

# การควบคุมแบบสไลด์ดิ้งโหมดสำหรับเครื่องกรองกำลังไฟฟ้า แอกทีฟแบบอนุกรมเพื่อปรับปรุงคุณภาพกำลังไฟฟ้า

## The sliding mode control for a series active power filter to improve power quality

ธีรยุทธ ชาทิชนะยีนยง (Theerayuth Chatchanayuenyong)<sup>1</sup>\*

### บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอสาเหตุของปัญหาคุณภาพกำลังไฟฟ้า โดยเฉพาะอย่างยิ่งที่เกิดขึ้นกับแรงดันสามเฟส แนวทางการแก้ปัญหาโดยประยุกต์ใช้เทคนิคการควบคุมแบบสไลด์ดิ้งโหมดเข้ากับเครื่องกรองกำลังไฟฟ้าแอกทีฟแบบอนุกรมเพื่อปรับปรุงกำลังไฟฟ้า หลักการพื้นฐานของการควบคุมแบบสไลด์ดิ้งโหมดรวมถึงแผนผังลำดับการทำงาน ของเทคนิคการชดเชยแรงดัน และท้ายสุดได้นำแนวทางดังกล่าวมาทดลองใช้แก่ไขกรณีศึกษาปัญหาคุณภาพกำลังไฟฟ้า ด้วยวิธีจำลองในคอมพิวเตอร์ เพื่อให้เห็นถึงประสิทธิภาพและความสามารถของเครื่องกรองกำลังไฟฟ้าตามแนวทาง ที่นำเสนอ

### Abstract

This paper outlines causes of the power quality problem especially those which occur with a three-phase voltage. The problem solving methods involving use of a sliding mode control technique with a series active filter to improve such power quality are reviewed. The basic concept of sliding mode control including a flowchart of the voltage compensation technique is described. And finally, the technique is tested to solve some case studies of power quality problems through computer simulation in order to show its efficiency and capability.

**คำสำคัญ:** การควบคุมแบบสไลด์ดิ้งโหมด คุณภาพกำลังไฟฟ้า เครื่องกรองกำลังไฟฟ้าแอกทีฟแบบอนุกรม

**Keywords:** Sliding mode control, power quality, series active power filter

<sup>1</sup> อาจารย์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

\* Corresponding author, e-mail: theerayuth.c@gmail.com

## บทนำ

การตรวจวัดคุณภาพกำลังไฟฟ้าตามมาตรฐาน IEEE std.1159-1995 จะวิเคราะห์จากรูปแบบต่างๆของความผิดปกติที่เกิดขึ้นโดยเฉพาะอย่างยิ่งกับแรงดันไฟฟ้า เช่นความผันผวนของแรงดันในช่วงเวลาสั้นๆ (Short duration variations) ซึ่งได้แก่ การขาดหายไปของแรงดัน (Voltage interruption) แรงดันตกชั่วขณะ (Voltage sags) แรงดันเกินชั่วขณะ (Voltage swells) ความผันผวนของแรงดันในช่วงเวลายาว (Long duration variations) ซึ่งได้แก่ แรงดันเกิน (Overvoltage) แรงดันต่ำ (Undervoltage) การคงสภาพการขาดหายไปของแรงดัน (Sustained interruptions) หรือแรงดันไม่สมดุล (Voltage unbalance) เป็นต้น (IEEE Standard 1159-1995, 1995)

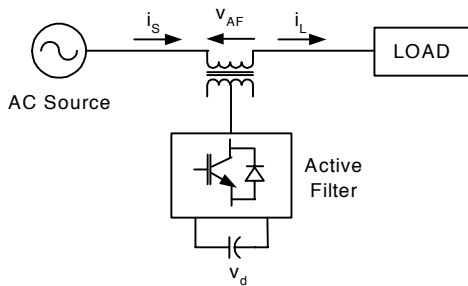
การขาดหายไปของแรงดันเป็นผลมาจาก ฟอลต์ (Fault) ของระบบไฟฟ้ากำลัง ความล้มเหลวในการทำงานของอุปกรณ์ไฟฟ้า หรือความผิดปกติในการทำงานของอุปกรณ์ควบคุม ฟอลต์ชั่วคราวในระบบจำหน่ายของการไฟฟ้าอาจส่งผลทำให้เกิดแรงดันตกหรือแรงดันเกินชั่วคราวขึ้นได้เช่นกัน นอกจากนี้แรงดันตกชั่วคราวยังอาจเกิดจากการเปิดใช้งานโหลดขนาดใหญ่หรือการเริ่มเดินมอเตอร์ตัวใหญ่ๆในโรงงานอุตสาหกรรม แรงดันเกินชั่วคราวโดยทั่วไปจะพบน้อยกว่าแรงดันตกชั่วคราว โดยสาเหตุเกิดจากฟอลต์แบบ 1 เฟสลงกราวด์ (Single line to ground fault) ในระบบไฟฟ้า นอกจากนี้ยังอาจเกิดจากการปิดการใช้งานโหลดขนาดใหญ่หรือการต่อแผงคาปาซิเตอร์เข้าสู่ระบบก็ได้ ส่วนแรงดันเกิน แรงดันต่ำและการคงสภาพการขาดหายไปของแรงดัน มีสาเหตุคล้ายๆกับการเกิดแรงดันตกชั่วขณะ แรงดันเกินชั่วขณะและการขาดหายไปของแรงดันตามลำดับ แต่ระยะเวลาของการเกิดความผิดปกติจะนานกว่า ความไม่สมดุลของแรงดันเกิดจากหลายสาเหตุ ยกตัวอย่างเช่นเกิดจากความไม่สมมาตรของการสลับตำแหน่ง (Transposition) ของสายส่ง ความไม่สมดุลของโหลด การต่อหม้อแปลงไฟฟ้าแบบ Open delta เป็นต้น (C.Y. Lee, B.K.Chen, W.J. Lee, Y.F. Hsu, 1997)

