

บทที่ 3

การชดเชยกำลังไฟฟ้าด้วยดี-สแตคคอม สำหรับระบบไฟฟ้า 3 เฟส

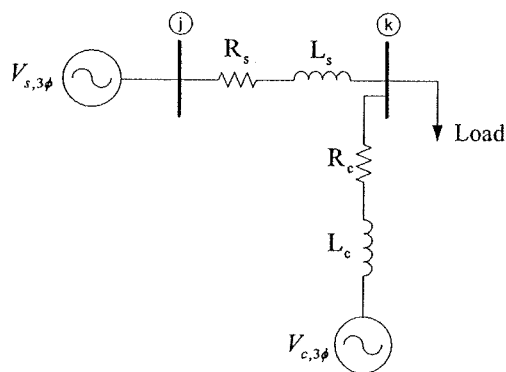
แบบสมมาตร

3.1 ความนำ

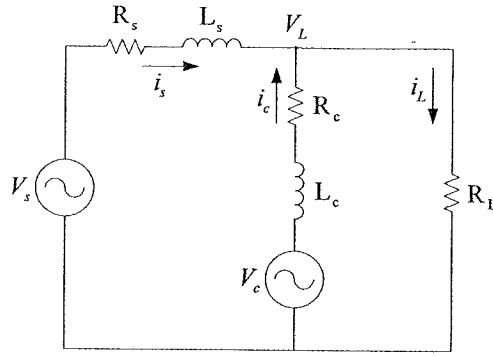
เนื้อหาในบทนี้กล่าวถึง แบบจำลองในสถานะชั่วคราวของดี-สแตคคอม สำหรับระบบไฟฟ้า 3 เฟส แบบสมมาตร เพื่อนำไปใช้กับการออกแบบตัวชดเชยสถานะป้อนกลับในสถานะชั่วคราวสำหรับดี-สแตคคอม พร้อมทั้งกล่าวถึงผลการทดสอบตัวชดเชยสถานะป้อนกลับในสถานะชั่วคราวสำหรับดี-สแตคคอม โดยดำเนินการจำลองสถานการณ์ความผิดปกติด้วยการลัดวงจรในระบบจ่ายกำลังไฟฟ้า ทำให้เกิดแรงดันตกที่บัสโหลด และติดตั้งดี-สแตคคอมเพื่อชดเชยแรงดันให้มีขนาดแรงดันสูงขึ้น เพื่อให้ระบบสามารถกลับมาทำงานได้ตามปกติ และยังกล่าวถึงการวิเคราะห์เสถียรภาพของตัวชดเชยสถานะป้อนกลับในสถานะชั่วคราวสำหรับดี-สแตคคอม

3.2 แบบจำลองของดี-สแตคคอม สำหรับระบบไฟฟ้า 3 เฟสแบบสมมาตร

ดี-สแตคคอมที่ติดตั้งในระบบไฟฟ้า 3 เฟสในสถานะชั่วคราว ซึ่งจะไม่พิจารณาผลในสถานะชั่วคราวจากการสับสวิตช์ของอินเวอร์เตอร์และตัวเก็บพลังงานแบบเชื่อมโยงดีซี สามารถพิจารณาได้เป็นแบบจำลองดังรูปที่ 3.1 กำหนดให้โหลดที่พิจารณาเป็นโหลดชนิดความต้านทาน (R_L) และกำหนดให้ R_c และ L_c คือ ค่าความต้านทานและค่าความเหนี่ยวนำในตัวขงดี-สแตคคอม ตามลำดับ จากรูปที่ 3.1 สามารถหาวจรสมมูลของแบบจำลองได้ดังนี้



รูปที่ 3.1 แบบจำลองของดี-สแตคคอม สำหรับระบบไฟฟ้า 3 เฟสแบบสมมาตร



รูปที่ 3.2 วงจรสมมูลของแบบจำลองดี-สแตคคอม สำหรับระบบไฟฟ้า 3 เฟสแบบสมมาตร

ในงานวิจัยนี้กำหนดให้อินเวอร์เตอร์มีการออกแบบตัวกรอง (filter) ที่มีประสิทธิภาพและเหมาะสมที่จะกรองฮาร์มอนิกอันดับสูง ๆ ได้ และหลังจากการกรองฮาร์มอนิกอันดับสูง ๆ แล้วจะเหลือแต่ความถี่มูลฐาน (fundamental frequency) เท่านั้น ดังนั้นเราจึงสามารถละทิ้งผลจาก ฮาร์มอนิกที่เกิดขึ้นจากการสับสวิตช์ของอินเวอร์เตอร์ออกไปได้ ซึ่งเพียงพอที่จะนำเสนอในสถานะชั่วคราว แรงดันเอาต์พุตของอินเวอร์เตอร์ สามารถหาได้ดังนี้

$$V_c = V_c \sin(\omega t + \delta_c) \quad (3-1)$$

โดยที่ V_c คือ แรงดันที่อินเวอร์เตอร์ของดี-สแตคคอมจ่ายให้กับระบบ

V_c คือ ขนาดของแรงดันที่อินเวอร์เตอร์ของดี-สแตคคอมจ่ายให้กับระบบ

δ_c คือ มุมที่ใช้ควบคุมดี-สแตคคอม (control angle)

