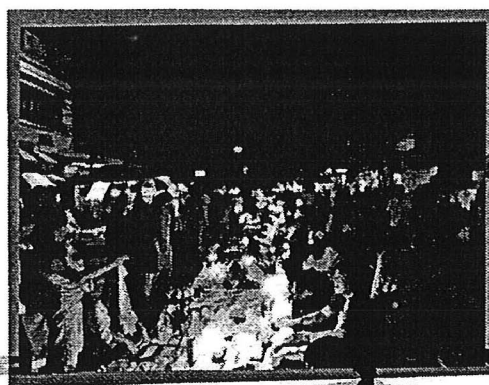
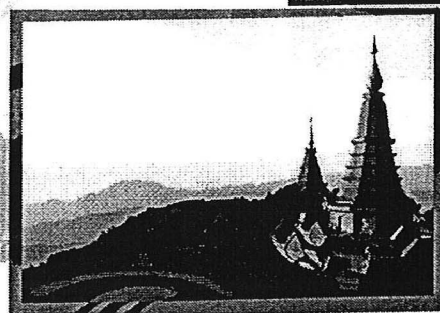
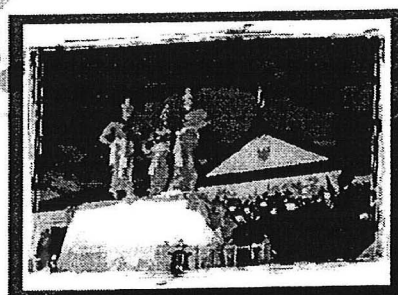


EENET2010

- Chiangmai Thailand -



การประชุมเครือข่ายวิชาการวิศวกรรมไฟฟ้า
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล ครั้งที่ 2



EENET
2010
CHIANGMAI

5-6 กุมภาพันธ์ 2553 ณ อาคารหอสมุด

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา ภาคพายัพเชียงใหม่

การตรวจตัวจับและปรับปรุงสัญญาณแรงดันที่ความถี่ต่างๆ ด้วยวิธีการอย่างง่าย เพื่อควบคุมชุดชดเชยแรงดันในระบบไฟฟ้า

Voltage Detection and Voltage Implement at Different Frequency with Simple method for Compensator

วรุณี ศรีสงคราม* ณัฐพงศ์ พันธนะ** ประมุข อุณหเลขกะ* กิตติวัฒน์ เชื้อเงิน***

*สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ

**สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

***ABB Limited 322 ต.แพรกษา อ.เมือง จ.สมุทรปราการ

7/1 ม.1 ต.สวนใหญ่ อ.เมือง จ.นนทบุรี โทรศัพท์: 0-2969-1369-74 E-mail: waruncesri@rmutsb.ac.th

บทคัดย่อ

บทความนี้เป็นการทดลองการตรวจจับและปรับปรุงสัญญาณแรงดันผิดเพี้ยน ที่ความถี่ต่างๆ ให้มีคุณภาพของแรงดันที่ดี ก่อนเข้าสู่ชุดควบคุมการชดเชยแรงดันในระบบไฟฟ้า ขณะที่แรงดันเกิดความผิดเพี้ยนขึ้นในระบบไฟฟ้ากำลัง โดยชุดตรวจจับและปรับปรุงสัญญาณแรงดันดังกล่าวได้นำเสนอวิธีการอย่างง่ายด้วยวิธีการควบคุมบนแกนเวกเตอร์ ในแกนหมุน (Stationary reference frame: SRF) และวิธีการรีเคอร์ซีฟดีเอฟที (Recursive DFT) ตามลำดับ ซึ่งเป็นหลักการทางคณิตศาสตร์โดยกระทำการบนบอร์ด DSP โดยใช้โปรแกรมภาษา C เป็นตัวประมวลผล ซึ่งบอร์ดดังกล่าวจะรับสัญญาณจากชุดการตรวจจับแรงดัน เพื่อให้ได้สัญญาณแรงดันที่ดีก่อนนำไปใช้ควบคุมการสั่งการ ชุดชดเชยแรงดันในระบบต่อไป จากผลการวิจัยพบว่าชุดตรวจจับแรงดันสามารถตรวจจับแรงดันได้ใช้เวลา 0.05 วินาที หรือ 0.5 ไซเคิล ในขณะที่แรงดันในระบบเกิดความผิดเพี้ยน และชุดปรับปรุงสัญญาณแรงดันสามารถกำจัดสัญญาณรบกวนและฮาร์มอนิกต่างๆ ที่แรงดันทุกความถี่ออกจากระบบได้ ทำให้ได้สัญญาณแรงดันที่ดีสำหรับนำไปสั่งการให้ชุดควบคุมการชดเชยแรงดันในระบบไฟฟ้ากำลังต่อไป

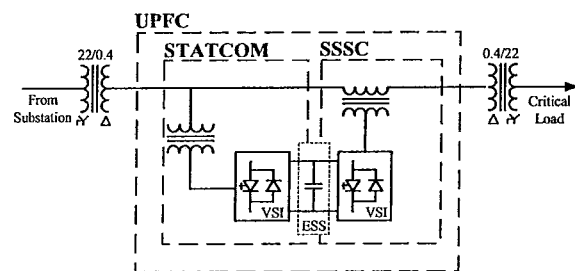
คำสำคัญ: การตรวจจับแรงดัน, รีเคอร์ซีฟ ดีเอฟที, ตัวชดเชยแรงดัน

Abstract

This paper proposes experiments to system of fluctuation voltage detection and signal voltage implement. After the voltage passed this system, its quality is improved while faults are occurred in the power system, before passing to the compensator controller. The stationary referent frame : SRF , and recursive DFT are simple method .Its applied in this system. The result of experiments, that system can clearly remove noise and harmonics every frequency ,and detected fault in 3 phase power system at 0.04 seconds in a prior fault cycle. Therefore, the time of the compensating detection is acceptable that we have referred the IEEE1159:1995 standard. So, this signal voltage suitable for control the power system to a stable.

1. บทนำ

ผลกระทบจากการเกิดการเปลี่ยนแปลงแรงดัน(Voltage Fluctuation) ทำให้ระบบควบคุมการทำงานของเครื่องจักรที่ใช้อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ ควบคุมมีการทำงานที่ผิดเพี้ยนไป ส่งผลให้เครื่องจักรหยุดการทำงานได้ หรือบางครั้งระบบการควบคุมคอมพิวเตอร์ มีการทำงานผิดพลาดหรือสภาวะการทำงานในบางขั้นตอนล้มเหลวได้ นั้นเป็นผลกระทบโดยตรง และสร้างความเสียหายค่อนข้างสูงต่อผู้ประกอบการ วิธีการแก้ไขปัญหา มีด้วยกันหลายวิธีเพื่อให้แก้ไขคุณภาพของแรงดันไฟฟ้าในระบบให้ดีขึ้น การควบคุมการไหลของกำลังไฟฟ้า หรือการชดเชยแรงดันไฟฟ้า (Compensator) เป็นวิธีการหนึ่งที่น่าสนใจมุ่งหาวิธีการที่ดีในการแก้ไขปัญหาดังกล่าว ในการสร้างชุดควบคุมกำลังไฟฟ้าเข้าไปในระบบไฟฟ้าดังกล่าวทำได้ 3 วิธีการโดยทั่วไปคือ การต่อชุดควบคุมอนุกรมเข้าในระบบไฟฟ้า(SSSC) ต่อแบบขนาน (STATCOM) และต่อแบบผสมกันระหว่างอนุกรมกับขนาน (UPFC) หรือที่รู้จักกันคือระบบการส่งกำลังไฟฟ้าชดเชยได้ (FACTS) ซึ่งใช้อุปกรณ์ทางอิเล็กทรอนิกส์กำลังเข้ามาช่วยในการควบคุม ดังแสดงในรูปที่ 1.



รูปที่ 1. การต่อชุดควบคุมกำลังไฟฟ้าเข้าในระบบจำหน่ายไฟฟ้า

ด้วยเหตุผลข้างต้นผู้วิจัยจึงมีความสนใจคิดสร้างชุดการควบคุมกำลังไฟฟ้า โดยเลือกวิธีการขนานเข้าไปยังระบบไฟฟ้า นั่นคือตัวชดเชยแบบสถิตหรือที่นิยมเรียกว่า STATCOM ปัญหาที่สำคัญของการควบคุมกำลังไฟฟ้านั้นคือ การรับรู้ถึงผลการเปลี่ยนแปลงของแรงดันได้อย่างรวดเร็ว และสั่งการให้ชุดควบคุมการชดเชยแรงดันเข้าในระบบอย่างรวดเร็วได้อย่างรวดเร็วและแม่นยำนั้น ต้องมีตัวตรวจจับที่ดี ดังนั้นก่อน

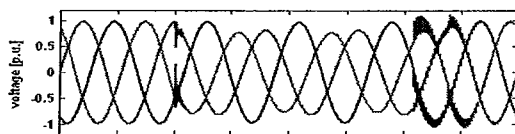
การสร้างชุดควบคุมดังกล่าวผู้วิจัยได้ ทำการหาวิธีการการตรวจจับแรงดันในระบบ [1] ด้วยกัน 4 วิธีการ คือ วิธีการ RMS, FFT, Peak Sequence Analysis , DQ method ด้วยวิธีการจำลองในโปรแกรม MATLAB Simulink ซึ่งพบว่า วิธีการตรวจจับแบบ DQ เป็นวิธีการการตรวจจับแรงดันที่มีความไวมากที่สุด จากนั้นผู้วิจัยได้สร้างชุดตัวตรวจจับดังกล่าว ด้วยวิธีการ DQ และเพื่อให้ได้คุณภาพของแรงดันที่ดี จึงนำสัญญาณแรงดันที่ตรวจจับได้มาทำการปรับปรุงคุณภาพโดยใช้วิธีการรีเคอร์ซีฟ DFT (Recursive DFT) เข้าร่วมกับ เพื่อให้ได้สัญญาณที่ดีสำหรับชุดควบคุมต่อไป

2. ระบบส่งกำลังไฟฟ้ายืดหยุ่นได้

ระบบส่งกำลังไฟฟ้ายืดหยุ่น (Flexible AC Transmission System devices : FACTS) [2] ตามมาตรฐาน IEEE หมายถึงระบบส่งกำลังไฟฟ้าที่รวมอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์กำลังเข้ากับอุปกรณ์ควบคุมแบบสถิต (static controller devices) อย่างอื่น เพื่อเพิ่มขีดความสามารถและส่งเสริมการควบคุมการส่งกำลังไฟฟ้าผ่านสายส่ง [3] ความสามารถหลักของอุปกรณ์คือ การชดเชยกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟ การควบคุมแรงดันไฟฟ้า และการควบคุมการไหลของกำลังไฟฟ้าจริงและกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟ อุปกรณ์ชนิดนี้สามารถควบคุมได้อย่างรวดเร็วเมื่อเปรียบเทียบกับอุปกรณ์ชดเชยอย่างเดิม เช่น คาปาซิเตอร์แบบกัก (capacitor bank) รีแอคเตอร์ชาน (shunt reactor) และซิงโครไนส์คอนเดนเซอร์ (synchronous condenser) ดังแสดงการต่อชุดควบคุมดังกล่าวดังรูปที่ 1.

