บทที่ 3 การออกแบบระบบควบคุม

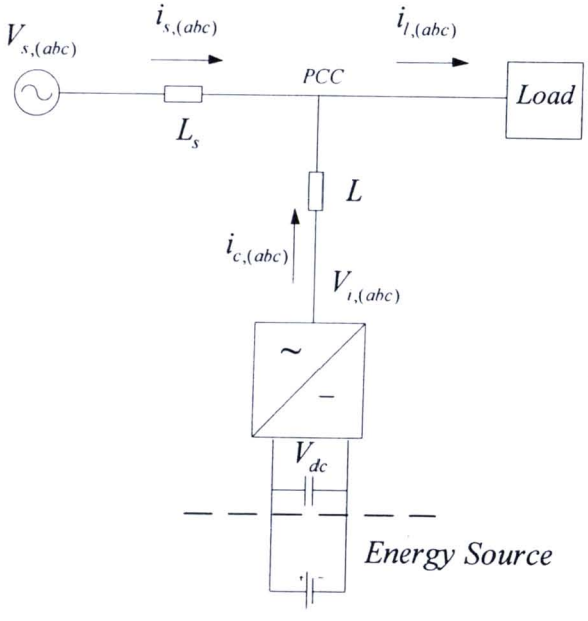
3.1 บทนำ

ในบทนี้จะกล่าวถึงรายละเอียดขั้นตอนการออกแบบโครงสร้างและระบบควบคุมตัวดี-สแตตคอมเพื่อแก้ไขปัญหาคุณภาพไฟฟ้า การออกแบบระบบควบคุมเพื่อชดเชยกำลังไฟฟ้า การออกแบบระบบควบคุมสำหรับระบบไมโครกริด และการออกแบบระบบควบคุมดี-สแตตคอมแบบหลายชุดโดยการจำลองระบบผ่านโปรแกรม PSCAD/EMTDC

3.2 การออกแบบระบบควบคุมเพื่อแก้ไขปัญหาคุณภาพกำลังไฟฟ้า

3.2.1 การออกแบบดี-สแตตคอมสำหรับกรณีตัวประกอบกำลังของโหลดต่ำ

พิจารณาโครงสร้างของดี-สแตตคอมประกอบด้วยคอนเวอร์เตอร์แบบแหล่งจ่ายแรงดันที่มีตัวคาปาซิเตอร์ต่อที่ดีซีบัสรวมถึงแหล่งจ่ายพลังงาน ดังรูปที่ 3.1 การออกแบบนั้นจะแบ่งออกได้เป็น 2 ส่วนหลักๆคือ ส่วนของวงจรกำลังและส่วนของระบบควบคุม



รูปที่ 3.1 โครงสร้างของดี-สแตตคอม

ในส่วนของวงจรกำลังจะประกอบไปด้วยตัวคาปาซิเตอร์ที่เชื่อมต่อกับไอจีบีที(IGBT)หกตัวต่อเป็นสวิตช์ที่ทำงานเป็นอินเวอร์เตอร์แปลงสัญญาณไฟฟ้ากระแสตรงให้เป็นสัญญาณรูปคลื่นสี่เหลี่ยม จากนั้นจะกรองสัญญาณความถี่สูงทิ้งไปด้วยชุดกรองความถี่ต่ำซึ่งมีตัวเหนี่ยวนำสามตัว ที่สามารถแลกเปลี่ยนกำลังไฟฟ้าจากระบบกริดของการไฟฟ้าได้ จากรูปที่ 3.1 ในส่วนของระบบควบคุมสามารถที่จะเขียนสมการแสดงสัมพันธ์ของการจ่ายกำลังไฟฟ้าเข้าสู่ระบบได้เป็น

$$P_C = \frac{V_i V_S}{j\omega L}\sin\delta \qquad (3.1)$$

$$Q_C = \frac{V_i V_S Cos\delta - V_S^2}{j\omega L} \qquad (3.2)$$

เมื่อ V_i คือ แรงดันเอาพุตท์ของตัวดี-สแตตคอม

V_S คือ แรงดันที่จุดต่อร่วม (point of common coupling: PCC)

δ คือ ความแตกต่างมุมเฟสของแรงดันขาออกดีสแตตคอมกับแรงดันที่จุดต่อร่วม

กำหนดให้อิมพีแดนซ์ขาออกดี-สแตตคอมคิดเฉพาะแต่ผลของตัวเหนี่ยวนำสามารถประมาณได้ว่า $\sin\delta = \delta, \cos\delta = 1$ ทำให้ค่ากำลังไฟฟ้ารีแอคทีฟที่ต้องชดเชยจะขึ้นอยู่กับขนาดของแรงดันขาออกของดี-สแตตคอมเท่านั้น ทั้งนี้ขนาดแรงดันที่ดีซีบัสต้องมีขนาดเพียงพอสำหรับค่ากำลังไฟฟ้าที่ต้องการชดเชย โดยที่จะสามารถเขียนความสัมพันธ์ของผลรวมของแรงดันไฟฟ้าที่จุดต่อร่วมกับแรงดันไฟฟ้าขาออกของดี-สแตตคอมได้เป็น

$$\begin{bmatrix} V_{ia} \\ V_{ib} \\ V_{ic} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} L\dfrac{di_{ca}}{dt} \\ L\dfrac{di_{cb}}{dt} \\ L\dfrac{di_{cc}}{dt} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} V_{sa} \\ V_{sb} \\ V_{sc} \end{bmatrix} \qquad (3.3)$$

เมื่อ V_{sa}, V_{sb}, V_{sc} เป็นขนาดแรงดันที่จุดต่อร่วม, $L\frac{di_{ca}}{dt}, L\frac{di_{cb}}{dt}, L\frac{di_{cc}}{dt}$ เป็นขนาดแรงดันที่ตกคร่อมตัวเหนี่ยวนำขาออกของตัวดี-สแตตคอม, V_{ia}, V_{ib}, V_{ic} เป็นแรงดันขาออกของดี-สแตตคอมที่ต้องการชดเชยค่ากำลังไฟฟ้าให้กับระบบสามเฟสสามสาย เพื่อให้ง่ายต่อการวิเคราะห์และออกแบบระบบควบคุมจากสมการที่ 3.3 สามารถที่จะเขียนความสัมพันธ์ของรูปสมการดังกล่าวไปอยู่ในรูปความสัมพันธ์ของกรอบหยุดนิ่งสองเฟสแอลฟาเบต้า($\alpha-\beta$ stationary frame) โดยใช้กรรมวิธีทางเวคเตอร์ที่จะสามารถแตกแนวทิศทางของแรงดันและกระแสในระบบสามเฟสไปตามแนวแกนแอลฟา เบต้า [ภาคผนวก ข] จากสมการที่ 3.3 เราจะตั้งสมมุติฐานว่าระบบที่ออกแบบนั้นเป็นระบบที่มีลักษณะคือ 1.ระบบมีลักษณะเฟสสมดุล 2.ระบบไม่มีกระแสของฮาร์มอนิกส์ไหลเข้าไปในระบบ 3.ความต้านทานระหว่างอินเวอร์เตอร์กับระบบกริดของการไฟฟ้ามีค่าน้อยมากสามารถที่จะละทิ้งได้ เพื่อให้ง่ายต่อการประมาณค่าพารามิเตอร์จำเป็นต้องย้ายจากกรอบหยุดนิ่งสองเฟสแอลฟาเบต้าไปยังกรอบหมุนดีคิว(d-q rotating frame) [ภาคผนวก ข] เพราะฉะนั้นสมการที่ 3.3 สามารถเขียนใหม่ได้เป็นสมการที่ 3.4

$$\begin{bmatrix} v_{i\alpha} \\ v_{i\beta} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} L\frac{di_{\alpha}}{dt} \\ L\frac{di_{\beta}}{dt} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} v_{s\alpha} \\ v_{s\beta} \end{bmatrix} \qquad (3.4)$$

สมการแรงดันขาออกของตัวดี-สแตตคอมสามารถที่จะเขียนอยู่ในกรอบหมุนดีคิวได้ใหม่คือ

$$\begin{bmatrix} vi_d \\ vi_q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} L\frac{di_d}{dt} \\ L\frac{di_q}{dt} \end{bmatrix} + \omega L \begin{bmatrix} 0 & -1 \\ 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_d \\ i_q \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} v_{sd} \\ v_{sq} \end{bmatrix} \qquad (3.5)$$

ดังนั้น

$$\begin{aligned} vi_d &= L\frac{di_d}{dt} - \omega L i_q + v_{sd} \\ vi_q &= L\frac{di_q}{dt} - \omega L i_d + v_{sq} \end{aligned} \qquad (3.6)$$

จากสมการที่ 3.6 แสดงให้เห็นว่าวิธีควบคุมการชดเชยกำลังรีแอคทีฟเข้าไปในระบบกริดนั้นสามารถที่ควบคุมกระแสที่ไหลผ่านค่าอินดักแตนซ์ด้วยการควบคุมผ่านตัวควบคุมแบบพีไอ(PI-Control) ซึ่งเป็นวิธีที่ง่ายต่อการออกแบบโดยที่กำหนดให้

$$L\frac{di_d}{dt} = \Delta d$$
$$L\frac{di_q}{dt} = \Delta q \qquad (3.7)$$

เมื่อ $\Delta d, \Delta q$ เป็นกระแสขาออกของตัวดี-สแตตคอม เมื่อนำมาจัดรูปให้อยู่ในของสมการตัวควบคุมแบบพีไอ จะได้ว่า

$$\Delta d = (PI)(i^*_d - i_d)$$
$$\Delta q = (PI)(i^*_q - i_q) \qquad (3.8)$$

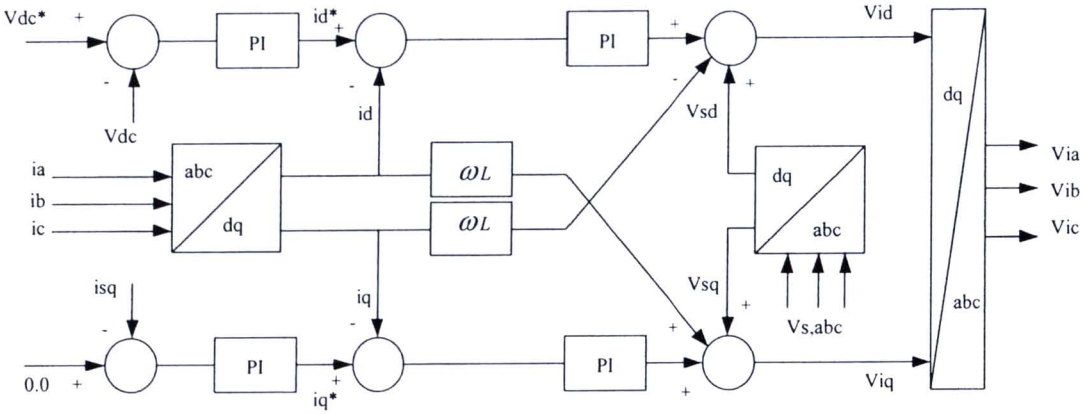
สมการที่ 3.8 ไปแทนในสมการที่ 3.6 จะได้ระบบตัวควบคุมแบบควบคุมกระแสที่ใช้ในการชดเชยกำลังไฟฟ้าคือ

$$vi_d = (PI)(i^*_d - i_d) - \omega L i_q + v_{sd}$$
$$vi_q = (PI)(i^*_q - i_q) - \omega L i_d + v_{sq} \qquad (3.9)$$

ส่วนของการควบคุมแรงดันที่ดีซีบัสให้คงที่เป็นสิ่งสำคัญเพื่อที่จะได้มาซึ่งกระแสอ้างอิงในการชดเชยกำลังรีแอคทีฟนั้น โดยเป็นที่ทราบกันว่ากระแสที่ไหลผ่านตัวคาปาซิเตอร์(i_{dc}) ที่เชื่อมต่อกับด้านไฟกระแสตรงนั้นเป็นสัดส่วนโดยตรงกับกระแสด้านขาออกจากดี-สแตตคอมในแนวแกน d-axis (i_d^*) ทำให้สามารถเขียนความสัมพันธ์เพื่อควบคุมแรงดันที่ดีซีบัสได้เพื่อให้ได้มาซึ่งกระแสอ้างอิง i_d^*

$$V_{dc} = \frac{1}{C}\int i_{dc}.dt \qquad (3.10)$$

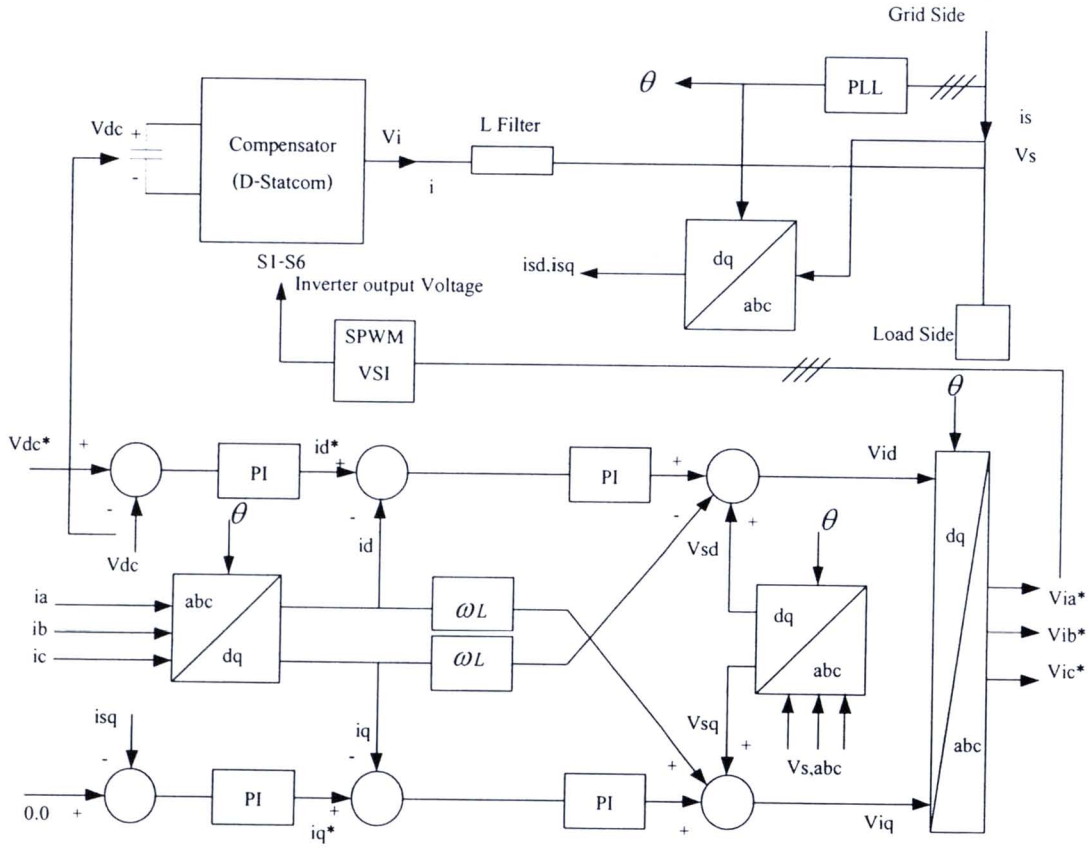
จะเห็นว่าการที่จะต้องชดเชยรีแอคทีฟเพาเวอร์เข้าไปในระบบกริดเป็นปริมาณเท่าไหร่นั้นจำเป็นต้องควบคุมแรงดันขาออกของดี-สแตตคอมให้เหมาะสมผ่านการควบคุมของกระแส i_d^* และ i_q^* ตามสมการที่ 3.9 ดังนั้นระบบควบคุมการชดเชยรีแอคทีฟเพาเวอร์ในกรณีที่ตัวประกอบกำลังโหลดต่ำสามารถออกแบบได้ตามรูปที่ 3.2 [7]