จากรูปที่ 3.2 ใช้หลักการกฎแรงดันของเคอร์ชอฟฟ์ (Kirchhoff's voltage law: KVL) โดยพิจารณาที่แหล่งจ่ายจะได้ว่า

$$L_s \frac{di_s}{dt} = -R_s i_s - V_L + V_s \quad (3-2)$$

และพิจารณาที่ดี-สแตคคอม จะได้ว่า

$$L_c \frac{di_c}{dt} = -R_c i_c - V_L + V_c \quad (3-3)$$

จากรูปที่ 3.2 ใช้หลักการกฎกระแสของเคอร์ชอฟฟ์ (Kirchhoff's current law: KCL) จะได้ว่า

$$i_c = i_L - i_s \quad (3-4)$$

แทนสมการที่ (3-4) ในสมการที่ (3-3) โดยที่ $i_L = V_L / R_L$ จะได้

$$L_c \frac{d\left(\frac{V_L}{R_L} - i_s\right)}{dt} = -R_c i_L + R_c i_s - V_L + V_c \quad (3-5)$$

$$\left(\frac{L_c}{R_L}\right) \frac{dV_L}{dt} - L_c \frac{di_s}{dt} = \left(\frac{-R_c}{R_L} - 1\right) V_L + R_c i_s + V_c \quad (3-6)$$

จัดรูปสมการใหม่จะได้

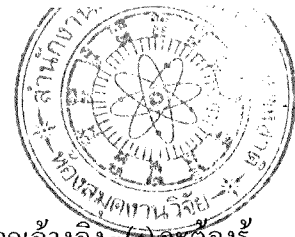
$$-\frac{di_s}{dt} + \left(\frac{1}{R_L}\right) \frac{dV_L}{dt} = \left(\frac{-R_c - R_L}{R_L L_c}\right) V_L + \left(\frac{R_c}{L_c}\right) i_s + \left(\frac{1}{L_c}\right) V_c \quad (3-7)$$

จากสมการที่ (3-2) และสมการที่ (3-7) สามารถนำมาเขียนให้อยู่ในรูปสมการปริภูมิสถานะ (state-space equation) ได้ดังสมการที่ (3-8)

$$\begin{bmatrix} 1 & 0 \\ -1 & \frac{1}{R_L} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \frac{di_s}{dt} \\ \frac{dV_L}{dt} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\frac{R_s}{L_s} & -\frac{1}{L_s} \\ -\frac{R_c}{L_c} & \frac{-R_c - R_L}{R_L L_c} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_s \\ V_L \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \frac{1}{L_s} & 0 \\ 0 & \frac{1}{L_c} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_s \\ V_c \end{bmatrix} \quad (3-8)$$

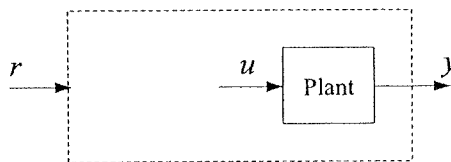
จัดรูปสมการใหม่จะได้แบบจำลองของดี-สแตตคอม สำหรับระบบไฟฟ้า 3 เฟสแบบสมมาตร แสดงได้ดังสมการที่ (3-9)

$$\begin{bmatrix} \frac{di_s}{dt} \\ \frac{dV_L}{dt} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\frac{R_s}{L_s} & -\frac{1}{L_s} \\ -\frac{R_L R_s}{L_s} + \frac{R_L R_c}{L_c} & -\frac{R_L}{L_s} - \frac{R_c}{L_c} - \frac{R_L}{L_c} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_s \\ V_L \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \frac{1}{L_s} & 0 \\ \frac{R_L}{L_s} & \frac{R_L}{L_c} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_s \\ V_c \end{bmatrix} \quad (3-9)$$



3.3 การออกแบบตัวชดเชยสถานะป้อนกลับในสถานะชั่วคราวสำหรับดี-สแตตคอม

ระบบควบคุมส่วนมากจะมีโครงสร้างดังรูปที่ 3.3 ซึ่งพลานต์และสัญญาณอ้างอิง $r(t)$ จะต้องรู้มาก่อนแล้ว อินพุต $u(t)$ ของพลานต์ เรียกว่า สัญญาณขับเร้า (actuating signal) หรือ สัญญาณควบคุม (control signal) เอาต์พุต $y(t)$ ของพลานต์ เรียกว่า พลานต์เอาต์พุต (plant output) หรือ controlled signal ปัญหาที่ถือการออกแบบระบบรวมทั้งหมดเพื่อให้ได้มาซึ่งพลานต์เอาต์พุตตามสัญญาณอ้างอิงได้อย่างใกล้เคียงเท่าที่จะทำได้ ซึ่งจะมีวิธีการควบคุมอยู่ 2 วิธี ถ้าสัญญาณเร้าขึ้นอยู่กับสัญญาณอ้างอิงเท่านั้น และไม่เกี่ยวข้องกับพลานต์เอาต์พุต การควบคุมนี้ เรียกว่า การควบคุมแบบวงเปิด (open-loop control) และถ้าสัญญาณเร้าขึ้นอยู่กับสัญญาณอ้างอิงและพลานต์เอาต์พุต การควบคุมนี้ เรียกว่า การควบคุมแบบวงปิด (closed-loop control) หรือการควบคุมแบบป้อนกลับ (feedback control) [11]



