

บทที่ 4 การทดลองและผลการทดลอง

4.1 บทนำ

ในบทนี้จะกล่าวถึงการทดลองเพื่อศึกษาการทำงานของระบบควบคุมดี-สแตคคอมที่ออกแบบไว้ในบทที่ 3 สำหรับแก้ปัญหาคุณภาพและชดเชยกำลังไฟฟ้าในระบบจำหน่ายผ่านการจำลองระบบทางคอมพิวเตอร์ด้วยโปรแกรม PSCAD/EMTDC การทดลองระบบควบคุมจะมีทั้งแบบที่มีการติดตั้งตัวดี-สแตคคอมแบบชุดเดียวและระบบควบคุมตัวดี-สแตคคอมแบบหลายชุดเชื่อมต่อและไม่เชื่อมต่อกับระบบ โดยมีพารามิเตอร์ที่ใช้ในการจำลองระบบดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1พารามิเตอร์ที่ใช้ในการจำลองระบบ

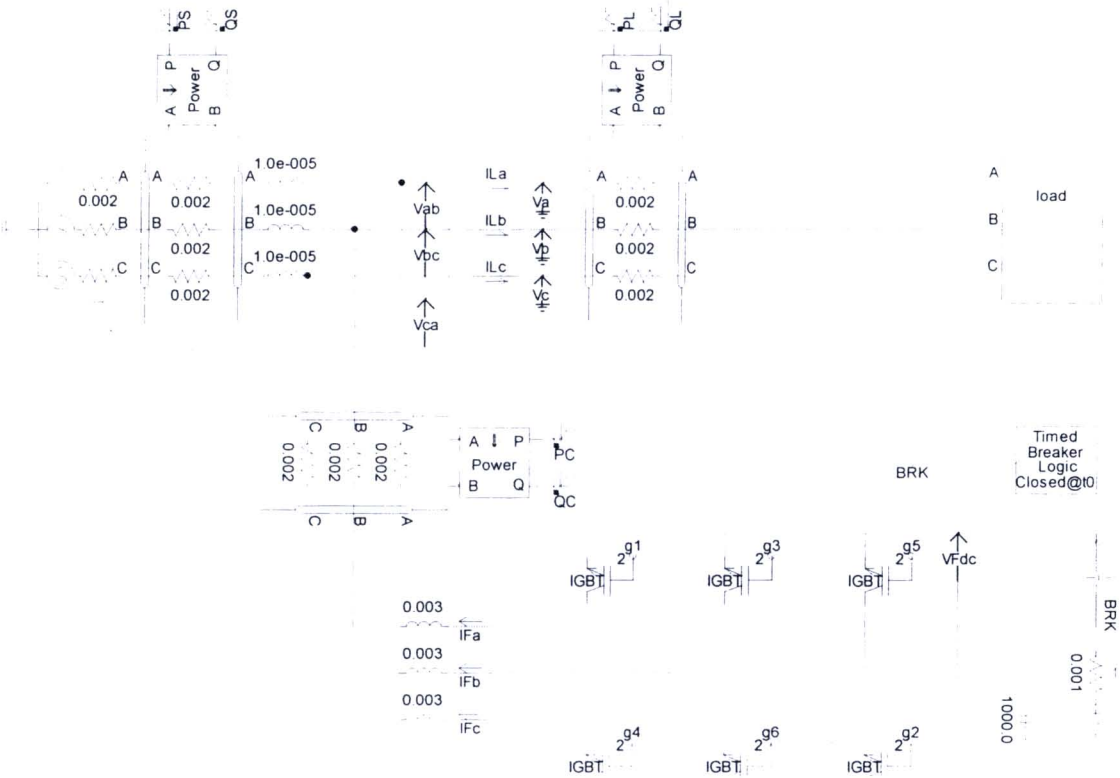
Power Circuit	
D-STATCOM	40 kVA
Capacitance	1000 μ F
Supply Voltage	380 Vrms(L-L)
3 phase load Balance	25.5 kVA, pf 0.9 lagging
3 phase loadUnbalance	4 kW, 0.18 kVAR
DC bus voltage	800V

4.2การจำลองระบบควบคุมดี-สแตคคอมเพื่อแก้ปัญหาคุณภาพกำลังไฟฟ้า

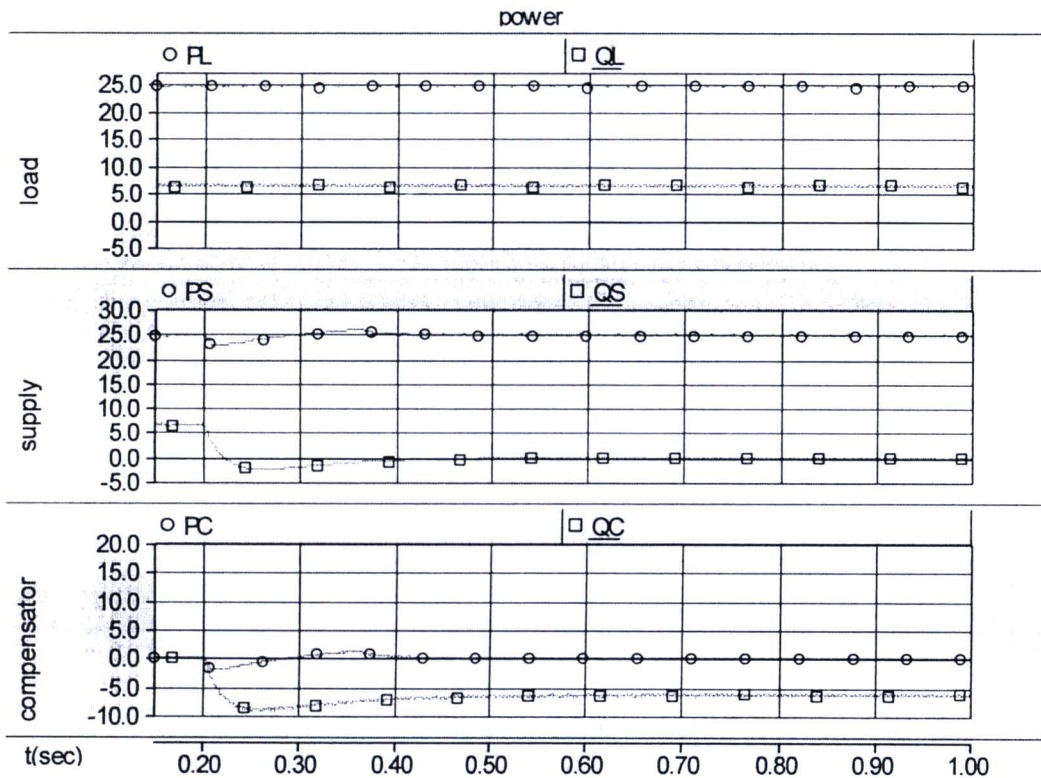
ในการทดลองนี้จะจำลองปัญหาที่เกิดขึ้นในระบบจำหน่ายโดยแบ่งออกเป็น 3กรณีหลักคือ1.ปัญหาตัวประกอบกำลังของโหลดต่ำ 2.เกิดฮาร์โมนิกส์เนื่องจากโหลดไม่เป็นเชิงเส้น 3.การเกิดการไม่สมดุลของโหลด

4.2.1 การจำลองระบบควบคุมดี-สแตคคอมกรณิตัวประกอบของโหลดต่ำ

การจำลองจะใช้โครงสร้างของระบบตามรูปที่4.1 โดยสมมุติให้โหลดในระบบมีขนาดเท่ากับ 25 กิโลวัตต์ 8 กิโลวาร์ เมื่อเวลาผ่านไป 0.2 วินาทีจะสั่งให้ดี-สแตคคอมทำการชดเชยกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟเพื่อแก้ไขปัญหาตัวประกอบกำลังไฟฟ้าโหลดต่ำดังแสดงในรูปที่ 4.2 ซึ่งจะเห็นว่ากำลังที่ส่งมาทางด้านกำลังไฟฟ้าหลักจะจ่ายเฉพาะกำลังไฟฟ้าแอคทีฟเท่านั้น



