

บทที่ 6

กรณีศึกษา - การออกแบบตัวชุดเซตี-สแตคคอม สำหรับงานอุตสาหกรรม

6.1 ความนำ

เนื้อหาในบทนี้กล่าวถึงการออกแบบตัวชุดเซตี-สแตคคอม สำหรับโรงงานอุตสาหกรรม โดยประยุกต์หลักการออกแบบเพื่อหาพิกัดติดตั้งของดี-สแตคคอมกับตัวอย่างงานอุตสาหกรรม ผลการทดสอบได้นำเสนอการออกแบบการชุดเซตีกำลังไฟฟ้าสำหรับ บริษัท ผาแดงอินดัสทรี จำกัด (มหาชน) เพื่อเป็นกรณีศึกษา

6.2 ปัญหาคุณภาพกำลังไฟฟ้าของบริษัท ผาแดงอินดัสทรี จำกัด (มหาชน)

บริษัท ผาแดงอินดัสทรี จำกัด (มหาชน) เป็นผู้ผลิตโลหะสังกะสีแห่งเดียวในภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ ผลิตภัณฑ์หลักของบริษัท คือ โลหะสังกะสีแท่งบริสุทธิ์และโลหะสังกะสีผสมซึ่งใช้เป็นวัตถุดิบในอุตสาหกรรมต่าง ๆ ปัจจุบันทางโรงงานประสบปัญหาเรื่อง ระบบจ่ายกำลังไฟฟ้า 22 กิโลโวลต์ที่ขาดเสถียรภาพ ทำให้โรงงานต้องหยุดกระบวนการผลิต 5-6 ครั้งต่อปี แต่ทุกครั้งต้องเสียค่าใช้จ่ายในการเริ่มเดินเครื่องประมาณ 1-1.5 ล้านบาท รายละเอียดการใช้พลังงานไฟฟ้าในโรงงานมีดังนี้

6.2.1 รายละเอียดการใช้พลังงานไฟฟ้า

โรงงานนี้ใช้แหล่งพลังงาน 3 แหล่ง คือ

- ระบบสายจ่ายของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค

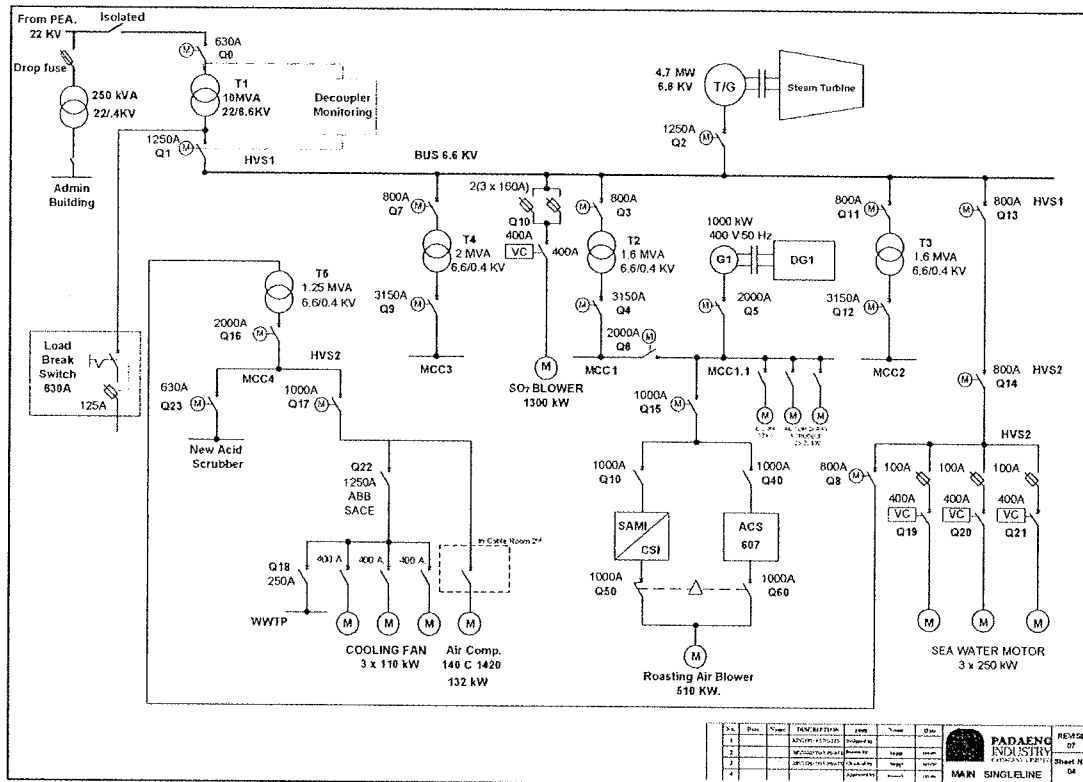
โรงงานนี้รับไฟจากการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคในปริมาณ 200 กิโลวัตต์ หรือไม่เกิน 5% ของความต้องการพลังงานไฟฟ้าทั้งหมด อย่างไรก็ตาม จะนำเข้าพลังงานไฟฟ้ามากในช่วงเริ่มเดินเครื่องในกรณีที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้ายังไม่จ่ายโหลด

