

## การจำลองสภาวะการทำงานของอุปกรณ์ชดเชยแรงดันแบบอนุกรมด้วยทฤษฎี

### Instantaneous Power Theory

#### DVR Based on Instantaneous Power Theory Performance Simulations

ถนอมศักดิ์ แก้วสฤณี\* และ กฤษณ์ชนม์ ภูมิภิตติพิชญ์\*

\*ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

อ. ธัญบุรี จ.ปทุมธานี 12110 โทรศัพท์: +66(2)-549-3571 โทรสาร:+66(2)-549-3422 E-mail: krischonme.b@en.rmutt.ac.th

#### บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอการวิธีการชดเชยแรงดันตกชั่วคราว ในระบบจำหน่ายไฟฟ้าเมื่อเกิดสภาวะแรงดันตกชั่วคราวด้วยอุปกรณ์ชดเชยแรงดันแบบอนุกรม เพื่อแก้ไขปัญหาแรงดันตกชั่วคราวที่ส่งผลกระทบต่ออุปกรณ์ที่มีความอ่อนไหวต่อการเปลี่ยนแปลงของแรงดันโดยใช้ทฤษฎี Instantaneous Power Theory ในการออกแบบอุปกรณ์ชดเชยแรงดันด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ จากการออกแบบสภาวะการเกิดแรงดันตกเนื่องจากความผิดพลาดของระบบแบบ Single Phase to Ground, Two Phase to Ground และ Symmetrical Three Phase to Ground ขนาดแรงดัน 0.6 p.u. ในช่วงเวลา 200ms. ผลจากการจำลองการชดเชยระบบด้วยอุปกรณ์ชดเชยแรงดันแบบอนุกรมพบว่า สามารถรักษาระดับแรงดันของระบบที่เกิดความผิดพลาดไปจากเดิมได้ โดยค่าแรงดันที่ได้จากการชดเชยระบบมีค่าเท่ากับ 1 p.u. ผลการศึกษาช่วยเพิ่มความน่าเชื่อถือของระบบจำหน่ายไฟฟ้าเมื่อเกิดแรงดันตกชั่วคราว หากถูกทำการชดเชยด้วยอุปกรณ์ชดเชยแรงดันแบบอนุกรมแล้ว จะส่งผลถึงความปลอดภัยของอุปกรณ์ต่างๆ ที่ใช้ในระบบให้ยาวนานยิ่งขึ้น เป็นการรักษาคุณภาพไฟฟ้าให้แรงดันมีเสถียรภาพที่ดี

