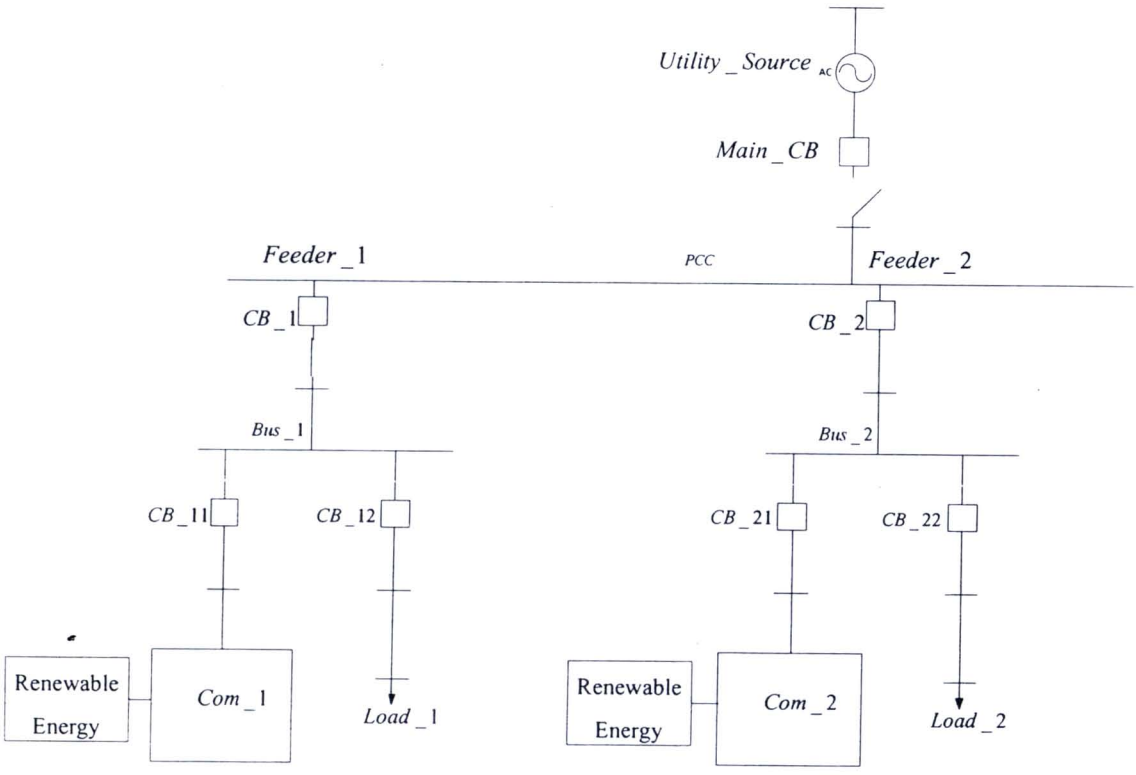
2.การลดระยะเวลาและค่าใช้จ่ายในการติดตั้ง

3.การลดค่าใช้จ่ายทางพลังงานหรือค่าเชื้อเพลิงลง

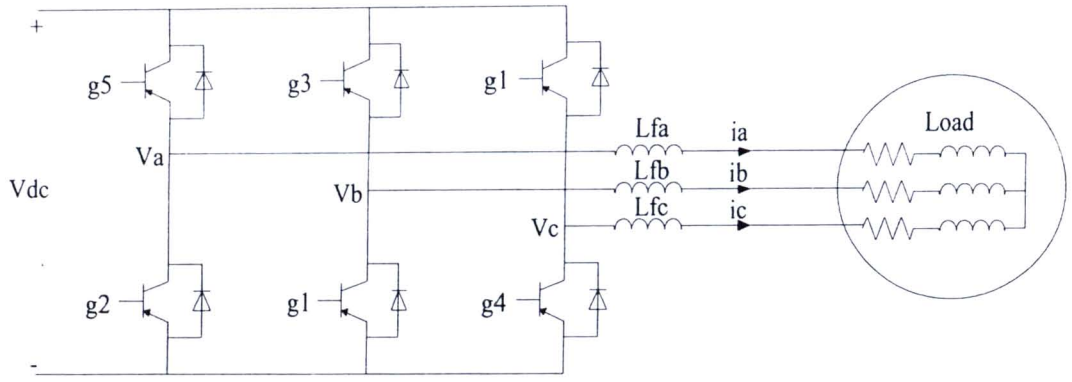
4.การลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