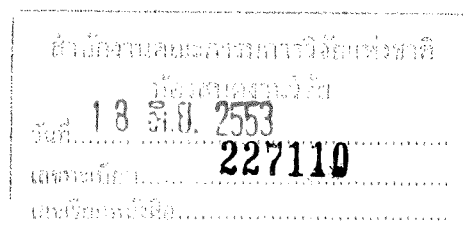
รูปที่ 3.3 การออกแบบระบบควบคุม

โดยทั่วไปการควบคุมระบบวงเปิดยังให้ผลการควบคุมไม่เป็นที่น่าพอใจถ้าเกิดการเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ของพลานต์ ซึ่งนั่นหมายถึงสัญญาณหรือพลังงานอื่น ๆ จากภายนอกเข้าไปกระทำกับระบบ สัญญาณที่แทรกเข้ามาจากภายนอกเหล่านี้ เรียกว่า การรบกวน (disturbances) ส่วนการควบคุมแบบป้อนกลับสามารถช่วยลดผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ของ พลานต์ และ กำจัดสัญญาณรบกวนหรือการรบกวนอื่น ๆ ได้ [11] ดังนั้นการควบคุมแบบป้อนกลับจึงสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้อย่างกว้างขวางในทางปฏิบัติ ในหัวข้อนี้กล่าวถึงการออกแบบตัวชดเชยสถานะป้อนกลับโดยใช้สมการปริภูมิสถานะ (state-space equation) ดังรายละเอียดต่อไปนี้

พิจารณาสมการสถานะตัวแปรเดียวขนาด n จะได้ว่า

$$\begin{aligned}\dot{x} &= Ax + bu \\ y &= cx + du\end{aligned}\tag{3-10}$$

โดยกำหนดให้ $d=0$ เพื่อจะได้พิจารณาอย่างง่าย ในสถานะป้อนกลับ (state feedback) อินพุต u จะหาได้โดย

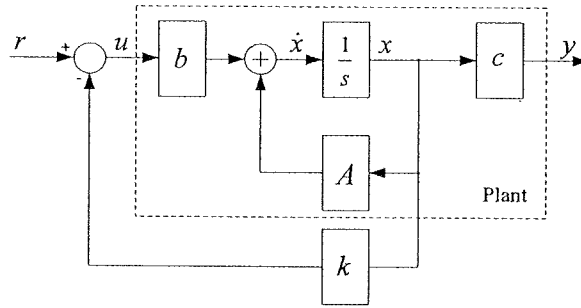


$$u = r - kx = r - [k_1 \quad k_2 \quad \dots \quad k_n]x = r - \sum_{i=1}^n k_i x_i \quad (3-11)$$

นำสมการที่ (3-11) แทนในสมการที่ (3-10) จะได้

$$\begin{aligned} \dot{x} &= (A - bk)x + br \\ y &= cx \end{aligned} \quad (3-12)$$

แสดงได้ดังรูปที่ 3.4 แต่ละอัตราขยายป้อนกลับ k_i (feedback gain) จะเป็นค่าคงที่จำนวนจริง ซึ่งเรียกว่า อัตราขยายคงที่ของสถานะป้อนกลับแบบลบ (constant gain negative state feedback) หรือเรียกง่ายๆ ว่า สถานะป้อนกลับ การหาค่าอัตราขยายป้อนกลับนั้นสามารถหาได้โดยใช้ฟังก์ชัน *place* ในโปรแกรม MATLAB โดยเงื่อนไขในการเลือก closed loop pole คือ สัญญาณอินพุตต้องมีค่าการพุ่งเกิน (overshoot) $P.O. \leq 10\%$ และช่วงเวลารอเข้าที่ (settling time) $T_s = 3$ มิลลิวินาที