- โรงไฟฟ้ากังหันไอน้ำ (Steam Turbine Power Plant)

ความสามารถของเตาอย่างแรงของโรงงาน สร้างความร้อนได้ประมาณ 900 องศาเซลเซียส ทำให้โรงงานสามารถผลิตไอน้ำเพื่อไปผลิตกำลังงานไฟฟ้า ใช้ในโรงงานได้ประมาณ 3.0 เมกกะวัตต์ ซึ่งการผลิตนี้เกือบจะเพียงพอต่อความต้องการใช้ไฟฟ้าทั้งหมดในโรงงาน

- เครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซล (Diesel Generator)

โรงงานนี้ใช้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซลเมื่อเกิดเหตุการณ์ฉุกเฉิน ในกรณีที่สายจ่ายของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคไม่สามารถจ่ายไฟให้โรงงานได้ ทำให้สวิตช์ Q1 ดังแสดงในรูปที่ 6.1 ตัดกระแสไฟฟ้าจากการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคออกจากระบบของโรงงาน กำลังผลิตจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซลนี้ช่วยจ่ายโหลดในส่วนที่รับไฟจากการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคได้อย่างเพียงพอ



รูปที่ 6.1 แผนภาพหลักเส้นเดียวโรงงานของบริษัท ผาแดงอินดัสทรี จำกัด (มหาชน)

6.2.2 ตัวอย่างปัญหาคุณภาพกำลังไฟฟ้าของบริษัท ผาแดงอินดัสทรี จำกัด (มหาชน)

โรงงานของบริษัท ผาแดงอินดัสทรี จำกัด (มหาชน) ใช้ไฟจากโรงไฟฟ้ากังหันไอน้ำกำลังการผลิตกำลังงานไฟฟ้า 3.0 เมกกะวัตต์ โดยนำเข้ากำลังไฟฟ้าจากการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคไม่เกิน 200 กิโลวัตต์เท่านั้น และในวงจรของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคที่จ่ายให้โรงงานของบริษัท ผาแดงอินดัสทรี จำกัด (มหาชน) มีโรงงานอื่น ๆ ใช้ไฟฟ้าร่วมสายจ่ายเดียวกัน เมื่อโรงงานอื่น ๆ เริ่มเดินเครื่องจักรขนาดใหญ่ขึ้น ทำให้กระแสและแรงดันของวงจรสายจ่ายไฟฟ้าดังกล่าวเกิดการกระเพื่อมขึ้น สวิตช์ Q1 ตรวจพบความผิดปกติ และได้ตัดระบบไฟฟ้าจากการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคออกและใช้กระแสไฟฟ้าจากโรงไฟฟ้ากังหันไอน้ำที่ผลิตกำลังงานไฟฟ้าได้ 3.0 เมกกะวัตต์ทดแทน ซึ่งไม่เพียงพอต่อปริมาณการใช้งาน ส่งผลให้ต้องเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซลเพื่อช่วยจ่ายโหลด แต่กระบวนการดังกล่าวใช้เวลานานเกินไป ส่งผลให้เกิดโหลดเกินและทำให้เกิดไฟฟ้าดับฉุกเฉิน (emergency shutdown) ทั้งระบบขึ้น