3. การเกิดการเปลี่ยนแปลงของแรงดัน

แรงดันกระเพื่อม (Voltage Fluctuation) หมายถึง การเปลี่ยนแปลงแรงดันไฟฟ้า (rms) ที่ไม่เกิน 0.9 – 1.0 pu. ทั้งแบบเป็นระบบและแบบไม่ต่อเนื่อง บางครั้งเรียกว่า flicker คือ ไฟกระเพื่อมเช่น การทำงานของเตาหลอมไฟฟ้า (Arc furnace) หรือการสาร์ทโหลดขนาดใหญ่

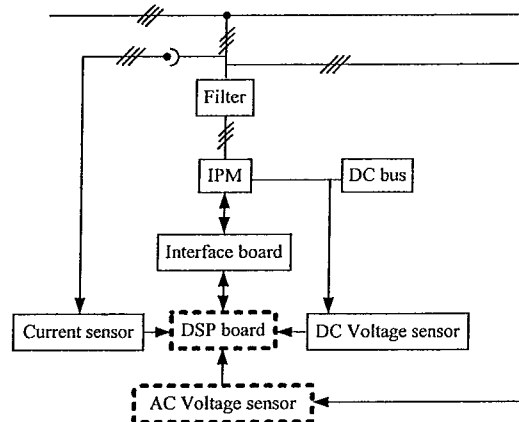


รูปที่ 2 การเกิดการเปลี่ยนแปลงของแรงดัน

ผลกระทบของการเกิดแรงดันไฟกระเพื่อม เช่น ในระบบควบคุมการทำงานของเครื่องจักรจะเกิดการทำงานผิดพลาด หรือ ทำให้เครื่องจักรเกิดการ Break Down มอเตอร์ซึ่งมี Magnetic Shorter หรือ Thyristor Control หยุดการทำงาน ระบบคอมพิวเตอร์ มีการทำงานผิดพลาดหรือสภาวะการทำงานในบางขั้นตอนล้มเหลวเป็นต้น

4. การสร้างชุดตรวจจับแรงดัน

จากรูปที่ 3 เป็นชุดควบคุมการชดเชยแรงดันแบบขนานที่ผู้วิจัยอยู่ในขั้นตอนการสร้าง ส่วนในบทความนี้ได้อธิบายเพียงในส่วนของการตรวจจับและการปรับปรุงค่าสัญญาณของแรงดัน ดังแสดงเป็นเส้นประในรูปที่ 3 ซึ่งจะเห็นได้ว่าในส่วนนี้เป็นประตูละเอียดสัญญาณที่สำคัญต่อระบบเป็นอย่างมาก เพราะเราต้องนำสัญญาณดังกล่าวไปใช้ในการควบคุมในชุดต่างๆให้มีความแม่นยำและเที่ยงตรงต่อการชดเชยแรงดันในระบบ



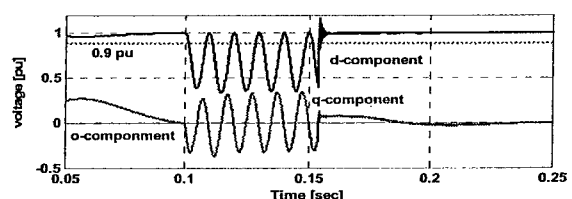
รูปที่ 3 ชุดการตรวจจับแรงดันในระบบการควบคุมการชดเชยแรงดัน

4.1 วิธีการตรวจจับแรงดัน (dq detection method)

วิธีการตรวจจับแรงดัน ดังนั้นในบทความนี้ใช้วิธีการควบคุมบนแกนเวกเตอร์ในแกนหมุน (Stationary reference frame: SRF) ตามการวิจัยมาเบื้องต้นมาแล้วนั้น ซึ่งทำโดยการแปลงแกนของเวกเตอร์จากระบบไฟฟ้า 3 เฟส เป็นแกนเวกเตอร์ 1 เฟส จากสมการที่ 1 เป็นการหาค่ามุมของแรงดัน V_α และ V_β จากระบบไฟฟ้า 3 เฟส [4] แล้วนำไปหาค่าของ V_d และ V_q จากสมการที่ 2 จึงได้สัญญาณแรงดันในแกน dq ดังรูปที่ 4

$$\begin{bmatrix} V_\alpha \\ V_\beta \end{bmatrix} = \frac{2}{3} \begin{bmatrix} 1 & \frac{1}{2} & \frac{1}{2} \\ 0 & \frac{\sqrt{3}}{2} & -\frac{\sqrt{3}}{2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_{sa} \\ V_{sb} \\ V_{sc} \end{bmatrix} \quad (1)$$

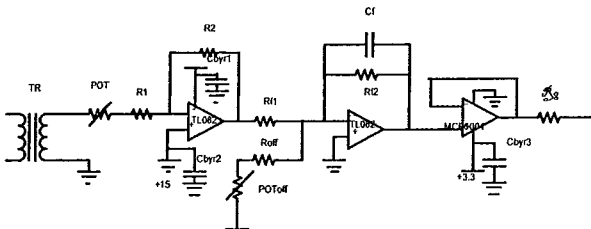
$$\begin{bmatrix} V_d \\ V_q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \theta & \sin \theta \\ -\sin \theta & \cos \theta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_\alpha \\ V_\beta \end{bmatrix} \quad (2)$$



รูปที่ 4 สัญญาณภาพ d และ q component

4.2 วงจรการตรวจจับแรงดันกระแสสลับ

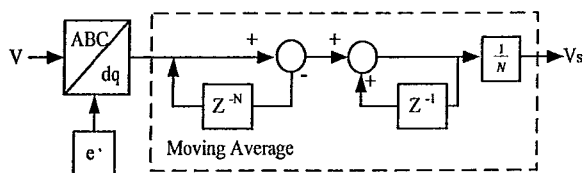
ตัวตรวจจับแรงดันกระแสสลับ (AC voltage sensor) หรือ ตัววัดแรงดัน เป็นส่วนใช้วัดแรงดันของระบบไฟฟ้ากระแสสลับเพื่อใช้ในการควบคุมระดับแรงดันให้ได้ตามที่ต้องการ สำหรับการวัดแรงดัน AC จะใช้หม้อแปลงลดขนาดแรงดันลง ดังแสดงของวงจรในรูปที่ 5 และต่อเข้ากับวงจรปรับสัญญาณให้เหมาะสมกับการใช้งานกับบอร์ด DSP



รูปที่ 5 ตัวตรวจจับแรงดันกระแสสลับ

5. วิธีการรีเคอร์ซีฟดีเฟที

หลังจากที่มีการตรวจนับและคำนวณองค์ประกอบของแรงดันหลักมูลสำหรับระบบไฟฟ้า 3 เฟส และ ทำให้อยู่ในแกนอ้างอิงของ dq ดังแสดงในสมการที่ 1 และ 2 แล้วนั้น จะใช้วิธีการคำนวณหาองค์ประกอบแรงดัน โดยวิธีการรีเคอร์ซีฟดีเฟที [5],[6],[7] บนแกนอ้างอิงหมุนที่มีความถี่หลักมูล ดังรูปที่ 6 ซึ่งเป็นวิธีการอย่างง่ายในทางปฏิบัติจริงและมีผลการตอบสนองที่รวดเร็วเพียงพอ หลังจากแรงดันที่ตรวจนับได้ถูกแปลงอยู่ในรูปของ dq ซึ่งเดิมมีความถี่ 50 Hz จะกลายเป็นสัญญาณไฟตรง ส่วนองค์ประกอบฮาร์มอนิกและองค์ประกอบมูลฐานจะยังคงเป็นสัญญาณกระแสสลับ จากนั้นนำแรงดันที่ได้มาผ่านตัวกรองแบบมูฟวิงเอเวอร์เรจ (Moving average) ดังสมการที่ 3 ที่ความยาวครึ่งคาบของความถี่หลักมูลเพื่อแยกเอาเฉพาะสัญญาณไฟตรง นั่นคือขนาดของแรงดันหลักมูลที่ตรวจนับได้นั่นเอง



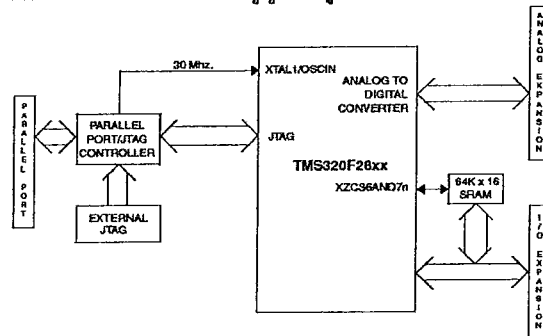
รูปที่ 6 วิธีการรีเคอร์ซีฟดีเฟที

$$D_h(z) = \frac{1}{N} \frac{1 - z^{-N}}{1 - z^{-1}} \quad (3)$$

6 ตัวประมวลผลสัญญาณแรงดัน

ตัวประมวลผลหรือบอร์ด DSP (Digital Signal Processing) เป็นบอร์ดที่ใช้ควบคุมการสร้างกระแสเพื่อรักษาระดับแรงดันของระบบไฟฟ้าและรักษาระดับแรงดันบัสไฟตรงให้คงที่ โดยรับสัญญาณมาจากส่วนวัดกระแส ส่วนวัดแรงดันกระแสสลับ และ ส่วนวัดแรงดัน