5.การรักษาความมั่งคงทางด้านพลังงาน

โครงสร้างของระบบไมโครกริดจะประกอบด้วยแหล่งจ่ายพลังงานที่เชื่อมต่อกับอินเวอร์เวอร์แบบแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้าตั้งแต่ 2 ชุดขึ้นไปดังแสดงตัวอย่างในรูปที่ 2.4 จ่ายกำลังไฟฟ้าให้กับโหลดในพื้นที่ของตัวเอง กรณีที่มีการเชื่อมต่อกับระบบไฟฟ้ากำลังหลัก ไมโครกริดจะทำหน้าที่ชดเชยกำลังไฟฟ้าแอคทีฟและ รีแอคทีฟที่โหลดเพื่อสร้างความเชื่อมั่นให้แก่ระบบ ขณะเดียวกันเมื่อระบบความผิดปกติจากระบบกำลังไฟฟ้าหลัก ไมโครกริดจะตัดตัวเองออกมาทำงานอย่างอิสระจ่ายกำลังไฟฟ้าให้กับโหลดในบัสของตัวเองหรือการช่วยจ่ายโหลดของบัสข้างเคียงในโซนอื่นๆได้อีกด้วย [28], [29], [30], [31] สำหรับโครงสร้างของอินเวอร์เตอร์แบบแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้าที่ใช้ในการแปรผันกำลังไฟฟ้าจากแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้าไฟฟ้ากระแสสลับให้กับโหลดสามเฟสที่สามารถควบคุมแรงดันไฟฟ้าด้านออกและความถี่ตามรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.4 ตัวอย่างโครงสร้างของระบบไมโครกริด



รูปที่ 2.5 วงจรกำลังของอินเวอร์เตอร์แบบแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้า

ขณะอินเวอร์เตอร์ทำงานในย่านมอดูเลชั่นเชิงเส้น($m_a \leq 1$) ค่าแรงดันไฟฟ้าที่ความถี่หลักมูลในหนึ่งเฟสจะเท่ากับสมการที่ 2.1 ส่วนค่ารากของกำลังสองเฉลี่ยของแรงดันไฟฟ้าระหว่างสายของความถี่หลักมูลจะเท่ากับสมการที่ 2.2

$$\hat{V}_{AN} = m_a.\frac{V_{dc}}{2} \qquad (2.1)$$

$$V_{LL} = \frac{\sqrt{3}}{\sqrt{2}}\hat{V}_{AN} = \frac{\sqrt{3}}{\sqrt{2}}.m_a.\frac{V_{dc}}{2} = 0.612.m_a.V_{dc} \qquad (2.2)$$

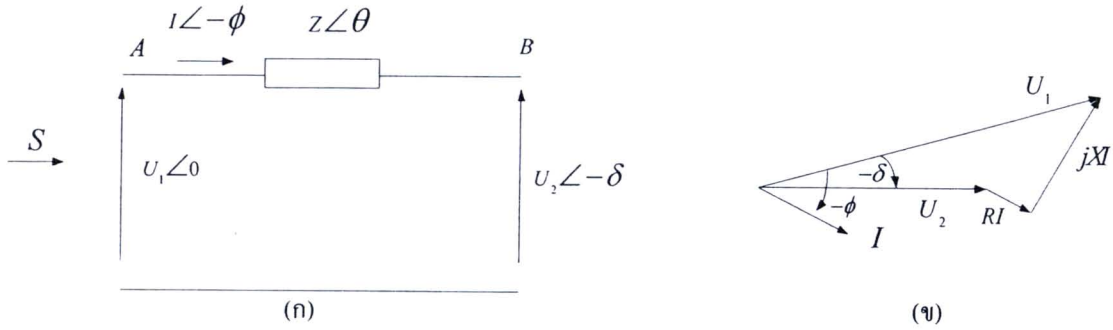
เมื่อ m_a ค่าดัชนีมอดูเลชั่น

V_{dc} ขนาดแรงดันไฟฟ้าเชื่อมโยงกระแสตรง(dc bus Voltage)

$\hat{V}_{AN}$ ขนาดแรงดันไฟฟ้าหนึ่งเฟส

V_{LL} แรงดันไฟฟ้ากำลังสองเฉลี่ยระหว่างสาย

พิจารณาการไหลของกำลังไฟฟ้า (Power Flowing)



รูปที่ 2.6 (ก) การไหลของกำลังไฟฟ้าในสาย (Power flow through a line) ,(ข) เฟสเซอร์ไดอะแกรม

ถ้าเขียนสมการ Power flow ได้เป็น

$$S = P + jQ = U_1 I^* \tag{2.3}$$

$$= U_1 \frac{(U_1 - U_2)^*}{Z} \tag{2.4}$$

$$= U_1 \frac{(U_1 - U_2 e^{j\delta})}{Ze - j\theta} \tag{2.5}$$

$$= \frac{U_1^2}{Z} e^{j\theta} - \frac{U_1 U_2}{Z} e^{j(\theta+\delta)} \tag{2.6}$$

ดังนั้นกำลังไฟฟ้า Active Power และ Reactive Power สามารถเขียนได้ว่า

$$\begin{aligned} P &= \frac{U_1^2}{Z}\cos\theta - \frac{U_1 U_2}{Z}\cos(\theta+\delta) \\ Q &= \frac{U_1^2}{Z}\sin\theta - \frac{U_1 U_2}{Z}\sin(\theta+\delta) \end{aligned} \tag{2.7}$$