6.3 การแก้ปัญหาด้วยตัวชดเชยดี-สแตกคอม

เนื่องจากทางโรงงานประสบปัญหาเรื่องระบบจ่ายกำลังไฟฟ้า 22 กิโลโวลต์ของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคที่ขาดเสถียรภาพ ทำให้โรงงานต้องหยุดกระบวนการผลิต 5-6 ครั้งต่อปี โดยแต่ละครั้งค่าใช้จ่ายในการเริ่มเดินเครื่องประมาณ 1-1.5 ล้านบาท แนวทางแก้ไขปัญหานี้ที่นำเสนอในวิทยานิพนธ์นี้ คือ การติดตั้งดี-สแตกคอมเข้ากับระบบไฟฟ้าเพื่อชดเชยผลกระทบจากสภาวะชั่วคราวที่เกิดจากโรงงานอื่น ๆ เช่น การเริ่มเดินเครื่องจักรขนาดใหญ่หรือการเกิดลัดวงจรในสายจ่ายของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค หลักการออกแบบเพื่อหาพิกัดติดตั้งดี-สแตกคอมนั้นใช้หลักการเดียวกับการหาขนาดพิกัดกิโลโวลต์เอ (kVA) ขั้นต่ำที่สอดคล้องกับข้อกำหนดของแรงดันวูบ (voltage dip) เครื่องจักรของโรงงานนี้ใช้มอเตอร์เหนี่ยวนำเป็นหลัก ซึ่งการเริ่มเดินเครื่องมอเตอร์ด้วยวิธีต่างกัน จะให้กระแสเริ่มเดินเครื่องไม่เท่ากัน การเริ่มเดินเครื่องแบบต่อตรง (direct on line: DOL) ให้กระแสเริ่มเดินเครื่องสูงสุดทำให้เกิดแรงดันวูบมากที่สุด ในขณะที่วิธีเริ่มเดินเครื่องแบบลดแรงดัน (reduced voltage start) หรือแบบวาย-เคลด้า จะช่วยให้กระแสเริ่มเดินเครื่องน้อยลง [7] โดยการหา kVA ขณะเริ่มเดินเครื่องของการต่อมอเตอร์ทั้ง 2 แบบ หาได้ดังนี้

- การเริ่มเดินเครื่องแบบ DOL

$$kVA_{(s)} = 6 \text{ kVA(I/P)} \quad (6-1)$$

- การเริ่มเดินเครื่องแบบ Y-Δ

$$kVA_{(s)} = 2 \text{ kVA(I/P)} \quad (6-2)$$

โดยที่ $kVA_{(s)}$ คือ ขนาดพิกัดกิโลโวลต์เอเริ่มเดินเครื่องของมอเตอร์
 $kVA(I/P)$ คือ ขนาดพิกัดกิโลโวลต์เออินพุตของมอเตอร์

แรงดันวูบอันเนื่องจากการเริ่มเดินเครื่องมอเตอร์จะต้องควบคุมได้ตามชนิดโหลด เช่น โหลดคอมพิวเตอรส์หรืออุปกรณ์ไวต่อการเปลี่ยนแปลงแรงดัน แรงดันวูบไม่เกิน 10% โหลดโรงงานอุตสาหกรรม แรงดันวูบไม่เกิน 15-25% เป็นต้น ถ้าต้องการจำกัดแรงดันวูบที่ค่าหนึ่ง ๆ สามารถหาความสัมพันธ์ของ $kVA_{(s)}$ ของมอเตอร์กับขนาดของอุปกรณ์ชดเชยกำลังไฟฟ้า $kVA_{(C)}$ ได้ดังนี้

แรงดันวูบ 26 %	$kVA_{(s)} = 1.8 \text{ kVA}_{(C)}$
แรงดันวูบ 20 %	$kVA_{(s)} = 1.25 \text{ kVA}_{(C)}$
แรงดันวูบ 16 %	$kVA_{(s)} = kVA_{(C)}$
แรงดันวูบ 10 %	$kVA_{(s)} = 0.55 \text{ kVA}_{(C)}$

6.3.1 การหาขนาด kVA ขั้นต่ำของดี-สแตคคอม

การขนาดพิกัด kVA ของดี-สแตคคอมสำหรับงานหนึ่ง ๆ นั้น ต้องทำการวิเคราะห์ โหลด โดยแยกออกเป็น 2 ลักษณะ คือ โหลดในสถานะคงตัว (steady-state loading) และโหลดในสถานะชั่วคราว (transient loading) รายละเอียดแสดงได้ดังนี้