คุณภาพกำลังไฟฟ้าในระบบสามเฟสดังกล่าวมีความสำคัญอย่างมากต่ออุปกรณ์ไฟฟ้าที่อยู่ในระบบ โดยเฉพาะอย่างยิ่งอุปกรณ์ที่มีความไวต่อสิ่งรบกวนสูง (High sensitive equipment) อุปกรณ์เหล่านี้ได้แก่ คอมพิวเตอร์ แมกเนติกคอนแทคเตอร์ รีเลย์ หลอด High intensity discharge (HID) Adjustable speed drive (ASDs) Programmable logic controller (PLC) เป็นต้น การทำงานที่ผิดปกติของอุปกรณ์เหล่านี้จะส่งผลกระทบต่อโรงงานอุตสาหกรรม ทำให้คุณภาพในการผลิตต่ำลง และเกิดค่าใช้จ่ายในการซ่อมบำรุงที่สูงขึ้น การไฟฟ้าฝ่ายภูมิภาค (กฟภ.) ปัจจุบันก็เริ่มให้ความสนใจกับคุณภาพกำลังไฟฟ้ามากขึ้นโดยออกเป็นข้อกำหนดเพื่อปรับปรุงความเชื่อถือได้ของระบบไฟฟ้าออกมาบังคับใช้กับผู้ใช้ไฟฟ้าในประเทศไทย (<http://www.pea.co.th/pdf/01.pdf>, 2010)

การแก้ไขความผิดปกติของแรงดันเพื่อปรับปรุงให้กำลังไฟฟ้ามีคุณภาพที่ดีขึ้น สามารถกระทำได้โดยใช้เครื่องกรองกำลังไฟฟ้าแอลทีฟแบบอนุกรม ซึ่งมีข้อดีเหนือกว่าการแก้ไขโดยใช้อุปกรณ์ที่เป็นแบบพาสซีฟ (Passive) แบบดั้งเดิม เนื่องจากสามารถแก้ไขความผิดปกติตามการเปลี่ยนแปลงของโหลดและความผิดปกติที่เกิดขึ้นแบบเวลาจริง (Real time) นอกจากนี้ยังมีขนาดเล็กกว่าอีกด้วย

## โครงสร้างของเครื่องกรองกำลังไฟฟ้า แอลทีฟแบบอนุกรม

เครื่องกรองกำลังไฟฟ้าแอลทีฟแบบอนุกรม โดยพื้นฐานแล้วเป็นอุปกรณ์เพาเวอร์อิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้ในการแปลงแรงดัน (Power electronics converter) จากคาปาซิเตอร์หรือแหล่งเก็บพลังงานชนิดอื่นแล้วส่งเข้าไปในระบบผ่านทางหม้อแปลงกระแสเพื่อแก้ไขความไม่สมดุลของแรงดัน และปรับแรงดันให้อยู่ในระดับที่ต้องการ โดยเครื่องกรองกำลังไฟฟ้าจะถูกต่ออยู่ระหว่างแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับและโหลดดังรูปที่ 1



รูปที่ 1. โดอะแกรมพื้นฐานของเครื่องกรองกำลังไฟฟ้า แอคทีฟแบบอนุกรม

### หลักการชดเชยแรงดันของเครื่องกรองกำลังไฟฟ้าแอคทีฟแบบอนุกรม

แรงดันสามเฟสที่ไม่สมดุล ( $v_a, v_b, v_c$ ) และตกหรือเกินตามทฤษฎีจะมีส่วนประกอบที่สมดุล 3 ชุด ได้แก่ (William D.Stevenson, Jr., 1998)