ถ้า $Ze^{j\theta} = R + jX$ สมการที่ 2.7 เขียนใหม่ได้ว่า

$$\begin{aligned} P &= \frac{U_1}{R^2+X^2}[R(U_1 - U_2\cos\delta) + XU_2\sin\delta] \\ Q &= \frac{U_1}{R^2+X^2}[-RU_2\sin\delta + X(U_1 - U_2\cos\delta)] \end{aligned} \tag{2.8}$$

หรือ

$$U_2 \sin\delta = \frac{XP - RQ}{U_1}$$
$$U_1 - U_2 \cos\delta = \frac{RP + XQ}{U_1} \qquad (2.9)$$

สำหรับระบบจำหน่าย $X >> R$ โดยที่เราสามารถละทิ้งผลของค่า R ได้เป็นผลทำให้มุมกำลังไฟฟ้า δ มีค่าเล็กมาก ดังนั้น $\sin\delta = \delta$ และ $\cos\delta = 1$ สมการที่2.9 เลยเขียนใหม่ได้เป็น

$$\delta \cong \frac{XP}{U_1 U_2}$$
$$U_1 - U_2 \cong \frac{XQ}{U_1} \qquad (2.30)$$

2.6 ดี-สแตตคอม

การชดเชยกำลังไฟฟ้าแอคทีฟและรีแอคทีฟเป็นการเพิ่มขีดความสามารถของการส่งจ่ายและรักษาระดับแรงดันที่โหลด ซึ่งตัวชดเชยกำลังไฟฟ้าแอคทีฟและรีแอคทีฟเป็นอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่จ่ายกำลังไฟฟ้าทั้งสองแบบเข้าสู่ระบบของการไฟฟ้าเพื่อลดกำลังไฟฟ้าที่ถูกส่งมายังระบบการผลิต ทำให้ระบบการส่งจ่ายกำลังของการไฟฟ้ามีประสิทธิภาพและลดต้นทุนการสร้างโรงไฟฟ้าหรือนำเข้าเชื้อเพลิงที่มาใช้ในกระบวนการผลิตกระแสไฟฟ้า สำหรับการชดเชยกำลังไฟฟ้าและปรับปรุงคุณภาพกำลังไฟฟ้าในระบบจำหน่ายของงานวิจัยนี้จะมุ่งเน้นไปส่วนของอุปกรณ์ชดเชยโดยใช้ดี-สแตตคอม

2.6.1 อุปกรณ์คัสทอมเพาเวอร์

ระบบไฟฟ้ากำลังในปัจจุบันนั้นมีความแตกต่างจากในอดีตเป็นอย่างมาก ด้วยการพัฒนาของอปุกรณ์ของสารกึ่งตัวนำ ทำให้สามารถที่จะควบคุมการไหลของกำลังไฟฟ้าได้หลายร้อยเมกกะวัตต์ สามารถทำได้โดยอุปกรณ์พวกสวิตช์จำพวก ไทริสเตอร์ (Thyristors) หรือ จีทีโอ (GTO) อุปกรณ์ที่ใช้ควบคุมการไหลของกำลังไฟฟ้าในระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้า เรียกว่าอุปกรณ์ส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าที่ยืดหยุ่นได้ (Flexible AC Transmission System Devices: FACTS) อย่างไรก็ตาม สวิตช์ดังกล่าวไม่สามารถตอบสนองที่จะนำไปใช้ต่อค่าความถี่สวิตช์ค่าสูงในหลายพันเฮิรตซ์ได้ ข้อจำกัดในด้านความถี่สวิตช์