กระแสตรง ดังรูปที่ 3 ของชุดควบคุมการชดเชยแรงดันเข้าไปประมวลผลตามการเขียนโปรแกรมด้วยภาษา C ในการควบคุมการรับส่งสัญญาณโดยที่บอร์ดมีหลักการรับส่งสัญญาณดังรูปที่ 7

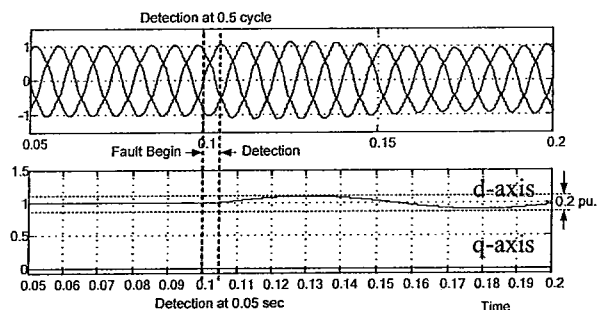


รูปที่ 7 หลักการส่งสัญญาณของบอร์ด DSP

6. ผลการทดลอง

การทดลองชุดตรวจนับแรงดันและชุดปรับปรุงสัญญาณแรงดันในระบบไฟฟ้า ทดสอบโดยการสร้างสถานะการให้ในระบบไฟฟ้าเกิดความผิดปกติขึ้นที่เวลา 0.1 - 0.4 วินาที สัญญาณแรงดันมีความเปลี่ยนแปลงขึ้น ณ เวลาดังกล่าวที่ความถี่ 15 Hz และ 25 Hz

6.1 ผลการตรวจนับแรงดัน



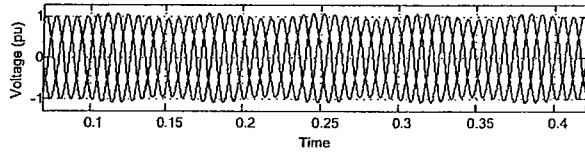
รูปที่ 8 สัญญาณการตรวจนับแรงดันในระบบ

จากรูปที่ 8 ผลการตรวจนับแรงดันพบว่าชุดตรวจนับแรงดันสามารถตรวจนับแรงดันได้ที่เวลา 0.105 วินาที หลังจากเกิดความผิดปกติขึ้นในระบบที่เวลา 0.1 วินาที นั้นหมายความว่า ชุดตรวจนับแรงดันสามารถตรวจนับได้ในเวลาเพียง 0.04 วินาที ที่ตรวจพบว่าเกิดการเปลี่ยนแปลงของแรงดันขึ้น หรือที่ 0.4 ไซเคิล ของแรงดันที่มีการเปลี่ยนแปลงแรงดันขึ้น ลงอยู่ที่ 0.2 pu. ซึ่งจะเห็นได้ว่าชุดตรวจนับมีความเร็วพอต่อการนำไปใช้สั่งการให้ชุดควบคุมได้ต่อไป

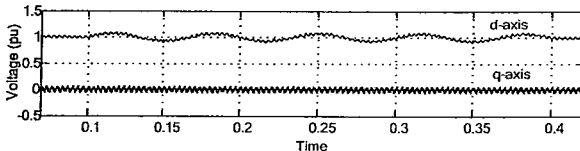
6.2 ผลการปรับปรุงสัญญาณแรงดัน

จากการทดสอบตัวปรับปรุงสัญญาณแรงดันไฟฟ้า ทำโดยการนำค่าสัญญาณที่ตรวจนับได้ผ่านชุดรีเคอร์ซีฟ ดีเฟที ที่แรงดันการเปลี่ยนแปลงหลายๆความถี่ โดยบทความนี้ได้นำตัวอย่างมา 2 ความถี่ คือ 15 Hz และ 25 Hz จากรูป 9 และ 10 ก. เป็นสัญญาณแรงดันในระบบที่มี

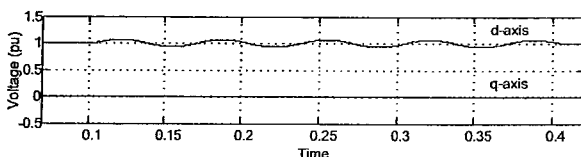
การเปลี่ยนแปลงขึ้นลงอยู่ 0.2 p.u ที่ 15 Hz และ 25 Hz ตามลำดับ ของ
การเกิดความผิดปกติขึ้นที่เวลา 0.1 วินาที ถึง 0.4 วินาที



รูปที่ 10. สัญญาณแรงดันกระแสสลับที่เกิดการเปลี่ยนแปลงที่ 15 Hz



รูปที่ 11. สัญญาณแรงดัน dq ก่อนเข้าสู่ครีเอเตอร์ซีฟ ดีเอฟที ที่ 15 Hz

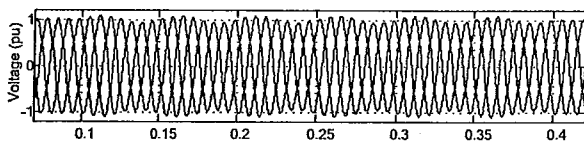


รูปที่ 12. สัญญาณแรงดัน dq ที่ออกจากครีเอเตอร์ซีฟ ดีเอฟที ที่ 15 Hz

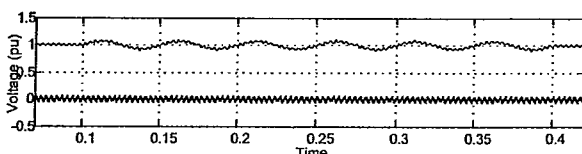
รูปที่ 9 การปรับปรุงสัญญาณแรงดันที่มีการเปลี่ยนแปลงความถี่ 15 Hz

จากรูป ข. พบว่าสัญญาณแรงดันที่ยังไม่ได้ผ่านรีเฟรช ดีเอฟทีโดย
มีสัญญาณแรงดันอยู่ในรูปของ dq จะเห็นได้ว่ามีสัญญาณรบกวน หรือ
ฮาร์โมนิก อยู่บนสัญญาณจำนวนมาก นั่นคือถ้าเรานำสัญญาณดังกล่าว
ไปใช้งานในการควบคุม จะส่งผลกระทบต่อควบคุมที่ไม่เที่ยงตรงต่อระบบ
แสดงดังรูปที่ 9 และ 10 ข.

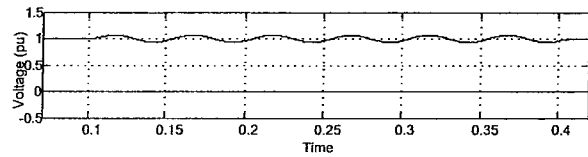
จากรูป ค. เป็นสัญญาณแรงดัน dq ที่ออกจากครีเอเตอร์ซีฟ ดีเอฟที
เรียบร้อยแล้ว ซึ่งเห็นได้ว่าสัญญาณที่ได้มีความเรียบของสัญญาณมากขึ้น
นั่นหมายถึงชุดตรวจจับแรงดันที่มีการติดตั้งครีเอเตอร์ซีฟ ดีเอฟทีที่เข้า
ด้วยกันจะช่วยกำจัดสัญญาณรบกวนหรือ ฮาร์โมนิกออกไป ทำให้ได้
สัญญาณที่ดีในการนำไปควบคุมระบบต่อไป ดังรูปที่ 9 และ 10 ค.



รูปที่ 13. สัญญาณแรงดันกระแสสลับที่เกิดการเปลี่ยนแปลงที่ 25Hz



รูปที่ 14. สัญญาณแรงดัน dq ก่อนเข้าสู่ครีเอเตอร์ซีฟ ดีเอฟที ที่ 25Hz



รูปที่ 15. สัญญาณแรงดัน dq ที่ออกจากครีเอเตอร์ซีฟ ดีเอฟที ที่ 25Hz

รูปที่ 10 การปรับปรุงสัญญาณแรงดันที่มีการเปลี่ยนแปลงความถี่ 25 Hz

7. บทสรุป

จากผลการวิจัยการทดลองชุดตรวจจับแรงดัน ที่มีการติดตั้งชุด
ครีเอเตอร์ซีฟ ดีเอฟทีเข้าด้วยกัน เพื่อได้สร้างสัญญาณแรงดันที่ดี ก่อนส่งการ
ใช้ชุดตรวจจับแรงดันเข้าในระบบไฟฟ้าพบว่า ชุดตรวจจับแรงดัน
สามารถตรวจจับแรงดันที่เกิดการเปลี่ยนแปลงขึ้นในระบบได้ใช้เวลา 0.04
วินาที หรือก่อนครึ่ง ไซเคิล ซึ่งมีความเร็วเป็นที่ยอมรับได้ในมาตรฐาน
ของการเปลี่ยนแปลงแรงดัน IEEE 1159[8] อีกทั้งการปรับปรุงสัญญาณ
แรงดันด้วยวิธีการของรีเฟรช ดีเอฟที ยังสามารถช่วยกำจัดสัญญาณ
รบกวนที่มีผลต่อการสั่งการชุดควบคุมให้หมดไป นั่นหมายถึงสัญญาณ
แรงดันที่ได้มีประสิทธิภาพที่ดีขึ้น เพื่อเป็นประโยชน์ต่อการควบคุมที่ดี
ต่อการควบคุมต่อไป

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] วรณิ ศรีสกตราม, วันชัย ทรัพย์สิงห์ และไพศาล บุญเยี่ยม, “ การ
เปรียบเทียบวิธีการตรวจจับแรงดันคกซ์วูร์ไม่สมมาตร เพื่อ
ปรับปรุงคุณภาพไฟฟ้า, ” cecon ,ครั้งที่ 29, 9-10 พฤศจิกายน 2549,
- [2] N.G.Hingorani and L. Gyugyi, “Understanding FACTS” IEEE
Trans. Power Engineering Society, pp.1-29, 2000.
- [3] A. Ghosh and G. Ledwich, “Power Quality enhancement using
custom power devices,” London , pp.1-54 , 2002.
- [4] Q.Zeng and L.Chang , “ A new method for three-phase detection
and protection based on reference frame transformation, ”
IEEEPower Electronics Specialists Conference. Aachen,
Germany,2004
- [5] กิตติวัฒน์ เชื้องนิณ, การลดความยุ่งยากของอัลกอริทึมการควบคุม
สำหรับตัวตรวจแรงดันคกซ์วูร์จากมุมมองเชิงปฏิบัติ,
วิทยานิพนธ์ วิศวกรรมไฟฟ้า จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2549.
- [6] Nakano et al., “Frequency Detection Method Based on Recursive
DFT Algorithm,” PSCC 14th, 24-28 June 2002, Sevilla .
- [7] ประจวบ บุญศรีรัมย์, วงจรกรองกำลังแอกทีฟพาสสำหรับระบบ
3 เฟส 4 สายที่ใช้รีเฟรช ดีเอฟที, วิทยานิพนธ์ปริญญาโท
วิศวกรรมไฟฟ้า จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2545.
- [8] IEEE 1159 : 1995, IEEE Recommended Practices on Monitoring
Electric Power Quality.