คำสำคัญ แรงดันตกชั่วคราว อุปกรณ์ชดเชยแรงดันแบบอนุกรม เสถียรภาพแรงดัน

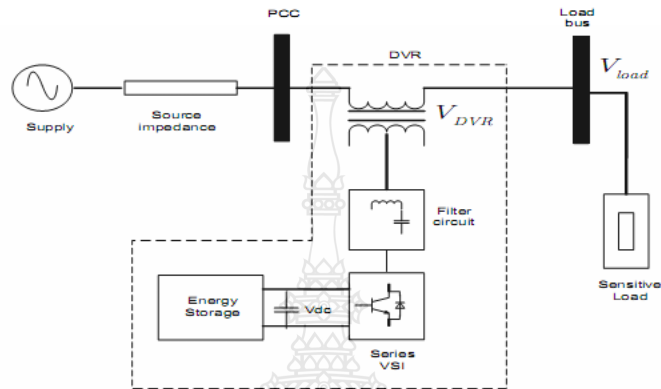
#### 1. บทนำ

เนื่องจากการเติบโตอย่างรวดเร็วของการผลิตสินค้าในภาคอุตสาหกรรม ขบวนการผลิตสินค้าจึงต้องมีขั้นตอนการผลิตที่มีประสิทธิภาพสูง ถูกต้อง รวดเร็ว และแม่นยำ ระบบควบคุมด้วยคอมพิวเตอร์ เครื่องจักร และอุปกรณ์ที่มีเทคโนโลยีทันสมัยใหม่ๆ ถูกนำมาประยุกต์ใช้อย่างกว้างขวางในทุกขั้นตอนการผลิต ซึ่งระบบหรืออุปกรณ์ข้างต้นมักมีอุปกรณ์พาวเวอร์อิเล็กทรอนิกส์ เป็นส่วนประกอบหลัก เนื่องจากอุปกรณ์พาวเวอร์อิเล็กทรอนิกส์เป็นอุปกรณ์ที่ความอ่อนไหวสูง(High Sensitive Equipment)ทำให้ต้องการระบบไฟฟ้ากำลังที่มีคุณภาพสูง ดังนั้นความผิดพลาดใดๆที่เกิดขึ้นในระบบจำหน่ายไฟฟ้า(แรงดันตก ชั่วขณะ แรงดันเพิ่มชั่วขณะ ไฟกระพริบ ฮาร์โมนิกส์ แรงดันกระชอก)มักทำให้อุปกรณ์พาวเวอร์อิเล็กทรอนิกส์เสียหายหรือทำงานผิดพลาดได้ โดยทั่วไปความผิดพลาดในระบบจำหน่ายไฟฟ้าที่มีความถี่ในการเกิดบ่อยครั้งและมีผลกระทบในวงกว้างก็คือแรงดันตกชั่วขณะ ตัวอย่างผลกระทบจากแรงดันตกชั่วขณะที่พบในระบบการผลิตเช่น ความเสียหายที่เกิดกับอุปกรณ์ตัวขับเคลื่อนความเร็วของมอเตอร์(Adjustable Speed Drive) การทริบของอุปกรณ์หลักที่ทำให้ขบวนการผลิตล้มเหลว เป็นต้น เพื่อลดผลกระทบจากแรงดันตกชั่วขณะและเพิ่มคุณภาพระบบไฟฟ้ากำลัง อุปกรณ์ชดเชยแรงดันแบบอนุกรม หรือ DVR (Dynamic Voltage Restorer) จึงถูกนำมาติดตั้งเพื่อแก้ปัญหาดังกล่าว

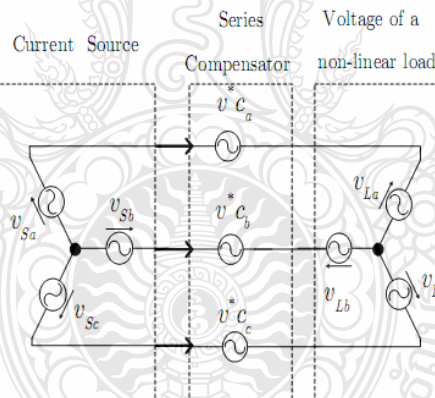
## 2. วิธีการวิจัย

### 2.1. อุปกรณ์ชดเชยแรงดันแบบอนุกรม (DVR)

อุปกรณ์ชดเชยแรงดันแบบอนุกรมหรือ DVR จะสร้างแรงดันชดเชยแทรกเข้าไปในระบบไฟฟ้าในขณะเกิดแรงดันตกชั่วคราว ซึ่งโดยทั่วไปประกอบด้วย 4 ส่วนหลัก คือ ส่วนแปลงพลังงานและตัวกรองฮาร์มอนิกส์ ส่วนที่ใช้เก็บพลังงาน หม้อแปลงสำหรับฉีดแรงดันเข้าระบบ และส่วนการควบคุม ในสภาวะปกติ DVR จะถูกบายพาสเพื่อลดกำลังสูญเสีย เมื่อเกิดแรงดันตกชั่วคราว ส่วนการควบคุมของ DVR จะสั่งให้ DVR สร้างแรงดันแทรกเพิ่มเข้าไปในระบบเพื่อชดเชยผลต่างแรงดันระหว่างแรงดันตกชั่วคราวและแรงดันปกติ นั่นคือจะทำงานหรือทำการชดเชยแรงดันเพียงขณะการเกิดแรงดันตกชั่วคราวเท่านั้น