รูปที่ 3.4 โครงสร้างสถานะป้อนกลับ

ซึ่งจากสมการที่ (3-12) จะได้เมทริกซ์ $A - bk$ หรือ A' ดังนี้

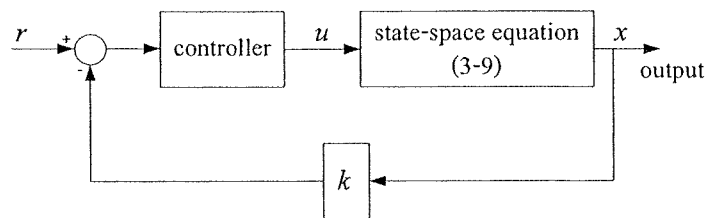
$$A' = A - bk = \begin{bmatrix} \frac{-R_s - k_{11}}{L_s} & -\frac{1}{L_s} - \frac{k_{12}}{L_s} \\ -\frac{R_L R_s}{L_s} + \frac{R_L R_c}{L_c} - \frac{R_L k_{11}}{L_s} - \frac{R_L R_c k_{21}}{L_c} & -\frac{R_L}{L_s} + \frac{(-R_c - R_L)}{L_c} - \frac{R_L k_{12}}{L_s} - \frac{R_L R_c k_{22}}{L_c} \end{bmatrix} \quad (3-13)$$

เมื่อพิจารณาถึงการออกแบบตัวชดเชยสถานะป้อนกลับสำหรับดี-สแตตคอม จากแบบจำลองของดี-สแตตคอม สำหรับระบบไฟฟ้า 3 เฟสแบบสมมาตรในสมการที่ (3-9) จะได้ว่า ตัวแปรสถานะ (state variables) คือ กระแสจากแหล่งจ่าย i_s (current source) และแรงดันโหลด V_L (load voltage)

ส่วนตัวแปรอินพุต (input variables) คือ แรงดันจากแหล่งจ่าย V_s (voltage source) และแรงดันที่อินเวอร์เตอร์ของดี-สแตคคอม ที่เชื่อมต่อเข้ากับระบบ V_c (voltage compensation) ดังนั้นจากสมการที่ (3-11) สามารถหาอินพุต u ได้ดังนี้

$$\begin{bmatrix} V_s \\ V_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} i_s^{ref} \\ V_L^{ref} \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} k_{11} & k_{12} \\ k_{21} & k_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_s \\ V_L \end{bmatrix} \quad (3-14)$$

จากสมการที่ (3-14) จะได้โครงสร้างของตัวชดเชยสถานะป้อนกลับสำหรับดี-สแตคคอม ดังรูปที่ (3.5)



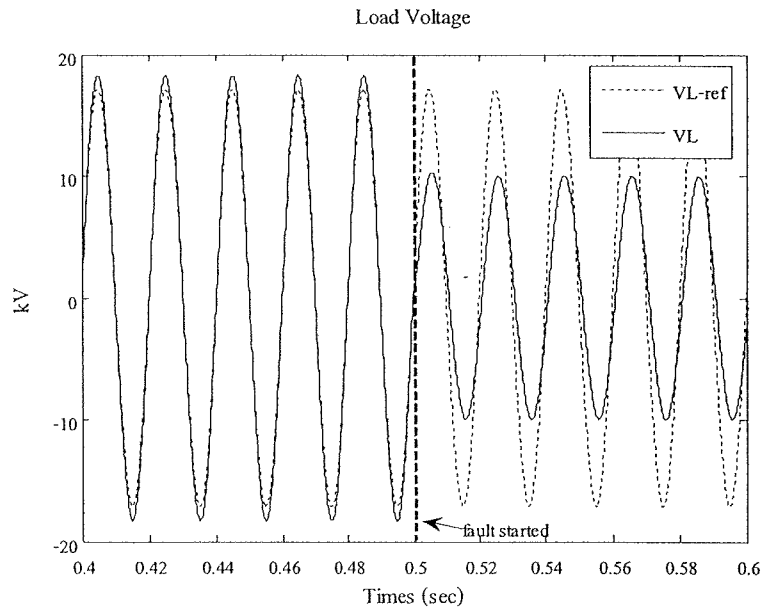
รูปที่ 3.5 โครงสร้างของตัวชดเชยสถานะป้อนกลับสำหรับดี-สแตคคอม

ในงานวิจัยนี้ใช้ตัวควบคุมแบบสัดส่วน (proportional controller) เนื่องจากมีรูปแบบการทำงานที่ง่ายและไม่ซับซ้อน โดยเป็นการควบคุมเอาต์พุตของตัวควบคุมโดยการปรับอัตราขยายของตัวควบคุม หรือค่าพารามิเตอร์การควบคุมแบบสัดส่วน (k_p) เพื่อให้เอาต์พุตของตัวควบคุมสามารถเปลี่ยนแปลงค่าได้ไวตามความต้องการและทำให้ผลตอบสนองของระบบเข้าสู่ค่าเป้าหมาย