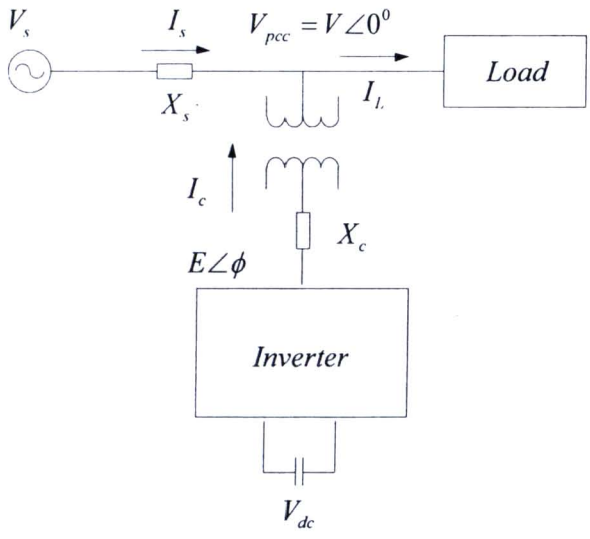
ถูกกำจัดไปโดยทรานซิลเตอร์กำลัง (Power Transistor) มอสเฟสกำลัง (Power MOSFET) หรือไอจีบีทีกำลัง(Power IGBT) เป็นต้นอย่างไรก็ตามการนำไปใช้งานกับระบบการส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าที่ระดับแรงดันสูงที่มีกำลังไฟฟ้าไหลในระดับหลายร้อยหรืออาจจะเกินหลักพันเมกกะวัตต์ ยังไม่สามารถทำได้ในระดับการส่งกำลังงานที่น้อยกว่านั้น เช่นระบบที่จ่ายระดับแรงดันปานกลาง อุปกรณ์ที่มีความถี่สวิตช์สูงสามารถนำมาใช้งานได้ อุปกรณ์เหล่านี้จะมีหน้าที่การทำงานที่เหมือนกับอุปกรณ์ FACTS ทุกประการ ต่างกันที่ขนาดพิกัดกำลังไฟฟ้าและระดับแรงดันทำงานที่น้อยกว่าเท่านั้น เราจะเรียกอุปกรณ์ในกลุ่มดังกล่าวว่า อุปกรณ์คัสทอมเพาเวอร์ (Custom Power Devices: CPD)อุปกรณ์คัสทอมเพาเวอร์ถูกนิยามขึ้นเพื่อเรียกกลุ่มของอุปกรณ์ที่ใช้ชดเชยกำลังไฟฟ้าและคุณภาพกำลังไฟฟ้าในระบบส่งจ่าย อุปกรณ์ในตระกลูคัสทอมเพาเวอร์มีหลายตัว เช่น เอเอสวีซี (ASVC) ตัวกำจัดกระแสผิดพร่อง (SSFCL) ตัวฟื้นฟูแรงดันพลวัตและดี-สแตตคอม เป็นต้นโดยลักษณะเด่นของพวกอุปกรณ์ในตระกลูนี้คือ ช่วยชดเชยกำลังไฟฟ้าและการปรับปรุงคุณภาพการส่งจ่ายกำลังไฟฟ้า เพื่อลดความเสี่ยงในการเกิดไฟฟ้าดับเป็นบริเวณกว้างในระบบและลดจำนวนครั้งที่มีการเกิดไฟฟ้า ซึ่งอุปกรณ์คัสทอมเพาเวอร์แต่ละตัวมีข้อดีและข้อเสียที่แตกต่างกันขึ้นอยู่กับความเหมาะสมที่จะนำไปใช้งานในระบบไฟฟ้า ซึ่งในงานวิจัยนี้จะใช้อุปกรณ์และพิจารณาเฉพาะดี-สแตตคอมเท่านั้น เพื่อใช้ชดเชยกำลังไฟฟ้าทั้งแบบแอคทีฟและรีแอคทีฟ ซึ่งจะกล่าวถึงในหัวข้อถัดไป

2.6.2 โครงสร้างและหลักการทำงานชดเชยกำลังไฟฟ้าด้วยดี-สแตตคอม

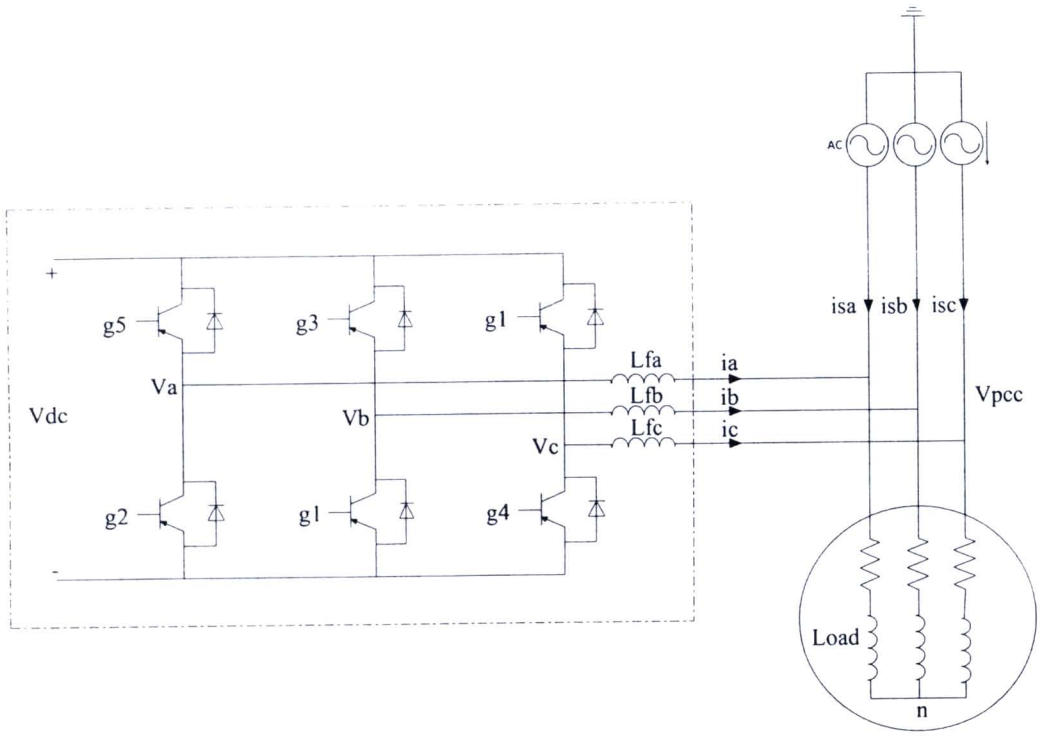
ดี-สแตตคอมเป็นหนึ่งในตระกูลของการควบคุมวงจรอิเล็กทรอนิกส์กำลัง (Power Electronics Controllers) ซึ่งการทำงานของมันจะอยู่บนพื้นฐานของ Voltage Source Converter (VSC) สมรรถนะของมันเปรียบเทียบได้กับ Synchronous Condenser ดี-สแตตคอมนั้นสามารถที่จะถูกใช้ในการชดเชยแบบพลวัต (Dynamic Compensation) ของระบบจำหน่ายซึ่งทำหน้าที่เป็นตัวจ่ายแรงดัน (Voltage Support) และเพิ่มเสถียรภาพต่อการเกิดทรานเซียนท์ (Transient) ของระบบการออกแบบดี-สแตตคอมที่ใช้ในระบบจำหน่ายซึ่งทำหน้าที่เป็นตัวชดเชยกำลังรีแอกทีฟ (Reactive Power) และตัวรักษาระดับแรงดัน (Voltage Regulation) ที่จุดที่ดี-สแตตคอมนั้นต่ออยู่ โครงสร้างพื้นฐานของดี-สแตตคอมประกอบด้วย VSC ที่มีตัวเก็บพลังงานไฟตรง (DC Energy Storage) หม้อแปลงคัปปลิ้ง (Coupling Transformer) ต่อขนานอยู่กับแหล่งจ่ายไฟสลับ , และระบบควบคุมที่เกี่ยวข้องดังแสดงใน