รูปที่ 1 โครงสร้าง DVR



รูปที่ 2 วงจรสมมูลของ DVR

ในบทความ [1] นำเสนอการควบคุม DVR โดยการใช้การแปลงองค์ประกอบของแรงดันและจากแกนหนึ่งไปแกนหมุนร่วมกับเทคนิคการควบคุมแรงดันของอินเวอร์เตอร์แบบฮีสเตอร์รีซิส บทความที่ [2] นำเสนอการควบคุม DVR โดยการใช้การแปลงองค์ประกอบของแรงดันและจากแกนหนึ่งไปแกนหมุนร่วมกับเทคนิคการควบคุมแรงดันของอินเวอร์เตอร์แบบหลายระดับ บทความที่ [3] นำเสนอการควบคุม Active Filters เพื่อแก้ปัญหากระแสฮาร์มอนิกส์ในระบบจำหน่ายโดยใช้ทฤษฎี Instantaneous Power Theory ดังนั้นในบทความนี้จะได้นำเสนอรูปแบบการควบคุมนำ DVR แบบใหม่โดยใช้ทฤษฎี Instantaneous Power Theory กรอบการนำเสนอในบทความนี้ประกอบด้วย ลำดับแรกจะอธิบายถึงการทำงานและสมรรถนะเชิงพลวัตของ DVR ในการปรับปรุงคุณภาพกำลังไฟฟ้าในระบบส่งจำหน่ายไฟฟ้า ต่อจากนั้นจะนำเสนอแบบจำลองของ DVR ในแบบสามเฟสสามสาย พร้อมทั้งนำเสนอระบบควบคุมแรงดันไฟฟ้าที่ จุดเชื่อมต่อ โดยใช้ทฤษฎี Instantaneous Power Theory ซึ่งจะถูกจำลองลงบนโปรแกรม MATLAB/SIMULINK สุดท้ายจะกล่าวสรุปผลการทดลองและกล่าวถึงขีดจำกัดและงานวิจัยขั้นต่อไป

## 2.2. ทฤษฎี Instantaneous Power Theory

ทฤษฎี Instantaneous Power Theory ถูกนำเสนอครั้งแรกในปี ค.ศ. 1983 โดย Akagi et al. เป็นการศึกษากำลังไฟฟ้าจริงและกำลังไฟฟารีแอกทีฟของระบบสามเฟสสามสายที่ในเชิงเวลา ที่สามารถนำมาประยุกต์ใช้กับได้กับระบบทั้งในสภาวะคงตัว และสภาวะชั่วขณะ การคำนวณหาค่า Instantaneous Power ถูกดำเนินการโดยการแปลงแรงดัน ( $v_{abc}$ ) ที่จุดเชื่อมต่อและกระแสที่ไหลในสาย ( $i_{abc}$ ) ให้อยู่บนแกน  $\alpha\beta$  โดยใช้การเปลี่ยนรูปแบบ Clark Transformation [5] ดังนี้

$$\begin{bmatrix} x_0 \\ x_\alpha \\ x_\beta \end{bmatrix} = \sqrt{\frac{2}{3}} \begin{bmatrix} \frac{1}{\sqrt{2}} & \frac{1}{\sqrt{2}} & \frac{1}{\sqrt{2}} \\ 1 & -\frac{1}{2} & -\frac{1}{2} \\ 0 & \frac{\sqrt{3}}{2} & -\frac{\sqrt{3}}{2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_a \\ x_b \\ x_c \end{bmatrix} \quad (1)$$

เมื่อ  $x$  คือ แรงดันหรือกระแสไฟฟ้า เนื่องจากไม่ปรากฏองค์ประกอบลำดับศูนย์ ( $v_0$  และ  $i_0$ ) ในระบบสามเฟสสามสายจึงสามารถแยกพิจารณาเฉพาะแรงดันไฟฟ้า และกระแสไฟฟ้า จากองค์ประกอบ  $\alpha$  และ  $\beta$  เท่านั้น จะได้

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

$$e = v_\alpha + jv_\beta \quad (3)$$

$$i = i_\alpha + ji_\beta \quad (4)$$

จากสมการที่ (3) และ (4) สามารถคำนวณหาพลังงานได้ดังนี้

$$s = e.i^* = (v_\alpha + jv_\beta)(i_\alpha - ji_\beta) \quad (5)$$

$$s = (v_\alpha i_\alpha + v_\beta i_\beta) + j(v_\beta i_\alpha - v_\alpha i_\beta) \quad (6)$$

$$p = (v_\alpha i_\alpha + v_\beta i_\beta) \quad (7)$$

$$q = j(v_\beta i_\alpha - v_\alpha i_\beta) \quad (8)$$

นำสมการที่(7)และ(8) มาเขียนเมทริกซ์

$$\begin{bmatrix} p \\ q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} v_\alpha & v_\beta \\ v_\beta & -v_\alpha \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_\alpha \\ i_\beta \end{bmatrix} \quad (9)$$