รูปที่ 3.2 ระบบควบคุมกระแสที่ใช้ชดเชยกำลังไฟฟ้ารีแอคทีฟ

การออกแบบระบบควบคุมโดยการหาฟังก์ชันถ่ายโอน(transfer function) ของระบบด้วยวิธีการหาทางเดินราก(Root locus) เพื่อวิเคราะห์ ออกแบบความเสถียรภาพและการตอบสนองชั่วขณะของระบบ โดยกำหนดเป้าหมายของการออกแบบด้วยการกำหนดค่า setting time, overshoot จากรายละเอียดขั้นตอนการออกแบบที่ได้กล่าวมาสามารถที่จะเขียนเป็นบล๊อกไดอะแกรมของระบบควบคุมการชดเชยกำลังไฟฟ้ารีแอคทีฟด้วยวิธีการควบคุมกระแสได้ดังรูปที่ 3.3

สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ห้องสมุดงานวิจัย



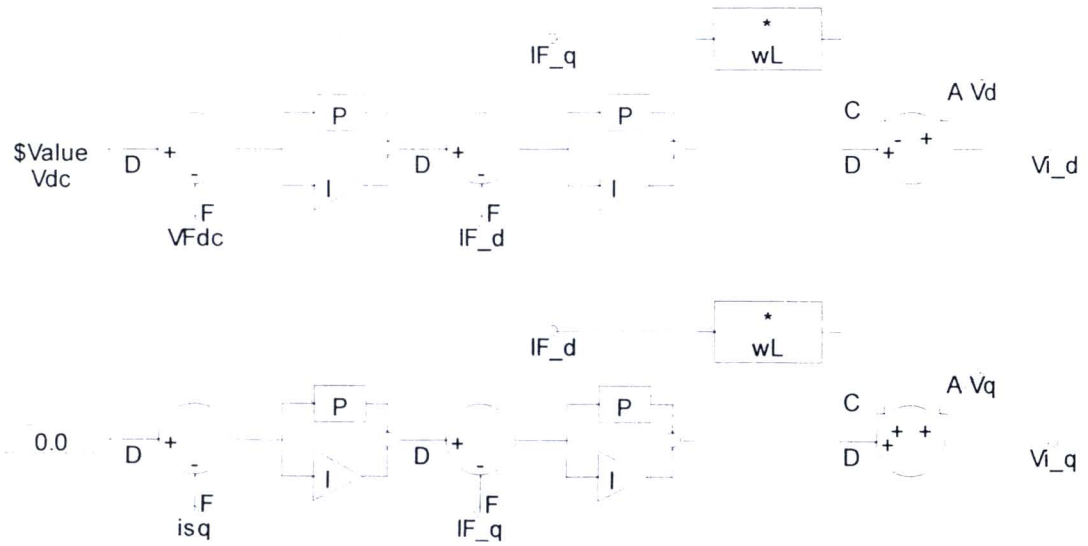
รูปที่ 3.3 บล๊อกไดอะแกรมระบบควบคุมกระแสเพื่อชดเชยกำลังไฟฟ้ารีแอคทีฟ

3.2.1.1 ลำดับขั้นตอนการออกแบบระบบควบคุมดี-สแตตคอมกรณีตัวประกอบกำลังของโหลดต่ำด้วยโปรแกรม PSCAD/EMTDC

1. กำหนดค่ากระแสอ้างอิง i_d^* ที่ต้องการชดเชยกำลังไฟฟ้ารีแอคทีฟที่คำนวณจากแรงดันไฟฟ้าเชื่อมโยงกระแสตรงจากสมการที่ 3.10

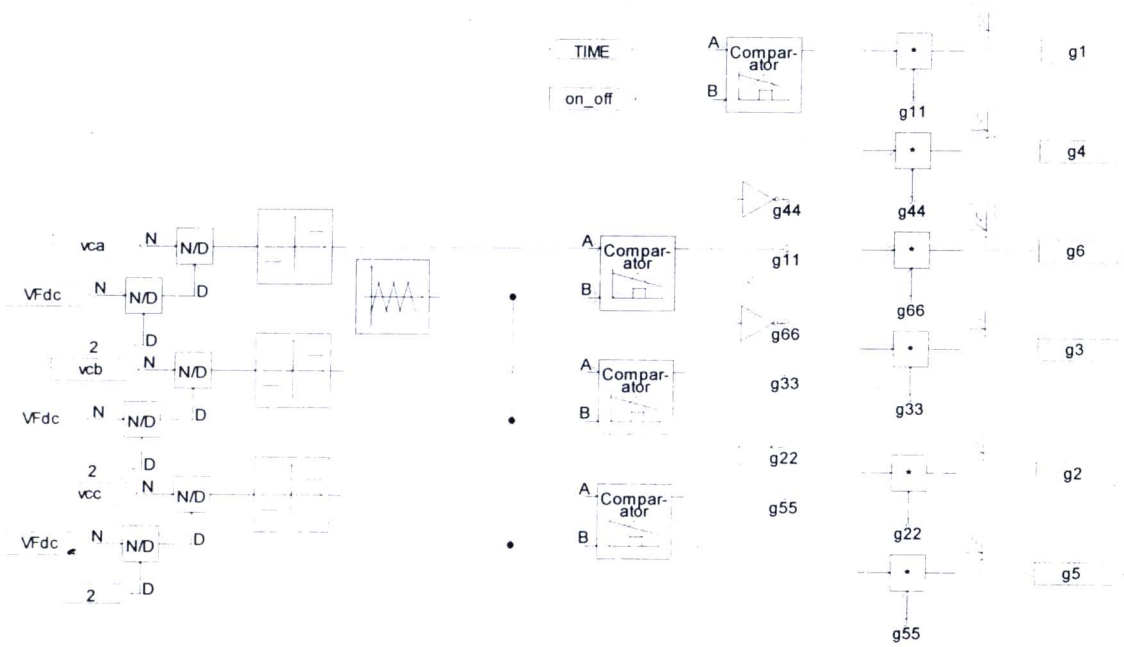
2. กำหนดค่ากระแส i_{sd} ให้เท่ากับศูนย์เพื่อต้องการให้ดี-สแตตคอมชดเชยกำลังไฟฟ้ารีแอคทีฟอย่างเดียว

3. ออกแบบตัวควบคุมกระแสจากสมการที่ 3.9 เพื่อให้ได้แรงดันไฟฟ้าอ้างอิง ดังแสดงในรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.4 ระบบควบคุมกระแสเพื่อชดเชยกำลังไฟฟ้ารีแอคทีฟด้วยโปรแกรม PSCAD/EMTDC

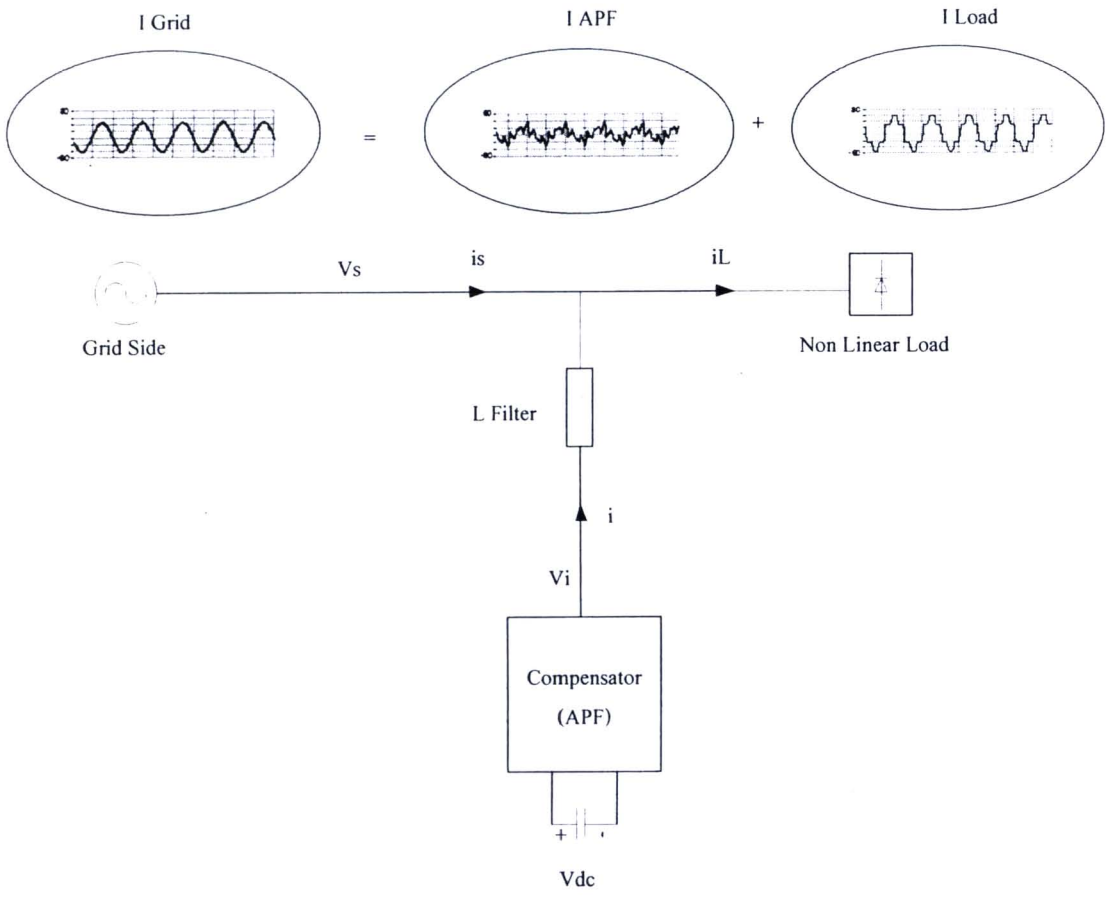
4. นำแรงดันไฟฟ้าอ้างอิงที่ได้จากการควบคุมกระแสมาทำ PWM สร้างสัญญาณไปขับสวิตช์



รูปที่ 3.5 ระบบควบคุมสัญญาณสวิตช์ขับเกจด้วยวิธีการ PWM

3.2.2 การออกแบบระบบควบคุมแอคทีฟฟิลเตอร์

การแก้ปัญหาความผิดเพี้ยนของรูปคลื่นกระแสและแรงดันไฟฟ้าโดยทั่วไปทำได้โดยการติดตั้งอุปกรณ์กรองฮาร์มอนิกส์ ซึ่งทำหน้าที่กรองกระแสฮาร์มอนิกส์ให้เหลือเพียงแต่กระแสของความถี่หลักมูลซึ่งในประเทศไทยเท่ากับ 50 เฮิร์ต ตามที่ได้นำเสนอไว้ในบทที่ 2 สำหรับในหัวข้อนี้จะนำเสนอระบบควบคุมการทำงานของแอคทีฟฟิลเตอร์ (Active Power Filter) เพื่อแก้ปัญหาข้างต้นด้วยการฉีดกระแสฮาร์มอนิกส์เข้าไปหักล้างกับกระแสฮาร์มอนิกส์ที่โหลดดังแสดงในรูปที่ 3.6



รูปที่ 3.6 การชดเชยกระแสฮาร์มอนิกส์ด้วยแอคทีฟฟิลเตอร์

สำหรับขั้นตอนการออกแบบระบบควบคุมนั้นจะประกอบไปด้วยส่วนหลักๆ ดังนี้คือ การคำนวณกำลังไฟฟ้าจากโหลด ตัวกรองความถี่สูงจะประกอบไปด้วย High Pass Filter การคำนวณกระแส

อ้างอิงที่ใช้ในการชดเชย และการควบคุมกระแสขาออกของตัวชดเชยโดยใช้ทฤษฎี P-Q Theory สามารถที่จะแบ่งกำลังไฟฟ้าที่คำนวณได้เป็นสองส่วน คือ กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยและกำลังไฟฟ้าฮาร์มอนิกส์ตามสมการที่ 3.11