รูปที่ 2.7 โดยตัวเก็บพลังงานสามารถที่จะใช้แบตเตอรี่ซึ่งให้แรงดันขาออกที่คงที่หรืออาจจะใช้ตัวเก็บประจุซึ่งแรงดันที่ขั้วสามารถที่จะเพิ่มหรือลดได้โดยการควบคุมอินเวอร์เตอร์ ตัวVSC จะทำหน้าที่แปลงแรงดันไฟตรงที่ตกคร่อมตัวเก็บพลังงานไปเป็นเซตของแรงดันขาออกไฟสลับสามเฟสที่อินเฟสและเข้ากันกับแหล่งจ่ายไฟสลับผ่านตัวรีแอกแตนซ์ของหม้อแปลงคัปปลิ้งคุณลักษณะที่สำคัญของการควบคุมนี้คือการแลกเปลี่ยนระหว่างกำลังแอคทีฟและกำลังรีแอคทีฟระหว่างตัว VSC กับแหล่งจ่ายไฟACโดยสามารถควบคุมได้โดยการเปลี่ยนแปลงมุมเฟสระหว่างแรงดันที่ออกมาจาก Converter และ (V_{VSC}) มีค่ามากกว่าแรงดันที่ Bus (V_{BUS}) ดี-สแตตคอมจะจ่ายกำลังรีแอกทีฟไปยัง AC System และดี-สแตตคอมจะรับกำลังรีแอคทีฟเมื่อขนาดแรงดัน V_{VSC} มีค่าน้อยกว่า V_{BUS}และโดยการเปลี่ยนแปลงมุมเฟสที่เหมาะสมระหว่างV_{VSC} และ V_{BUS}ดี-สแตตคอมสามารถที่จะแลกเปลี่ยนกำลังแอคทีฟกับ AC Systemได้ การแลกเปลี่ยนนี้สามารถที่จะใช้ในการกำจัดความสูญเสียภายใน (Internal Loss) ของตัว VSC และสามารถที่จะใช้ในการรักษาตัว DC Capacitor ให้ชาร์ตอยู่ในระดับแรงดันที่เหมาะสมหรือ เพิ่มลดขนาดแรงดันของตัวเก็บประจุดังวงจรสมมูลในรูปที่ 2.8

สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ห้องสมุดงานวิจัย



รูปที่ 2.7 โครงสร้างของดี-สแตตคอม



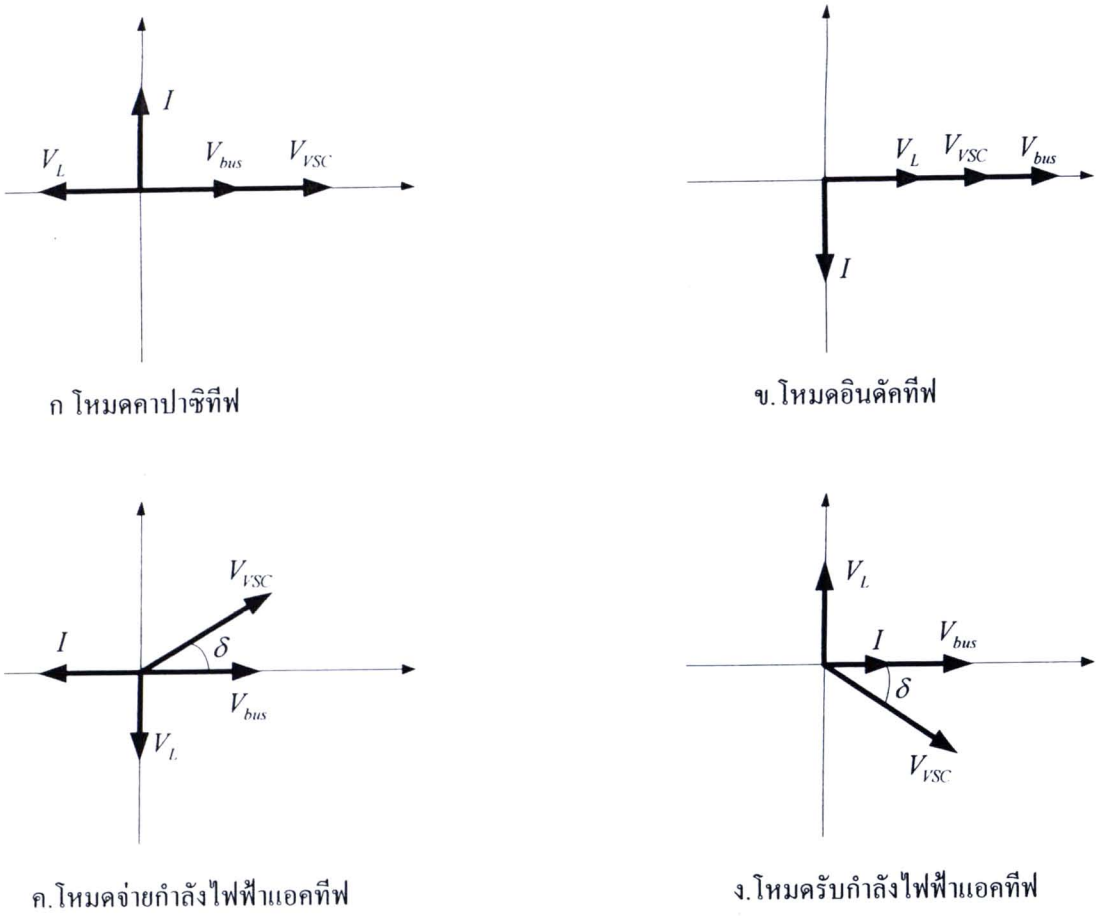
รูปที่ 2.8 วงจรสมมูลของดี-สแตตคอม

รูปที่2.9 แสดงเวคเตอร์ในสภาวะสมดุลที่ความถี่มูลฐาน (Fundamental Frequency) ของโหมดอินดัคทีฟ (Inductive Mode) , โหมดคาปาซิทีฟ (Capacitive Mode) และการเปลี่ยนแปลงจากโหมดอินอัคทีฟเป็นโหมดคาปาซิทีฟ แรงดันที่ขั้ว V_{BUS} นั้นจะเท่ากับผลรวมระหว่างแรงดันอินเวอร์เตอร์ V_{VSC} กับแรงดันที่ตกคร่อมรีแอกแตนซ์ของหม้อแปลงคัปปลิ้ง V_Lทั้งในโหมดคาปาซิทีฟและอินดัคทีฟ สภาวะการเปลี่ยนแปลงจากโหมดคาปาซิทีฟเป็นอินดัคทีฟเกิดขึ้นโดยการเปลี่ยนแปลงมุม δ จากศูนย์เป็นค่าที่เป็นบวกส่งผลให้กำลังแอคทีฟถูกส่งจากตัวเก็บประจุไฟตรงไปยังขั้วของแรงดันไฟสลับ ซึ่งเป็นสาเหตุทำให้แรงดันที่ขั้วของตัวเก็บประจุมีขนาดลดลง และสภาวะการเปลี่ยนแปลงจากโหมดอินดัคทีฟเป็นคาปาซิทีฟเกิดขึ้นโดยการเปลี่ยนแปลงมุม δ จากศูนย์เป็นค่าที่เป็นลบ ส่งผลให้กำลังแอคทีฟถูกส่งจากแหล่งจ่ายไฟสลับมายังตัวเก็บประจุไฟตรงซึ่งเป็นสาเหตุทำให้แรงดันที่ขั้วของตัวเก็บประจุมีขนาดเพิ่มขึ้นในการใช้งานจริงดี-สแตตคอมจะมีความสูญเสียเกิดขึ้นที่ขดลวดของหม้อแปลงและในตัวสวิตซ์ของคอนเวอร์เตอร์ โดยความสูญเสียนี้จะดึงกำลังแอคทีฟจากขั้วไฟสลับ (AC terminal) ดังนั้นจะมีมุมเฟสที่เปลี่ยนแปลงเล็กน้อยเกิดขึ้นเสมอระหว่าง V_{VSC} และ V_{BUS}