$$p = \bar{p} + \tilde{p} \quad (10)$$

$$q = \bar{q} + \tilde{q} \quad (11)$$

$\bar{p}$  = กำลังไฟฟ้าจริงชั่วขณะเฉลี่ย

$\tilde{p}$  = กำลังไฟฟ้าจริงชั่วขณะออสซิลเลต

$\bar{q}$  = กำลังไฟฟ้าเสมือนชั่วขณะเฉลี่ย

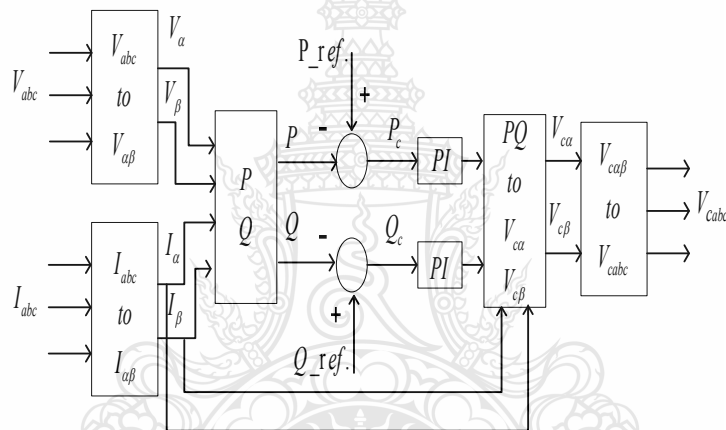
$\tilde{q}$  = กำลังไฟฟ้าเสมือนออสซิลเลตชั่วขณะ

### 2.3 การควบคุมการทำงานของ DVR

การควบคุมการทำงานของ DVR จะประกอบด้วย ชุดควบคุมกำลังไฟฟ้าจริงและกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟ โดยกำลังไฟฟ้าจริง และกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟ จะถูกนำมาคำนวณหาค่าแรงดันอ้างอิงบนแกน  $\alpha\beta$  ได้ดังสมการที่(12) จากนั้นแรงดันอ้างอิงบนแกน  $\alpha\beta$  จะถูกแปลงกลับไปเป็นแรงดันอ้างอิง 3 เฟส สำหรับชดเชย ดังแสดงในสมการที่(13)

$$\begin{bmatrix} v_{C\alpha}^* \\ v_{C\beta}^* \end{bmatrix} = \frac{1}{i_\alpha^2 + i_\beta^2} \begin{bmatrix} i_\alpha & -i_\beta \\ i_\beta & i_\alpha \end{bmatrix} \begin{bmatrix} p^* \\ q^* \end{bmatrix} \quad (12)$$

$$\begin{bmatrix} v_{C\alpha}^* \\ v_{C\beta}^* \\ v_{C\gamma}^* \end{bmatrix} = \sqrt{\frac{2}{3}} \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ -\frac{1}{2} & \frac{\sqrt{3}}{2} \\ -\frac{1}{2} & -\frac{\sqrt{3}}{2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v_\alpha^* \\ v_\beta^* \end{bmatrix} \quad (13)$$



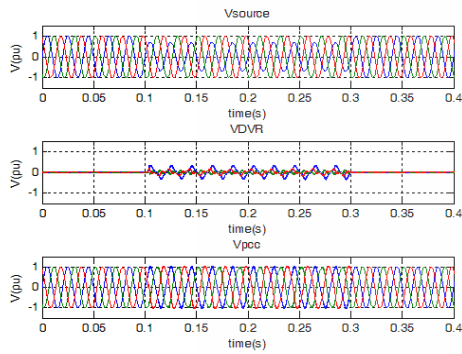
รูปที่ 3 โดอะแกรมการควบคุม DVR

ตารางที่ 1 พารามิเตอร์ของระบบในการจำลอง

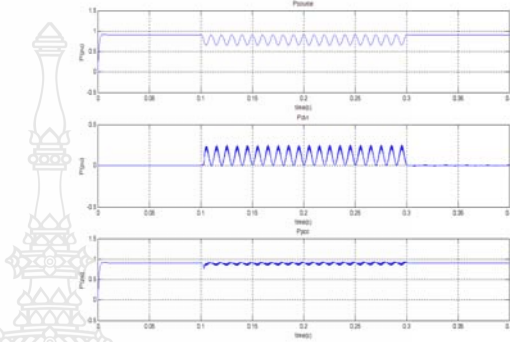
ตัวแปร	ค่าตัวแปร
แหล่งจ่ายแรงดัน	380Vrms 50 Hz
อัตราส่วนหม้อแปลงอนุกรม	1:1
แรงดันบัสกระแสตรง	570 Vdc
ฟิลเตอร์อินดักแตนซ์	12.6 mH.
ฟิลเตอร์คาปาซิแตนซ์	32.2 $\mu$ F.
ฟิลเตอร์รีซิสแตนซ์	39.6 $\Omega$
เซนส์ซิติฟโวลต์	2.97E3+j1.4E3