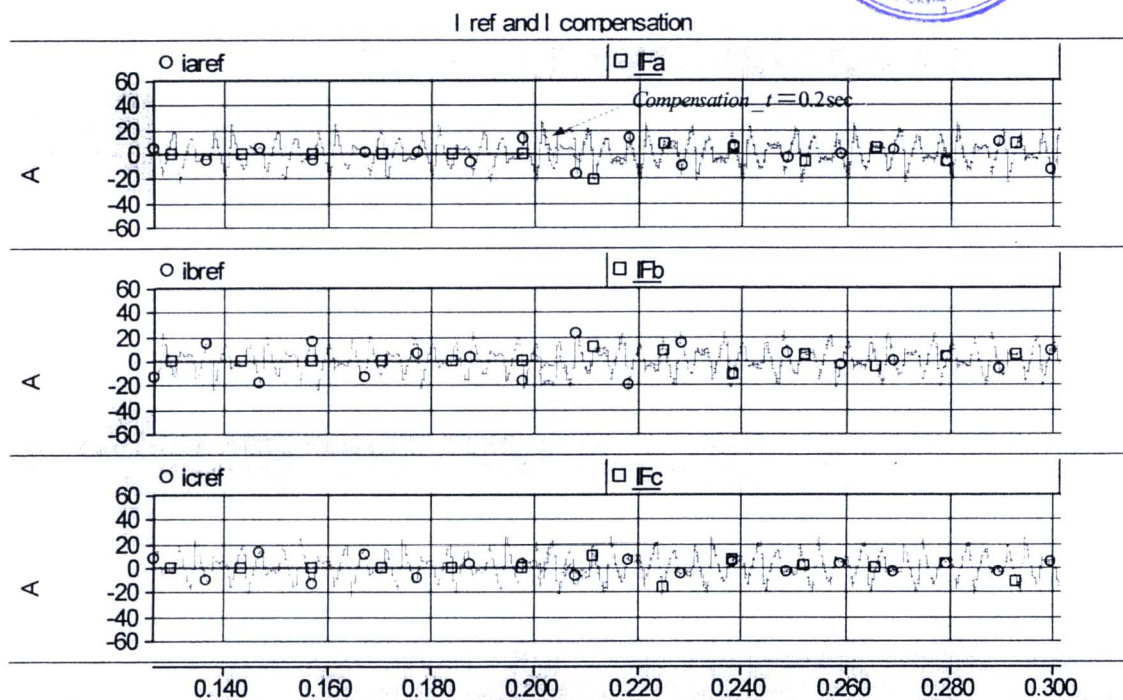
รูปที่ 4.1 โครงสร้างของดี-สแตคคอมเพื่อแก้ไขปัญหาตัวประกอบกำลังของโหลดต่ำและชดเชยกระแสฮาร์มอนิกส์



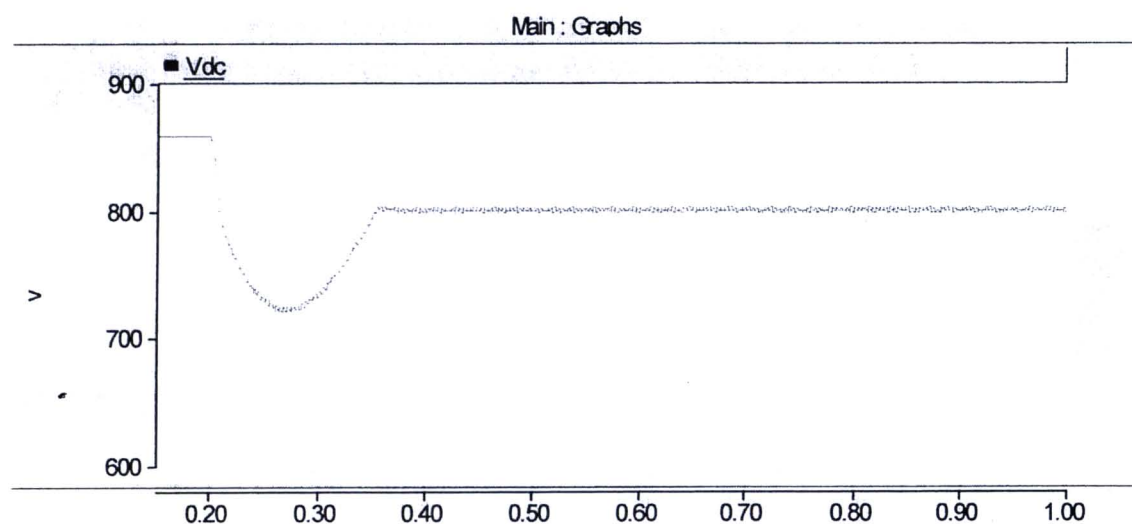
รูปที่ 4.2 การชดเชยกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟที่โหลดเพื่อปรับตัวประกอบกำลัง

4.2.2 การจำลองระบบควบคุมเพื่อชดเชยกระแสฮาร์โมนิกส์

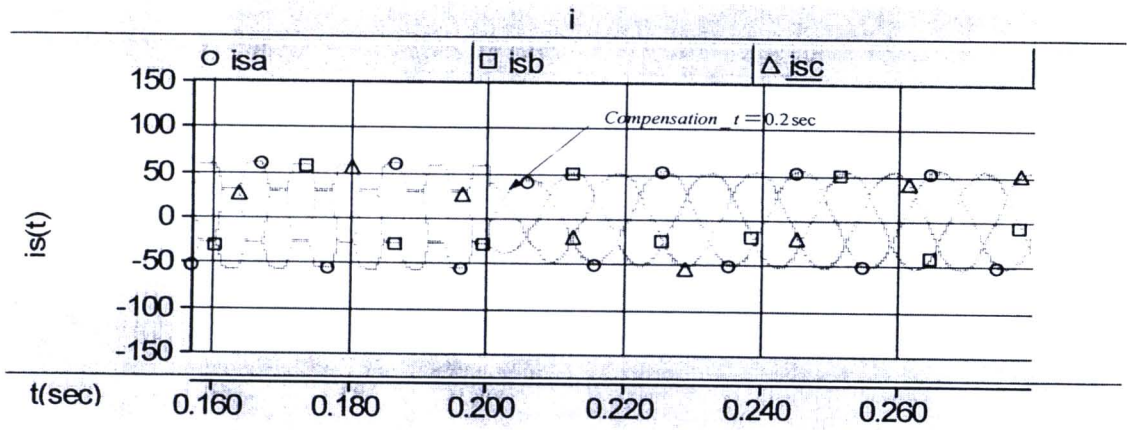
การจำลองระบบจะใช้รูปที่ 4.1 ในกรณีที่ เป็นโหลดฮาร์โมนิกส์ ซึ่งกำหนดให้ดี-สแตคคอมทำงานที่เวลา $t=0.2$ วินาที เนื่องจากตัวดี-สแตคคอมไม่มีแหล่งจ่ายพลังงานต่อเข้ากับดีซีบัส ค่ากำลังไฟฟ้าอ้างอิง $P_{inst} = \tilde{P}$ และ $Q_{inst} = \tilde{Q}$ หมายถึงกำลังไฟฟ้าจะมีส่วนประกอบของกำลังไฟฟ้าที่เป็นกำลังไฟฟ้าฮาร์โมนิกส์



รูปที่ 4.3 เปรียบเทียบกระแสอ้างอิงที่ใช้ในการชดเชยกระแสฮาร์มอนิกกับกระแสที่วัดได้จากขาออกของดี-สแตตคอม