(1) ส่วนประกอบแรงดันลำดับบวก (Positive sequence components,  $v_{a1}, v_{b1}, v_{c1}$ ) ซึ่งประกอบด้วยแรงดันที่มีแอมพลิจูดเท่ากัน 3 ตัว โดยแต่ละตัวมีมุมเฟสต่างกันอยู่  $120^\circ$  และมีลำดับเฟสที่เหมือนกับแรงดันดั้งเดิม (Original voltage)

(2) ส่วนประกอบแรงดันลำดับลบ (Negative sequence components,  $v_{a2}, v_{b2}, v_{c2}$ ) ซึ่งประกอบด้วยแรงดันที่มีแอมพลิจูดเท่ากัน 3 ตัว โดยแต่ละตัวมีมุมเฟสต่างกันอยู่  $120^\circ$  และมีลำดับเฟสที่ตรงกันข้ามกับแรงดันดั้งเดิม (Original voltage)

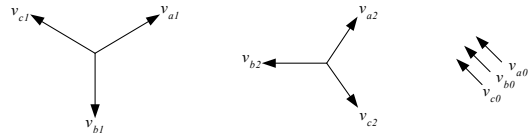
(3) ส่วนประกอบแรงดันลำดับศูนย์ (Zero sequence components,  $v_{a0}, v_{b0}, v_{c0}$ ) ซึ่งประกอบด้วยแรงดันที่มีแอมพลิจูดเท่ากัน 3 ตัว โดยแต่ละตัวมีมุมเฟสที่ตรงกัน

รูปที่ 2 แสดงถึงแรงดันทั้ง 3 ชุดดังกล่าวข้างต้นและแสดงดังสมการที่ (1)-(3)

$$v_a = v_{a1} + v_{a2} + v_{a0} \tag{1}$$

$$v_b = v_{b1} + v_{b2} + v_{b0} \tag{2}$$

$$v_c = v_{c1} + v_{c2} + v_{c0} \tag{3}$$



รูปที่ 2. ส่วนประกอบที่สมดุล 3 ชุดของแรงดันสามเฟสที่ไม่สมดุล

โดยทั่วๆไปแก้ไขความไม่สมดุลของแรงดันและปรับให้อยู่ในระดับที่ต้องการจะทำแบบรูปเปิด (Open loop) ซึ่งต้องใช้ทฤษฎีของ Fortescue ในการแยกส่วนประกอบแรงดันลำดับบวก ลำดับลบ และลำดับศูนย์ออกมาแล้วใช้เครื่องกรองกำลังไฟฟ้าแอคทีฟแบบอนุกรมทำหน้าที่ในการกำจัดส่วนประกอบแรงดันลำดับลบและลำดับศูนย์ออกเพื่อให้เหลือแต่ส่วนประกอบแรงดันลำดับบวกแล้วปรับ (Regulate) ส่วนประกอบแรงดันลำดับบวกให้อยู่ในระดับที่ต้องการ (Rated voltages) แต่ในการใช้เครื่องกรองกำลังไฟฟ้าแอคทีฟแบบอนุกรมที่มีการควบคุมแบบสไลด์โหมดในขั้นแรกจะแยกเฉพาะส่วนประกอบลำดับบวกออกมาเท่านั้นแล้วปรับให้มีค่าเท่ากับพิกัดที่ต้องการและใช้เป็นแรงดันอ้างอิง (Reference voltage) ของตัวควบคุมสไลด์โหมด (Sliding mode controllers) เพื่อควบคุมให้แรงดันที่โหลดเท่ากับแรงดันอ้างอิงนี้โดยไม่ต้องมีการคำนวณแยกเอาส่วนประกอบลำดับลบและลำดับศูนย์ออกมาด้วย ทำให้เวลาที่ใช้ในการคำนวณของตัวควบคุมน้อยลงซึ่งมีความสำคัญมากในการควบคุมแบบเวลาจริงวิกฤติ (Critical real time control) แบบนี้ นอกจากนั้นการควบคุมแบบสไลด์โหมดเป็นการควบคุมแบบรูปปิด ซึ่งจะมีความแม่นยำและตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงของโหลดและความคิดปกติที่เกิดขึ้นได้ดีกว่าแบบรูปเปิด ในขั้นตอนแรกของการคำนวณเพื่อแยกเอาส่วนประกอบลำดับบวกออกมาสามารถทำได้ตามสมการที่ (4)

$$v_{a1} = \frac{1}{\sqrt{3}} [v_a + \alpha v_b + \alpha^2 v_c] \quad (4)$$

โดย  $v_a, v_b, v_c$  เป็นแรงดัน Phase-to-neutral จากแหล่งจ่าย  
 $v_{a1}$  เป็นส่วนประกอบแรงดันลำดับบวกของเฟส a  
 $\alpha = e^{j2\pi/3}$  เป็นตัวเลื่อนเฟสไป  $120^\circ$  (120° phase-shift operator)