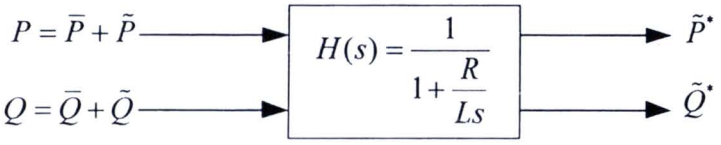
$$\begin{aligned} P &= \bar{P} + \tilde{P} \\ Q &= \bar{Q} + \tilde{Q} \end{aligned} \qquad (3.11)$$

เมื่อ P, Q คือ กำลังไฟฟ้าทันทีทันใดแบบแอคทีฟและรีแอคทีฟ

$\bar{P}, \bar{Q}$ คือ กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยแบบแอคทีฟและรีแอคทีฟ

$\tilde{P}, \tilde{Q}$ คือ กำลังไฟฟ้าฮาร์มอนิกส์แบบแอคทีฟและรีแอคทีฟ

ในการชดเชยฮาร์มอนิกส์จะต้องกำจัดส่วนกำลังไฟฟ้าฮาร์มอนิกส์ให้หมดไป วิธีการที่จะแยกส่วนประกอบกำลังไฟฟ้าเฉลี่ยออกกำลังไฟฟ้าฮาร์มอนิกส์โดยการใช้ตัวกรองความถี่สูงเพื่อให้ได้ค่ากำลังไฟฟ้าฮาร์มอนิกส์เป็นกำลังไฟฟ้าอ้างอิงที่ต้องการชดเชยกระแสเข้าไปในระบบดังแสดงในรูปที่ 3.7



รูปที่ 3.7 การแยกส่วนผสมของกำลังไฟฟ้าด้วยตัวกรองความถี่สูง

เมื่อเราได้ค่ากำลังไฟฟ้าอ้างอิงฮาร์มอนิกส์ทั้งส่วนของค่ากำลังไฟฟ้าแอคทีฟและรีแอคทีฟก็สามารถที่จะคำนวณกระแสอ้างอิงในส่วนของการชดเชยกระแสฮาร์มอนิกส์เข้าไปในระบบได้ด้วยเช่นกัน กำลังไฟฟ้าอ้างอิงที่ใช้ในการชดเชยในรูปเมตริกซ์จะเขียนได้ว่า

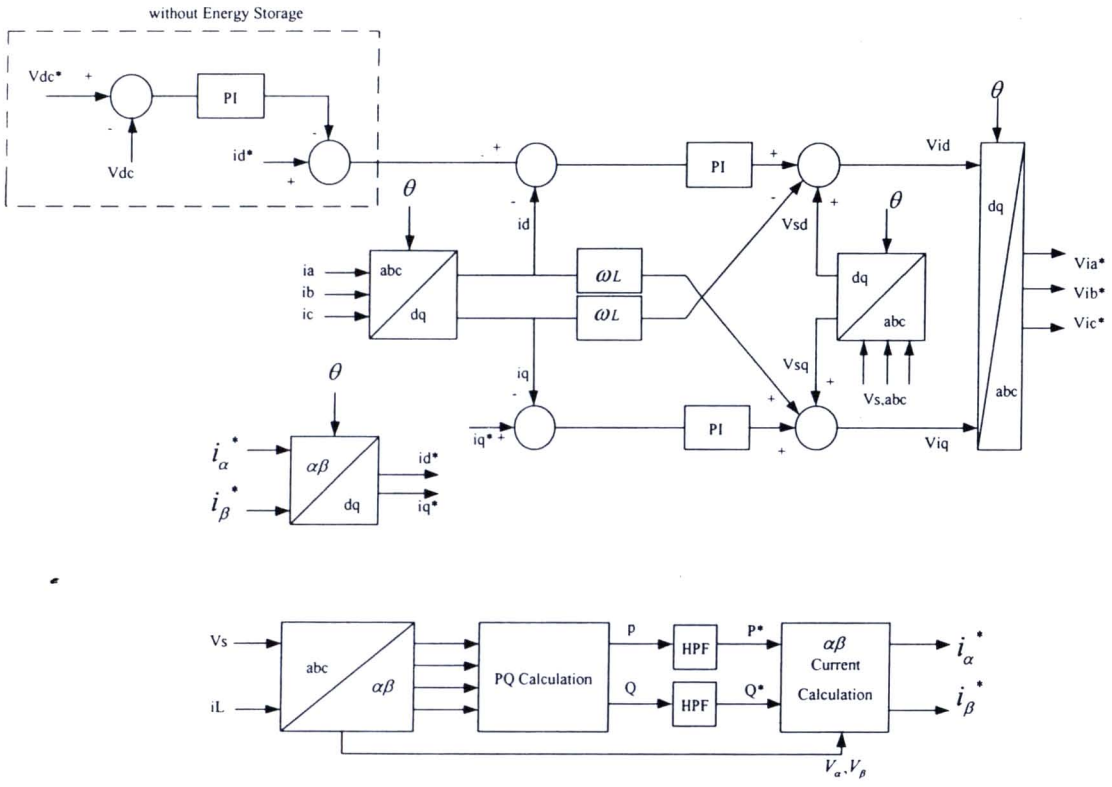
$$\begin{bmatrix} \tilde{P}^* \\ \tilde{Q}^* \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} V_\alpha & V_\beta \\ -V_\beta & V_\alpha \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i^*_\alpha \\ i^*_\beta \end{bmatrix} \qquad (3.12)$$

เมื่อ i^*_α , i^*_β คือกระแสอ้างอิงที่ต้องการชดเชยฮาร์มอนิกส์ในกรอบหยุดนิ่งสองเฟสแอลฟาเบต้า จากสมการที่ 3.12 ถ้าเขียนความสัมพันธ์ในรูปของกระแสที่ต้องการชดเชยจะได้เป็น

$$\begin{bmatrix} i^*_\alpha \\ i^*_\beta \end{bmatrix} = \frac{1}{V_\alpha{}^2 + V_\beta{}^2} \begin{bmatrix} V_\alpha & -V_\beta \\ V_\beta & V_\alpha \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \tilde{P}^* \\ \tilde{Q}^* \end{bmatrix} \qquad (3.13)$$

สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ห้องสมุดงานวิจัย

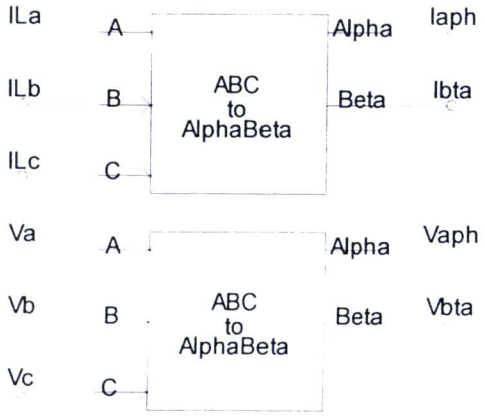
จากนั้นทำการย้ายกรอบหยุดนิ่งสองเฟสแอลฟาเบต้าไปยังกรอบหมุนดีคิวโดยสามรถเขียนบล๊อกไดอะแกรมแสดงระบบการทำงานได้ดังรูปที่ 3.8



รูปที่ 3.8 บล๊อกไดอะแกรมระบบกำลังและระบบควบคุมการชดเชยกระแสฮาร์มอนิกส์

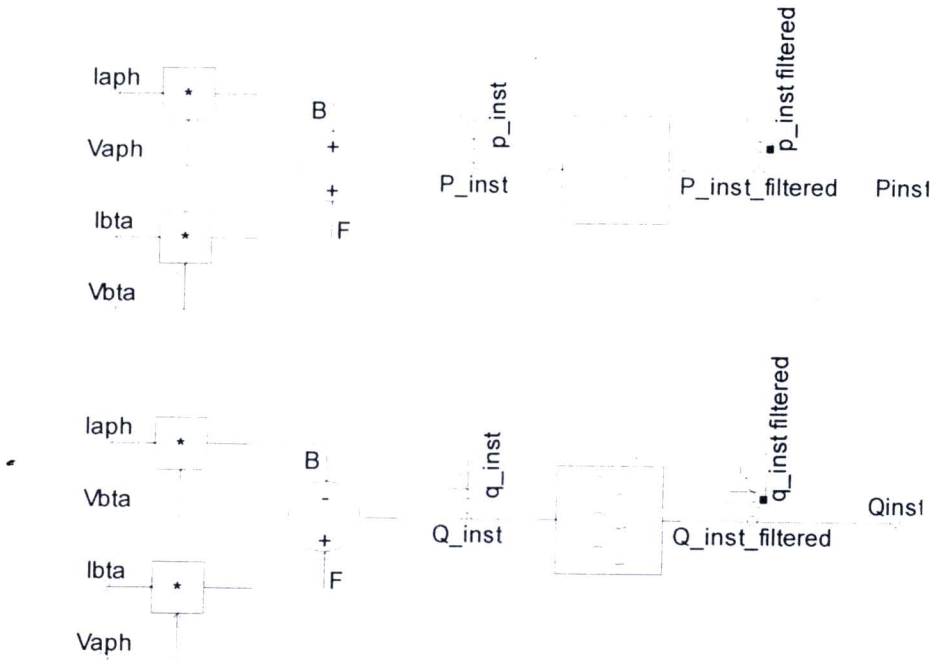
3.2.2.1 ลำดับขั้นตอนการออกแบบระบบควบคุมชดเชยกระแสฮาร์มอนิกส์ด้วยโปรแกรม PSCAD/EMTDC

1. เปลี่ยนแรงดันและกระแสไฟฟ้าไปยังกรอบหยุดนิ่งสองเฟสแอลฟาเบต้าดังรูปที่ 3.9



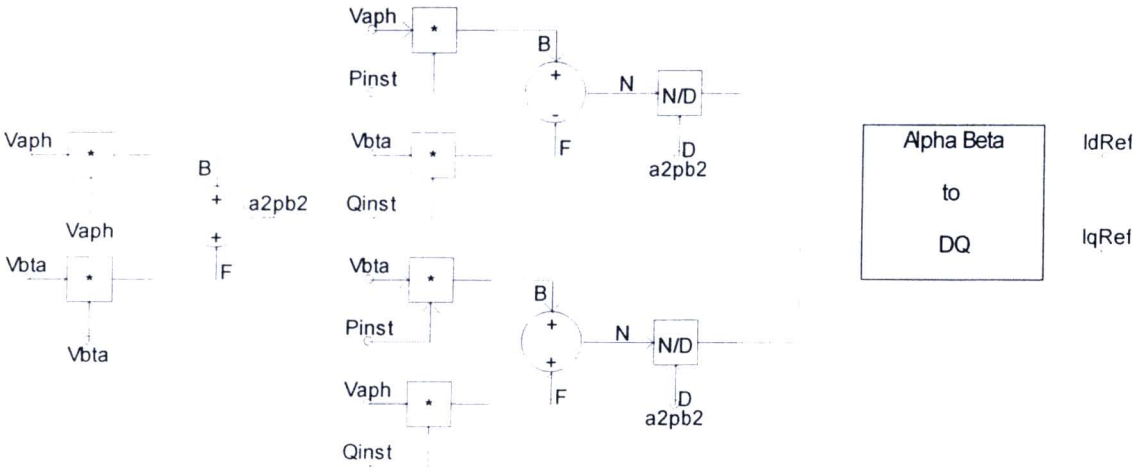
รูปที่ 3.9 บล๊อกไดอะแกรมแรงดันและกระแสไฟฟ้าสามเฟสไปอยู่ในกรอบหยุดนิ่งสองเฟสแอลฟาเบต้า

2. คำนวณกำลังไฟฟ้าทั้งแอคทีฟและรีแอคทีฟจากโหลดผ่านตัวกรองความถี่สูง เพื่อให้ได้ขนาดของกำลังไฟฟ้าอ้างอิงส่วนของกำลังฮาร์มอนิกส์ดังรูปที่ 3.10



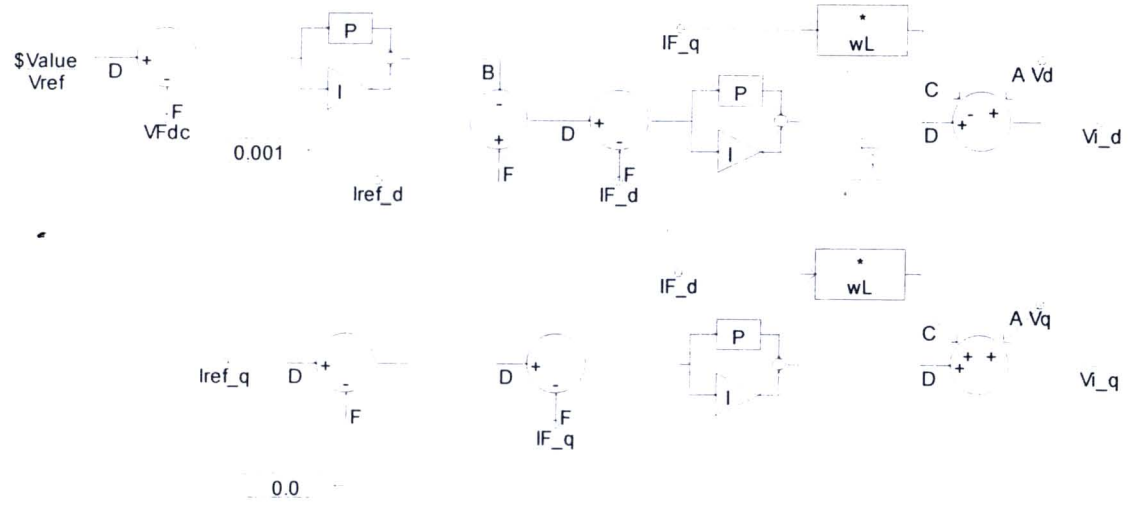
รูปที่ 3.10 บล๊อกไดอะแกรมกำลังไฟฟ้าอ้างอิงฮาร์มอนิกส์ทั้งแอคทีฟและรีแอคทีฟที่ต้องการชดเชย