THE 2nd RMUTP INTERNATIONAL CONFERENCE

2010



GREEN TECHNOLOGY AND PRODUCTIVITY



PROCEEDINGS

29-30 JUNE 2010

PATHUMWAN PRINCESS HOTEL
BANGKOK, THAILAND



TOMSK
STATE
UNIVERSITY

Fluctuation Voltage Control of Wind turbines via STATCOM

Warunee Srisongkram^{1*}, Krischonme Bhumkittipich², Pramuk Unahalekhaka¹,
Nattapong Phanthuna³, Wanida Pusorn², and Kittiwat Chiangchin⁴

1) Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology (RMUT)
Suvanabhumi

2) RMUT Thunyaburi, 3) RMUT Phra Nakhon, 4) ABB Company Limited

*Corresponding Author: Waruneesri@hotmail.com

Abstract

This paper presents distributed STATCOM for controlling voltage in distribution line with wind turbines generations at 48 volts. The connection of wind turbine to distribution systems may affect the voltage quality offered to the consumers. One of the factors contributing to this effect is the rapid variations of the wind turbine output power, which cause respective fluctuations in the supply voltage. This paper presents the design, control and analysis of a Distributed STATCOM when combined with a wind turbine comprising small variable speed generators, in this paper it is shown that the distributed STATCOM, controlled via a rotating referent frame: RRF and recursive DFT are simple method to DSP control technique. The result of experiments the STATCOM can improve the transient stability voltage of wind turbine, that we have referred the IEEE159:1995 standard of power quality.

Key words: STATCOM, Recursive DFT, Wind turbines

1. Introduction

Voltage fluctuation is a power quality problem in a power transmission system which could effect to sensitive loads such as electronic loads, control board of a machine etc. The loads might malfunction, lose control or stop. Most industrial factory has many machines in a production process. [1] In the case, malfunction of a machine in the process could lead to the whole process failed, product damaged and a lot of money lost. Like the power transmission system, a system of power generating by a wind turbine might have the fluctuation voltage depending on the condition of wind which is the power source. An example of the voltage from a wind turbine is shown as Fig.1. [2]

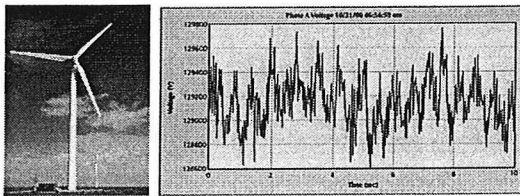


Fig1.Voltage of a wind turbine generator

Many solutions for solving the power quality problem including the fluctuation voltage have been researched in order to protect the loads which are connected into the system. The power flow control in a transmission line is an interesting solution. Recently, power electronic devices play an important role in the power quality solution. They make an efficient way to control the power flow. The complete topology is known as UPFC (Unified Power Flow Controller) which combines two sub-topologies, i.e. SSSC (Static Synchronous Series Compensator), STATCOM (Static Synchronous Compensator) [3] as shown in Fig.2. SSSC is connected in series and

STATCOM is connected in parallel into a system.

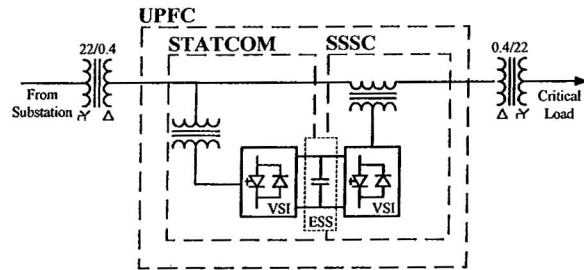


Fig.2 Power flow control topology

Fluctuation voltage could be solved by only a sub-topology; SSSC or STATCOM which each sub-topology has their advantage and disadvantage over the other. The interesting sub-topology in this research is STATCOM. It will be used to solve the fluctuation voltage of a wind turbine generator.

2. STATCOM

STATCOM is a device which connected in parallel into a system and could be varied both generating and drawing reactive power. Generally, STATCOM is used to regulate the AC voltage level at PCC. STATCOM is, furthermore, also used to maintain the stability of a system. A structure and installation of STATCOM into a system are shown in Fig.3. STATCOM consists mainly of VSI (Voltage Source Inverter) and has a DC capacitor which is a power source. VSI will be connected into a system via three interface reactors; L_C . By this method, VSI could be controlled as CSI (Current Source Inverter) in order to control power flow. R_C is defined as losses of the inverter. Mainly, STATCOM could exchange only reactive power with a system. In case of active power, it could not be exchanged by this structure due to small power source. STATCOM could, however, be modified in order to control both of reactive and active

power by changing the DC source such as battery instead of the existing DC capacitor.

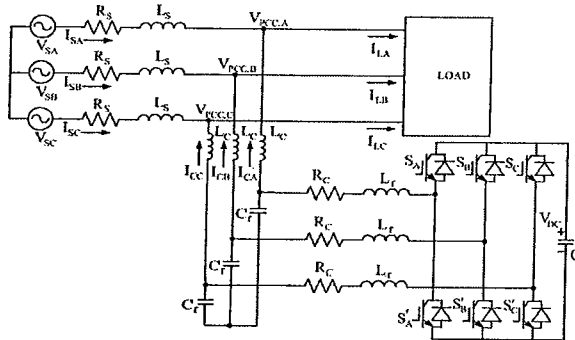


Fig.3 Structure and installation of STATCOM

3. Principle of operation

Fig.4 shows an operation diagram of STATCOM in this research. IPM is a power electronic module which is used as the inverter. The DSP (Digital Signal Processor) board is TMS320F2812.

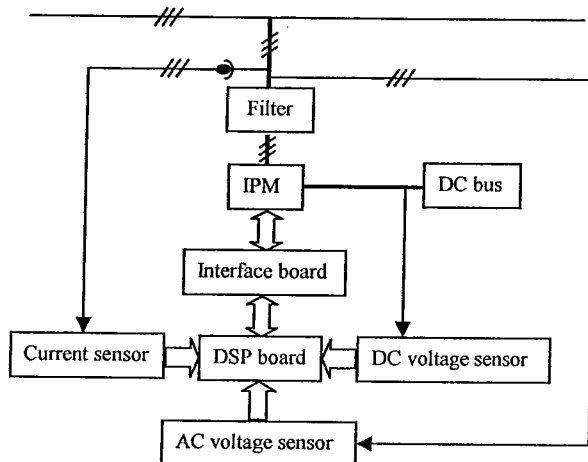


Fig.4 Diagram of STATCOM structure

The system voltage is measured and sent to the processor unit in order to detect voltage fluctuation and control the flow of reactive power for regulating the voltage. The fluctuation voltage will be detected on d-q axis or rotating referents

frame (RRF). Furthermore, the voltage signal will be improved by filtering which is called “recursive discrete Fourier transform or recursive DFT” [4], [5], [6]. The reactive power flow will be control via controlling the current of STATCOM which is injected via the power module and through passive low pass filter into the system. The principle control of the STATCOM according to the operation principle could be explained briefly as following.

3.1 dq detection method

The voltage detection method in this research is referred to the previous research [7] which detects a voltage vector on the rotating reference frame. The three phase voltage of a system will be transformed to a vector voltage on the stationary reference frame (SRF) according to equation (1). The vector on SRF consists of V_α and V_β . Next, it would be transformed to be the vector voltage on RRF which consists of V_d and V_q via equation (2). Fig.5 shows an example of d-q voltage component.

$$\begin{bmatrix} V_\alpha \\ V_\beta \end{bmatrix} = \frac{2}{3} \begin{bmatrix} 1 & \frac{1}{2} & \frac{1}{2} \\ 0 & \frac{\sqrt{3}}{2} & -\frac{\sqrt{3}}{2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_{SA} \\ V_{SB} \\ V_{SC} \end{bmatrix} \quad (1)$$

$$\begin{bmatrix} V_d \\ V_q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \theta & \sin \theta \\ -\sin \theta & \cos \theta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_\alpha \\ V_\beta \end{bmatrix} \quad (2)$$

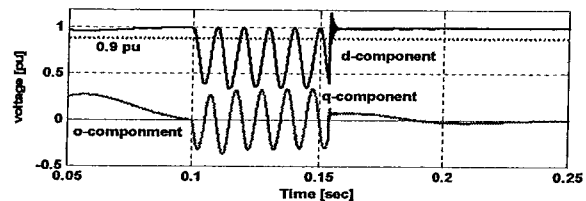


Fig.5 Signal of d-q voltage component

3.2 Recursive DFT

A voltage signal in a system might consist of the symmetrical components, harmonic components as well as some noise depending on each individual system. So the filtering process has to perform in order to eliminate the undesired signals. Recursive DFT (RDFT) which is a filtering method is applied in this research in order to obtain only the positive component of the voltage. RDFT could easily implement in the digital world and does not quite effect to the control. The voltage signal obtained from the d-q detection method on d-q axis rotates at fundamental frequency in positive direction. Therefore, the positive sequence which has the same frequency will become a DC signal on d-q axis. On the other hand, the undesired periodic signals, negative and zero sequence as well as all harmonics will still oscillate around the DC signal. This means that the DC signal, positive sequence, could be obtained easily by using the moving average filter as equation 3. The block diagram of RDFT is shown in Fig.6.

$$D_h(z) = \frac{1}{N} \frac{1 - z^{-N}}{1 - z^{-1}} \quad (3)$$

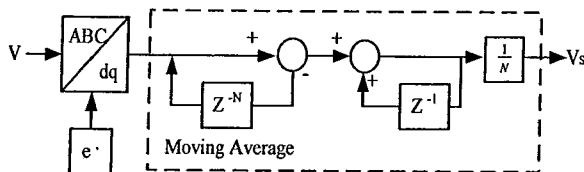


Fig.6 Recursive DFT Method

A simulation[8] of the RDFT with window length of 10ms is shown as Fig.7. The voltage of the simulation is modulated by some harmonics and its magnitude is modulated by 0.1pu., 15Hz sinusoid as shown in Fig.7a. The

fluctuation voltage starts at 0.1st second and end at 0.4th second.