ขอให้สังเกตว่าส่วนประกอบแรงดันลำดับบวกของเฟส b และเฟส c สามารถคำนวณได้โดยใช้สมการที่ (4) เช่นเดียวกันแต่ผลลัพธ์จะมีมุมเฟสที่แตกต่างจะส่วนประกอบแรงดันลำดับบวกของเฟส a  $120^\circ$  เท่านั้นเอง ดังนั้นถ้าหากคำนวณส่วนประกอบแรงดันลำดับบวกของเฟส a ได้แล้วก็ไม่จำเป็นต้องคำนวณส่วนประกอบแรงดันลำดับบวกของเฟส b และ c ก็ได้ เพียงแต่นำส่วนประกอบแรงดันลำดับบวกของเฟส a มาเลื่อนเฟสไป  $120^\circ$  เท่านั้นก็จะมีส่วนประกอบแรงดันลำดับบวกของเฟส b และ c

ในขั้นตอนต่อไปส่วนประกอบแรงดันลำดับบวกที่แยกออกมาจะถูกนำมาใช้ในการสร้างแรงดันอ้างอิง (Reference voltage) สำหรับตัวควบคุมสไลด์ลิ่งโหมดดังนี้

ให้  $v_1(t)$  เป็นส่วนประกอบแรงดันลำดับบวกของเฟส a, b หรือ c ที่ขณะเวลาใดๆ (Instantaneous positive sequence voltage) ที่มีแอมพลิจูดเท่ากับ  $V_1$  และมีมุมเฟสเท่ากับ  $\varphi$  ดังนั้น  $v_1(t)$  จะเป็นตามสมการที่ (5)

$$v_1(t) = V_1 \sin(\omega t + \varphi) \quad (5)$$

แอมพลิจูด  $V_1$  สามารถคำนวณได้โดยอาศัยข้อมูลหน้าต่างช่วงสั้น (Short time window) โดยสุ่มตัวอย่างข้อมูลสัญญาณ  $v_1(t)$  มาใช้ 2 ตัวอย่างตามสมการที่ (6) (Kevork Haddad, and Geza Joos, 1998)

$$V_1 = \frac{[v_{1(k+1)}^2 + v_{1(k)}^2 - 2v_{1(k+1)}v_{1(k)} \cos(\omega T_s)]^{0.5}}{\sin(\omega T_s)} \quad (6)$$

โดยที่  $v_{1(k+1)}$  และ  $v_{1(k)}$  เป็นส่วนประกอบแรงดันลำดับบวกที่เวลา  $t_{(k+1)}$  และ  $t_{(k)}$  ตามลำดับ

$T_s$  เป็นช่วงเวลาของการสุ่มตัวอย่างซึ่งเท่ากับ

$$t_{(k+1)} - t_{(k)}$$

แรงดันอ้างอิงสำหรับตัวควบคุมสไลด์ลิ่งโหมดสามารถคำนวณได้จากสมการที่ (7) และ (8)

$$v_{rated}(t) = \frac{V_{rated}}{V_1} \times v_1(t) \quad (7)$$

$$\begin{bmatrix} v_{refa} \\ v_{refb} \\ v_{refc} \end{bmatrix} = \frac{1}{\sqrt{3}} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & \alpha^2 & \alpha \\ 1 & \alpha & \alpha^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 \\ v_{rated} \\ 0 \end{bmatrix} \quad (8)$$

โดยที่  $v_{rated}$  เป็นแรงดันพิกัดหรือแรงดันที่ต้องการ  
 $V_{rated}$  เป็นแอมพลิจูดของแรงดันพิกัดของโหมด

## ตัวควบคุมสไลด์ลิ่งโหมด

กฎการควบคุมของของสไลด์ลิ่งโหมดเป็นไปตามสมการที่ (9) หรือ (10)

$$u(t) = -\rho \operatorname{sgn}(s(x, \dot{x}, t)) \quad (9)$$

หรือ

$$u(t) = \begin{cases} -\rho & \text{if } s(x, \dot{x}, t) > 0 \\ \rho & \text{if } s(x, \dot{x}, t) < 0 \end{cases} \quad (10)$$

โดย  $\rho$  คือการขยายสัญญาณสไลด์ลิ่ง (Sliding gain)  
 $\operatorname{sgn}(\cdot)$  คือซิกนัม (Signum) หรือ ฟังก์ชันเครื่องหมาย (Sign function) ฟังก์ชันสวิตช์ (Switch function),  $s(x, \dot{x}, t)$  เป็นไปตามสมการที่ (11)