3. เมื่อได้กำลังไฟฟ้าอ้างอิงที่ต้องการชดเชยเป็นไปตามสมการที่ 3.12 แปลงระบบจากกรอบหยุดนิ่งสองเฟสแอลฟาเบต้าไปยังกรอบหมุนดีคิวดังแสดงในรูปที่ 3.11



รูปที่ 3.11 บล๊อกไดอะแกรมกระแสฮาร์มอนิกส์อ้างอิงที่ชดเชยในระบบ

4. ทำการเปรียบเทียบกระแสขาออกของแอคทีฟฟิลเตอร์กับกระแสอ้างอิงที่ใช้ในการชดเชยกระแสฮาร์มอนิกส์ด้วยวิธีการควบคุมกระแสโดยแยกส่วนประกอบของกระแสในกรอบหมุนดีคิวเพื่อนำไปสร้างแรงดันอ้างอิงของดี-สแตตคอมดังรูปที่ 3.12



รูปที่ 3.12 บล๊อกไดอะแกรมควบคุมกระแสขาออกของแอคทีฟฟิลเตอร์

3.2.3 การออกแบบระบบควบคุมดี-สแตตคอมกรณีโหลดไม่สมดุล

ปรากฏการณ์ที่โหลดไม่สมดุลนี้จะมีค่าของลำดับกระแสเฟสลบเกิดขึ้นด้วยเสมอทำให้ค่าขนาดของกระแสไฟฟ้าหรือมุมทางไฟฟ้ามีค่าไม่เท่ากัน สำหรับหัวข้อนี้จะเสนอวิธีการควบคุมการชดเชยกระแสลำดับเฟสลบเพื่อเข้าไปหักล้างทำให้ระบบเกิดการสมดุลทั้งขนาดและมุมสำหรับระบบสามเฟสสามสาย โดยการแยกส่วนประกอบลำดับเฟสบวก ลำดับเฟสลบ สามารถที่จะทำได้หลายวิธี โดยงานวิจัยส่วนใหญ่จะกระทำชดเชยในกรอบหมุนดีคิวซึ่งมีข้อเสียคือ ส่วนประกอบของลำดับเฟสบวกและส่วนประกอบลำดับเฟสลบในกรอบหมุนดีคิวยังมีส่วนผสมของสัญญาณไฟฟ้ากระแสสลับหรือความถี่มูลฐานของระบบหลงเหลืออยู่จึงจำเป็นต้องกรองสัญญาณความถี่ดังกล่าวทิ้งด้วยตัวกรองความถี่ต่ำ เพื่อทำให้สัญญาณที่ได้ตรงกับค่าจริงมากที่สุด การเพิ่มวงจรกรองความถี่ทำให้เกิดทำงานของระบบที่ช้าลง เพื่อหลีกเลี่ยงข้อเสียดังกล่าวในหัวข้อนี้จะนำเสนอวิธีการแยกส่วนประกอบลำดับเฟสบวก ลำดับเฟสลบของสัญญาณในกรอบหยุดนิ่งแอลฟาเบต้า ซึ่งไม่จำเป็นต้องใช้ฟิลเตอร์มากรองสัญญาณเหมือนวิธีการแยกบนกรอบหมุนดีคิวโดยพิจารณากระแสของโหลดดังรูปที่ 3.13

ระบบสามเฟสที่ไม่สมดุลสามารถที่จะแยกเป็นระบบสมดุลสองเฟสได้ดังในรูปที่ 3.12 ลำดับเฟสบวกและลำดับเฟสลบของกระแสโหลด เพื่อความสะดวกในการเขียนความสัมพันธ์ของเฟสเซอร์ที่มุมเฟสต่างกัน 120 องศา (ระบบไฟฟ้า 3 เฟส) จะใช้ตัวกระทำ a และ j ซึ่งสามารถสร้างสมการที่ 3.14

$$\begin{bmatrix} I_{+a} \\ I_{+b} \\ I_{+c} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} I \\ a^2 \\ a \end{bmatrix} I_{+}$$
$$\begin{bmatrix} I_{-a} \\ I_{-b} \\ I_{-c} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} I \\ a \\ a^2 \end{bmatrix} I_{-} \qquad (3.14)$$

เมื่อ

$$I_{+} = \frac{1}{3}(I_a + aI_b + a^2 I_c)$$
$$I_{-} = \frac{1}{3}(I_a + a^2 I_b + aI_c) \qquad (3.15)$$

กำหนดให้

$$a = e^{j120} = -\frac{1}{2} + j\frac{\sqrt{3}}{2}$$
$$a^2 = e^{j240} = -\frac{1}{2} - j\frac{\sqrt{3}}{2} \qquad (3.16)$$

โดยที่ a คือความสัมพันธ์ของเฟสเซอร์ที่มุมเฟสต่างกัน 120 องศา (ระบบไฟฟ้า 3 เฟส) สามารถแทนการหมุนของมุม 120 องศา ในทิศทวนเข็ม และ j คือโอเปอเรเตอร์ที่เป็นเวกเตอร์ 1 หน่วย (Unit Vector) และมุมเฟสเท่ากับ 90 องศา จะได้ว่า

$$\begin{bmatrix} I_{-\alpha} \\ I_{-\beta} \end{bmatrix} = \frac{1}{2}\begin{bmatrix} I_{\alpha} & -jI_{\beta} \\ I_{\beta} & +jI_{\alpha} \end{bmatrix} \qquad (3.17)$$

$$\begin{bmatrix} I_{+\alpha} \\ I_{+\beta} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} I_{\alpha} \\ I_{\beta} \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} I_{-\alpha} \\ I_{-\beta} \end{bmatrix} \qquad (3.18)$$

จาก

$$I_{\alpha} = I_{+\alpha} + I_{-\alpha}$$
$$I_{\beta} = I_{+\beta} + I_{-\beta} \qquad (3.19)$$

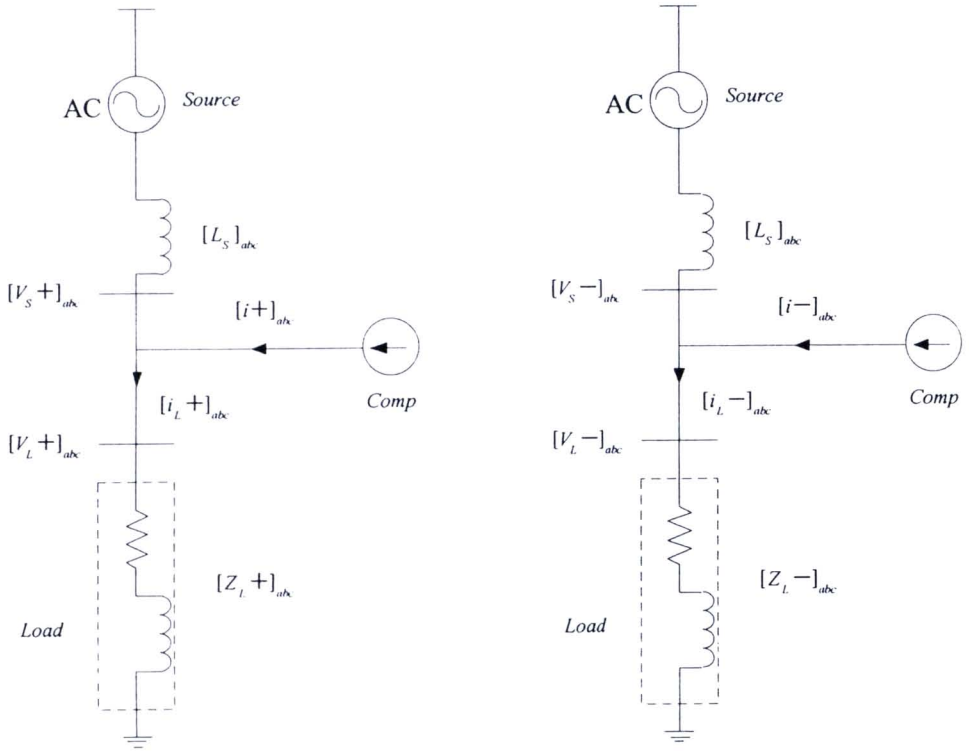
สามารถที่จะแยกลำดับเฟสบวกและลำลับเฟสลบในกรอบหยุดนิ่งแอลฟาเบต้าได้คือ

$$I_{+\alpha} = \frac{1}{2}(I_{\alpha} + jI_{\beta})$$
$$I_{-\alpha} = \frac{1}{2}(I_{\alpha} - jI_{\beta}) \qquad (3.20)$$

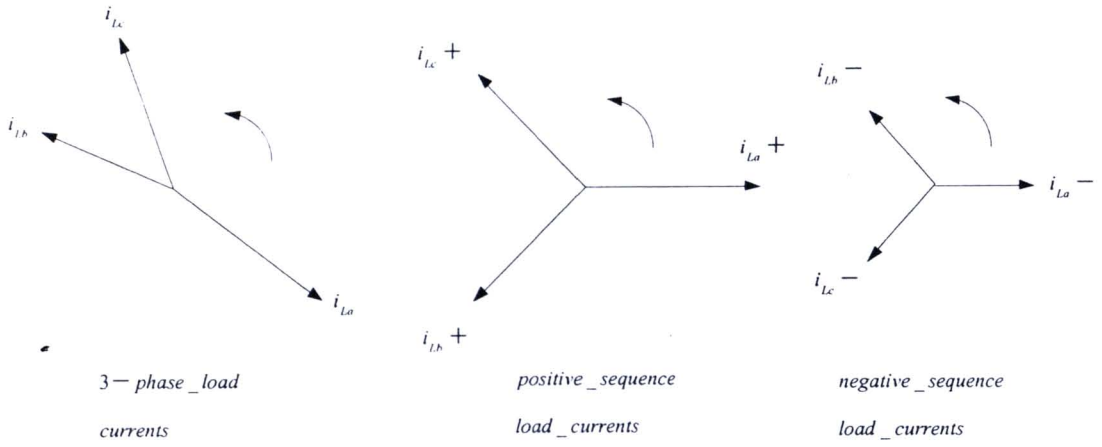
$$I_{+\beta} = \frac{1}{2}(I_{\beta} - jI_{\alpha})$$
$$I_{-\beta} = \frac{1}{2}(I_{\beta} + jI_{\alpha}) \qquad (3.21)$$

$$\begin{bmatrix} d_{-} \\ q_{-} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos\theta & -\sin\theta \\ \sin\theta & \cos\theta \end{bmatrix}\begin{bmatrix} \alpha_{-} \\ \beta_{-} \end{bmatrix} \qquad (3.22)$$

นำสมการที่ได้มาเขียนบล๊อกความสัมพันธ์จากแกน abc ไปยังกรอบหยุดนิ่งแอลฟาเบต้าที่แยกลำดับเฟสบวกและลำดับเฟสลบได้เป็นดังรูปที่ 3.14

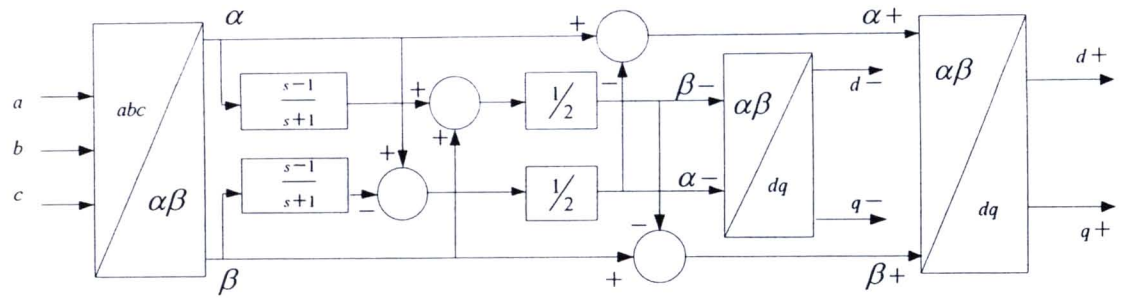


ก.ลำดับเฟสบวก ข.ลำดับเฟสลบ



ค. เฟสเซอร์ไดอะแกรม

รูปที่ 3.13 วงจรสมมูลการเกิดลำดับเฟสบวก ลำดับเฟสลบในระบบกำลังไฟฟ้ารวมทั้งเฟสเซอร์ไดอะแกรม



รูปที่ 3.14 บล๊อกไดอะแกรมการแยกส่วนประกอบลำดับเฟสบวกและลำดับเฟสลบในกรอบหยุดนิ่งแอลฟาเบต้า

การออกแบบระบบควบคุมยังคงใช้พื้นฐานตัวควบคุมแบบชดเชยกำลังไฟฟ้ารีแอคทีฟตามรูปที่ 3.2 เพียงเพิ่มเติมในส่วนของลูปการควบคุมกระแสลำดับเฟสลบขาออกจากตัวชดเชยเข้าไปเพิ่มทำหน้าที่ชดเชยกระแสลำดับเฟสลบแทนจากระบบที่ส่งไปยังโหลด เมื่อได้กระแสอ้างอิงที่ใช้ควบคุมแรงดันไฟฟ้าขาออกทั้งในลำดับเฟสบวกและลำดับเฟสลบในกรอบหยุดนิ่งสองเฟสแอลฟาเบต้าก่อนจะไปรวมกันในแกน abc เพื่อควบคุมแรงดันที่ออกจากตัวชดเชยด้วยสมการที่ 3.23

$$\begin{bmatrix} V_{i\alpha} \\ V_{i\beta} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos\theta & -\sin\theta & \cos\theta & \sin\theta \\ \sin\theta & \cos\theta & -\sin\theta & \cos\theta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_{+id} \\ V_{+iq} \\ V_{-id} \\ V_{-iq} \end{bmatrix} \qquad (3.23)$$