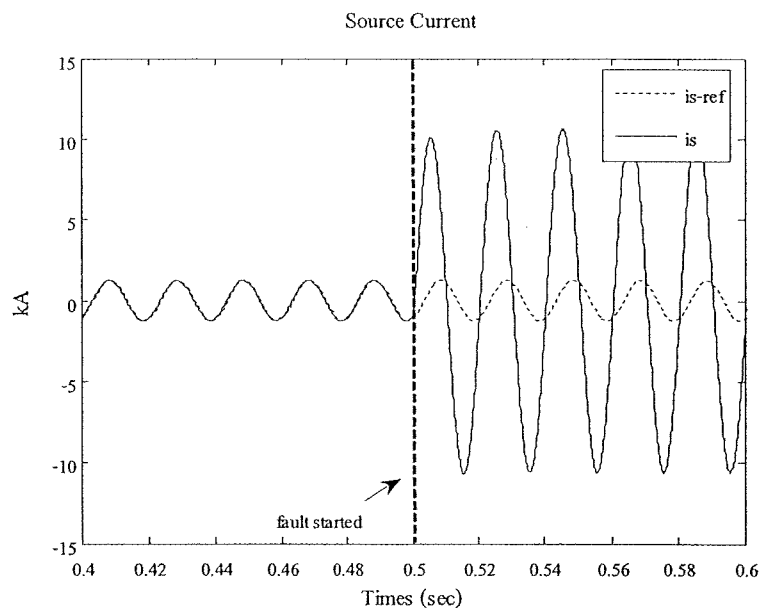
3.4 ผลการทดสอบตัวชดเชยสถานะป้อนกลับในสถานะชั่วคราวสำหรับดี-สแตคคอม

ในการทดสอบตัวชดเชยสถานะป้อนกลับสำหรับดี-สแตคคอม จะทดสอบกับระบบทดสอบอย่างง่าย 2 บัส ซึ่งเป็นระบบจ่ายกำลังไฟฟ้า 3 เฟสแบบสมมาตร ข้อมูลระบบทดสอบแสดงไว้ในภาคผนวก ก.1 การทดสอบจะจำลองความผิดปกติของระบบไฟฟ้า โดยเกิดลัดวงจร 3 เฟสสมมาตรที่บัสโหลด เมื่อเกิดลัดวงจรในระบบจะทำให้ระบบไฟฟ้ามีแรงดันที่บัสโหลดลดลง และติดตั้งดี-สแตคคอมที่บัสโหลด เพื่อยกระดับแรงดันที่ตกเนื่องมาจากการลัดวงจร สามารถแสดงผลทดสอบเปรียบเทียบแรงดันที่บัสโหลด และกระแสจากแหล่งจ่ายของระบบไฟฟ้าในสถานะผิดปกติเมื่อไม่มีตัวควบคุมกับมีตัวควบคุม ได้ดังนี้

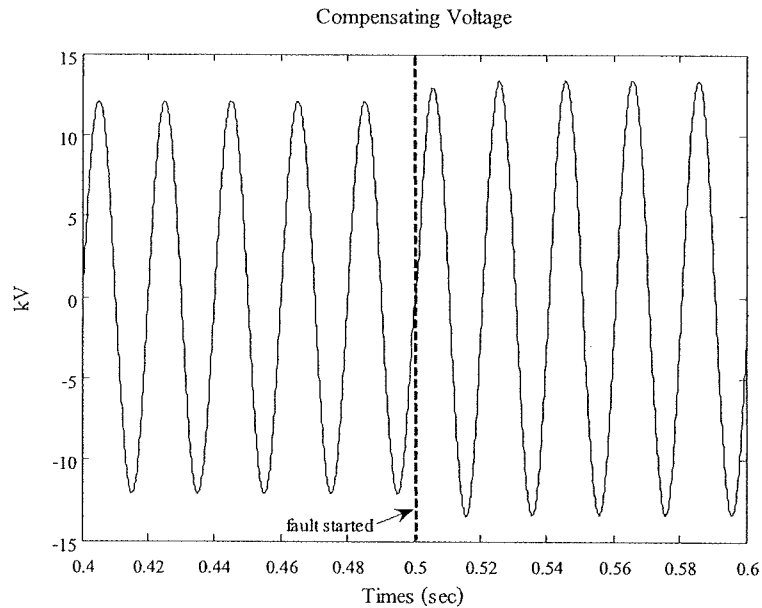
3.4.1 สถานะผิดปกติ (ไม่มีตัวควบคุม)



รูปที่ 3.6 เปรียบเทียบแรงดันโหลดอ้างอิงกับที่จำลองผลได้ ในสถานะผิดปกติ (ไม่มีตัวควบคุม)