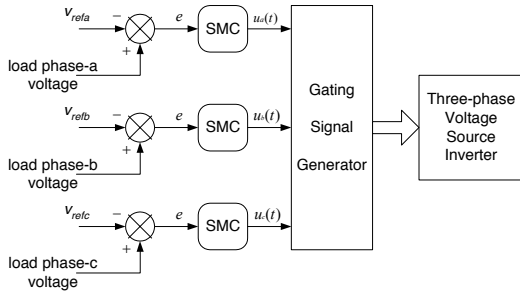
$$s(x, \dot{x}, t) = e \quad (11)$$

โดย  $e$  คือ Tracking error ซึ่งเท่ากับ (แรงดันเฟสของโหมด -  $v_{ref}$ )

## การกำเนิดสัญญาณเกต (Gating Signal Generation)

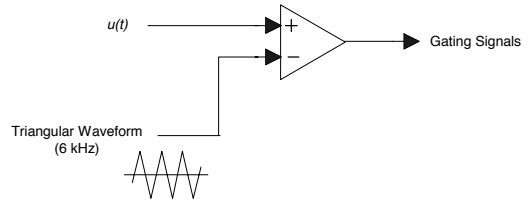
แรงดันอ้างอิง ( $v_{refa}, v_{refb}, v_{refc}$ ) ที่คำนวณได้ข้างต้นจะถูกนำมาใช้เปรียบเทียบกับแรงดันเฟสของโหมด

แล้วส่งให้กับตัวควบคุมสไลด์โหมด (Sliding Mode Control, SMC) เพื่อกำเนิดสัญญาณเกตสำหรับอินเวอร์เตอร์ ดังรูปที่ 3



รูปที่ 3. บล็อกไดอะแกรมการควบคุมสไลด์โหมด

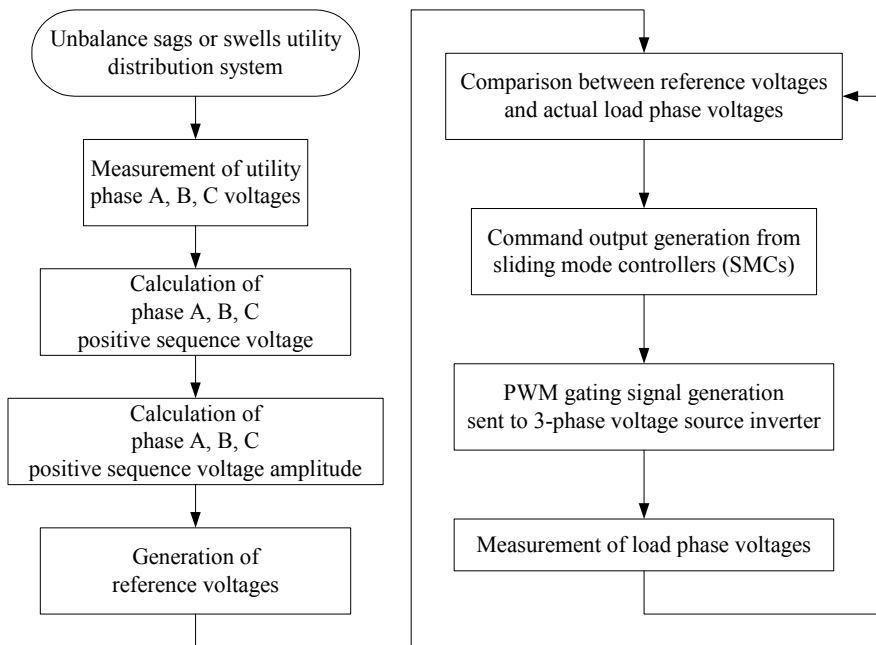
สัญญาณเกตสำหรับอินเวอร์เตอร์จะได้รับการเปรียบเทียบสัญญาณควบคุมที่กำเนิดจากตัวควบคุมสไลด์โหมด ( $u(t)$ ) กับสัญญาณสามเหลี่ยมที่มีความถี่คงที่ค่าหนึ่งดังรูปที่ 4



รูปที่ 4. ไดอะแกรมแสดงการกำเนิดสัญญาณเกตสำหรับอินเวอร์เตอร์

### แผนผังลำดับงานในการชดเชยแรงดัน (Voltage Compensation Flowchart)

การชดเชยแรงดันด้วยหลักการดังกล่าวข้างต้นสามารถสรุปเป็นแผนผังลำดับงาน (Flowchart) ได้ดังแสดงในรูปที่ 5