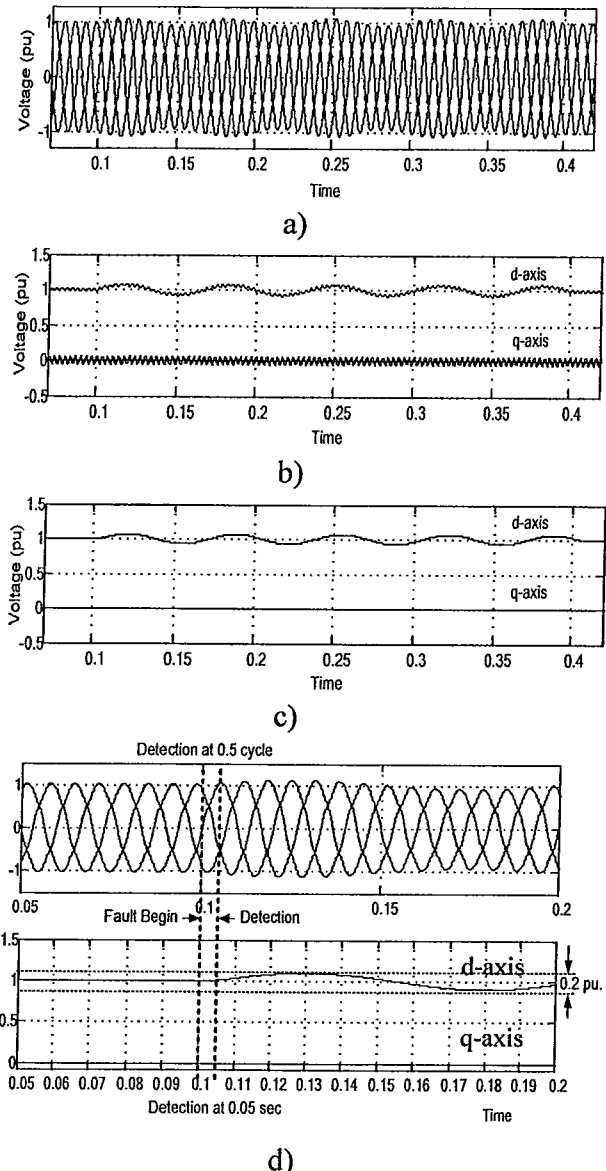


Fig.7 Simulation of fluctuation voltage detection

- a) Fluctuation voltage with harmonics
- b) d-q voltage c) d-q voltage by RDFT
- d) Delay time of the signal

Fig.8b shows the voltage on d-q axis which consists of the positive sequence and harmonics. Fig.8c shows the d-q voltage which is filtered by RDFT. The signal has only the positive sequence. This means that

the RDFT could eliminate the undesired signals which are harmonics in this case.

Fig.7 shows the result of delay time of RDFT that it could detect the magnitude change of the voltage at 0.105th second after the magnitude of the voltage started to increase at 0.1st second. This means that the method could detection the magnitude of voltage within 0.005 second or 0.4 cycle and it could detect the change of voltage magnitude between 0.9pu. and 1.1pu.. Therefore, the d-q detection method could be applied for detecting the voltage fluctuation in order to control STATCOM. Its accuracy and delay time, however, depends on the window length of the moving average filter and the frequency of voltage fluctuation.

3.3 Software

DSP is applied in this research in order to implement the algorithm of the principle control via C language. A flow chart of control software is illustrated in Fig.8.

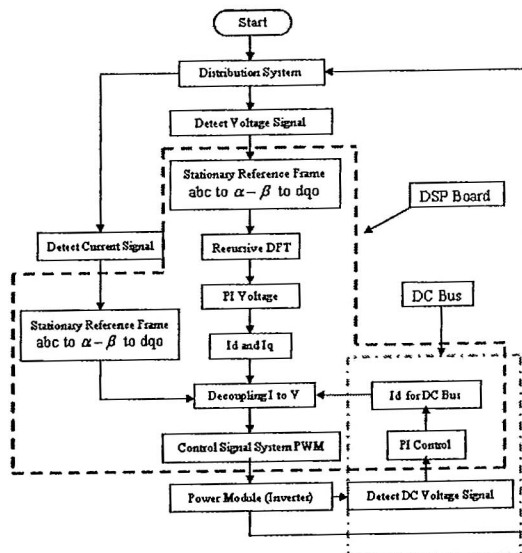


Fig.8 Flow chart of STATCOM software

After DSP received the system voltage signal, they will be transformed to d-q component and filtered by RDFT.

Next, the d component of the voltage is controlled by the current on q axis which will be injected into the system in order to control the reactive power flow via PI control. Finally, the q current signal will be converted to a voltage signal via Decoupling control to control VSI acting as CSI. At this state, the actual current on d-q axis is also required. For DC bus voltage control, the DC voltage is controlled by controlling the injected current on d axis in order to draw the active power from the system. Like the q current signal, the d current signal will also be sent to the Decoupling control.

4. Experimental setup and results

These experiments just show the possibility of the proposed algorithm that the voltage could be control. There are two cases of the experiments. First case is to connect the STATCOM into the low voltage system which is supplied from the electricity network. And the STATCOM is connected into the system which has a wind turbine as a power source. A target is to regulate the line to neutral voltage as 48V. Line impedance is 9mH. The results are shown as following.

4.1 Network with STATCOM

The STATCOM is connected into the network of the electricity authority through a three phase variac and there is a three phase resistive load; 400 W at 400V. Fig.9 shows the experimental setup.

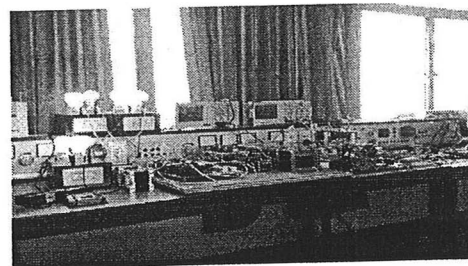


Fig9. Experimental setup for connecting the STATCOM to the network

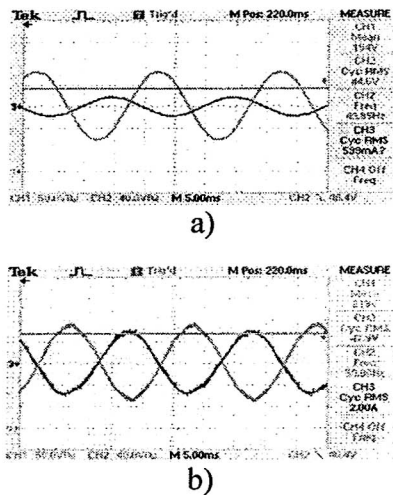


Fig.10 Voltage and current of the voltage regulation experiment when under voltage
a) before compensation
b) after compensation

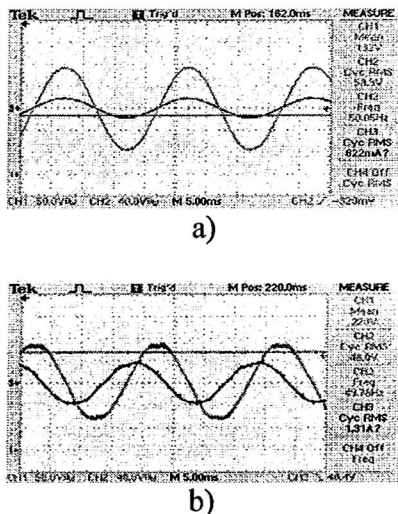


Fig.11 Voltage and current of the voltage regulation experiment when over voltage
a) before compensation
b) after compensation

Fig.10 shows the result of the voltage regulated by the STATCOM when the voltage is under 48V L-N. Fig.11 shows the result of the voltage regulated by the STATCOM when the voltage is over 48V L-N. The results

illustrate that the STATCOM could regulate the voltage as 48V.

4.2 Wind Turbine with STATCOM

The STATCOM is connected into the wind turbine system and there is a three phase resistive load; 400 W at 400V. Fig.12 shows the experimental setup.

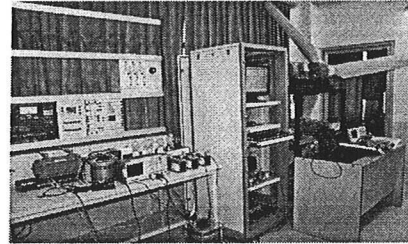


Fig.12. Experimental setup of the wind turbine system with the STATCOM

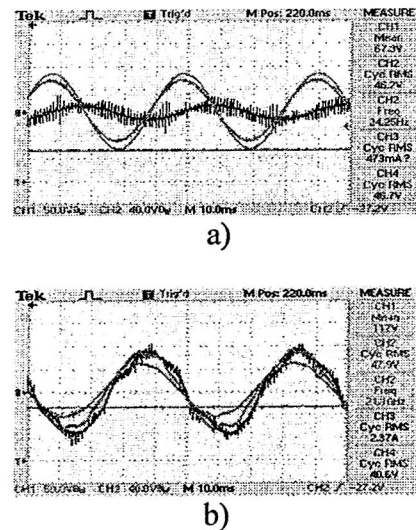


Fig.13 Voltage and current of the voltage improvement experiment of Wind Turbine
a) before compensation
b) after compensation

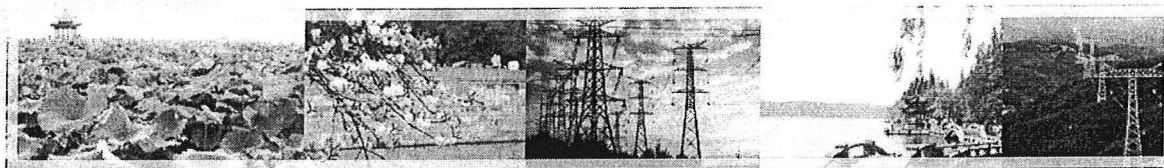


Fig.13 shows the result of the voltage improvement by the STATCOM when the voltage is under 48V L-N. The green signal is the voltage of the generator and the blue signal is the voltage of the load. The purple signal is the current in the system. The result illustrates that the STATCOM could improve the voltage to 48V.