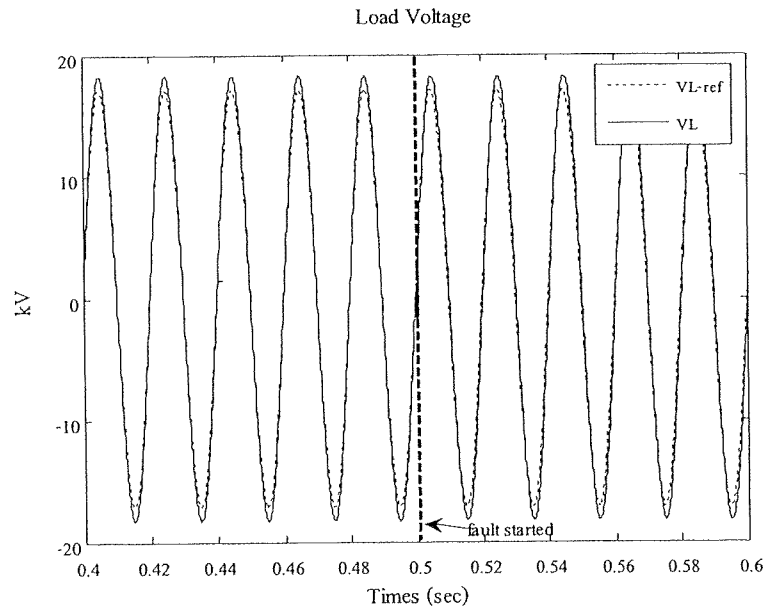
รูปที่ 3.7 เปรียบเทียบกระแสจากแหล่งจ่ายอ้างอิงกับที่จำลองผลได้ ในสถานะผิดปกติ (ไม่มีตัวควบคุม)



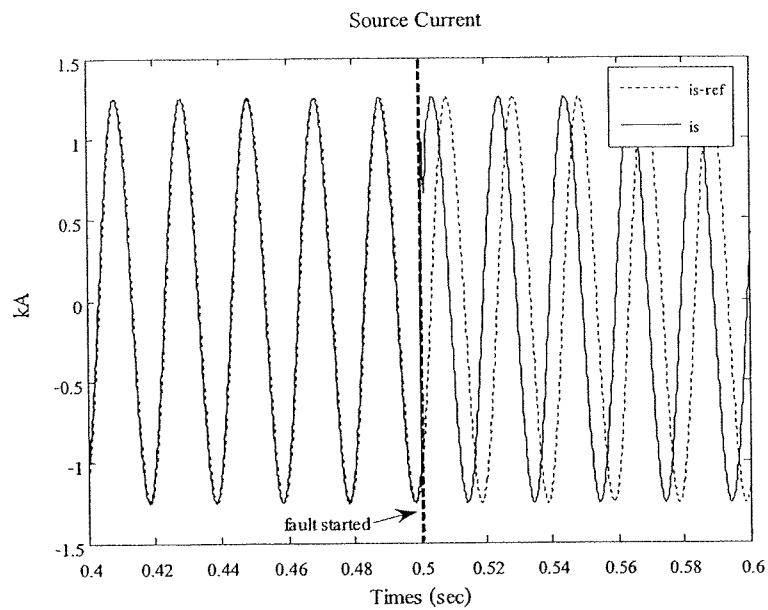
รูปที่ 3.8 แรงดันที่ดี-สแตคคอมจ่ายให้กับระบบ ในสภาวะผิดปกติ (ไม่มีตัวควบคุม)

รูปที่ 3.6 แสดงผลการเปรียบเทียบแรงดันโหลดอ้างอิงกับที่จำลองผลได้ ในสภาวะผิดปกติเมื่อไม่มีตัวควบคุม สังเกตได้ว่า ขณะเกิดความผิดปกติที่เวลา 0.5 วินาที ทำให้เกิดแรงดันตกเนื่องมาจากเกิดการลัดวงจร รูปที่ 3.7 แสดงผลการเปรียบเทียบกระแสจากแหล่งจ่ายอ้างอิงกับที่จำลองผลได้ ในสภาวะผิดปกติเมื่อไม่มีตัวควบคุม ขนาดกระแสจากแหล่งจ่ายที่จำลองผลได้มีค่าสูงมากเมื่อเทียบกับกระแสจากแหล่งจ่ายอ้างอิง และรูปที่ 3.8 แสดงแรงดันที่ดี-สแตคคอมจ่ายให้กับระบบ ในสภาวะผิดปกติเมื่อไม่มีตัวควบคุมสังเกตได้ว่าขณะเกิดความผิดปกติ แรงดันที่ดี-สแตคคอมจ่ายให้กับระบบจะมีขนาดแรงดันมากขึ้นเรื่อย ๆ แต่ไม่มาก เพราะเนื่องจากไม่มีตัวควบคุม ก่อนเข้าสู่สภาวะคงตัวในที่สุด

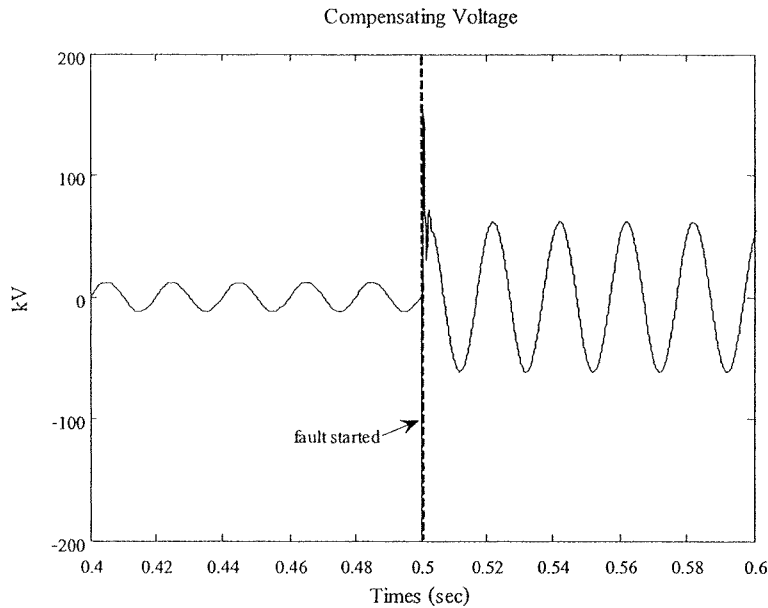
3.4.2 สภาวะผิดปกติ (มีตัวควบคุม)