รูปที่ 5. แผนผังลำดับงานในการชดเชยแรงดัน

## มาตรที่ใช้วัดความไม่สมดุล แรงดันตก และแรงดันเกิน

ในการที่จะบอกปริมาณความมากน้อยของความไม่สมดุล แรงดันตกหรือแรงดันเกินที่มีอยู่ในระบบไฟฟ้าสามเฟส จะต้องมีการวัด มาตรการที่วัดปริมาณความไม่สมดุลเรียกว่าแฟคเตอร์ความไม่สมดุล (Unbalance factor, *UF*) และนิยามดังสมการที่ (12) ซึ่งเป็นอัตราส่วนระหว่างผลบวกของแรงดันลำดับศูนย์ และแรงดันลำดับลบ กับแรงดันลำดับบวก

$$UF = \frac{V_0 + V_2}{V_1} \tag{12}$$

ดังนั้นถ้าหาก *UF* มีค่าเป็นศูนย์ก็หมายความว่าระบบไฟฟ้าสามเฟสมีความสมดุล 100%

ในการทำงานเดียวกันมาตรที่ใช้วัดปริมาณแรงดันตกหรือเกินในระบบเรียกว่าแฟคเตอร์ขนาด (Magnitude

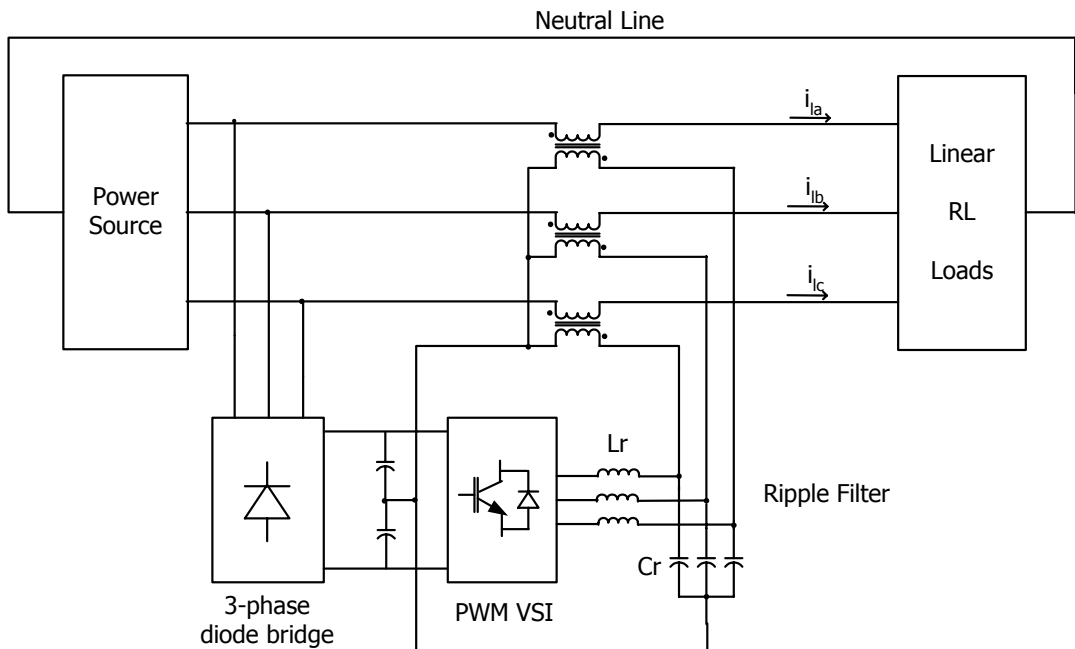
factor, *MF*) และนิยามดังสมการที่ (13) ซึ่งเป็นอัตราส่วนระหว่างแรงดันลำดับบวกกับแรงดันพิกัด

$$MF = \frac{V_1}{V_{rated}} \tag{13}$$

ดังนั้นถ้าหาก *MF* มีค่าเป็นหนึ่งก็หมายความว่าระบบไฟฟ้าสามเฟสไม่มีแรงดันตกหรือเกินอยู่เลย

## กรณีศึกษาการปรับปรุงกำลังไฟฟ้าด้วยการควบคุมสไลด์โหมด

เพื่อทดสอบหลักการและประสิทธิภาพของการควบคุมสไลด์โหมดในการปรับปรุงกำลังไฟฟ้า ในที่นี้จะทำการจำลองการควบคุมในคอมพิวเตอร์โดยใช้โปรแกรมเครื่องกรองกำลังไฟฟ้าแอคทีฟแบบอนุกรมตามรูปที่ 6 ซึ่งมีพารามิเตอร์ต่างๆตามตารางที่ 1