ขั้นตอนการออกแบบพิจารณาโครงสร้างของระบบตามรูปที่ 3.1 เขียนสมการผลรวมของแรงดันในระบบ abc ไปยังกรอบหมุนดีคิวทั้งลำดับเฟสบวกและลำดับเฟสลบได้ดังนี้

$$\begin{aligned} V_{ia} &= L\frac{di_a}{dt} + V_{sa} \\ V_{ib} &= L\frac{di_b}{dt} + V_{sb} \\ V_{ic} &= L\frac{di_c}{dt} + V_{sc} \end{aligned} \qquad (3.24)$$

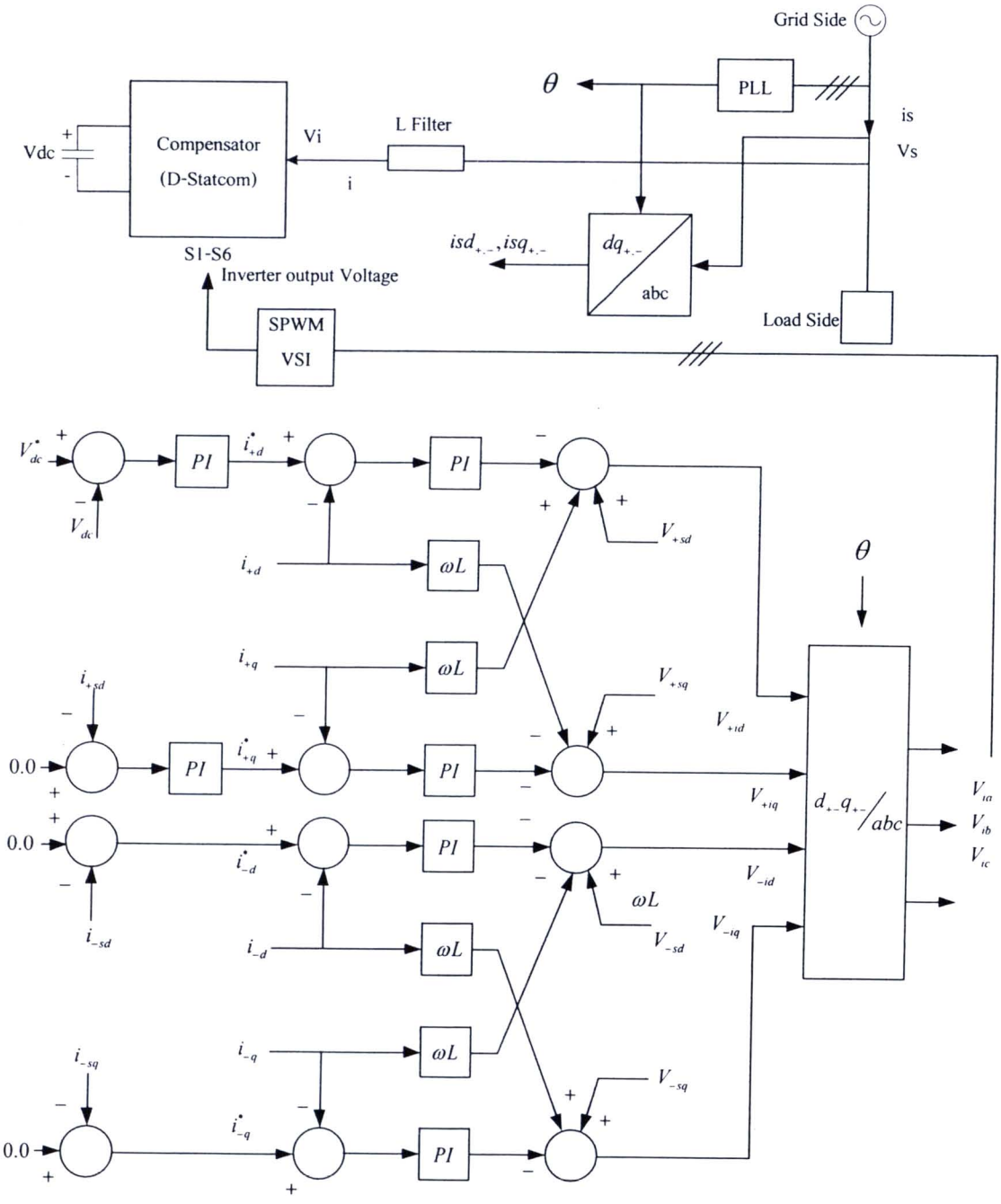
เมื่อ

$$L\frac{di_d}{dt} = \Delta d$$
$$L\frac{di_q}{dt} = \Delta q \qquad (3.25)$$

$$V_{id+} = \Delta d - \omega L i_q + V_{sd+}$$
$$V_{iq+} = \Delta q - \omega L i_d + V_{sq+} \qquad (3.26)$$

$$V_{id-} = \Delta d + \omega L i_q + V_{sd-}$$
$$V_{iq-} = \Delta q - \omega L i_d + V_{sq-} \qquad (3.27)$$

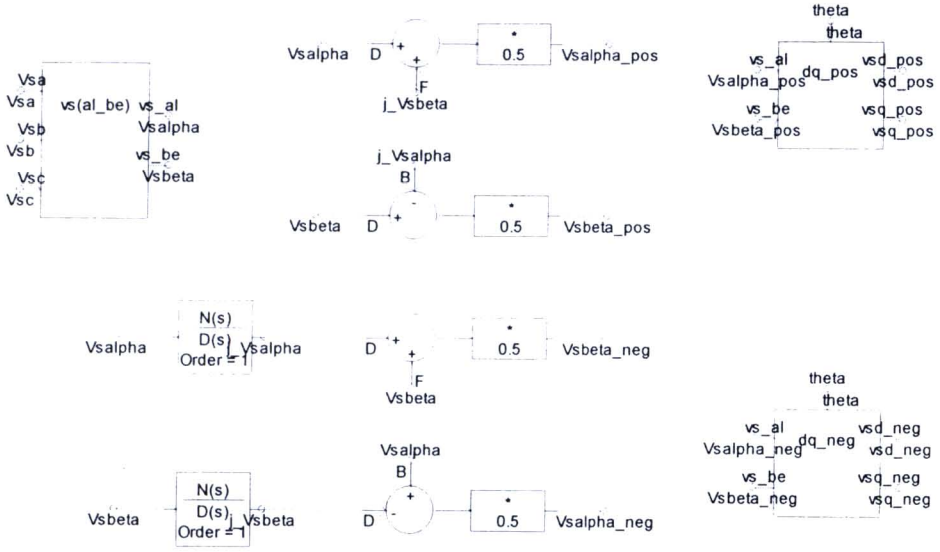
จากสมการที่ 3.26 - 3.27 นำมาเขียนบล๊อกควบคุมกระแสที่ต้องการชดเชยได้เป็นตามรูปที่3.15



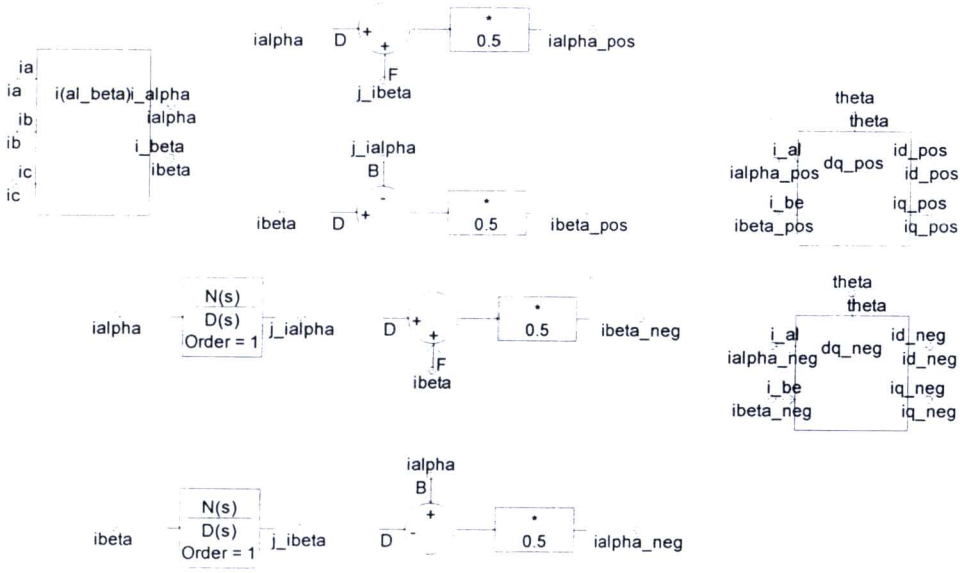
รูปที่ 3.15 บล๊อกไดอะแกรมระบบควบคุมการชดเชยกระแสกรณีโหลดไม่สมดุล

3.2.3.1 ลำดับขั้นตอนการออกแบบระบบควบคุมดี-สแตตคอมกรณีโหลดไม่สมดุลด้วยโปรแกรม PSCAD/EMTDC

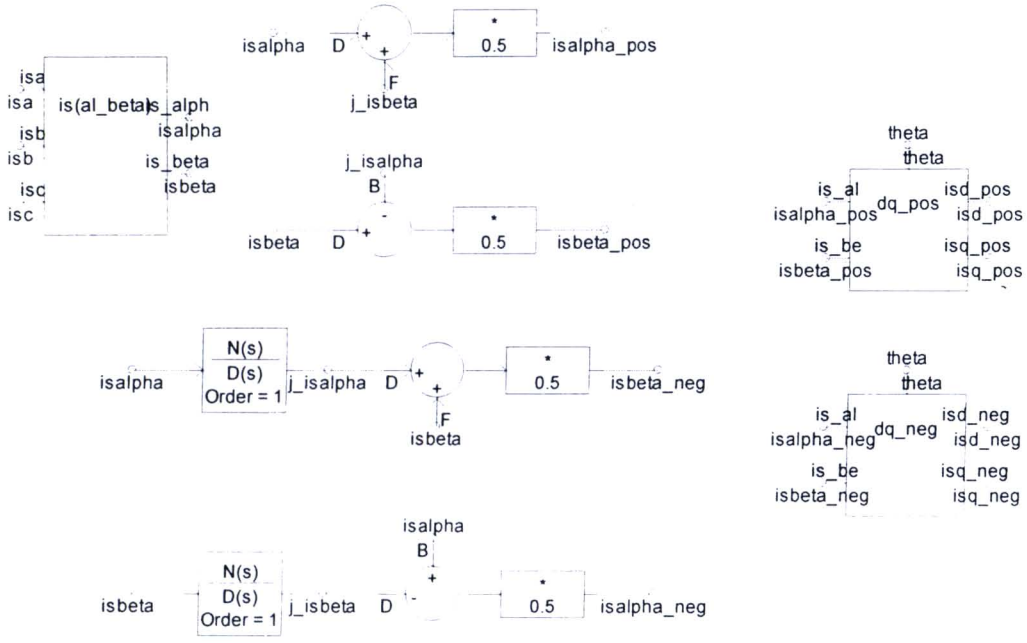
1. ทำการเปลี่ยนแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าให้อยู่ในกรอบหยุดนิ่งสองเฟสแอลฟาเบต้าเพื่อที่จะทำการแยกลำดับเฟสบวกและลำดับเฟสลบ จากนั้นจะเปลี่ยนระบบจากกรอบหยุดนิ่งสองเฟสแอลฟาเบต้าไปอยู่ในกรอบหมุนดีคิวเพื่อที่ทำการควบคุมกระแสที่จะฉีดเข้าไปในระบบตามรูปที่3.16 ถึงรูปที่3.18



รูปที่3.16 บล๊อกไดอะแกรมลำดับเฟสบวกและลำดับเฟสลบแรงดันไฟฟ้าของระบบจ่ายกำลังไฟฟ้าหลัก



รูปที่ 3.17 บล๊อกไดอะแกรมลำดับเฟสบวกและลำดับเฟสลบของกระแสไฟฟ้าที่ออกจากตัวชดเชย



รูปที่ 3.18 บล๊อกไดอะแกรมการแยกลำดับเฟสบวกและลำดับเฟสลบของกระแสไฟฟ้าระบบกริด

2. เมื่อได้ตัวแปรของระบบที่ต้องการควบคุมในลำดับเฟสบวกและลำดับเฟสลบทั้งหมดแล้วก็นำมาเขียนระบบควบคุมกระแสทั้งในส่วนของกระแสที่ฉีดเข้าไปในระบบลำดับเฟสบวกและกระแสที่ต้องการฉีดเข้าไปในลำดับเฟสลบโดยสามารถเขียนโปรแกรมจำลองระบบได้ในรูปที่3.19

3. เมื่อได้แรงดันอ้างอิงที่ต้องการควบคุมแรงดันที่ขาออกของดี-สแตตคอมทั้งในส่วนประกอบลำดับเฟสบวกและส่วนประกอบในลำดับเฟสลบในกรอบหมุนดีคิว จากนั้นต้องทำการรวมส่วนประกอบของแรงดันควบคุมกลับไปแรงดันอ้างอิงในกรอบหยุดนิ่งสองเฟสแอลฟาเบต้า เพื่อได้แรงดันไฟฟ้าอ้างอิงนำไปทำสัญญาณ PWM เพื่อขับสวิตช์ที่ตัวดี-สแตตคอม