### 3. ผลและการอภิปรายผล

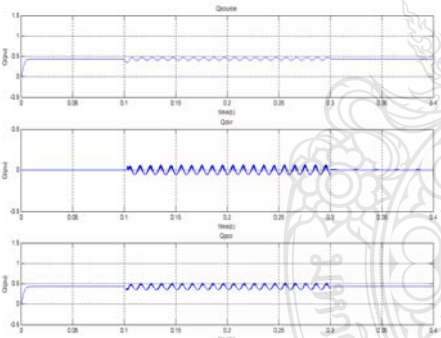
จากรูปที่ 3 จำลองการทำงานบนโปรแกรม MATLAB/SIMULINK ในการจำลองการควบคุมการทำงานของ DVR โดยการควบคุมค่าแรงดันที่จุดเชื่อมต่อในขณะที่เกิดแรงดันตกชั่วขณะในระยะเวลา 200 ms ให้มีค่าเท่ากับ 1 pu โดยกำหนดค่าพารามิเตอร์ของระบบและค่าคงที่ ตามตารางที่ 1 ดำเนินการจำลองการควบคุมการทำงานของ DVR โดยแบ่งการจำลองออกเป็น 3 กรณี คือ กรณีที่ 1 จำลองการควบคุมการทำงานของ DVR ในสภาวะแรงดันตกชั่วขณะ Single Phase to Ground ขนาด 0.6 p.u. ระยะเวลา 200 ms กรณีที่ 2 จำลองการควบคุมการทำงานของ DVR ในสภาวะแรงดันตกชั่วขณะแบบ Two Phase to Ground ขนาด 0.6 p.u. ระยะเวลา 200 ms และกรณีที่ 3 จำลองการควบคุมการทำงานของ DVR ในสภาวะแรงดันตกชั่วขณะแบบ Symmetrical Three Phase to Ground ขนาด 0.6 p.u. ระยะเวลา 200 ms



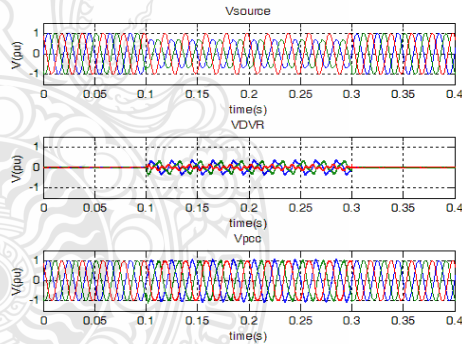
รูปที่ 4 Vsource, Vdvr, Vpcc ขณะเกิดแรงดันตกชั่วขณะแบบ Single Phase to Ground



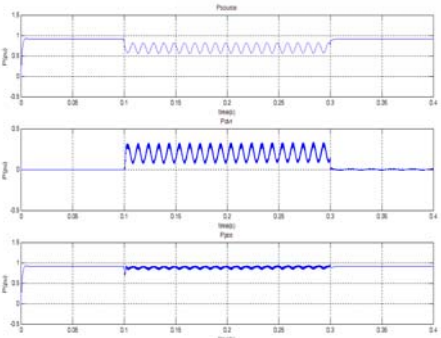
รูปที่ 5 Psource, Pdvr, Ppcc ขณะเกิดแรงดันตกชั่วขณะแบบ Single Phase to Ground



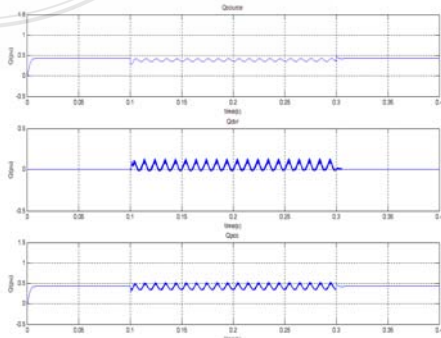
รูปที่ 6 Qsource, Qdvr, Qpcc ขณะเกิดแรงดันตกชั่วขณะ แบบ Single Phase to Ground



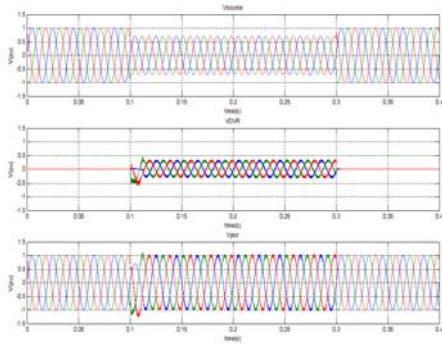
รูปที่ 7 Vsource, Vdvr, Vpcc ขณะเกิดแรงดันตกชั่วขณะแบบ Two Phase to Ground