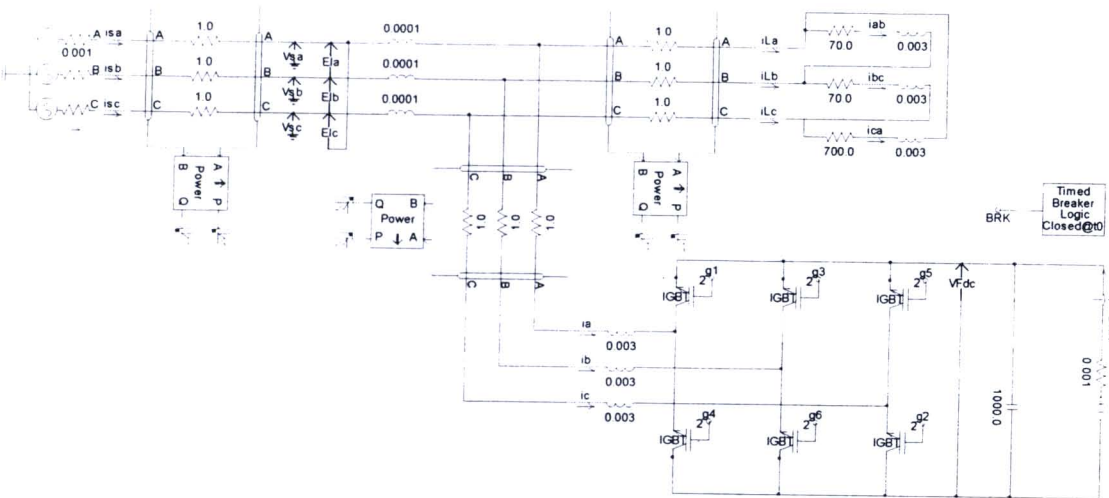
รูปที่ 4.4 แรงดันไฟฟ้าอ้างอิงที่คิชิบัส



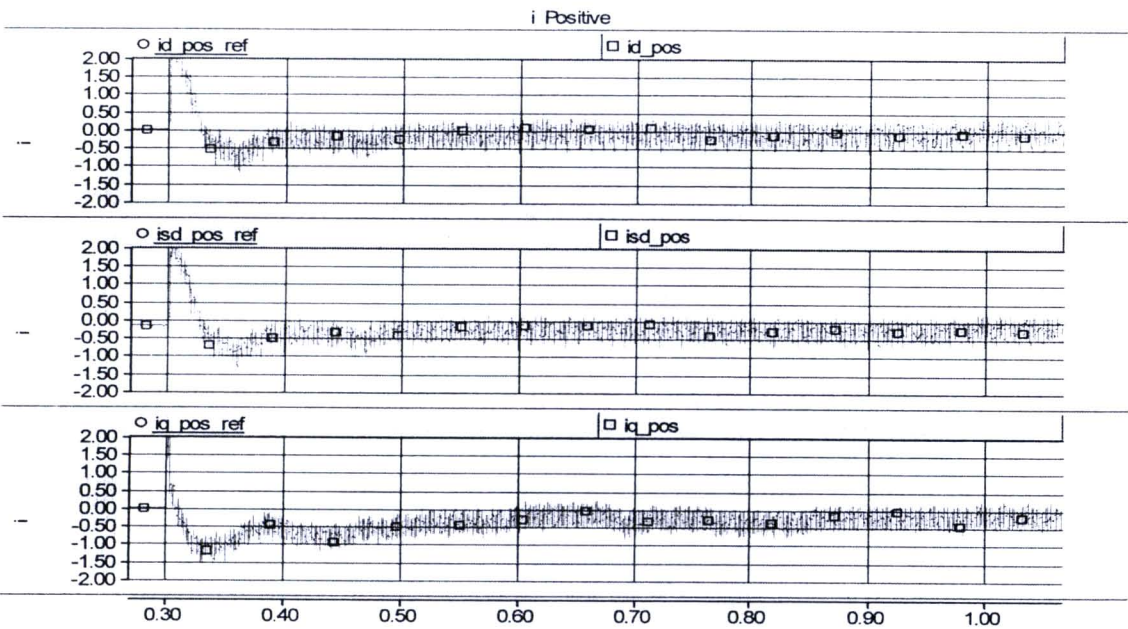
รูปที่ 4.5 รูปคลื่นกระแสของระบบหลังจากการชดเชยกระแสฮาร์มอนิกส์ทำให้ค่า $THD_i = 21.48\%$ เดิมเหลือ $THD_i = 5.06\%$

4.2.3 การจำลองระบบควบคุมดี-สแตตคอมกรณีที่โหลดมีความไม่สมดุล

กำหนดให้ดี-สแตตคอมทำการชดเชยเพื่อปัญหาความไม่สมดุลของโหลด ทำงานที่เวลา $t=0.3$ วินาที เพื่อชดเชยกระแสส่วนประกอบลำดับเฟสลบทำให้ระบบจากเดิมที่มีขนาดกระแสไหลที่ไม่เท่ากันให้มีขนาดสมดุลกันในที่สุด

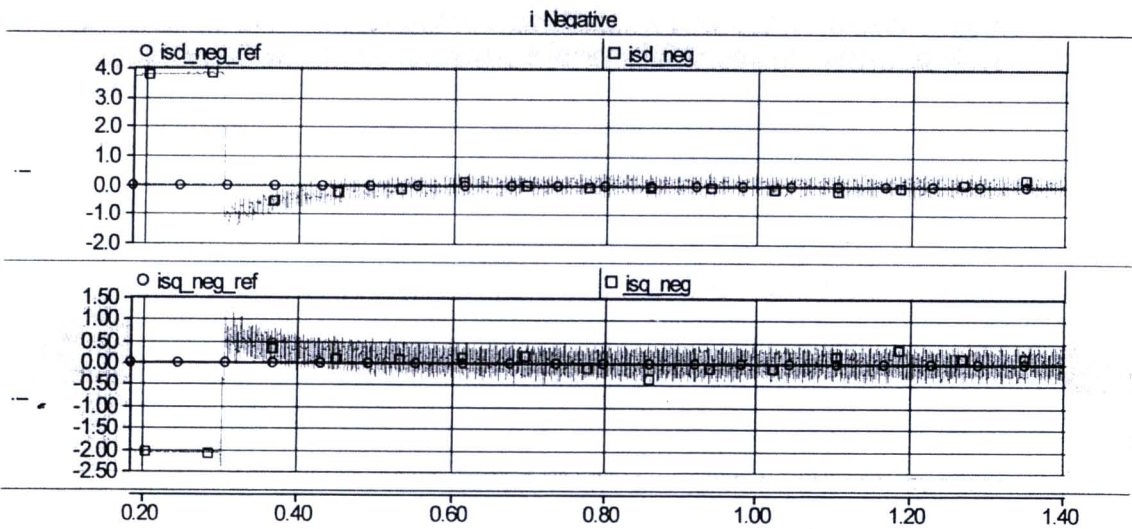


รูปที่ 4.6 โครงสร้างของดี-สแตตคอมเพื่อชดเชยกระแสฮาร์มอนิกส์



รูปที่ 4.7 กระแสอ้างอิงลำดับเฟสบวกในแกนดีที่ใช้ในการชดเชย

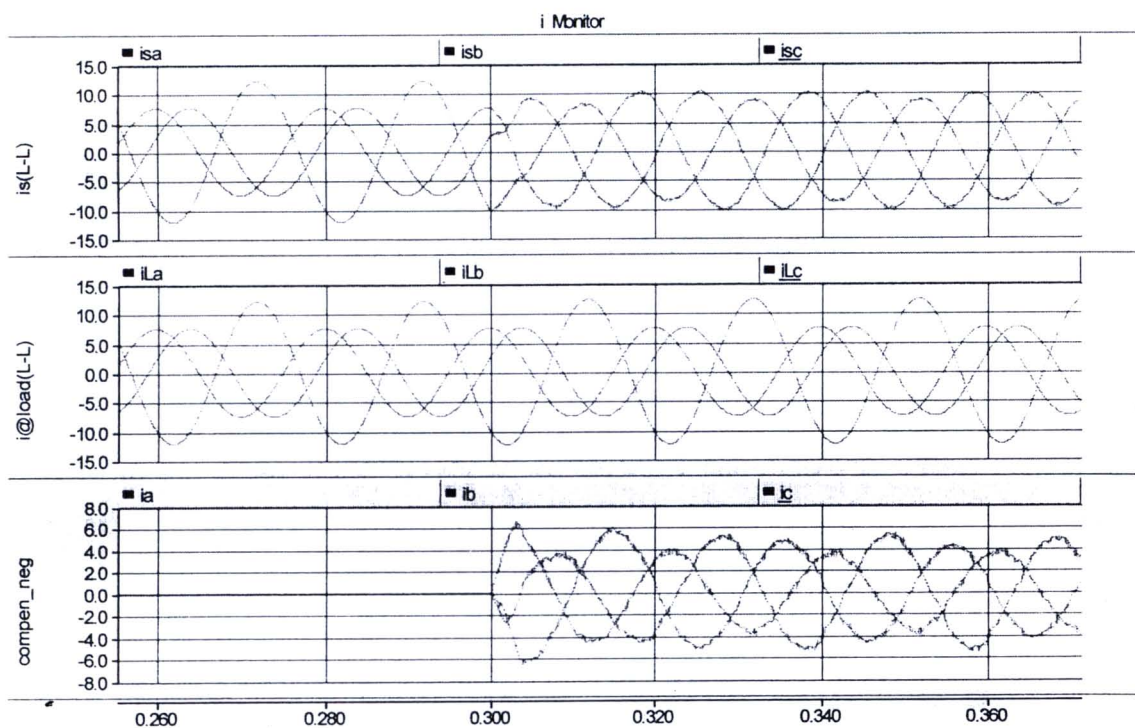
จากรูปที่ 4.7 จะเห็นว่ากระแสลำดับเฟสบวกที่วัดได้นั้นเทียบกับกระแสอ้างอิงมีค่าใกล้เคียงกันเป็นไปตามระบบควบคุมที่ได้ออกแบบไว้คือต้องการที่จะชดเชยกระแสลำดับเฟสลบเท่านั้น โดยจำเป็นที่จะต้องเซตค่ากระแสในลำดับเฟสบวกให้เป็นศูนย์ทั้งหมด