- โหลดในสถานะคงตัว

โหลดในสถานะคงตัว คือ โหลดทั้งหมดที่ดี-สแตคคอมจะต้องจ่ายให้ โหลดทั้งหมดนี้ได้มาจากการรวมโหลดของอุปกรณ์ไฟฟ้าต่าง ๆ ที่จะใช้กับดี-สแตคคอม โดยคิดขนาดของโหลดเป็นกิโลวัตต์ (kW) หรือกิโลโวลต์เอม (kVA) การหาโหลดจำเป็นต้องรู้ประสิทธิภาพของอุปกรณ์ไฟฟ้าเหล่านั้น เพื่อใช้ข้อมูลคำนวณหา กำลังงานเอาต์พุต ซึ่งคือโหลดที่ดี-สแตคคอมต้องจ่ายกำลังไฟฟ้าชดเชย และถ้าต้องการคำนวณ kVA ต้องใช้ข้อมูลตัวประกอบกำลัง (power factor) ด้วยตามสมการต่อไปนี้

$$kW_{(C)} = kW(O/P)/\eta \quad (6-3)$$

$$kVA_{(C)} = kW_{(C)}/P.F. \quad (6-4)$$

โดยที่ $kW_{(C)}$	คือ	โหลดของดี-สแตคคอม
$kW(O/P)$	คือ	กำลังพิกัดของอุปกรณ์ไฟฟ้า
η	คือ	ประสิทธิภาพของอุปกรณ์ไฟฟ้า
P.F.	คือ	ตัวประกอบกำลัง

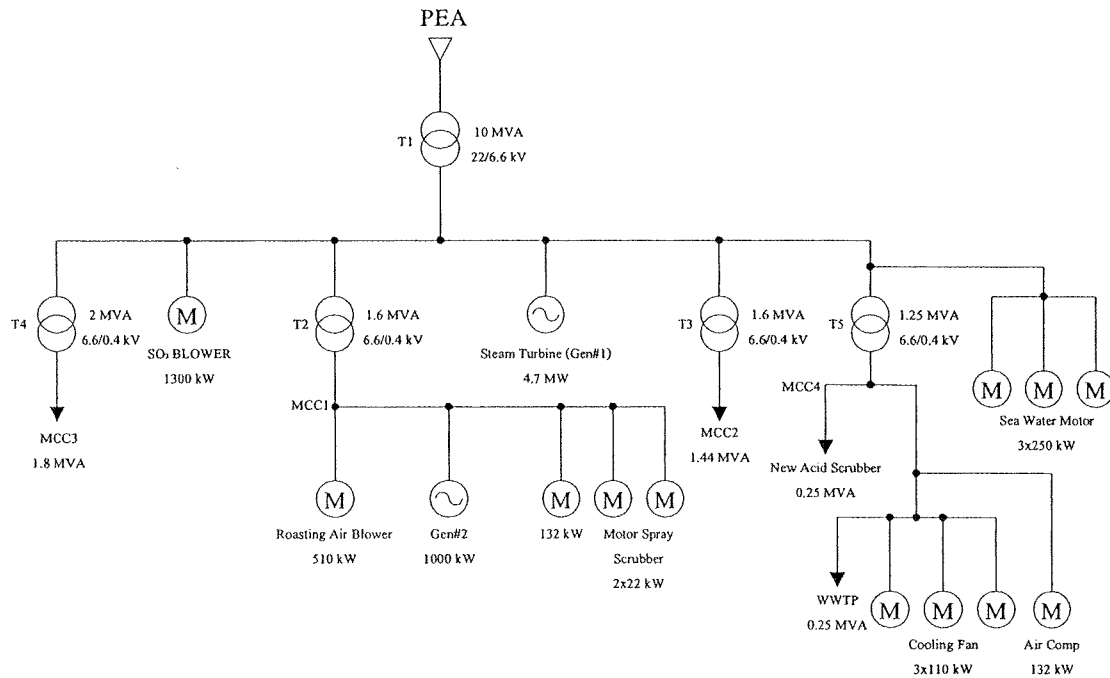
- โหลดในสถานะชั่วคราว

โหลดสถานะชั่วคราวเกิดจากการเริ่มเดินเครื่องมอเตอร์ ทำให้เกิดแรงดันวูบ โหลดในสถานะชั่วคราวประเมินได้จาก $kVA_{(s)}$ ของมอเตอร์ร่วมกับ kVA ของโหลดอื่น ๆ ที่ต่อร่วมอยู่

แผนภาพหลักเส้นเดียวของโรงงานมีวงจรที่ยูกยากซับซ้อน สามารถเขียนให้อยู่ในรูปอย่างง่ายได้ดังรูปที่ 6.2 ซึ่งแสดงแผนภาพหลักเส้นเดียวของโรงงาน รายละเอียดของโหลดต่าง ๆ แสดงได้ดังตารางที่ 6.1