รูปที่ 3.9 เปรียบเทียบแรงดันโหลดอ้างอิงกับที่จำลองผลได้ ในสภาวะผิดปกติ (มีตัวควบคุม)



รูปที่ 3.10 เปรียบเทียบกระแสจากแหล่งจ่ายอ้างอิงกับที่จำลองผลได้ ในสภาวะผิดปกติ (มีตัวควบคุม)



รูปที่ 3.11 แรงดันที่ดี-สแตคคอมจ่ายให้กับระบบ ในสภาวะผิดปกติ (มีตัวควบคุม)

รูปที่ 3.9 แสดงผลการเปรียบเทียบแรงดันโหลดอ้างอิงกับที่จำลองผลได้ ในสภาวะผิดปกติเมื่อมีตัวควบคุม สังเกตได้ว่า ขณะเกิดความผิดปกติที่เวลา 0.5 วินาที ตัวควบคุมสามารถช่วยลดแรงดันที่ตกเนื่องมาจากการลัดวงจรได้เป็นอย่างดี รูปที่ 3.10 แสดงผลการเปรียบเทียบกระแสจากแหล่งจ่ายอ้างอิงกับที่จำลองผลได้ ในสภาวะผิดปกติเมื่อมีตัวควบคุม สังเกตได้ว่าขณะเกิดความผิดปกติ ขนาดกระแสจากแหล่งจ่ายที่จำลองผลได้มีค่าเท่ากับกระแสจากแหล่งจ่ายอ้างอิง แต่มีเฟสไม่เท่ากัน ในงานวิจัยนี้พิจารณาเฉพาะขนาดเท่านั้น โดยไม่พิจารณาถึงมุมเฟสแต่อย่างใด รูปที่ 3.11 แสดงแรงดันที่ดี-สแตคคอมจ่ายให้กับระบบ ในสภาวะผิดปกติเมื่อมีตัวควบคุม สังเกตได้ว่าขณะเกิดความผิดปกติ แรงดันที่ดี-สแตคคอมจ่ายให้กับระบบมีการกระเพื่อมของแรงดันมากในช่วงแรก ก่อนเข้าสู่สภาวะคงตัวในที่สุด ซึ่งเกิดจากการชดเชยแรงดันของดี-สแตคคอม

จากการทดสอบทั้งหมดสามารถสรุปผลการทดสอบเปรียบเทียบแรงดันที่บัสโหลดและกระแสจากแหล่งจ่ายของระบบไฟฟ้าในสภาวะผิดปกติเมื่อไม่มีตัวควบคุมกับมีตัวควบคุมได้ ดังตารางที่ 3.1 และ 3.2

ตารางที่ 3.1 ผลการทดสอบเปรียบเทียบแรงดันที่บัสโหลดในสภาวะผิดปกติเมื่อไม่มีตัวควบคุม กับมีตัวควบคุม

สถานะ	แรงดันที่บัสโหลด RMS (kV)	
	ไม่มีตัวควบคุม	มีตัวควบคุม
ปกติ	13.024	13.024
ผิดปกติ	7.128	13.018

ตารางที่ 3.2 ผลการทดสอบเปรียบเทียบกระแสแหล่งจ่ายในสภาวะผิดปกติเมื่อไม่มีตัวควบคุม กับมีตัวควบคุม

สถานะ	กระแสจากแหล่งจ่าย RMS (kA)	
	ไม่มีตัวควบคุม	มีตัวควบคุม
ปกติ	0.892	0.892
ผิดปกติ	7.545	0.894

ผลการทดสอบนี้จะมีค่าอัตราขยายป้อนกลับ $k_{11} = 0.7700$, $k_{12} = 1.1830$, $k_{13} = -770$, $k_{14} = 45$ และอัตราขยายของตัวควบคุม $k_p = 5.92$

3.5 การวิเคราะห์ความสามารถควบคุมได้และความสามารถสังเกตได้ของตัวชดเชยสถานะป้อนกลับสำหรับดี-สแตคคอม

3.5.1 ตรวจสอบความสามารถควบคุมได้ (controllable)