รูปที่ 4.8 กระแสอ้างอิงในกรอบหมุนดีคิวที่ใช้ชดเชยกระแสลำดับเฟสลบให้กับระบบ

ขณะเดียวกันการควบคุมกระแสในลำดับเฟสลบ ก็ต้องควบคุมกระแสในส่วนระบบที่ส่งกำลังจ่ายไปยังโหลดให้มีค่าเท่ากับศูนย์ จุดประสงค์ก็เพื่อไม่ให้ระบบจ่ายกระแสลำดับเฟสลบที่เกิดขึ้นจากโหลด โดยกระแสลำดับเฟสลบดังกล่าวนี้จะถูกชดเชยหรือถูกรองออกไปแทนด้วยดี-สแตตคอมตามรูปที่ 4.8

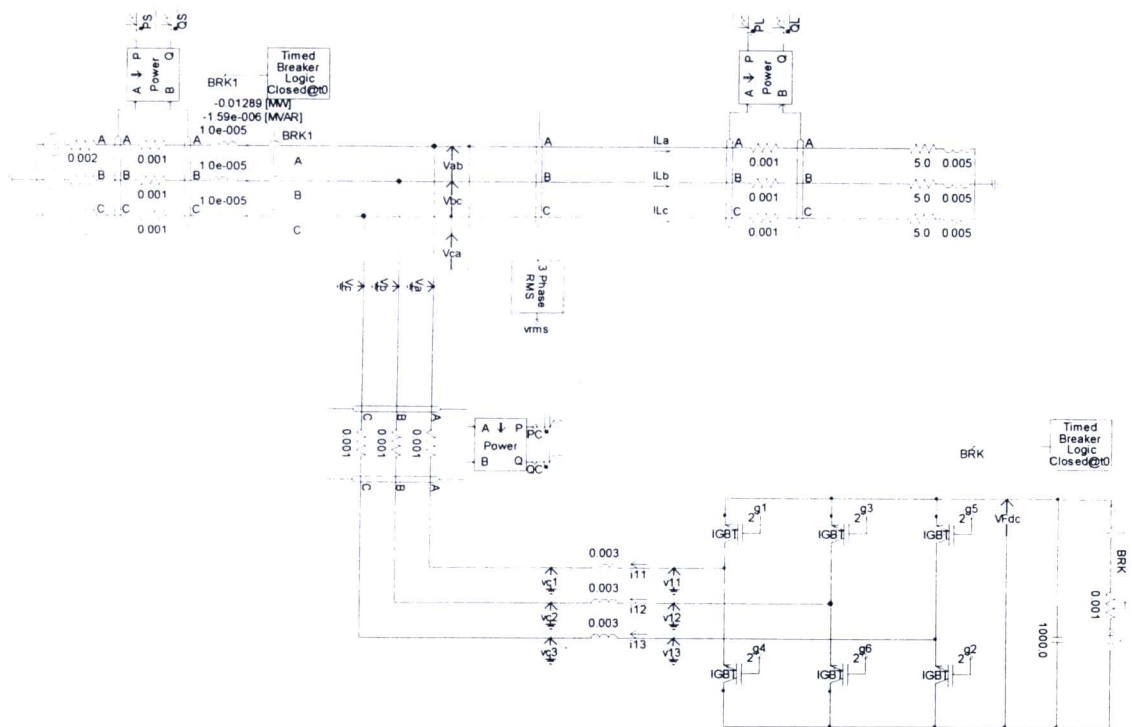
จากรูปที่ 4.9 จะเห็นว่าหลังจากที่ระบบชดเชยเริ่มทำงานที่เวลา $t=0.3$ วินาที ขนาดกระแสระบบจากเดิมที่มีความไม่สมดุลกันจะกลับมามีขนาดที่สมดุลกันมากขึ้นทั้งนี้เพราะส่วนประกอบในลำดับเฟสลบที่เกิดจากโหลดถูกกำจัดออกไปจากการชดเชยกระแสของดี-สแตตคอม



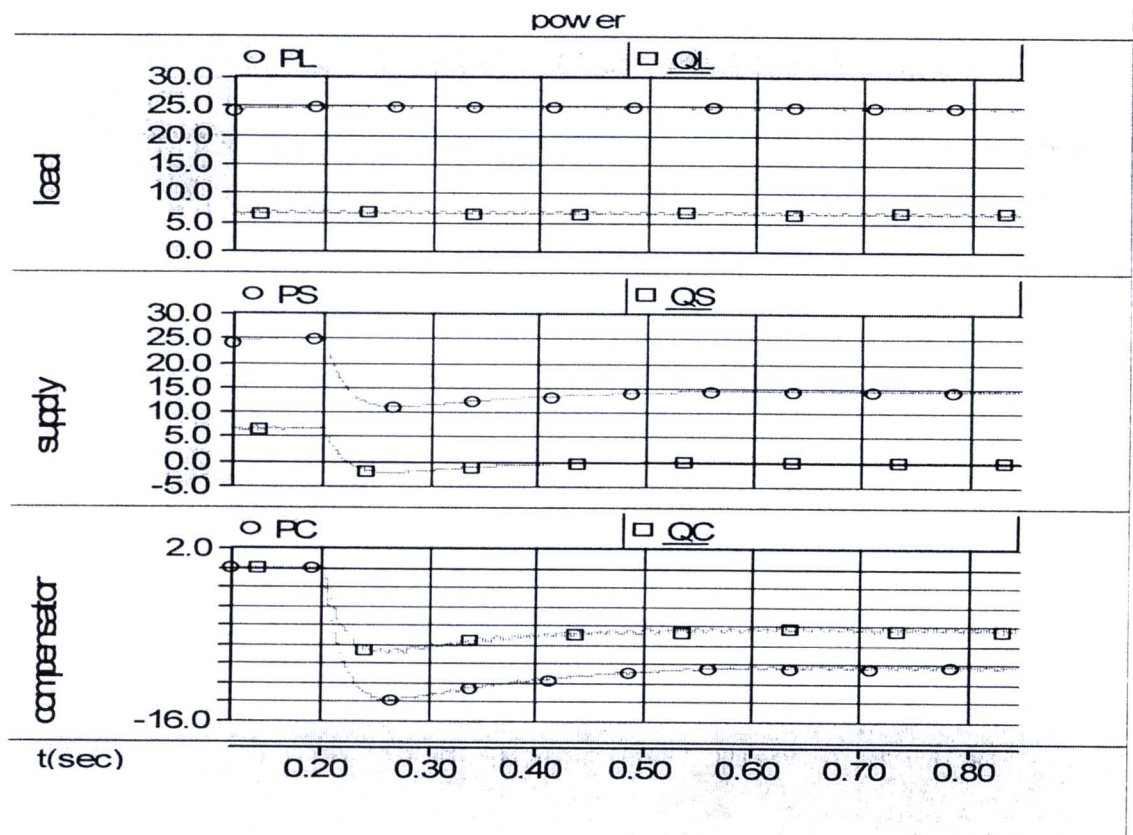
รูปที่ 4.9 กระแสของระบบเมื่อมีการชดเชยกระแสลำดับเฟสลบด้วยดี-สแตตคอม

4.3 การจำลองระบบควบคุมดี-สแตคคอมเพื่อชดเชยกำลังไฟฟ้า

ในการทดลองนี้จะใช้ระบบควบคุมเพื่อชดเชยกำลังไฟฟ้าทั้งแบบแอกทีฟและแบบรีแอกทีฟ โดยมีแหล่งพลังงาน Energy Storage มาต่อเข้ากับดี-สแตคคอมเพื่อทำการชดเชยค่ากำลังแอกทีฟที่ 50% ของโหลดที่ ค่ากำลังไฟฟ้รีแอกทีฟ 100% ของโหลด ดังรูปที่ 4.10