5. Conclusions

This research illustrates that the STATCOM could regulate the voltage both of coming from the network and the wind turbine. The RDFT is applied to improve the d-q detection method to immunize the undesired signals. Moreover, it is very easy to implement in DSP; however, the response time and accuracy of the detector depends on the window length of the moving average filter and the frequency of voltage fluctuation. Although, the actual voltage fluctuation experiment is not performed but the possibility of the improvement of the fluctuation voltage is tested. The further aim of the research is to regulate the voltage to achieve the international standard; IEEE1159[9] in order that all loads which are connected into the system could work properly and be safer.

6. References

- [1] A. Ghosh and G. Ledwich, "*Power Quality enhancement using custom power devices*," London, pp.1-54, 2002.
- [2] B.Aegilo, "*Power Quality*," John Wiley & Sons Ltd, England
- [3] N.G.Hingorani and L. Gyugyi, "Understanding FACTS" *IEEE Trans. Power Engineering Society*, pp.1-29, 2000.
- [4] C.Kittiwat, "Simplification of control algorithms for voltage sag compensators from practical viewpoints" Thesis, Faculty of Engineering Chulalongkorn University, 2006.
- [5] Nakano et al., "Frequency Detection Method Based on Recursive DFT Algorithm," PSCC 14th, 24-28 June 2002, Sevilla.
- [6] I.Prachuab, "Improvement of voltage quality of a self-excited induction generator using an active filter" Thesis, Faculty of Engineering Chulalongkorn University, 2003.
- [7] S.Warunee et al., "Voltage sag detection method in power distribution systems for power quality issue" 32nd Congress on Science and Technology of Thailand conference, 19-21 Oct. 2006.
- [8] S.Warunee et al., "Voltage Detection and Voltage Implement at Different Frequency with Simple method for Compensator" 2nd EENET of Thailand conference, 5-6 Feb. 2010.
- [9] IEEE 1159 : 1995, IEEE *Recommended Practices on Monitoring Electric Power Quality*.

**Home****Introduction****Call For Papers****Committees****Accommodation and****Venue
Transportation****Schedule****Keynote & Panel****Cultural Night****General Information****Registration****About Hangzhou****Contact Us****Call For Papers**
 [论文征集.pdf](#)
 [call for papers.pdf](#)
Welcome to POWERCON2010

POWERCON2010, the seventh in the series, will mainly provide a large forum for the practicing engineers, scholars, researchers and graduate students to meet together to discuss various issues and share the latest developments in electric power engineering and power system technology. The theme of this conference is "Technological Innovations Making Power Grid Smarter". The constant changes to the electricity supply industry, the constraint of practicality and limited storage require smart solutions to fuel the rapid advancement of power systems. Therefore, the conference will focus not only on traditional power system issues but also new challenges facing us resulted from such as distributed generation, renewable generation and its integration into power systems, UHV transmission, wide area interconnections, development of smart grid, energy storage, energy saving and emission reduction.

Main Topics

1. Bulk Power Transmission and Backbone Grid
 - 1.1 Transmission Planning in the Market Environment and Renewable Energy Integration
 - 1.2 UHVAC and UHVDC Power Transmission
 - 1.3 Power System Simulation and Modeling
 - 1.4 Power System Protection, Control and Operation
 - 1.5 Solutions to Prevent System Blackout and Voltage Collapse
2. Wind and Solar Power Generation Development
 - 2.1 Development of Large Scale Wind and Solar Power Generation
 - 2.2 Necessary Grid Infrastructure for Accommodating Large Scale Renewable Power Generation
 - 2.3 Integration of Small and Medium Sized Wind and Solar Power Generation
 - 2.4 Grid Operational Challenges with Increased Variability and Uncertainty and Solutions
 - 2.5 Other Renewable Energy Source Development
3. Development of Smart Grid Technology
 - 3.1 Objectives, Benefits and the Road Map of Smart Grid Implementation
 - 3.2 WAMS Application
 - 3.3 Cyber Security & Structure of the Communication System
 - 3.4 Standards
 - 3.5 Advanced Metering Infrastructure and Home Area Networks
 - 3.6 DSM and Application of Demand Response
 - 3.7 Smart Dispatching, Security Analysis and Supervisory Control of Power Grid
 - 3.8 Smart Substations and Equipment
 - 3.9 Maintenance and Asset Management
4. Power Electronics (PE)
 - 4.1 Application of PE in the Interface Between Renewable Generation and Power System
 - 4.2 VSC Based HVDC
 - 4.3 New Development of FACTS
 - 4.4 FACTS Technology Applied in Power Distribution System
 - 4.5 PE Valve Testing
 - 4.6 PQ Improvement
5. Equipment and Technology in Transmission and Distribution Engineering
 - 5.1 Insulation Technology
 - 5.2 Disaster Prevention and Control
 - 5.3 Diagnosis Technology, Life Assessment, Condition Monitoring and Maintenance of Equipment
 - 5.4 Automation Technology
6. Emerging Technology Development
 - 6.1 Micro-Grid and Distributed Generation
 - 6.2 Plug-in Hybrid Electric Vehicles and Their Impact on System
 - 6.3 Energy Storage
 - 6.4 Nanotechnology
 - 6.5 Efficient Energy Use
 - 6.6 Superconductivity Application in Power System

Summary of Important Dates

-Deadline of Abstract Submission	March 1, 2010
-Notification of Abstract Acceptance	April 15, 2010
-Deadline of Full Paper Submission	June 15, 2010
-Notification of Full Paper Acceptance	August 1, 2010

-Deadline of Registration for Paper Publication and Early Bird Registration September 1, 2010
-Conference Period October 24-28, 2010

Submission of Abstracts

Abstracts of 300-500 English words should be submitted via the Abstract Online Submission at the POWERCON2010 web on or before March 1, 2010. Abstract submission will be available online in December, 2009.

Notification of Abstract Acceptance

All received abstracts will be peer-reviewed by the POWERCON2010 Technical Program Committee. The author for correspondence will be notified by email as to the acceptance, rejection or revision of the proposed abstract by April 15, 2010.

Notification of Full Papers

Authors, whose abstracts are notified as to acceptance, are requested to submit a 6-8 page full paper electronically through the Paper Online Submission web on or before June 15, 2010. All papers must be prepared in accordance with the procedures outline in the Authors Kit, available on the PES web site <http://www.ieee.org/power> and the conference web site. All the accepted papers will be included in the IEEE Xplore database. As a result of this, they will automatically be indexed by EI.

Notification of Full Paper Acceptance

All the submitted papers will be reviewed by the POWERCON2010 Technical Program Committee. The author for correspondence will be notified of the decisions by email regarding their paper by August 1, 2010. A preliminary program will thereafter be announced on the web around end of July. At least one author of each paper MUST complete the registration by registering online for the conference and making appropriate payment on or before September 1, 2010.

Conference Language

The official language of the Conference is English.

CopyRight:2009 CSEE (Chinese Society for Electrical Engineering)

Distributed STATCOM for controlling Voltage of Wind Turbine Generator

W. Srisongkram, N. Phanthuna, K. Bhummkittipich *Member, IEEE*, W. Pusorn and K. Chiangchin

Abstract-- This paper describes analysis and control design of a distribution level static synchronous compensator (DSTATCOM) to control the voltage at the PCC in order to keep the power constant at the load from intermittent wind speeds. For fast response requirement, a feedforward compensation scheme is derived and employed in the paper. Firstly, the mathematical model of the DSTATCOM is derived. Then the compensation principle is described with applying RDFT in order to immune any undesired signals. Accordingly, a hardware prototype is built with a fix-point DSP TMS320F2812-based system. Use of a current-controlled PWM inverter as the power stage of the DSTATCOM generates needed compensation currents for real-time load compensation. Finally, experimental results confirm the performance of the proposed DSTATCOM.

Index Terms-- DSTATCOM, Distribution Line, Wind Turbine

I. INTRODUCTION

Recently, Thailand recognizes the importance of using more renewable energy like many countries which are developing renewable energy work more currently. Wind energy is not only free but it is also clean. Wind turbines were established in many areas of Thailand with a capacity from 1 kW up to 2 MW. Due to the climate of Thailand which is tropical country, it affects the wind speed and volume to be not stable. Sometimes the speed only 1m/s but sometimes is 14 m/s. Voltage from wind turbine is, therefore, not good enough to connect to the grid of the network as shown in Figure 1 which is the problem for electronic devices.

Many solutions for solving the power quality problem including the fluctuation voltage have been researched in order to protect the loads which are connected into the system.[1] The power flow control in a transmission line is an interesting

solution. Recently, power electronic devices play an important role in the power quality solution.[2] They make an efficient

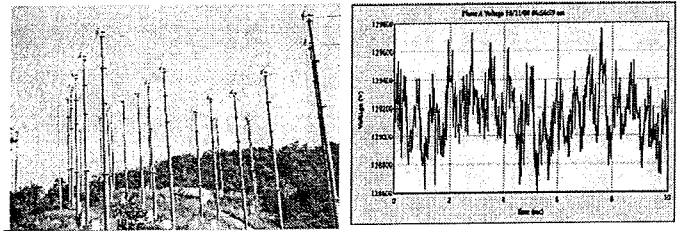


Fig.1. Wind turbine generator at Koh Lan Island in Thailand

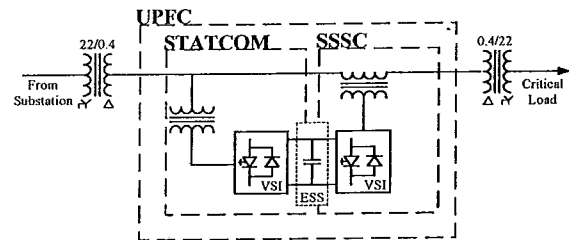


Fig.2. Power flow control topology

way to control the power flow. The complete topology is known as UPFC (Unified Power Flow Controller) which combines two sub-topologies, i.e. SSSC (Static Synchronous Series Compensator), STATCOM (Static Synchronous Compensator) [3] as shown in Fig.2 SSSC is connected in series and STATCOM is connected in parallel into a system.