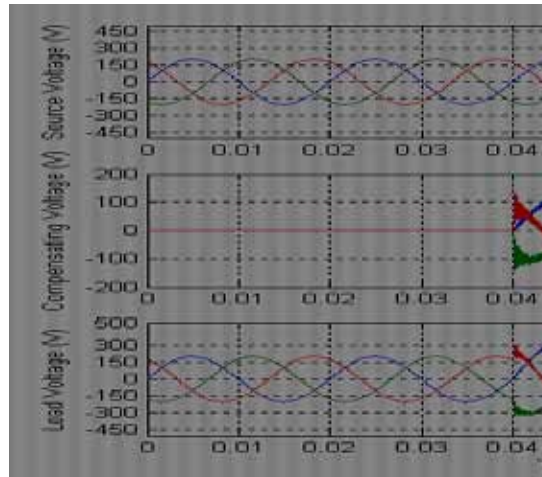
รูปที่ 6. โปรแกรมแสดงเครื่องกรองกำลังไฟฟ้าแอคทีฟแบบอนุกรม

**ตารางที่ 1.** พารามิเตอร์ต่างๆที่ใช้ในการจำลองในคอมพิวเตอร์

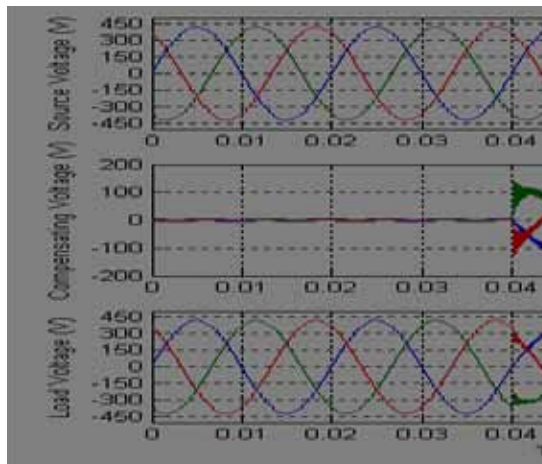
Utility supply frequency	50 Hz
Rated load phase voltage	220 V
Load power factor	0.3
Series transformer turn ratio	0.5
DC link voltage	$\frac{380\sqrt{2}}{\sqrt{3}} \times 2$
Invert switching frequency	6 kHz
Filter inductance	1 mH
Filter capacitance	55 $\mu$ F

การทดสอบการปรับปรุงคุณภาพกำลังไฟฟ้าจะแบ่งออกเป็น 5 กรณีตามลักษณะปัญหาของคุณภาพกำลังไฟฟ้าที่เกิดขึ้น ซึ่งโดยเครื่องกรองกำลังไฟฟ้าแอคทีฟแบบอนุกรมเริ่มทำงานที่เวลา 0.04 วินาที ผลการปรับปรุงแสดงดังรูปที่ 7-11 ตามลำดับ

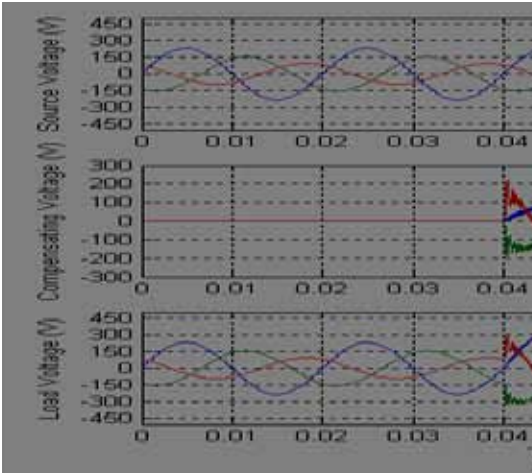
- กรณีที่ 1 Balance voltage sags ที่มี  $|MF| = 0.65$
- กรณีที่ 2 Balance voltage swells ที่มี  $|MF| = 1.35$
- กรณีที่ 3 Unbalance voltage sags ที่มี  $|UF| = 0.261$  และ  $|MF| = 0.516$
- กรณีที่ 4 Unbalance voltage swells ที่มี  $|UF| = 0.144$  และ  $|MF| = 1.2$
- กรณีที่ 5 1-phase loss ที่มี  $|UF| = 0.552$  และ  $|MF| = 0.766$