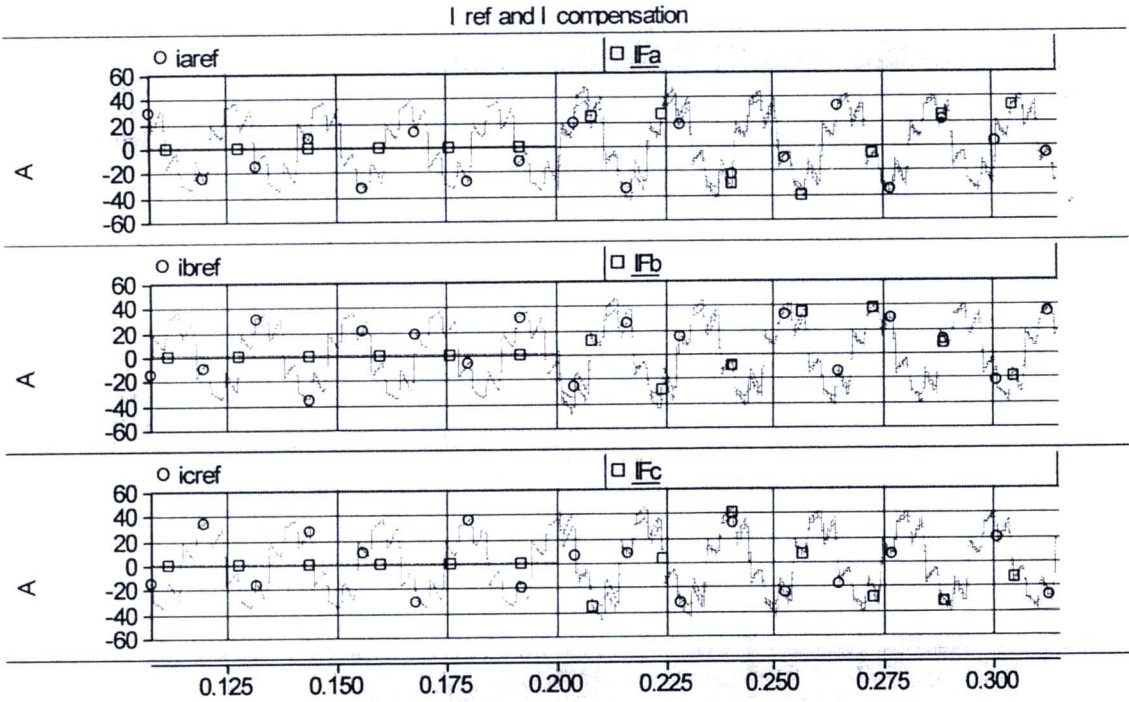
รูปที่ 4.10 โครงสร้างของดี-สแตคคอมเพื่อชดเชยกำลังแอกทีฟและกำลังรีแอกทีฟ



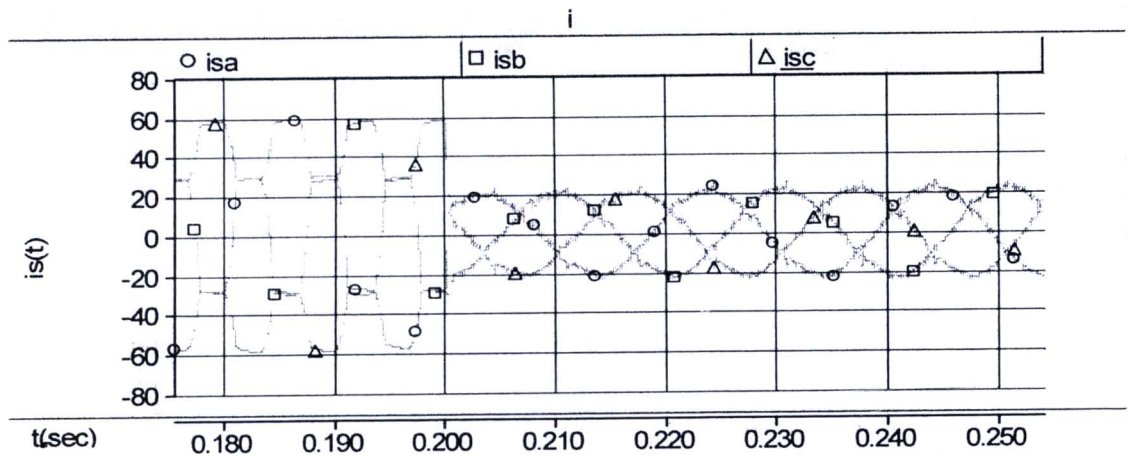
รูปที่ 4.11 กำลังไฟฟ้าที่มีการชดเชยจากดี-สแตคคอมด้วยกำลังไฟฟ้าแอกทีฟกำลังไฟฟารีแอกทีฟ

4.4 การจำลองระบบควบคุมดี-สแตคคอมเพื่อชดเชยกำลังไฟฟ้าและแก้ไขปัญหาคูณกำลังไฟฟ้าพร้อมกัน

ในการทดลองจะจำลองระบบว่ามีโหลดที่ไม่เป็นเชิงเส้นใช้งานอยู่กับระบบรวมทั้งต้องการที่จะชดเชยทั้งกำลังไฟฟ้าแอกทีฟและรีแอกทีฟไปพร้อมกันเพื่อช่วยให้เรื่องของตัวประกอบกำลังของโหลดต่ำตลอดจนช่วยลดภาระการจ่ายกำลังไฟฟ้าแบบแอกทีฟจากระบบทำให้ระบบจ่ายกำลังไฟฟ้ามีประสิทธิภาพที่ดียิ่งขึ้น โดยจะใช้โครงสร้างของระบบดี-สแตคคอมตามรูปที่ 4.1

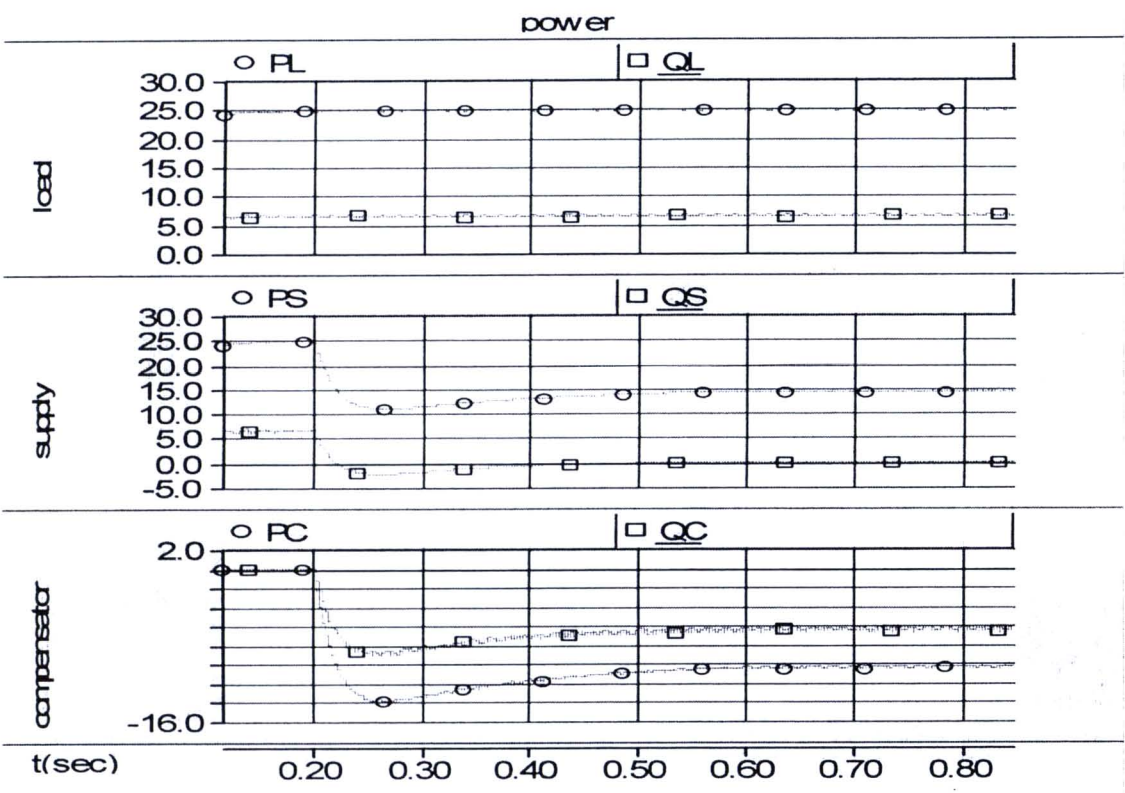


รูปที่ 4.12 เปรียบเทียบกระแสอ้างอิงที่ใช้ในการชดเชยกระแสฮาร์มอนิกกับกระแสที่วัดได้จากขาออกของดี-สแตตคอม



รูปที่ 4.13 กระแสของระบบเมื่อมีการชดเชยทั้งกระแสฮาร์มอนิกและกำลังไฟฟ้าแอคทีฟ

จากรูปที่ 4.12-4.13 เมื่อสั่งให้ตัวควบคุมดี-สแตตคอมชดเชยระบบที่เวลา $t=0.2$ วินาทีจะเห็นว่ากระแสของระบบนั้นมีความผิดเพี้ยนน้อยลงจากเดิมที่วัดได้ 21.48% เหลือเพียง 2.02% อีกทั้งปริมาณกระแสที่ส่งจ่ายไปยังโหลดในระบบลดลงประมาณ 50% อันเนื่องจะมีการชดเชยกำลังไฟฟ้าแอคทีฟจากดี-สแตตคอมที่ 50% ของโหลด