ตารางที่ 2.2 แสดงการแลกเปลี่ยนกำลังกันระหว่างดี-สแตตคอมกับระบบไฟสลับที่เป็นฟังก์ชั่นของแรงดันขาออกของดี-สแตตคอม(V_{VSC}) และแรงดันของระบบไฟสลับ (V_{BUS})

Voltage Relation	Power Exchange		
	D-STATCOM	$\Leftrightarrow$	AC System
$\lvert V_{vsc}\rvert > \lvert V_{bus}\rvert$	Q	$\Rightarrow$	
$\lvert V_{vsc}\rvert < \lvert V_{bus}\rvert$		$\Leftarrow$	Q
$\delta > 0$	P	$\Rightarrow$	
$\delta < 0$		$\Leftarrow$	P

จากการวิเคราะห์ที่แสดงด้านบนจะเห็นได้ว่าดี-สแตตคอมสามารถที่จะควบคุมได้ด้วยพารามิเตอร์เพียงตัวเดียวคือมุมเฟสระหว่าง V_{VSC}และ V_{BUS} และถ้าคอนเวอร์เตอร์นั้นมีการแลกเปลี่ยนเฉพาะกำลังรีแอคทีฟกับระบบไฟสลับ แรงดันขาออกของคอนเวอร์เตอร์สามารถที่จะควบคุมได้โดยการควบคุมขนาดแรงดันของตัวเก็บประจุไฟตรงเท่านั้น เนื่องมาจากข้อเท็จจริงที่ว่าขนาดแรงดันขาออกของคอนเวอร์เตอร์แปรผันตรงกับขนาดแรงดันของตัวเก็บประจุไฟตรงขนาดของตัวเก็บประจุไฟตรงนั้นสามารถที่จะเลือกโดยวิธีการวิเคราะห์ (Analytical methods) โดยพิจารณาเรื่องข้อจำกัดของแรงดันกระเพื่อม (Voltage ripple) และขนาดกำลังพิกัด ประโยชน์ของสมการการวิเคราะห์ในการพิจารณาหาขนาดที่เหมาะสมของตัวเก็บประจุไฟตรงนั้นอาจจะต้องมีงานที่เกี่ยวข้องเพิ่มเติม ยิ่งไปกว่านั้นขนาดของตัวเก็บประจุยังส่งผลโดยตรงต่อสมรรถนะของตัวควบคุมแบบปิด (Closed-loop controller) และจะมีการประนีประนอมเกิดขึ้นเสมอระหว่างฮาร์มอนิกส์ที่เกิดจาก VSC และความเร็วในการตอบสนองของตัวควบคุมดังนั้นการหาขนาดที่เหมาะสมของตัวเก็บประจุโดยการใช้ตัวจำลองการทำงาน (Simulator) ก็เป็นอีกทางเลือกหนึ่งจะเป็นการลองผิดลองถูกไปเรื่อยๆโดยมีการนำข้อจัดของแรงดันกระเพื่อมและความเร็วในการตอบสนองที่ต้องการของตัวควบคุมเข้ามาพิจารณาด้วย



รูปที่ 2.9 เวคเตอร์แสดงการทำงานของดี-สแตตคอมในโหมดต่างๆ

2.7 โปรแกรม PSCAD/EMTDC

การจำลองเหตุการณ์และทฤษฎีต่างๆด้วยคอมพิวเตอร์ได้มีวิวัฒนาการมายาวนานตั้งแต่ในอดีตที่ใช้เครื่องคอมพิวเตอร์เมนเฟรมเป็นหลักจนกระทั่งมีการพัฒนามาสู่การใช้เครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล ดังในปัจจุบันโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำหรับเครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลที่ใช้สำหรับจำลองปรากฏการณ์ต่างๆทางไฟฟ้าทั้งในภาวะชั่วครู่และภาวะคงตัวที่มีชื่อว่า Electro Magnetic Transient Program (EMTP) เป็นโปรแกรมหนึ่งที่มีการใช้งานอย่างแพร่หลายทั่วโลกและวิวัฒนาการมาอย่างยาวนานตั้งแต่ปีคศ.1960จนถึงปัจจุบันนอกจากนี้ยังมีโปรแกรมสำหรับจำลองภาวะชั่วครู่ของอีกหลายๆบริษัทที่พัฒนามาจากหลักการพื้นฐานของEMTPรวมทั้งโปรแกรมElectro-Magnetic Transient