Fluctuation voltage could be solved by only a sub-topology; SSSC or STATCOM which each sub-topology has their advantage and disadvantage over the other. The interesting sub-topology in this research is Dstatcom. It will be used to solve the fluctuation voltage of a wind turbine generator. The principle, analysis and implementation of the Dstatcom are described. Finally, the experiment of the Dstatcom is performed by connecting it with a wind turbine; 1 kW, 48V in order to test its performance regarding voltage regulation at various voltages.

II. MATHEMATICAL MODEL OF DSTATCOM

The STATCOM and the sensitive load are connected at PCC as shown in Fig. 3. To analysis the system, we have to assume the fluctuation voltage and STATCOM to be ideal. So, the equivalent circuit of STATCOM can be written as shown on Fig.4. The output voltage of voltage source inverter is defined as V_{inv} . The resistor and inductor filter are defined as

W. Srisongkram is with Electrical Engineering Field of Study, Faculty of Engineering and Architecture, Rajamangala University of Technology Suvanabhumi, Nonthaburi Center, Nonthaburi, Thailand (e-mail: waruneesri@rmutsb.ac.th)

N. Phanthuna is with Electrical Engineering Field of Study, The Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Phar Na khon, Bangkok, Thailand (e-mail:nattapong100@gmail.com)

K. Bhummkittipich is with Power and Energy System Research Center, Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Thanyaburi, Pathumthani, Thailand (e-mail: krischonme.b@en.rmUTT.ac.th)

W. Pusorn is with Power and Energy System Research Center, Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Thanyaburi, Pathumthani, Thailand

K. Chiangchin is with ABB-Thailand Company Limited, Bangpoo, Samutprakarn, Thailand, (e-mail: Kittiwat.Chiangchin@th.abb.com)

R_f and L_f , respectively. The grid voltage, V_{grid} , is the voltage at

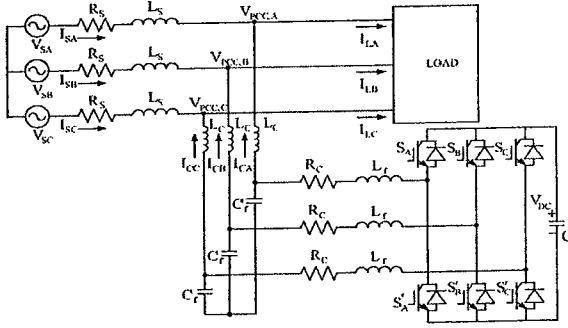


Fig. 3. Shunt connection of the STATCOM to the distribution line.

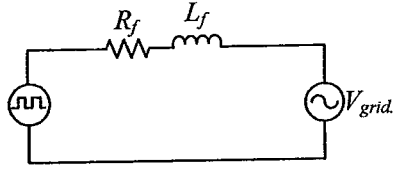


Fig. 4. Equivalent circuit of shunt-compensator.

PCC. On Fig. 3 can also transfer to algebraic equation as shown in equation (1) to (11) for creating the STATCOM mathematical model. The model is defined from the stationary to synchronous reference frame [4].

when V_{inv} is inverter voltage

V_{grid} is voltage in power system and voltage at PCC

$$L_f \frac{di}{dt} + R_f \cdot i = V_{inv} - V_g \quad (1)$$

Stationary reference frame to synchronous reference frame

$$\begin{bmatrix} V_\alpha \\ V_\beta \end{bmatrix} = \sqrt{\frac{2}{3}} \begin{bmatrix} 1 & -\frac{1}{2} & \frac{1}{2} \\ 0 & \frac{\sqrt{3}}{2} & -\frac{\sqrt{3}}{2} \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_a \\ V_b \\ V_c \end{bmatrix} \quad (2)$$

$$\begin{bmatrix} V_d \\ V_q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos\theta & \sin\theta \\ -\sin\theta & \cos\theta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_\alpha \\ V_\beta \end{bmatrix} \quad (3)$$

From Equation (1) can be transferred dq axis model by using Park's Transformation in equation (2) to (3).

$$L_f \left[\frac{d}{dt} (i_d + j i_q) + j \omega (i_d + j i_q) \right] + R_f (i_d + j i_q) = (V_{inv} v_d + j V_{inv} v_q) - (V_g d + j V_g q) \quad (4)$$

Then separated equation (4) can be algebraic equation of dq-axis; d-axis as shown equation (5), q-axis in equation (6).

$$L_f \frac{d}{dt} i_d - L_f \omega \cdot i_q + R_f \cdot i_d = V_{inv} v_d - V_g d \quad (5)$$

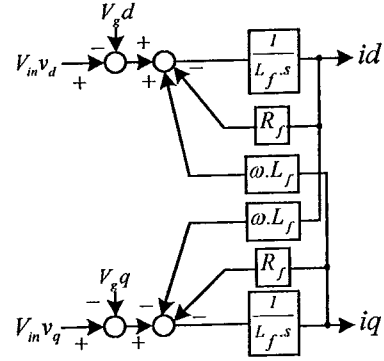


Fig. 6. Mathematical Model of STATCOM

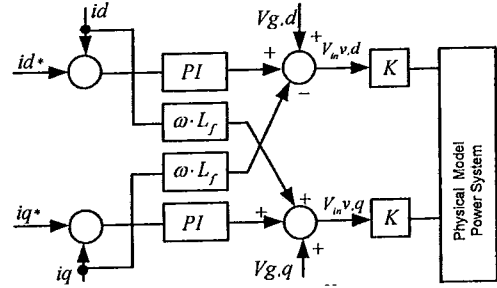


Fig. 7. Mathematical model of decoupling control.

$$L_f \frac{d}{dt} i_q - L_f \omega \cdot i_d + R_f \cdot i_q = V_{inv} v_q - V_g q \quad (6)$$

Fine current in dq0-axis from equation (2) to (4) as shown equation (7) and (8)

$$i_d = \frac{1}{L_f \cdot s} [V_{inv} v_d - V_g d + L_f \omega \cdot i_q - R_f \cdot i_d] \quad (7)$$

$$i_q = \frac{1}{L_f \cdot s} [V_{inv} v_q - V_g q + L_f \omega \cdot i_d - R_f \cdot i_q] \quad (8)$$

And equation (7)-(8) can be model in the block diagram as shown in Figure 6.

The objective is to produce a sinusoidal ac output whose magnitude and frequency can be controlled. The decoupling control has been implemented in the synchronous reference frame because the synchronous frame controller can eliminate steady state error and has fast transient response. Cross-coupling on d and q components are shown in Fig. 7.[5]

The feed-forward component as shown in Fig.7 is the scheme that is used to eliminate the initiate sample value. The PI regulators, namely K_p and K_i [5], are designed to keep the stability margin of the entire system by getting the eigen values on the left hand side of the S-plane. The DC-Link voltage must be controlled to keep the constant DC voltage that used for generating the desired voltage component of shunt compensator.

III. COMPENSATION PRINCIPLE OF DSTATCOM

Figure 8 shows the configuration of the Dstatcom which consists of a three phase voltage source converter (VSC), a DC capacitor C_{bus} and an interface inductor on the ac-side. A low pass filter which consists of a capacitor C_f , an inductor L_f and a damping resistor R_f is added to the ac-side of VSC. The reactive power output of the DSTATCOM in each phase, which is inductive or capacitive, can be independently controlled by the controller of the DSTATCOM for real-time load compensation. For fast real-time compensation, the DSTATCOM needs to detect the line-to-line voltage data very quickly to calculate the needed compensation current. So the dq detection method with RDFT [6],[7] is applied. By this way, any undesired signals such as harmonics are reduced. Moreover, this method can be implemented very easily by a high performance DSP-based system

After DSP received the system voltage signal, they will be transformed to d-q component[8] and filtered by RDFT. Next, the d component of the voltage is controlled by the current on q axis which will be injected into the system in order to control the reactive power flow via PI control. For DC bus voltage control, the DC voltage is controlled by controlling the injected current on d axis in order to draw the active power from the system. Combining the above two currents generates the needed d and q current command signals for the DSTATCOM. Finally, the d and q current signals is converted to a voltage signal via Decoupling control which is shown in Fig.7 in order to control VSI acting as CSI. At this state, the actual current on d-q axis is also required.

IV. HARDWARE IMPLEMENTATION

The compensation principle is implemented by using a fix-point DSP TMS320F2812-based system. The execution program of the controller is firstly developed in the host computer with a mixed form of C language and assembly language. Then the completed execution file is downloaded to the target DSP via a data link. A sample rate is 10 kHz. The execution time is fast enough for the real-time control of the DSTATCOM. Block diagram of control software is illustrated in Fig.9.

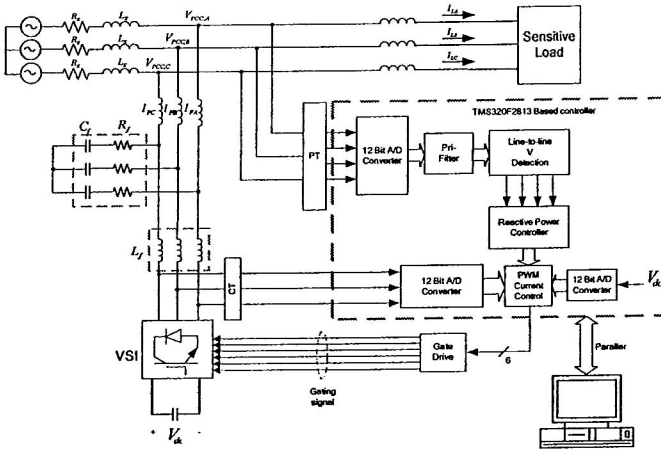


Fig. 8. Overall schematic diagram of proposed Dstatcom

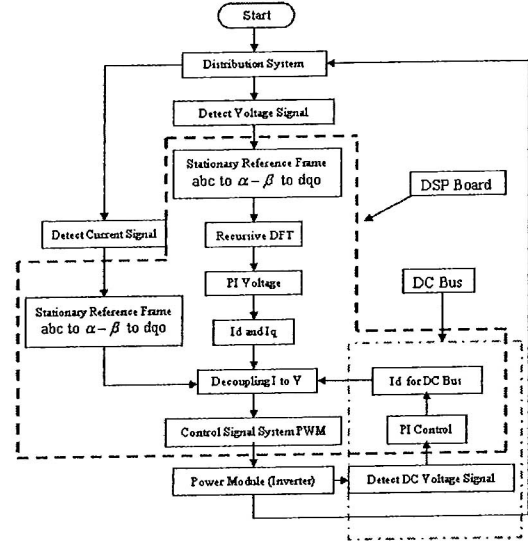


Fig. 9 shows the block diagram for the hardware

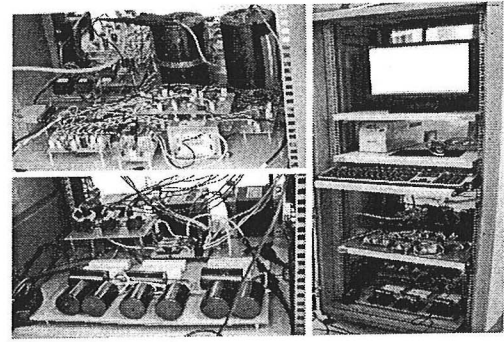


Fig.10. Hardware prototype of the proposed DSTATCOM.