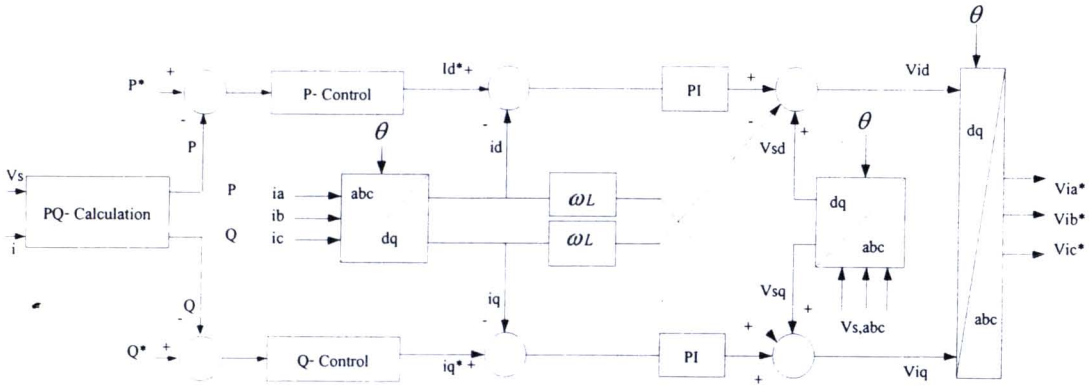
รูปที่ 3.19 บล๊อกไดอะแกรมระบบควบคุมกระแสที่ใช้ชดเชยทั้งกระแสลำดับเฟสบวกและกระแสลำดับเฟสลบ

3.3 การออกแบบระบบควบคุมการผลิตแบบกระจาย

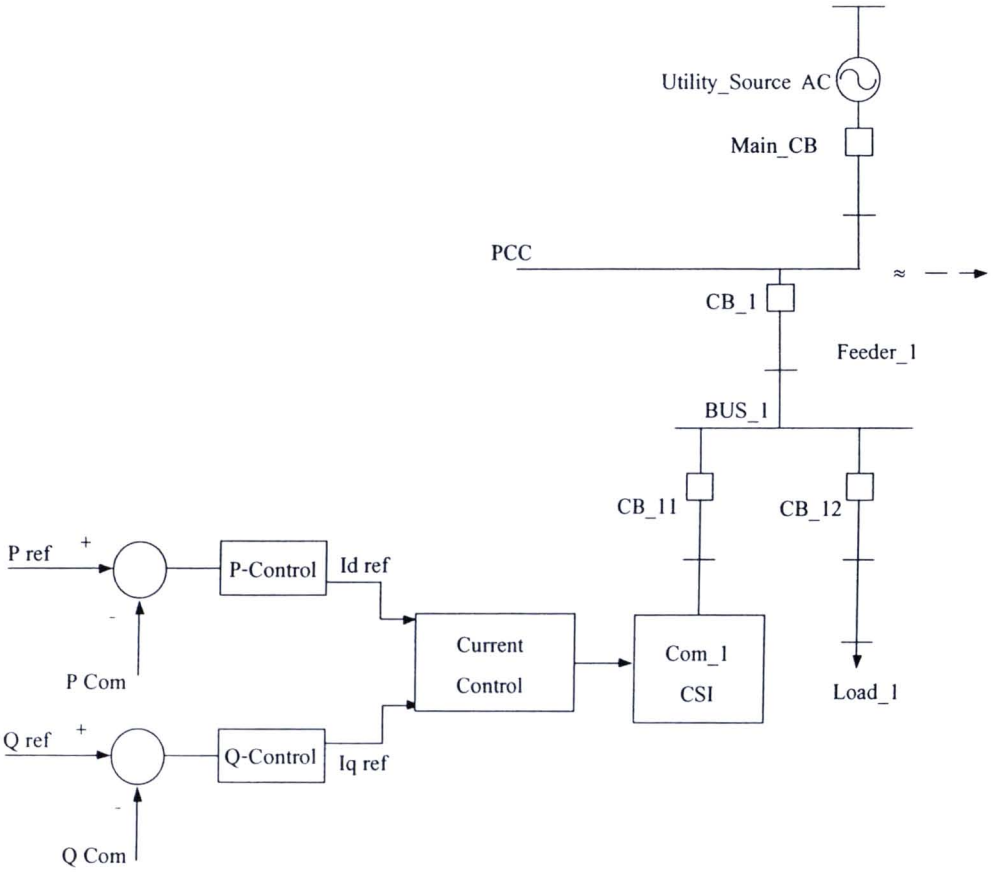
จากหัวข้อที่ 3.2.1 กรณีที่ระบบที่ติดตั้งมีความสามารถในการผลิตพลังงานหรือสามารถนำพลังงานหมุนเวียนมาใช้ในการผลิตกระแสไฟฟ้าได้ เช่นพลังงานลม พลังงานแสงอาทิตย์ มาเก็บสะสมพลังงานไว้ ระบบควบคุมก็จะสามารถที่จะชดเชยกำลังไฟฟ้าแบบแอคทีฟที่โหลดต้องการได้เช่นกัน กำหนดให้ระบบที่ต้องการออกแบบระบบควบคุมดี-สแตตคอมที่ชดเชยกำลังไฟฟ้าเป็นไปตามรูปที่ 3.1 การออกแบบระบบควบคุมจะมี 2 ส่วนหลัก คือ ส่วนของการชดเชยกำลังไฟฟ้า P-Q control กับส่วนของการควบคุมกระแสที่ต้องการฉีดเข้าไปในระบบ การควบคุมกำลังไฟฟ้าจะใช้กำลังไฟฟ้าที่ต้องการฉีดนำมาเปรียบเทียบกับสัญญาณของกำลังไฟฟ้าที่วัดได้ โดยการควบคุมจะใช้หลักการควบคุมของตัวควบคุมพีไอเพื่อที่จะได้กระแสอ้างอิงในกรอบหมุนดีคิวโดยเขียนสมการควบคุมกำลังไฟฟ้าที่ต้องการชดเชยได้คือ

$$(P^* - P)[kp(1+\frac{1}{sT})] = id^* \qquad (3.28)$$
$$(Q^* - Q)[kp(1+\frac{1}{sT})] = iq^*$$

ส่วนของการควบคุมกระแสที่ต้องการฉีดกำลังไฟฟ้าเข้าไปในระบบจะยังคงใช้สมการที่ 3.9 โดยสามารถที่จะเขียนบล็อคของระบบควบคุมดี-สแตตคอมที่ต้องการชดเชยกำลังไฟฟ้าได้ดังรูปที่ 3.20



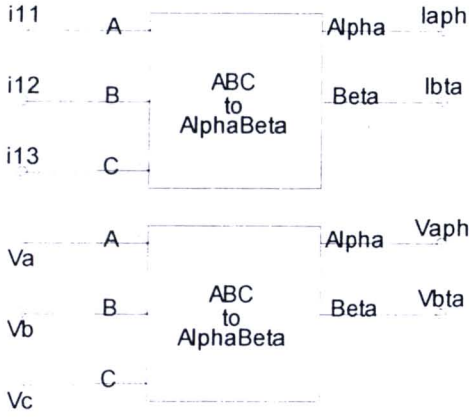
รูปที่ 3.20 บล็อกไดอะแกรมระบบควบคุมกระแสเพื่อชดเชยกำลังไฟฟ้าแอคทีฟและรีแอคทีฟ



รูปที่ 3.21 บล๊อกไดอะแกรมระบบควบคุมการผลิตแบบกระจาย

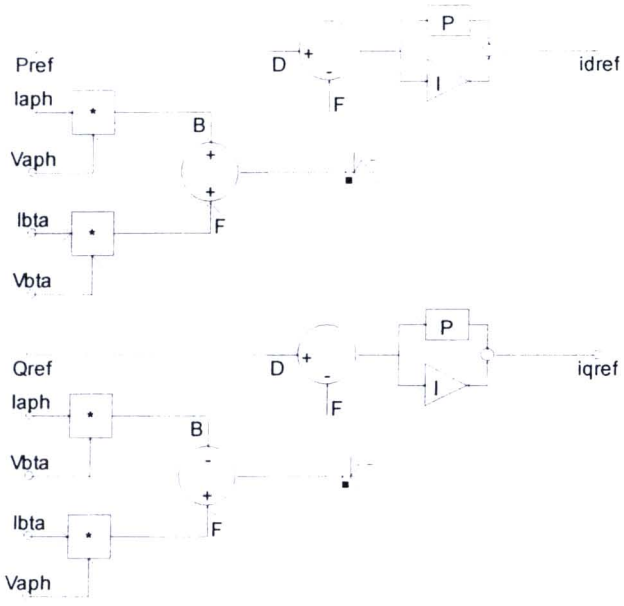
3.3.1 ลำดับขั้นตอนการออกแบบระบบควบคุมการผลิตแบบกระจายด้วยโปรแกรม PSCAD/EMTDC

1. เขียนโปรแกรมคำนวณกำลังไฟฟ้าโดยการนำค่ากระแสที่ฉีดเข้าไปในระบบและค่าแรงดันไฟฟ้าที่จุดต่อร่วม



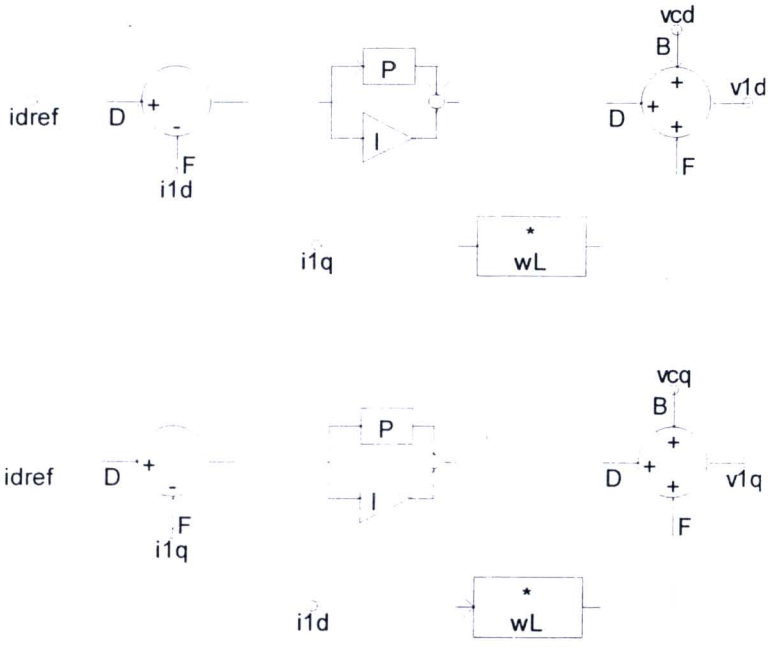
รูปที่ 3.22 บล๊อกไดอะแกรมการคำนวณกำลังไฟฟ้าแอคทีฟและรีแอคทีฟ

2. นำค่าของกำลังไฟฟ้าที่ได้จากการคำนวณมาเปรียบเทียบกับกำลังไฟฟ้าอ้างอิงที่ต้องชดเชยเข้าไปยังระบบดังรูปที่



รูปที่ 3.23 บล๊อกไดอะแกรมการควบคุมกระแสไฟฟ้าอ้างอิงที่ชดเชยกำลังไฟฟ้า

3. เขียนโปรแกรมควบคุมกระแสที่ต้องการฉีดเข้าไปชดเชยในระบบในกรอบหมุนดีคิวเพื่อให้ได้ค่าแรงดันไฟฟ้าอ้างอิงในกรอบหมุนดีคิวที่ออกมาจากดี-สแตตคอมเพื่อนำไปสร้างสัญญาณขับสวิตช์

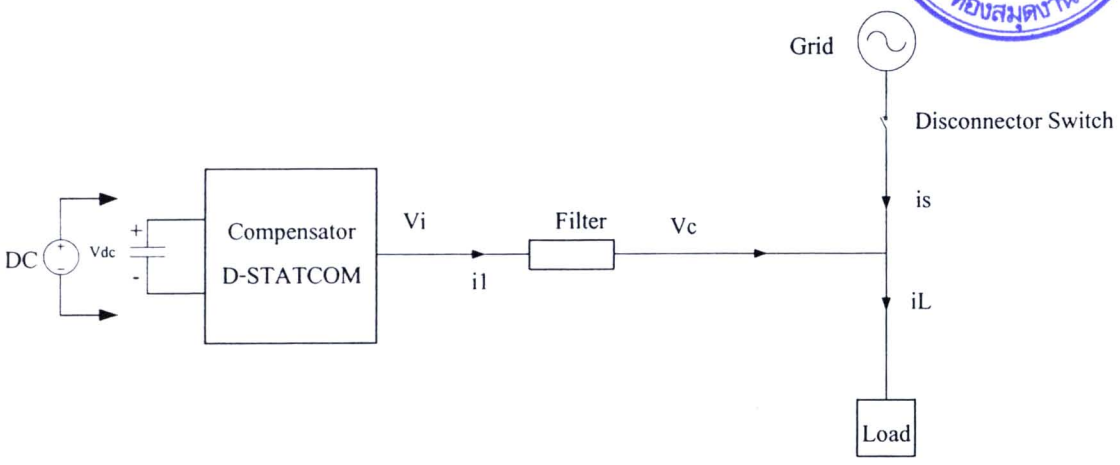


รูปที่ 3.24 บล๊อกไดอะแกรมการควบคุมกระแสที่ชดเชยกำลังไฟฟ้าในกรอบหมุนดีคิว

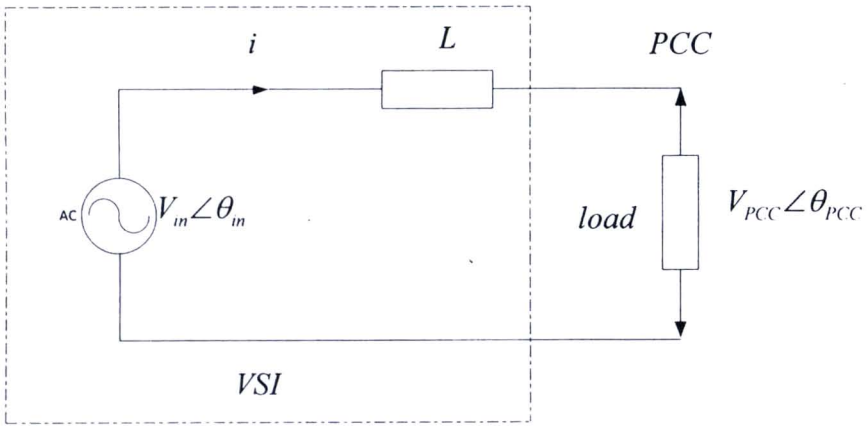
สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ห้องสมุดงานวิจัย