in DC systems (EMTDC) ของ “ศูนย์วิจัยไฟฟ้ากระแสตรงแรงดันสูงมานิโทบา” (Manitoba HVDC Research Center) ก็เป็นโปรแกรมหนึ่งที่ได้รับความนิยมอย่างแพร่หลายทั่วโลกในปัจจุบันโปรแกรม EMTDC รุ่นแรกได้ถูกพัฒนาโดยเดนนิสวูดฟอร์ดในปีคศ.1976ที่โดยเริ่มต้นจากการพัฒนาขึ้นมาเพื่อศึกษาและวิเคราะห์ระบบไฟฟากระแสตรงแรงสูง(HVDC System)จนกระทั่งได้มีการเพิ่มขีดความสามารถของโปรแกรมให้สามารถจำลองเหตุการณ์เพื่อศึกษาและวิเคราะห์ระบบไฟฟ้าได้ทั้งกระแสตรงและกระแสสลับและต่อมาได้มีการพัฒนาโปรแกรมสำหรับการสร้างภาพแบบจำลองและส่วนติดต่อกับผู้ใช้งานสำหรับโปรแกรมEMTDCโดยเฉพาะชื่อว่าPSCADและได้มีการรวมทั้งPSCADและEMTDCเข้าเป็นชุดโปรแกรมสำเร็จรูปชุดเดียวกันโดยใช้ชื่อว่าPSCAD/EMTDC [32],[33] โดยปัจจุบันได้พัฒนาจนถึงรุ่นที่ 4 วิธีการหนึ่งในการทำความเข้าใจระบบที่มีความซับซ้อนก็คือการศึกษาหาผลลัพธ์ของเหตุการณ์และการเปลี่ยนแปลงสถานะของอุปกรณ์ในระบบคือการจำลองเหตุการณ์(Simulation)ในระบบไฟฟ้ากำลังผลลัพธ์ดังกล่าวสามารถศึกษาได้ทั้งแบบค่าฉับพลันในขอบเขตเวลา (Time Domain Instantaneous Values) ค่ารากที่สองของกำลังสองเฉลี่ยในขอบเขตเวลา(Time Domain rms Values) และค่าองค์ประกอบความถี่ (Frequency Components) EMTDC เป็นเครื่องมือที่เหมาะสมในการจำลองเหตุการณ์แบบค่าฉับพลันในขอบเขตเวลาหรือที่เรียกว่าภาวะชั่วครู่ในระบบไฟฟ้าโดยสามารถจำลองอุปกรณ์ตามตัวอย่างได้ดังนี้คือ

1.ตัวต้านทานตัวเหนี่ยวนำตัวเก็บประจุ

2.อุปกรณ์ที่มีการเหนี่ยวนำของขดลวดเช่นหม้อแปลงไฟฟ้า

3. แบบจำลองแบบกระจายแบบขึ้นกับความถี่ของสายส่งและเคเบิล

4.แหล่งจ่ายกระแสและแรงดัน

5.ตัวตัดวงจร

6.ไดโอดไทริสเตอร์

7. ฟังก์ชันควบคุมแอนะลอกและดิจิตอล

8. เครื่องกลไฟฟ้ากระแสสลับ

9. เครื่องวัดทางไฟฟ้า

10.ตัวควบคุมกระแสตรงและกระแสสลับ

11.ระบบไฟฟ้ากระแสตรงแรงสูง

จุดเด่นของ EMTDC ก็คือสามารถสร้างแบบจำลองของอุปกรณ์ที่ต้องการศึกษาได้อย่างง่ายดายด้วยโปรแกรม PSCAD ซึ่งใช้สร้างแบบจำลองจำลองเหตุการณ์และวิเคราะห์ผลการทดลองโดยสามารถ

นำข้อมูลที่ได้ไปวิเคราะห์ด้วยเครื่องมืออื่นๆต่อไปโปรแกรม EMTDC เป็นเครื่องมือสำหรับวิศวกรในการประยุกต์ใช้งานให้คำปรึกษาและวิจัยเพื่อการศึกษาในหลายๆแนวทางไม่ว่าจะเป็นการวางแผนการออกแบบการตรวจสอบการเรียนการสอนและสำหรับงานวิจัยขั้นสูงดังตัวอย่างต่อไปนี้คือ

- การศึกษาเหตุการณ์ในระบบซึ่งประกอบด้วยเครื่องกลไฟฟ้าหม้อแปลงสายส่งและภาระไฟฟ้า
- การออกแบบระบบป้องกัน
- การออกแบบฉนวนของอุปกรณ์
- การทดสอบอิมพัลส์ของหม้อแปลง
- การออกแบบระบบควบคุมวงจรกรองและการวิเคราะห์ฮาร์มอนิกส์ฯลฯ

สำหรับวิธีการขั้นตอนการออกแบบระบบควบคุมเพื่อปรับปรุงคุณภาพกำลังไฟฟ้าที่ได้นำเสนอโดยจำลองผ่านโปรแกรม PSCAD/EMTDC จะกล่าวอยู่ในบทที่ 3