เนื่องจากการหาขนาดของดี-สแตคคอมจำเป็นต้องรู้ประสิทธิภาพของอุปกรณ์ไฟฟ้า นั้น ๆ และตัวประกอบกำลังด้วย [24] ได้กล่าวถึงค่าประสิทธิภาพของมอเตอร์ โดยขนาดมอเตอร์ที่ใหญ่ที่สุด คือ 30 แรงม้าหรือประมาณ 22 กิโลวัตต์ มีค่าประสิทธิภาพมาตรฐานเท่ากับ 90.4% และมีแนวโน้มมากขึ้นเรื่อย ๆ ตามขนาดของมอเตอร์ ซึ่งขนาดมอเตอร์ในโรงงานนี้มีขนาดใหญ่สุดถึง 1300 กิโลวัตต์ ดังนั้นจึงกำหนดให้ค่าประสิทธิภาพมาตรฐานของมอเตอร์ตั้งแต่ขนาด 22 กิโลวัตต์

ขึ้นไปมีค่าเท่ากับ 95% และ [24] ยังได้กล่าวอีกว่า มอเตอร์ที่ใช้งานในส่วน of โรงงานอุตสาหกรรม จะมีค่าตัวประกอบกำลังเท่ากับ 0.85 ถ้าหลัง



รูปที่ 6.2 แผนภาพหลักเส้นเดียวของโรงงานอย่างง่าย

ตารางที่ 6.1 รายละเอียดของโหลดต่าง ๆ ในแผนภาพหลักเส้นเดียวของโรงงานอย่างง่าย

อุปกรณ์ไฟฟ้า	ขนาด	จำนวน (ตัว)	P.F.	η (%)
1. มอเตอร์ไฟฟ้า 3 เฟส (Y-Δ)	22 กิโลวัตต์	2	0.85	90.4
2. มอเตอร์ไฟฟ้า 3 เฟส (Y-Δ)	110 กิโลวัตต์	3	0.85	95
3. มอเตอร์ไฟฟ้า 3 เฟส (Y-Δ)	132 กิโลวัตต์	2	0.85	95
4. มอเตอร์ไฟฟ้า 3 เฟส (Y-Δ)	250 กิโลวัตต์	3	0.85	95
5. มอเตอร์ไฟฟ้า 3 เฟส (Y-Δ)	510 กิโลวัตต์	1	0.85	95
6. มอเตอร์ไฟฟ้า 3 เฟส (Y-Δ)	1300 กิโลวัตต์	1	0.85	95
7. โหลดรวมอื่น ๆ	3740 กิโลวัตต์	-	0.85	-

โหลดโรงงานอุตสาหกรรม แรงดันขดต้องไม่เกิน 15-25% [7] ดังนั้นในการหาขนาด คี-สแตคคอมกำหนดให้แรงดันขดไม่เกิน 20% จะได้

- ตัวอย่างการคำนวณหาโหลดรวมของดี-สแตคคอม

มอเตอร์ไฟฟ้า 3 เฟส (Y-Δ) ขนาด 22 กิโลวัตต์ P.F. = 0.85 η = 90.4%

$$\text{kW(I/P)} = \frac{22}{0.904} = 24.34$$

$$\text{kVA(I/P)} = \frac{22}{0.904 \times 0.85} = 28.63$$

$$\text{kVA}_{(s)} = 2 \text{ kVA(I/P)} = 57.26$$

สามารถสรุปรวมโหลดของดี-สแตคคอม ได้ดังตารางที่ 6.2

ตารางที่ 6.2 โหลดรวมของดี-สแตคคอม

อุปกรณ์ไฟฟ้า	ขนาด	จำนวน (ตัว)	kW(I/P)	kVA(I/P)	kVA _(s)
1. มอเตอร์ไฟฟ้า 3 เฟส	22 กิโลวัตต์	2	48.68	57.26	114.52
2. มอเตอร์ไฟฟ้า 3 เฟส	110 กิโลวัตต์	3	347.37	408.66	817.35
3. มอเตอร์ไฟฟ้า 3 เฟส	132 กิโลวัตต์	2	277.9	326.94	653.86
4. มอเตอร์ไฟฟ้า 3 เฟส	250 กิโลวัตต์	3	789.48	928.80	1857.60
5. มอเตอร์ไฟฟ้า 3 เฟส	510 กิโลวัตต์	1	536.84	631.58	1263.16
6. มอเตอร์ไฟฟ้า 3 เฟส	1300 กิโลวัตต์	1	1368.42	1609.91	3219.81
7. โหลดรวมอื่น ๆ	3740 กิโลวัตต์	-	3179	3740	3740