ให้เมทริกซ์ A และ b คือ เมทริกซ์ขนาด $n \times n$ และ $n \times p$ ตามลำดับ จะได้ว่า

$$C = [b \quad Ab \quad \dots \quad A^{n-p}b]$$

ระบบจะสามารถควบคุมได้นั้นก็ต่อเมื่อเมทริกซ์ความสามารถควบคุมได้ (controllability matrix) C มีอันดับ (rank) เท่ากับ n ในการตรวจสอบความสามารถควบคุมได้นั้น สามารถตรวจสอบได้โดยใช้ฟังก์ชัน `ctrb` ในโปรแกรม MATLAB เพื่อหาเมทริกซ์ความสามารถควบคุมได้และสามารถหาอันดับได้โดยใช้ฟังก์ชัน `rank` ในโปรแกรม MATLAB

ผลการตรวจสอบ

$$\text{controllability matrix} = \begin{bmatrix} 2500 & 0 & -5.4634 \times 10^9 & -2.2899 \times 10^8 \\ 1e6 & 41958 & -4.0067 \times 10^{12} & -1.7141 \times 10^{11} \end{bmatrix}$$

ผลการตรวจสอบพบว่า เมทริกซ์ A' มี n เท่ากับ 2 ส่วนอันดับของเมทริกซ์ความควบคุมได้ก็เท่ากับ 2 แสดงว่า “ระบบสามารถควบคุมได้”

3.5.2 ตรวจสอบความสามารถสังเกตได้ (observable)

ให้เมทริกซ์ A และ c คือ เมทริกซ์ขนาด $n \times n$ และ $q \times n$ ตามลำดับ จะได้ว่า

$$O = [c \quad cA \quad \dots \quad cA^{n-q}]^T$$

ระบบจะสามารถสังเกตได้นั้นก็ต่อเมื่อเมทริกซ์ความสังเกตได้ (observability matrix) O มีอันดับ (rank) เท่ากับ n ในการตรวจสอบความสามารถควบคุมได้นั้น สามารถตรวจสอบได้ โดยใช้ฟังก์ชัน *obsv* ในโปรแกรม MATLAB เพื่อหาเมทริกซ์ความสังเกตได้และสามารถหาอันดับได้โดยใช้ฟังก์ชัน *rank* ในโปรแกรม MATLAB

ผลการตรวจสอบ

$$\text{observability matrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \\ -2375 & -5457.5 \\ 3.14 \times 10^7 & -4.0852 \times 10^6 \end{bmatrix}$$

ผลการตรวจสอบพบว่า เมทริกซ์ A' มี n เท่ากับ 2 ส่วนอันดับของเมทริกซ์ความสังเกตได้เท่ากับ 2 แสดงว่า “ระบบสามารถสังเกตได้”

3.6 สรุป

จากเนื้อหาในบทนี้ที่กล่าวถึง แบบจำลองในสภาวะชั่วคราวของดี-สแตคคอม สำหรับระบบไฟฟ้า 3 เฟส แบบสมมาตร การออกแบบตัวชดเชยสถานะป้อนกลับในสภาวะชั่วคราวสำหรับดี-สแตคคอม พร้อมทั้งกล่าวถึงผลการทดสอบตัวชดเชยสถานะป้อนกลับในสภาวะชั่วคราวสำหรับดี-สแตคคอม โดยดำเนินการจำลองสถานการณ์ความผิดปกติด้วยการลัดวงจรในระบบจ่ายกำลังไฟฟ้า ทำให้เกิดแรงดันตกที่บัสโหลด และติดตั้งดี-สแตคคอมเพื่อชดเชยแรงดันให้มีขนาดแรงดันสูงขึ้น เพื่อให้ระบบสามารถ

กลับมาทำงานได้ตามปกติ ซึ่งผลการทดสอบที่ได้นั้นแสดงให้เห็นว่า ตัวชดเชยสถานะป้อนกลับในสถานะชั่วคราวสำหรับดี-สแตตคอมสามารถชดเชยแรงดันให้มีขนาดแรงดันสูงขึ้น เพื่อให้ระบบสามารถกลับมาทำงานตามปกติได้เป็นอย่างดี และยังกล่าวถึงการวิเคราะห์ความสามารถควบคุมได้และความสามารถสังเกตได้ของตัวชดเชยสถานะป้อนกลับในสถานะชั่วคราวสำหรับดี-สแตตคอม ซึ่งจากการวิเคราะห์จะเห็นว่า ระบบเมื่อติดตั้งตัวชดเชยสถานะป้อนกลับในสถานะชั่วคราวสำหรับดี-สแตตคอม มีความสามารถควบคุมได้ และสามารถสังเกตได้ โดยเนื้อหาที่กล่าวในบทนี้เป็นการชดเชยกำลังไฟฟ้าด้วยดี-สแตตคอมสำหรับระบบไฟฟ้า 3 เฟส แบบสมมาตรจะนำไปเปรียบเทียบกับ การชดเชยกำลังไฟฟ้าด้วยดี-สแตตคอมสำหรับระบบไฟฟ้า 3 เฟส แบบไม่สมมาตร ซึ่งจะกล่าวในบทที่ 4 ต่อไป