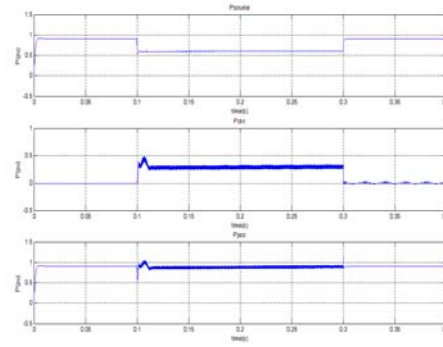
รูปที่ 8 Psource, Pdvr, Ppcc ขณะเกิดแรงดันตกชั่วขณะแบบ Two Phase to ground



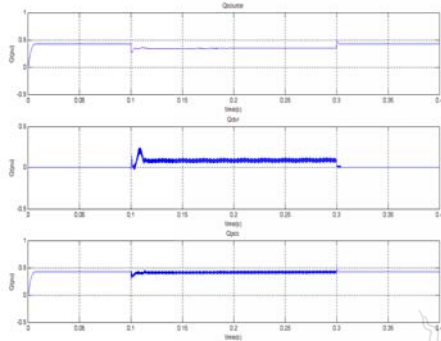
รูปที่ 9 Qsource, Qdvr, Qpcc ขณะเกิดแรงดันตกชั่วขณะ แบบ Two Phase to Ground



รูปที่ 10 Vsource, Vdvr, Vpcc ขณะเกิดแรงดันตกชั่วขณะแบบ Symmetrical Three Phase to Ground



รูปที่ 11 Pref., Psource, Pdvr, Ppcc ขณะเกิดแรงดันตกชั่วขณะแบบ Symmetrical Three Phase to Ground



รูปที่ 12 Qref., Qsource, Qdvr, Qpcc ขณะเกิดแรงดันตกชั่วขณะแบบ Symmetrical Three Phase to Ground

#### 4. สรุปผลการวิจัย

บทความนี้นำเสนอ การทำงานเชิงพลวัตของอุปกรณ์ชดเชยแรงดันแบบอนุกรมหรือ DVR โดยทำหน้าที่รักษาระดับแรงดันไฟฟ้าที่จุดต่อร่วมในขณะที่เกิดแรงดันตกชั่วขณะ โดยจำลองบนโปรแกรม MATLAB/SIMULINK ผลการจำลองแสดงให้เห็นว่าในกรณีที่ 1 และกรณีที่ 2 DVR สามารถชดเชยแรงดันที่จุดต่อร่วมได้ตามกำหนดแสดงสมรรถนะของการควบคุมที่ดี ส่วนในกรณีที่ 3 เกิดการดีเลย์ที่เฟส a ที่เวลา 1/2 ไซเคิลแรก รวมทั้งเกิดแรงดันเกินชั่วขณะที่เฟส b และ c ขนาดประมาณ 1.1 pu และ 1.2 p.u. ที่เวลา 1/2 ไซเคิลแรกหลังจากนั้น DVR สามารถชดเชยแรงดันที่จุดต่อร่วมได้ตามกำหนด

#### 5. เอกสารอ้างอิง

- [1] H.Ezogi, A.Sheikholeslami, M.Tabasi,M.Saeednia " Simalation of Dynamics Voltage Restorer Using Hysterresis Voltage Control" European Journal of scientific Reserch 2009
- [2] RSOLI OMAR, NARUSDIN ABD RAHIM, MARIZAN SULIAMAN "Modeling and Simulation for Voltage sag/Sweels Mitigation using Dynamics Voltage Restorer(DVR) " Journal of Theoretical and Applied Information Technology @ 2005-2009 JATIT
- [3] Jose' H. and Julie D.Zambrano " Control of Thyristor Controlled Series Capacitor Based on Instantaneous Power Theory" IEEE Journal 2008
- [4] P.Booncham and N.Mithulanathan" Understanding of dynamics Voltage Restorers through MATLAB Simulation" Thammasat Int. J. Sc. Tech. Vol.11 N0.3 july-Sept 2006
- [5] Hirofumi Akaki, Edson Hirokazu Watanabe, Mauricio Aredes"Instataneous Power Theory and Applications to Power Conditioner" Wiley-Interscience A John Wiley&son ,Inc.,Plublication 2007