- การหาพิกัดดี-สแตคคอม กรณีไม่พิจารณาเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

สำหรับแรงดันวูบไม่เกิน 20% ยอมให้

$$\text{kVA}_{(s)} = 1.25 \text{ kVA}_{(c)}$$

ถ้าเริ่มเดินเครื่องพร้อมกันหมด จะได้

$$\text{kVA}_{(c)} = \frac{11666.30}{1.25} = 9333.04$$

$$\text{kW}_{(c)} = 9333.04 \times 0.85 = 7933.08$$

ดังนั้นพิกัดดี-สแตคคอม กรณีไม่พิจารณาเครื่องกำเนิดไฟฟ้าต้องมีพิกัดกิโลวัตต์ ไม่น้อยกว่า 7933.08 กิโลวัตต์ หรือ 9333.04 กิโลวัตต์ สำหรับแรงดันขดไม่เกิน 20%

- การหาพิกัดดี-สแตคคอม กรณีพิจารณาเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

เนื่องจากในระบบไฟฟ้าของโรงงานมีแหล่งกำเนิดพลังงานที่เป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้าอยู่ 2 ชนิด คือ โรงไฟฟ้ากังหันไอน้ำและเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซล ซึ่งทั้ง 2 ชนิดช่วยจ่ายกำลังไฟฟ้าแทนดี-สแตคคอม เท่ากับ 5700 กิโลวัตต์ หรือ 6705.88 กิโลวัตต์ การหาพิกัดดี-สแตคคอมกรณีพิจารณาเครื่องกำเนิดไฟฟ้า หาได้จากการนำเอาพิกัดดี-สแตคคอมที่ไม่พิจารณาเครื่องกำเนิดไฟฟ้ามาลบออกจากกำลังไฟฟ้าที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้าช่วยจ่ายกำลังไฟฟ้าแทนดี-สแตคคอม ดังนั้นพิกัดดี-สแตคคอม กรณีพิจารณาเครื่องกำเนิดไฟฟ้าต้องมีพิกัดกิโลวัตต์ไม่น้อยกว่า 2233 กิโลวัตต์ หรือ 2627.16 กิโลวัตต์ สำหรับแรงดันขดไม่เกิน 20%

ช่วงพิกัดดี-สแตคคอมที่สามารถใช้กับระบบไฟฟ้าของโรงงานนี้ได้ อยู่ในช่วง 2233-7933.08 กิโลวัตต์ หรือ 2627.16-9333.04 กิโลวัตต์ ในขณะที่เดียวกันถ้าระบบไฟฟ้าของโรงงานนี้ไม่มีโรงไฟฟ้ากังหันไอน้ำและเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซล ดี-สแตคคอมก็สามารถชดเชยกำลังไฟฟ้าได้ แต่ถ้าพิจารณาทั้ง 3 อย่าง คือ เมื่อเกิดแรงดันขด โรงไฟฟ้ากังหันไอน้ำ เครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซลและดี-สแตคคอมจ่ายกำลังไฟฟ้าพร้อมกัน ซึ่งในความเป็นจริงแล้วมีความเป็นไปได้น้อย เพราะเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซลใช้เวลาในการเริ่มเดินเครื่องนานเมื่อไม่ได้ถูกออกแบบให้ใช้งานร่วมกับอุปกรณ์อื่น ระบบอาจจะล้มก่อนที่จะเริ่มเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซลได้สำเร็จ

6.4 สรุป

บทนี้กล่าวถึงการออกแบบตัวชดเชยดี-สแตคคอม สำหรับโรงงานอุตสาหกรรม โดยประยุกต์หลักการออกแบบเพื่อหาพิกัดติดตั้งของดี-สแตคคอม กับตัวอย่างงานอุตสาหกรรม ซึ่งได้นำเสนอการออกแบบการชดเชยกำลังไฟฟ้าของ บริษัท ผาแดงอินดัสทรี จำกัด (มหาชน) จากการดำเนินการพบว่า พิกัดติดตั้งของดี-สแตคคอม ที่ได้ออกแบบสามารถแก้ปัญหาระบบจ่ายกำลังไฟฟ้า 22 กิโลวัตต์ที่ขาดเสถียรภาพของบริษัท ผาแดงอินดัสทรี จำกัด (มหาชน) ได้ ผลการออกแบบพบว่าต้องใช้ดี-สแตคคอมพิกัดในช่วง 2233-7933.08 กิโลวัตต์ หรือ 2627.16-9333.04 กิโลวัตต์