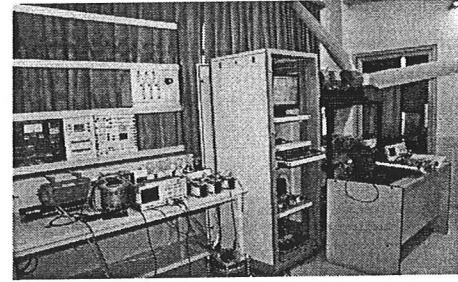


Fig. 11. Experimental setup of the wind turbine system with the Dstatcom

The circuit parameters of the Dstatcom in Fig. 8 are $C_f=10 \mu F$, $R_f = 23.5 \text{ ohm}$, $L_f = 4 \text{ mH}$ and $C_{bus} = 5,000 \mu F$. An Intelligent power module (IPM) is employed for the power stage of the Dstatcom. The switching frequency of the inverter is 10 kHz.

V. EXPERIMENTAL SETUP AND RESULTS

The experiments setup is shown in Fig.11. The Dstatcom is connected into the wind turbine system which there is a three phase resistive load. A target is to regulate the line to line voltage as 48V. The system parameters are shown in Table I.

Table II shows results of the voltage improvement by the Dstatcom when the voltage is under 48V L-L. V_s is the line-to-

line voltage at the terminal of the wind turbine. Table III shows results of the voltage improvement by the STATCOM when the voltage is over 48V L-L. The results illustrate that the STATCOM could regulate the voltage at 48V.

TABLE I
SYSTEM PARAMETERS FOR EXPERIMENT

System Quantities	Values
System Voltage Level	48 V
Load	400 W at 400V
Line impedance	9 mH
DC-bus Voltage	200 V

TABLE II
EXPERIMENTAL RESULTS OF 48V REGULATION FOR UNDER-VOLTAGE.

V _s (V _{rms})	V _{PCC} (V _{rms})	I (A _{rms})	V _{dc} (V _{avg})	f (Hz)
28	47.8	7.56	200	16.23
29	47.8	7.10	200	16.54
30	47.9	6.79	200	16.98
31	47.8	6.38	200	17.19
32	47.9	5.98	200	17.64
33	47.8	5.56	200	18.05
34	47.9	5.12	200	18.41
35	48.1	4.78	200	18.89
36	48.2	4.29	200	19.22
37	47.8	4.01	200	19.68
38	47.9	3.72	200	20.01
39	47.8	3.16	200	20.11
40	47.9	2.61	200	20.39
41	48	2.25	200	20.85
42	47.8	1.78	200	21.12
43	47.8	1.22	200	21.39
44	47.8	0.58	200	21.85
45	48.2	0.42	200	22.58
46	47.8	0.32	200	23.49
47	47.8	0.30	200	24.05
48	47.8	0.28	200	24.81

TABLE III
EXPERIMENTAL RESULTS OF 48V REGULATION FOR OVER-VOLTAGE.

V _s (V _{rms})	V _{PCC} (V _{rms})	I (A _{rms})	V _{dc} (V _{avg})	f (Hz)
48	47.8	0.28	200	24.81
49	47.9	0.34	200	25.25
50	47.8	0.38	200	25.69
51	47.8	0.45	200	25.98
52	47.8	0.67	200	26.41
53	48.1	1.25	200	26.87
54	48	1.85	200	27.23
55	47.9	2.31	200	27.65
56	47.9	2.69	200	27.99
57	47.8	3.21	200	28.35
58	47.8	3.79	200	28.89
59	47.8	4.20	200	29.31
60	47.9	4.68	200	29.75
61	47.9	5.21	200	30.12
62	48.1	5.64	200	30.58
63	48.2	6.09	200	30.89
64	48.1	6.48	200	31.23
65	48.2	6.81	200	31.65
66	48.1	7.29	200	32.06
67	48.1	7.50	200	32.49
68	48.1	7.85	200	32.95

VI. CONCLUSIONS

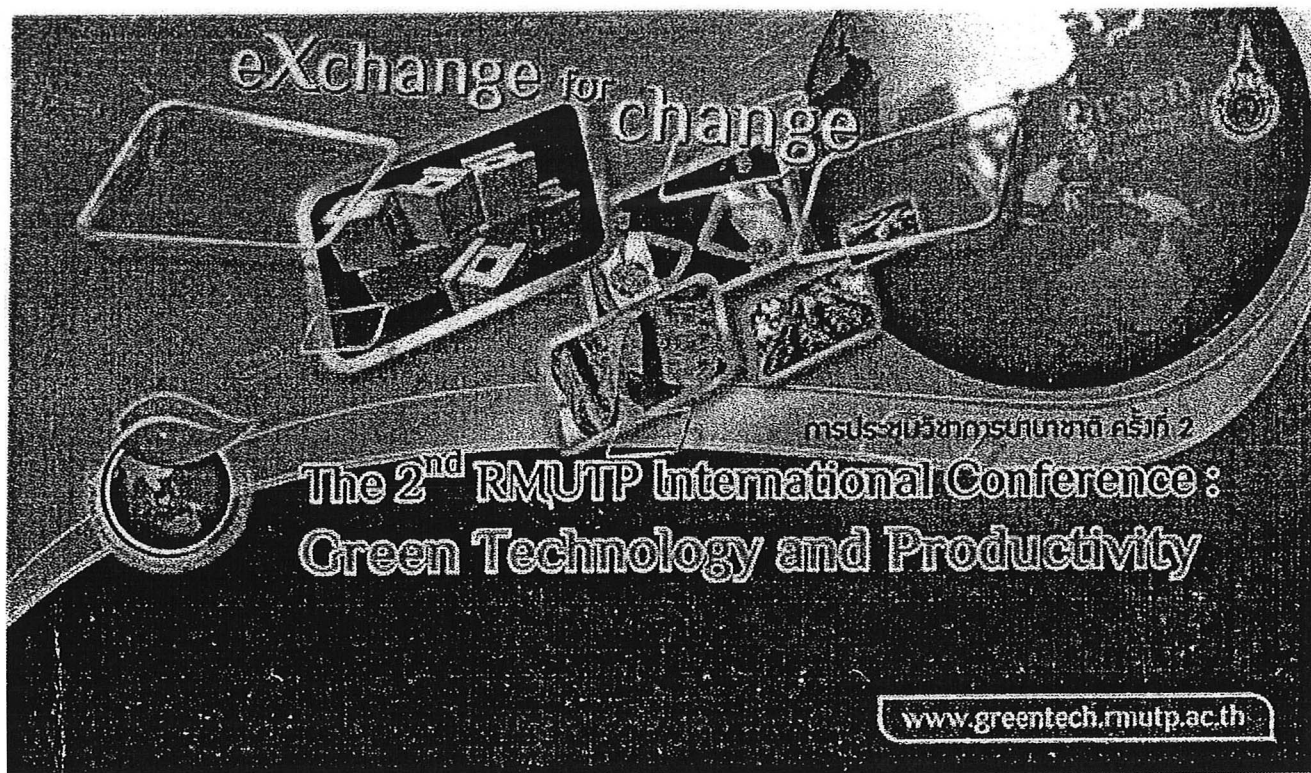
This research illustrates that the STATCOM could regulate the voltage coming from the network the wind turbine. The d-q detection with RDFT is applied to detect system voltage quickly and could immune any undesired signals. Moreover, it is very easy to implement in DSP; however, the response time and accuracy of the detector depends on the window length of the moving average filter and the frequency of voltage fluctuation. The further aim of the research is to solve the fluctuation voltage in a wind farm.

VII. ACKNOWLEDGMENT

The another is grateful to Office of the National Research Council of Thailand (NRCT) . For the research budgets, and thanks researcher of the Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology(RMUT) Suvanabhumi (RMUTSB), Thanyaburi (RMUTT)and Phra Nakhon (RMUTP) for collaborate to research.

VIII. REFERENCES

- [1] A. Ghosh and G. Ledwich, "Power Quality enhancement using custom power devices," London , pp.1-54 , 2002.
- [2] B.Aegilo, "Power Quality," John Wiley & Sons Ltd, England
- [3] N.G.Hingorani and L. Gyugyi, "Understanding FACTS" *IEEE Trans. Power Engineering Society*, pp.1-29, 2000.
- [4] C.Kittiwat, " Simplification of control algorithms for voltage sag compensators from practical viewpoints" Thesis, Faculty of Engineering Chulalongkorn University , 2006.
- [5] I.Prachuab,"Improvement of voltage quality of a self-excited induction generator using an active filter " Thesis, Faculty of Engineering Chulalongkorn University ,2003.
- [6] Nakano et al., "Frequency Detection Method Based on Recursive DFT Algorithm," PSCC 14th, 24-28 June 2002, Sevilla .
- [7] S.Warunee et al., "Voltage Detection and Voltage Implement at Different Frequency with Simple method for Compensator" 2nd EENET of Thailand conference ,5-6 Feb. 2010.
- [8] S.Warunee et al., "Voltage sag detection method in power distribution systems for power quality issue" 32nd Congress on Science and Technology of Thailand conference ,19-21 Oct. 2006.



THE 2nd RMUTP CONFERENCE ; GREEN TECHNOLOGY AND PRODUCTIVITY



**29 – 30 JUNE 2010
PATHUMWAN PRINCESS HOTEL
BANGKOK, THAILAND ~**

OGANIZED BY



**RAJAMANGALA
UNIVERSITY OF
TECHNOLOGY
PHRA NAKHON**



**TOMSK
STATE
UNIVERSITY**