3.4 การออกแบบระบบควบคุมสำหรับระบบไมโครกริด

3.4.1 กรณีติดตั้งดี-สแตตคอมตัวเดียว



รูปที่ 3.25 โครงสร้างของระบบไมโครกริด



รูปที่ 3.26 วงจรสมมูลของอินเวอร์เตอร์แบบแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้า

จากรูปที่ 3.26 สามารถเขียนผลรวมของสมการแรงดันไฟฟ้าได้คือ

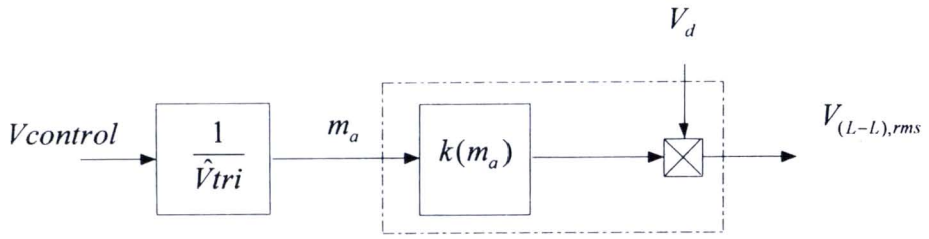
$$[V_{in}] = \left[L\frac{di}{dt} \right] + [V_{PCC}] \qquad (3.29)$$

การออกแบบระบบควบคุมดี-สแตตคอมที่มีการทำงานเมื่อไม่มีการเชื่อมต่อกับระบบไฟฟ้าหลักกับการไฟฟ้าหรือการทำงานแบบไมโครกริด การควบคุมแรงดันไฟฟ้าที่จุดเชื่อมต่อกับโหลดเป็นสิ่งที่

ต้องพิจารณา เพื่อไม่ให้โหลดที่เชื่อมต่อในระบบเกิดทำงานผิดพลาดหรือเสียหาย การควบคุมระบบโดยการควบคุมแรงดันไฟฟ้าของตัวดี-สแตตคอมแบบแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้า (Voltage Source Inverter) ที่ต้องการจะสร้างแรงดันไฟฟ้าด้านออกเป็นรูปไซน์ที่สามารถควบคุมแรงดันระหว่างสายเป็น 380โวลท์ ($V_{L\text{-}L,RMS}$)ในกรณีที่เป็นประเทศไทย โดยจะใช้สัญญาณควบคุมแบบไซน์ (Sinusoidal Control Signal) ตามความถี่ที่ต้องการนำมาเปรียบเทียบกับรูปคลื่นสามเหลี่ยม (Triangular Waveform) ความถี่ของการสวิตซิ่ง(fs) จะเท่ากับความถี่ของรูปคลื่นสามเหลี่ยม

ดี-สแตตคอมเมื่อทำงานในย่านมอดูเลชั่นเชิงเส้น ($m_a \leq 1$)

ความหมายของการทำงานในย่านมอดูเลชั่นสมมุติหากมีแหล่งจ่ายแรงดันที่ดีซีบัสมีขนาดแรงดันเท่ากับ 800 โวลท์ เมื่อปรับ m_a จะได้แรงดันระหว่างสายคือ 0.612 x 0.5 x 800 = 244.8 โวลท์ หมายถึงแรงดันที่ความถี่หลักมูลจะเท่ากับ 244.8 โวลท์ เมื่อปรับ m_a = 1 จะได้แรงดันที่ความถี่หลักมูลเท่ากับ 489.6 โวลท์ นั่นคือเมื่อปรับ m_a จาก 0.5 เป็น 1 หรือจำนวน 2 เท่า แรงดันก็เพิ่มเป็นสองเท่าเช่นกัน



รูปที่ 3.27 บล๊อกไดอะแกรมขนาดแรงดันขาออกของอินเวอร์เตอร์แบบแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้า

ในการกำหนดพิกัดของดี-สแตตคอมสามารถทำได้ดังนี้ สมมุติว่ากระแสเป็นรูปคลื่นไซน์ที่มีกระแส $I_{o,\max}$ ที่โหลดสูงสุดซึ่งสวิตซ์แต่ละตัวจะมีพิกัดสูงสุดคือ

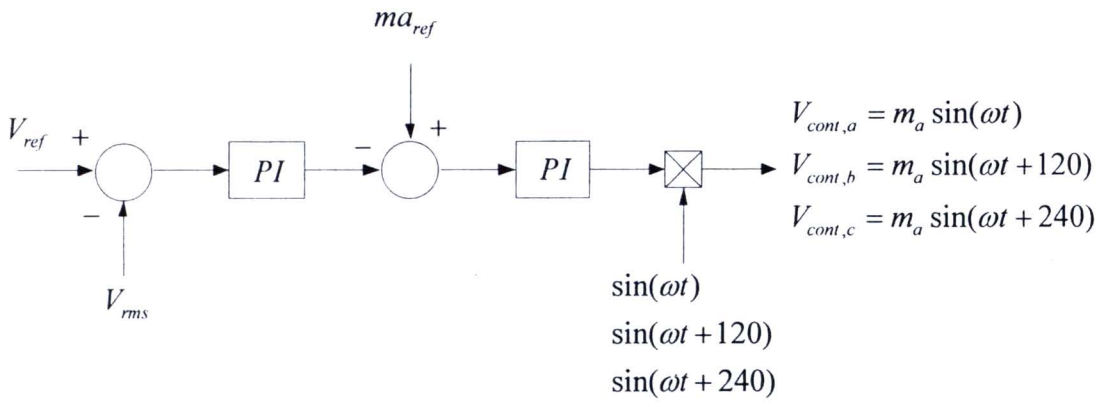
$$V_T = V_{d,\max} \qquad (3.30)$$

$$I_T = \sqrt{2} I_{o,\max} \qquad (3.31)$$

โดยค่ากำลังไฟฟ้าปรากฏด้านขาออกของดี-สแตตคอมที่ความถี่หลักมูลเท่ากับ

$$(VA)_{3-phase} = \sqrt{3} V_{LL} I_{o,\max} \qquad (3.32)$$

สำหรับการออกแบบระบบควบคุมนั้นจะใช้วิธีการควบคุมแรงดันขาออกของดี-สแตตคอมดังที่ได้กล่าวไว้ในตอนต้นโดยการนำค่าแรงดันไฟฟ้าที่จุดต่อกับโหลดในรูปแรงดันอาร์เอ็มเอสมาทำการเปรียบเทียบกับค่าแรงดันอ้างอิงที่ต้องการผ่านการควบคุมแบบพีไอซึ่งจะได้ค่า ma มาทำการ Feed Forward Control โดยนำเอาค่าของสัญญาณ เข้ามาเพื่อทำการปรับแต่งตัวแปรก่อนที่ตัวแปรควบคุมจะเปลี่ยนแปลงไปมาก นิยมใช้กับกระบวนการที่มีการเปลี่ยนแปลงของโหลดบ่อยๆเมื่อนำการควบคุมชนิดนี้เข้ามาใช้ร่วมในควบคุมสัญญาณป้อนกลับแบบลูปปิดจะทำตัวแปรควบคุมเกิดเปลี่ยนแปลงหรือมีเบี่ยงเบนน้อยที่สุด เมื่อได้ค่า ma ที่ผ่านการปรับแต่งมาคูณกับรูปคลื่นแรงดันอ้างอิงสามเฟสที่ความถี่ 50 เฮิรตซ์ เพื่อให้ได้แรงดันไฟฟ้าควบคุมดังแสดงในรูปที่ 3.28 ที่ไปทำการเปรียบเทียบกับแรงดันสามเหลี่ยมด้วยวิธีการ PWM นำไปควบคุมการเปิดปิดของสวิตซ์ของไอจีบีทีได้

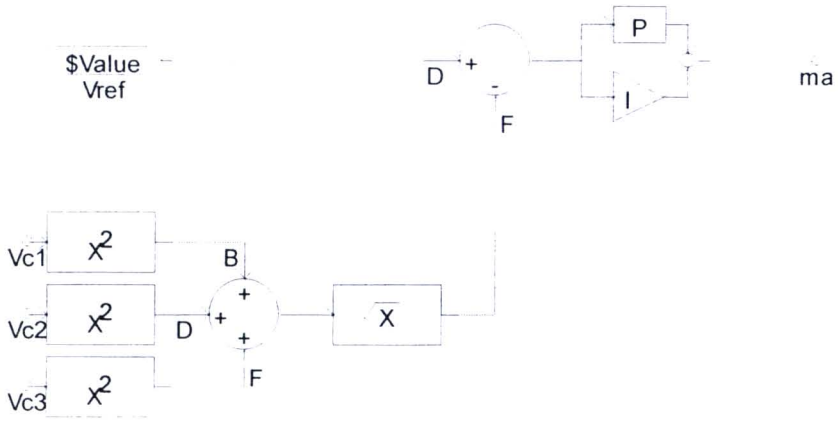


รูปที่ 3.28 บล๊อกไดอะแกรมตัวควบคุมแรงดันไฟฟ้าขาออกของดี-สแตตคอม

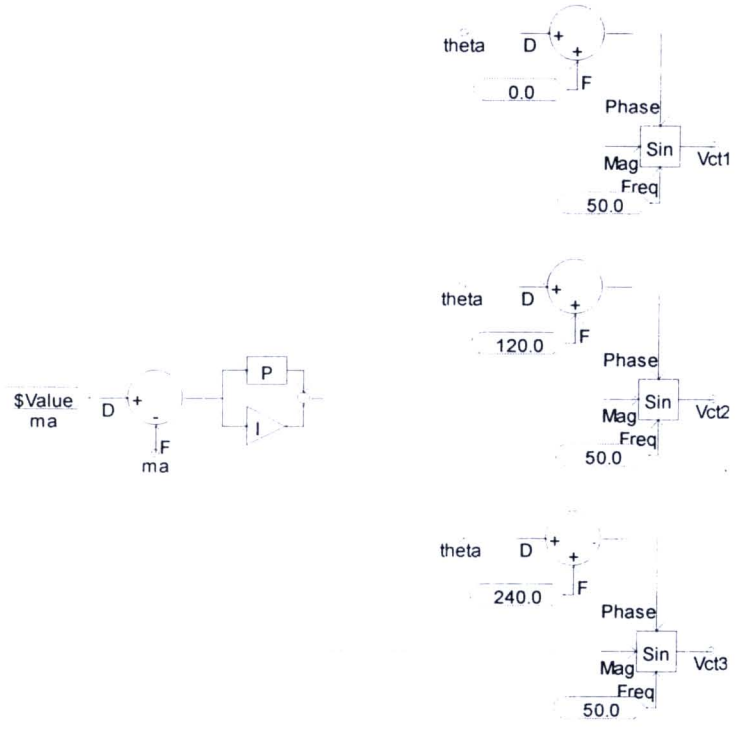
3.4.1.1 ลำดับขั้นตอนการออกแบบระบบควบคุมดี-สแตตคอมแบบชุดเดียวด้วยโปรแกรม PSCAD/EMTDC

1. ทำการควบคุมแรงดันที่โหลดด้วยค่าอ้างอิงโดยการนำค่าแรงดันไฟฟ้าที่วัดได้มาทำการเปรียบเทียบกับค่าอ้างอิงด้วยตัวควบคุมพีไอซึ่งจะได้ค่าของ ma ตามรูปที่ 3.29

2. ค่า ma ที่ได้ต้องนำมาทำการปรับแต่งด้วยวิธีการควบคุมแบบ Feed Forward เพื่อให้ตัวแปรควบคุมเกิดเปลี่ยนแปลงหรือมีเบี่ยงเบนน้อยที่สุด หลังจากนั้นนำมาคูณเข้าการสัญญาณไซน์ที่ความถี่ 50 เฮิรตซ์ ทำให้ได้สัญญาณควบคุมเพื่อนำไปทำกระบวนการ PWM ตามรูปที่ 3.30



รูปที่ 3.29 บล๊อกไดอะแกรมการควบคุมแรงดันไฟฟ้าที่จุดโหลด

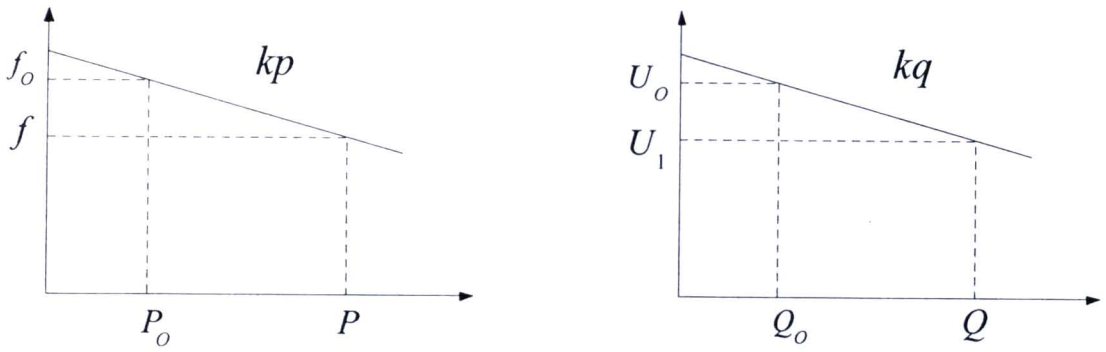


รูปที่ 3.30 บล๊อกไดอะแกรมการควบคุมแรงดันไฟฟ้าอ้างอิง

3.4.2 กรณีติดตั้งดี-สแตตคอมหลายตัว

จากหัวข้อที่ผ่านมาได้นำเสนอการออกแบบตัวควบคุมระบบชดเชยเพื่อปรับปรุงคุณภาพกำลังไฟฟ้าในระบบจำหน่ายแบบติดตั้งตัวเดียวที่ทำงานทั้งแบบเชื่อมต่อกับระบบกริดและแบบที่ไม่เชื่อมต่อกับระบบกริดของการไฟฟ้า มาถึงในหัวข้อนี้จะนำเสนอระบบควบคุมการชดเชยกำลังไฟฟ้าที่มีการติดตั้งดี-สแตตคอมแบบหลายตัวเชื่อมต่อเข้ากับระบบโดยพิจารณาติดตั้งในตำแหน่งที่เหมาะสมหรือใน