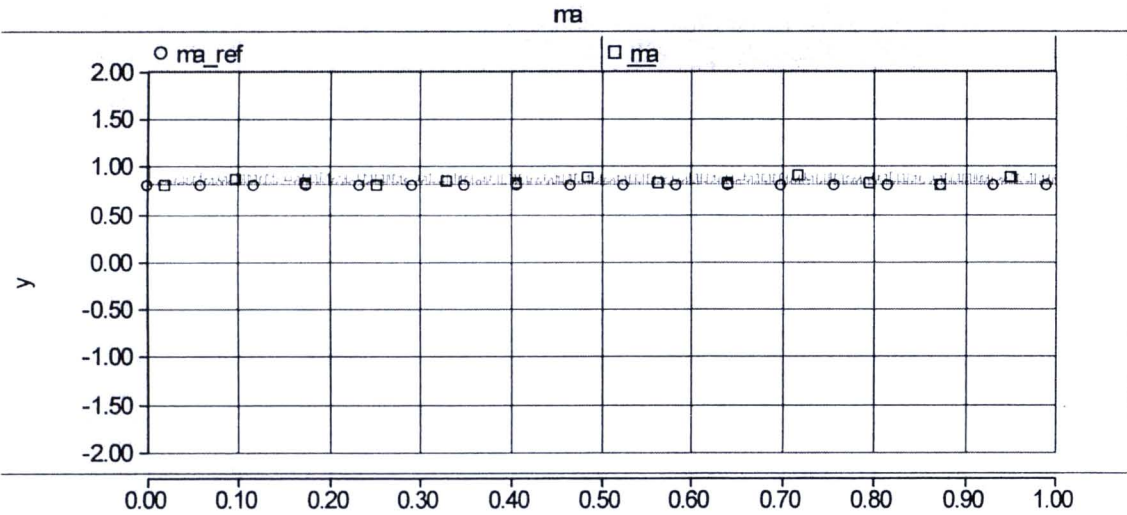
รูปที่ 4.14 กำลังไฟฟ้าที่มีการชดเชยจากดี-สแตตคอมด้วยกำลังไฟฟ้าแอคทีฟและกำลังไฟฟ้รีแอคทีฟ

จะเห็นว่าเมื่อดี-สแตตคอมมีแหล่งจ่ายพลังงานเชื่อมต่อจะทำให้เพิ่มประสิทธิภาพในการชดเชย จากเดิมที่ระบบมีเพียงกำลังไฟฟ้าแบบออสซิลเลท ($\tilde{P}, \tilde{Q}$) ที่สามารถกรองกระแสฮาร์มอนิกส์เมื่อมีแหล่งจ่ายพลังงานมาต่อกับดี-สแตตคอม จะให้ค่ากำลังไฟฟ้าเฉลี่ย ($\bar{P}, \bar{Q}$) ที่ใช้ชดเชยกำลังไฟฟ้า P, Q พร้อมๆกันในระบบ

4.5 การจำลองระบบควบคุมดี-สแตคคอมสำหรับไมโครกริด

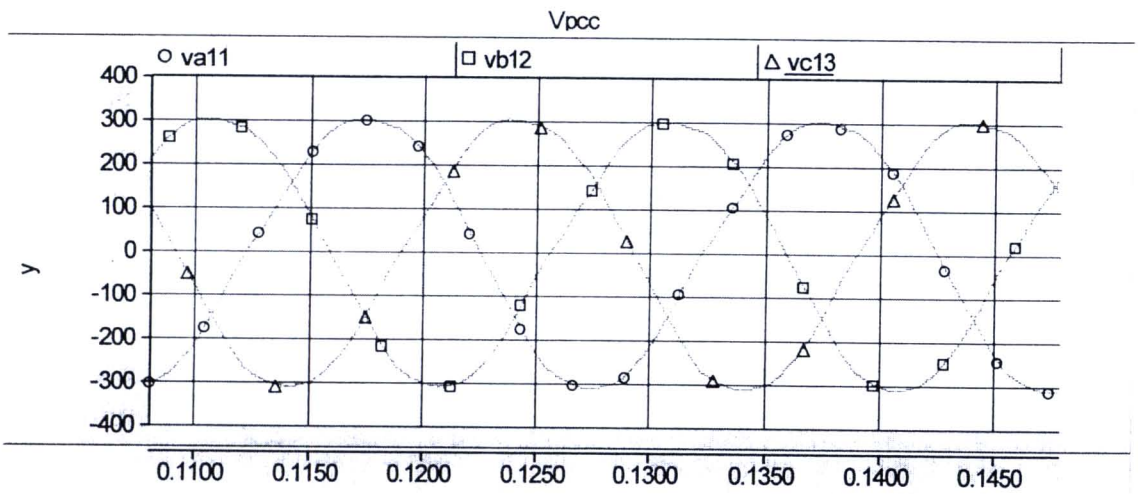
4.5.1 การจำลองระบบควบคุมดี-สแตคคอมสำหรับชุดเดียว

ในการทดลองนี้จะจำลองระบบควบคุมเมื่อเกิดการขัดข้องของระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าหลักไม่สามารถส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าไปยังโหลดได้ การทำงานเพื่อชดเชยกำลังไฟฟ้าของดี-สแตคคอมในลักษณะของไมโครกริดให้กับโหลดจึงเป็นสิ่งจำเป็นในการเกิดปัญหาการหยุดการทำงานของระบบโหลดได้ โดยการออกแบบขนาดพิกัดของดี-สแตคคอมกำหนดให้ค่ามอดูลชั้นอยู่ที่ 0.8 สามารถที่จะชดเชยกำลังไฟฟ้าที่โหลดได้ 50 กิโลวัตต์ พิจารณาระบบจากรูปที่ 4.10

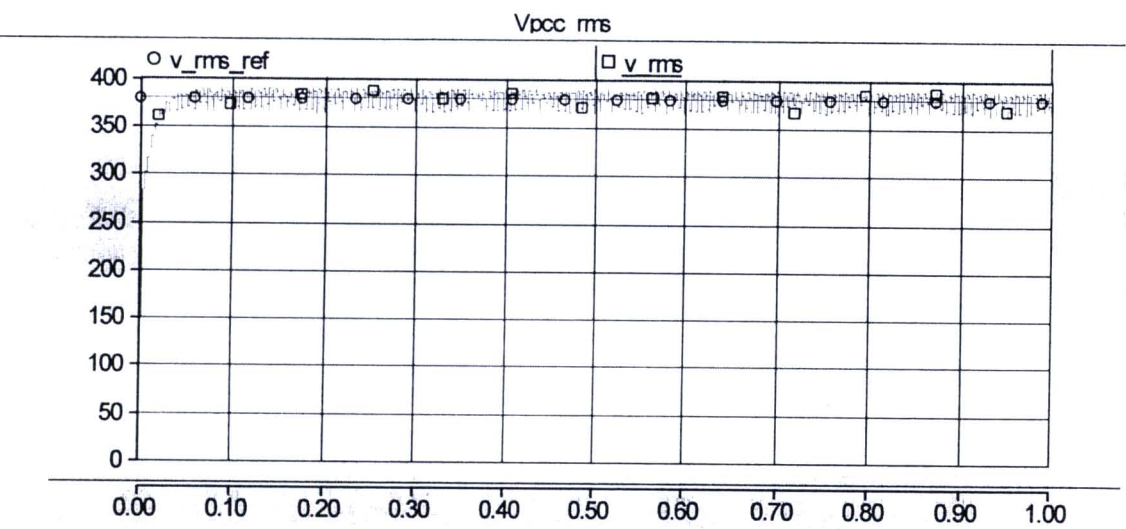


รูปที่4.15 ขนาดของดัชนีมอดูลชั้น

ในกรณีที่ระบบการจ่ายกำลังไฟฟ้าแบบแยกตัวอิสระจำเป็นที่จะต้องทำการควบคุมแรงดันที่โหลดให้ได้ตามพิกัดและความถี่เพื่อไม่ให้เกิดส่งผลกระทบดังแสดงในรูปที่ 4.16 และรูปที่ 4.17