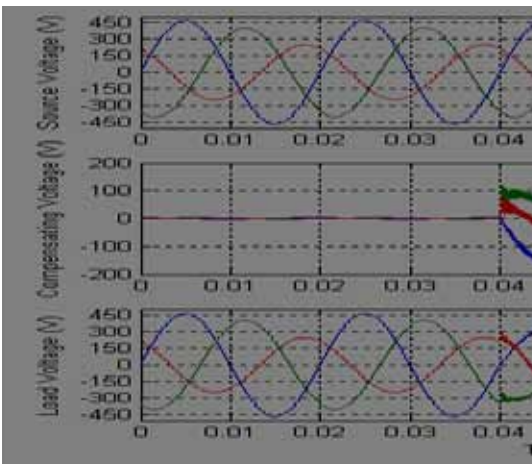
**รูปที่ 7.** กราฟแสดงแรงดันเฟสของโหลด แรงดันชดเชยและแรงดันเฟสของแหล่งจ่ายในกรณีที่ 1 Balance voltage sags ที่มี  $|MF| = 0.65$



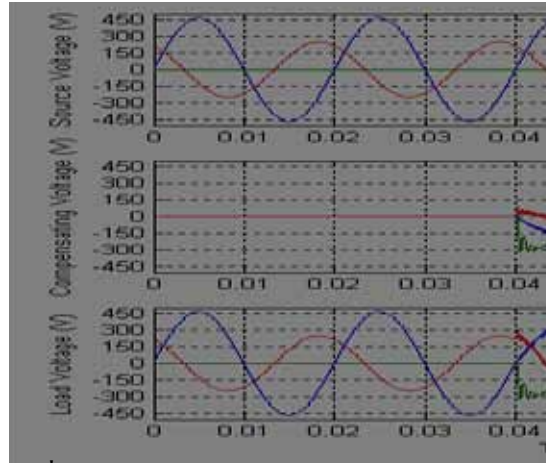
**รูปที่ 8.** กราฟแสดงแรงดันเฟสของโหลด แรงดันชดเชยและแรงดันเฟสของแหล่งจ่ายในกรณีที่ 2 Balance voltage swells ที่มี  $|MF| = 1.35$



รูปที่ 9. กราฟแสดงแรงดันเฟสของโหลด แรงดันชดเชยและแรงดันเฟสของแหล่งจ่ายในกรณีที่มี Unbalance voltage sags ที่มี  $|UF| = 0.261$  และ  $|MF| = 0.516$



รูปที่ 10. กราฟแสดงแรงดันเฟสของโหลด แรงดันชดเชยและแรงดันเฟสของแหล่งจ่ายในกรณีที่มี Unbalance voltage swells ที่มี  $|UF| = 0.144$  และ  $|MF| = 1.2$



รูปที่ 11. กราฟแสดงแรงดันเฟสของโหลด แรงดันชดเชยและแรงดันเฟสของแหล่งจ่ายในกรณีที่มี 1-phase loss ที่มี  $|UF| = 0.552$  และ  $|MF| = 0.766$

### สรุป

การควบคุมแบบสไลด์ดิ้งโหมดเป็นการควบคุมที่มีโครงสร้างที่ง่าย สามารถนำมาประยุกต์ใช้กับเครื่องกรองกำลังไฟฟ้าแอคทีฟแบบอนุกรมในการควบคุมให้แรงดันของโหลดเท่ากับแรงดันอ้างอิงที่ต้องการ โดยสามารถแก้ไขแรงดันตก แรงดันเกิน การขาดหายไป และความไม่สมดุลของแรงดันได้อย่างมีประสิทธิภาพ ในแง่ของความแม่นยำและผลการตอบสนองที่เร็ว ทำให้คุณภาพกำลังไฟฟ้าที่จ่ายให้กับโหลดดีขึ้น หลักการชดเชยแรงดันสามารถกระทำได้โดยไม่ต้องมีการคำนวณหาส่วนประกอบลำดับศูนย์และลำดับลบ ทำให้ลดระยะเวลาในการคำนวณของตัวควบคุมทำให้มีผลตอบสนองที่เร็วต่อการเปลี่ยนแปลงของระบบ ซึ่งสามารถสังเกตได้จากผลการจำลองในคอมพิวเตอร์ของกรณีศึกษาปัญหาต่างๆที่เกิดขึ้น



## เอกสารอ้างอิง

- C.Y. Lee, B.K.Chen, W.J. Lee, Y.F. Hsu. 1997. Effects of various unbalanced voltages on the operation performance of an induction motor under the same voltage unbalance factor condition. **IEEE 1997 Annual meeting:** 51-59. [Online]. Available from: <http://www.pea.co.th/pdf/01.pdf>. 2010.
- IEEE Recommended Practice for Monitoring Electric Power Quality, IEEE Standard 1159-1995, June, 1995, pp.15-20
- Kevork Haddad, and Geza Joos. 1998. A Fast Algorithm for Voltage Unbalance Compensation and Regulation in Faulted Distribution Systems. **IEEE-APEC Annual Meeting:** 963-969.
- William D.Stevenson, Jr.. 1998. Elements of Power System Analysis. **McGraw-Hill 4<sup>th</sup> Edition:** 275-279.