รูปที่ 4.16 ขนาดแรงดันไฟฟ้าที่จุดต่อร่วม



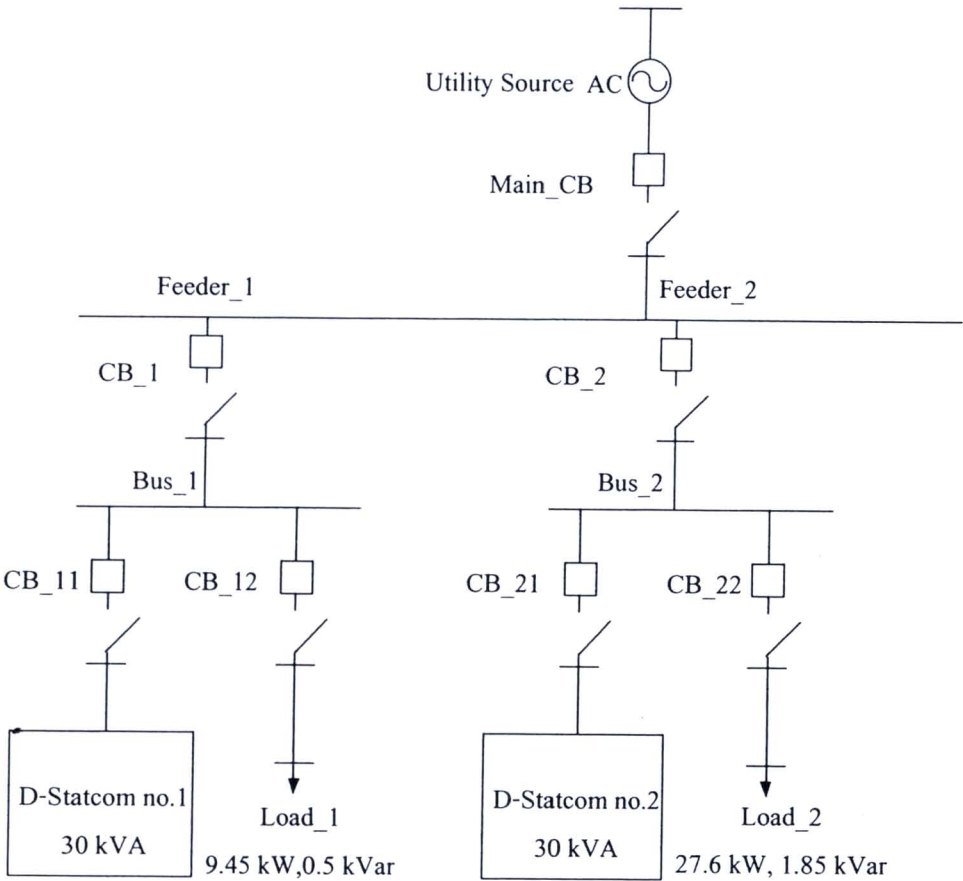
รูปที่ 4.17 ขนาดแรงดันไฟฟ้าอาร์เอ็มเอสที่จุดต่อร่วม

4.5.2 การจำลองระบบควบคุมดี-สแตตคอมสำหรับหลายชุด

การจำลองระบบควบคุมไมโครกริดเมื่อมีการติดตั้งดี-สแตตคอมแบบหลายชุดให้เป็นไปตามรูปที่4.18 โดยใช้ขนาดพารามิเตอร์ตารางที่ 4.2

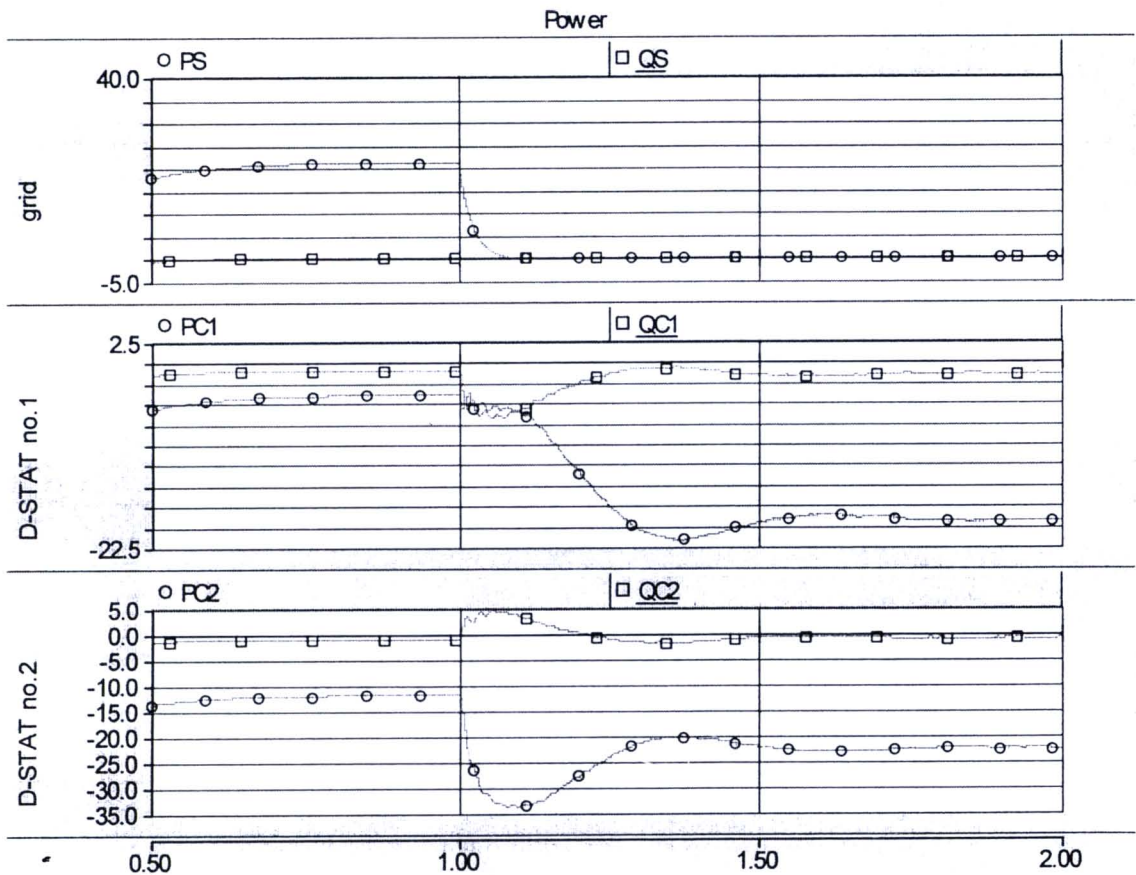
ตารางที่ 4.2 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการจำลองระบบควบคุมดี-สแตตคอมหลายชุด

Feeder no.1	Feeder no.2
Load 9.45 kW, 0.5 kVar	Load 27.6 kW, 1.85 kVar
D-STATCOM 30 kVA	D-STATCOM 30 kVA
$K_{p1}= 0.0192 \text{ Hz/kW}$	$K_{p2}= 0.0278 \text{ Hz/kW}$
$K_{q1}= 0.005 \text{ V/kVar}$	$K_{q2}= 0.005 \text{ V/kVar}$



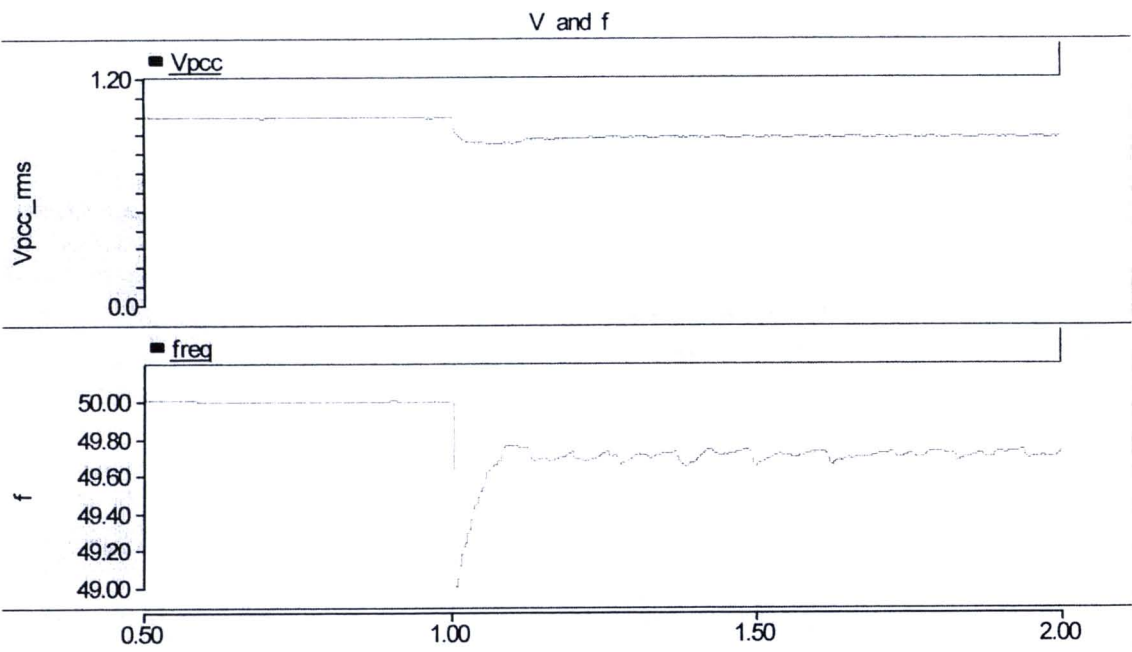
รูปที่ 4.18 โครงสร้างที่ใช้ในการจำลองระบบควบคุมดี-สแตตคอมไมโครกริด

เมื่อระบบยังไม่มี การชดเชย การไฟฟ้าจะทำหน้าที่จ่ายกำลังไปยัง โหลดทั้งสอง feeder ที่ขนาด 38 กิโลวัตต์ 2.35 กิโลวาร์ หลังจากใช้เวลาผ่านไป 0.3 วินาที จะสั่งให้ดี-สแตคคอมของในแต่ละ feeder ชดเชยกำลังไฟฟ้าทั้งแอคทีฟและรีแอคทีฟเพื่อช่วยแบ่งภาระโหลดดังนี้คือ ดี-สแตคคอมใน feeder ที่หนึ่งจะทำการชดเชยกำลังแอคทีฟ 4 กิโลวัตต์ ชดเชยกำลังรีแอคทีฟ 1 กิโลวาร์ ดี-สแตคคอมใน feeder ที่สองจะทำการชดเชยกำลังแอคทีฟ 12 กิโลวัตต์ และชดเชยกำลังรีแอคทีฟ 1 กิโลวาร์ หลังจากใช้เวลาผ่านไป 1 วินาทีจะจำลองระบบอยู่ในสถานะไม่โครกริดโดยที่จะตัดกำลังที่มาจากกริดไฟฟ้าเพื่อให้เห็นการทำงานของตัวควบคุมที่มีการแบ่งจ่ายกำลังไฟฟ้าที่เกิดขึ้นภายในที่จะสามารถควบคุมกำลังเมื่อระบบมีการเปลี่ยนแปลงความถี่และแรงดันไฟฟ้า

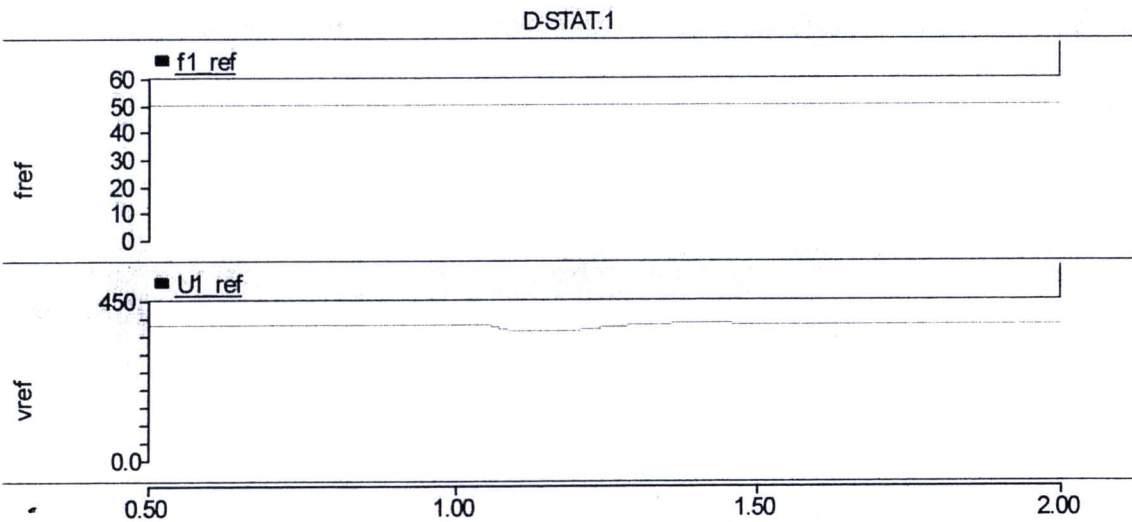


รูปที่ 4.19 กำลังไฟฟ้าของดี-สแตคคอมที่ใช้ชดเชย

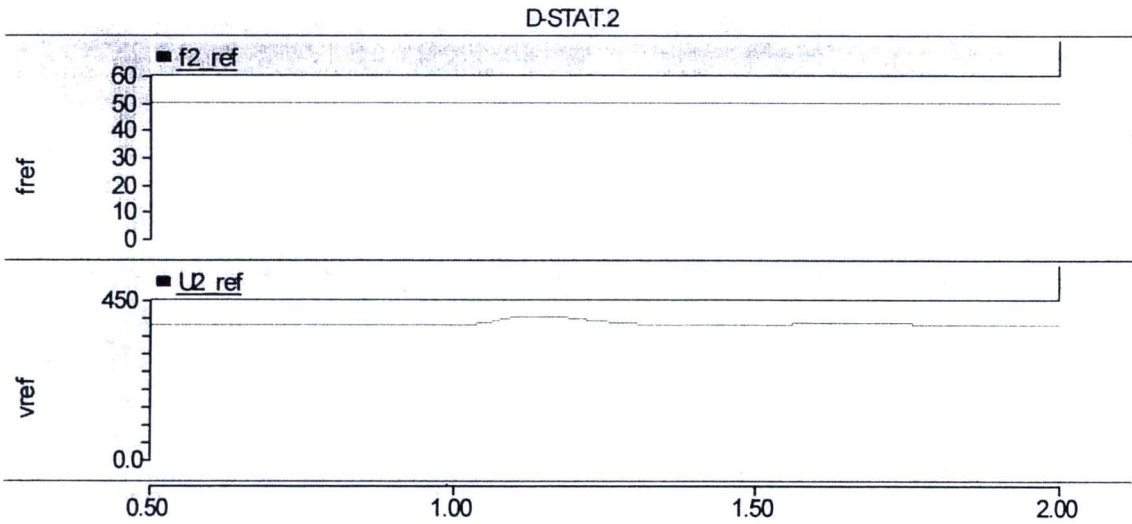




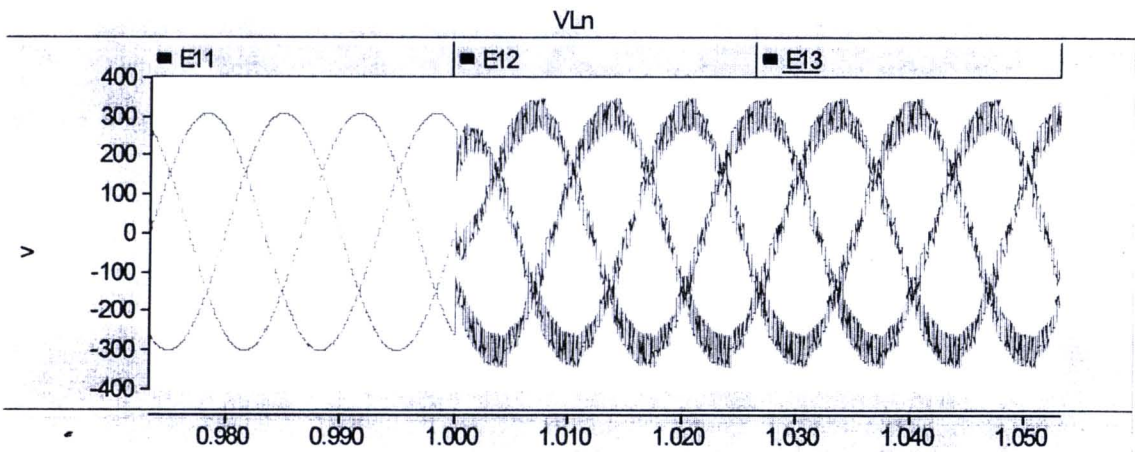
รูปที่ 4.20 แสดงขนาดแรงดันไฟฟ้าและความถี่ที่โหลดจุดต่อร่วม



รูปที่ 4.21 ขนาดแรงดันไฟฟ้าอ้างอิงและความถี่อ้างอิงของดี-สแตตคอมตัวที่หนึ่ง



รูปที่ 4.22 ขนาดแรงดันไฟฟ้าอ้างอิงและความถี่อ้างอิงของดี-สแตตคอมตัวที่สอง



รูปที่ 4.23 รูปคลื่นแรงดันไฟฟ้าที่โหลด