บริเวณที่สามารถควบคุมได้เพื่อที่จะให้มีการทำงานที่หลากหลายมากยิ่งขึ้น ไม่ว่าในสภาวะที่ตัวชดเชยเชื่อมต่อเข้ากับระบบหรือสภาวะที่ระบบไม่สามารถที่จ่ายกำลังไฟฟ้าให้แก่โหลดได้ จากสมการที่ 2.30 ทำให้เห็นว่าค่ากำลังไฟฟ้าแอคทีฟนั้นขึ้นอยู่กับความถี่และค่าของกำลังไฟฟ้ารีแอคทีฟจะขึ้นอยู่กับขนาดความต่างศักย์ของแรงดันไฟฟ้าขาออกของดี-สแตตคอมกับแรงดันระบบกริด ในทางกลับกันความถี่นั้นสามารถที่จะควบคุมได้ด้วยกำลังไฟฟ้าแอคทีฟและแรงดันขาออกของดี-สแตตคอมถูกควบคุมด้วยกำลังไฟฟ้ารีแอคทีฟ



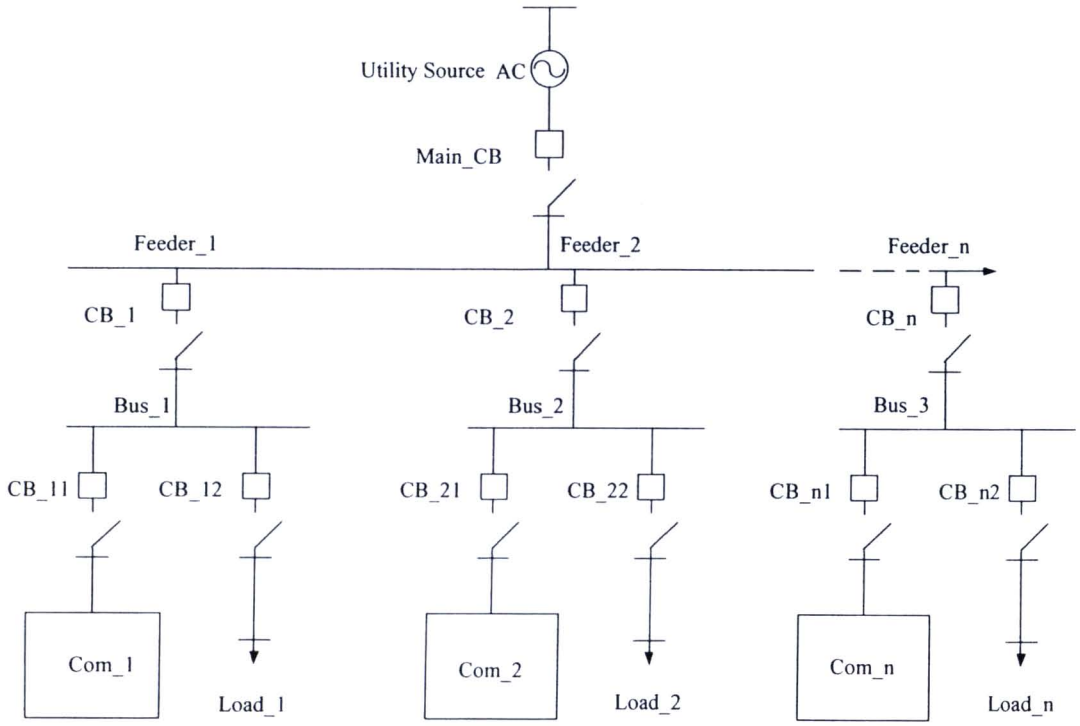
รูปที่ 3.31 คุณลักษณะของความถี่และแรงดันไฟฟ้าของระบบควบคุม Droop Control

จากรูปที่ 3.31 เขียนให้อยู่ในรูปสมการทั่วไปได้คือ

$$\begin{aligned} f - f_o &= -kp(P - P_o) \\ U_1 - U_o &= -kq(Q - Q_o) \end{aligned} \qquad (3.33)$$

$$\begin{aligned} kp &= -\frac{f - f_o}{P - P_o} \\ kq &= -\frac{U_1 - U_o}{Q - Q_o} \end{aligned} \qquad (3.34)$$

สำหรับการออกแบบการควบคุมการทำงานดี-สแตตคอมแบบหลายชุดนั้นจะประกอบไปด้วยดังนี้คือ เมื่อระบบมีการเชื่อมต่ออยู่กับระบบกริดของการไฟฟ้าการทำงานของดี-สแตตคอมจะมีลักษณะเป็นแหล่งจ่ายกระแส ที่ฉีดทั้งกำลังไฟฟ้าแอคทีฟและรีแอคทีฟเข้าไปในระบบกริดตามพิกัดกำลังหรือความต้องการในการจ่ายกำลังไฟฟ้า ขณะที่เมื่อระบบกริดเกิดปัญหาไม่สามารถที่จะจ่ายกำลังไฟฟ้าไปยังโหลดในระบบ การควบคุมการทำงานของดี-สแตตคอมจะเปลี่ยนโหมดการควบคุมมาเป็นแบบแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้าที่สามารถจะควบคุมทั้งความถี่และแรงดันไฟฟ้าที่ต้องการดังที่กล่าวไว้ในสมการ 3.33

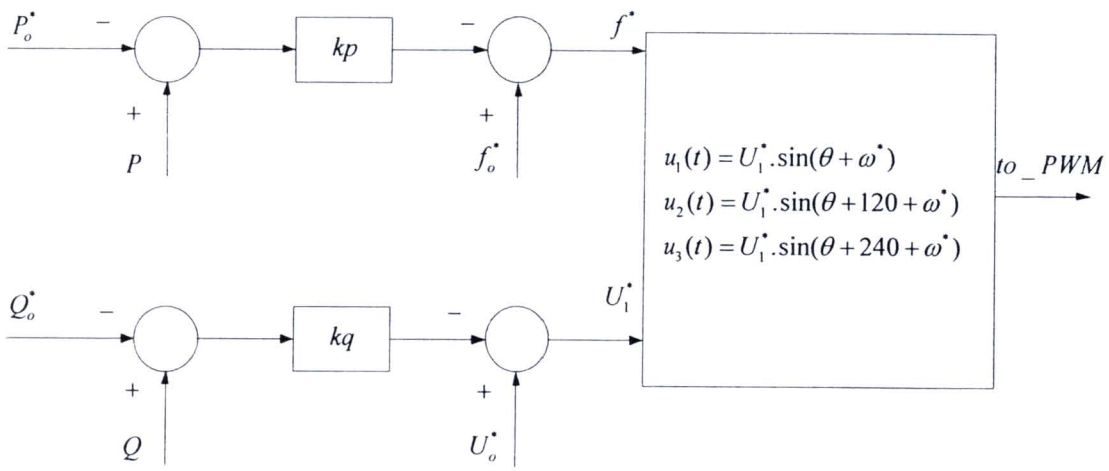


รูปที่ 3.32 ไดอะแกรมเส้นเดียวของการติดตั้งตัวดี-สแตตคอมหลายตัวชดเชยกำลังไฟฟ้า

วงจรกำลังของดี-สแตตคอมเมื่อทำงานในโหมดไมโครกริดจะประกอบด้วยตัวดี-สแตตคอมแบบแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้าที่มีชุดฟิลเตอร์ ซึ่งระบบควบคุมจะทำหน้าที่รักษาระดับแรงไฟฟ้าและ ความถี่จ่ายกำลังไฟฟ้าให้กับโหลดทั้งแอคทีฟและรีแอคทีฟ

การออกแบบระบบควบคุมจะใช้สมการที่ 3.33 มาพิจารณาเพื่อต้องการควบคุมแรงดันและความถี่ของระบบที่ต้องการควบคุม โดยที่จะสามารถกำหนดค่าพิกัดของดี-สแตตคอมแต่ละตัวที่ต้องการจ่ายกำลังตามค่าความชัน เพื่อให้ได้แรงดันไฟฟ้าและความถี่ที่ต้องการช่วยจ่ายกำลังดังแสดงในรูปที่3.33 ซึ่งสามารถเขียนสมการให้อยู่ในรูปของแรงดันไฟฟ้าอ้างอิงได้ดังสมการที่ 3.35

$$
\begin{aligned}
u_1(t) &= U_1^*.\sin(\theta+\omega^*) \\
u_2(t) &= U_1^*.\sin(\theta+120+\omega^*) \\
u_3(t) &= U_1^*.\sin(\theta+240+\omega^*)
\end{aligned}
\qquad (3.35)
$$

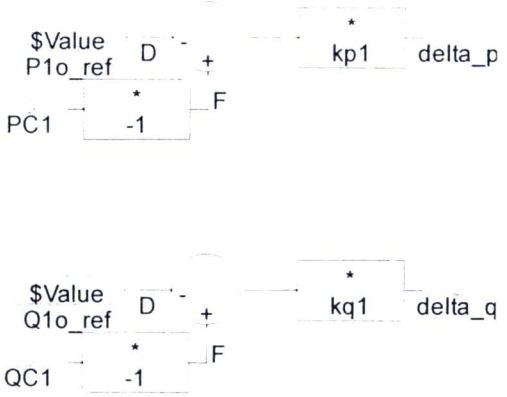


รูปที่ 3.33 บล๊อกไดอะแกรมระบบควบคุมแรงดันไฟฟ้าและความถี่แบบ Droop Control

3.4.2.1 ลำดับขั้นตอนการออกแบบระบบควบคุมดี-สแตตคอมแบบหลายชุดด้วยโปรแกรม PSCAD/EMTDC

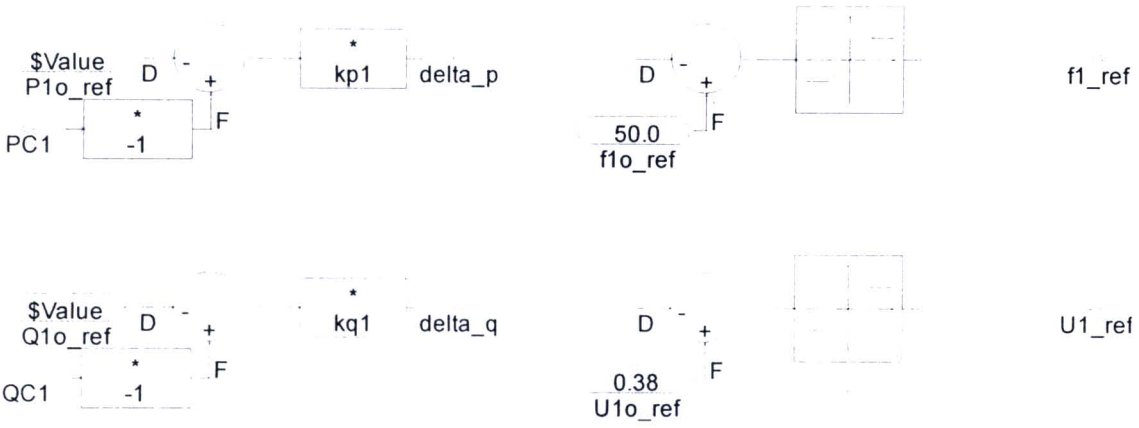
โครงสร้างของระบบที่ใช้ในการจำลองจะประกอบด้วยจำนวน 2 feeder โดยในแต่ละ feeder จะประกอบด้วยดี-สแตตคอม 1 ชุดทำหน้าที่จ่ายกำลังไฟฟ้าให้กับโหลดของตัวเอง โดยระบบควบคุมดี-สแตตคอมจะทำงานสองสภาวะดังนี้คือ ตอนเชื่อมต่อกับระบบกริดดี-สแตตคอมจะเปรียบเสมือนแหล่งจ่ายกระแสที่คอยทำหน้าที่ฉีดกำลังไฟฟ้าทั้งแอคทีฟและรีแอฟทีฟและในขณะสภาวะไม่มีการเชื่อมต่อกับระบบกริด ดี-สแตตคอมจะเปรียบเสมือนแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้าที่ทำหน้าควบคุมแรงดันและความถี่ด้วยวิธีการช่วยจ่ายกำลังไฟฟ้ากับดี-สแตตคอมใน feeder อื่น สำหรับสภาวะเชื่อมต่อกับกริด บล๊อกไดอะแกรมของระบบควบคุมอ้างอิงตามหัวข้อที่ 3.3.1 สำหรับขั้นตอนการออกแบบระบบควบคุมในสภาวะไมโครกริดมีหลายละเอียดดังนี้

1. กำหนดพิกัดของดี-สแตตคอมทั้งกำลังไฟฟ้าแอคทีฟและกำลังไฟฟ้ารีแอคทีฟตามความชันดังสมการที่3.33 โดยตั้งกำลังไฟฟ้าอ้างอิงแอคทีฟและรีแอคทีฟมาเปรียบเทียบกับกำลังไฟฟ้าตอนสภาวะไมโครกริดที่สามารถควบคุมความถี่และขนาดของแรงดันไฟฟ้าเพื่อชดเชยกำลังไฟฟ้าให้โหลดดังรูปที่ 3.34



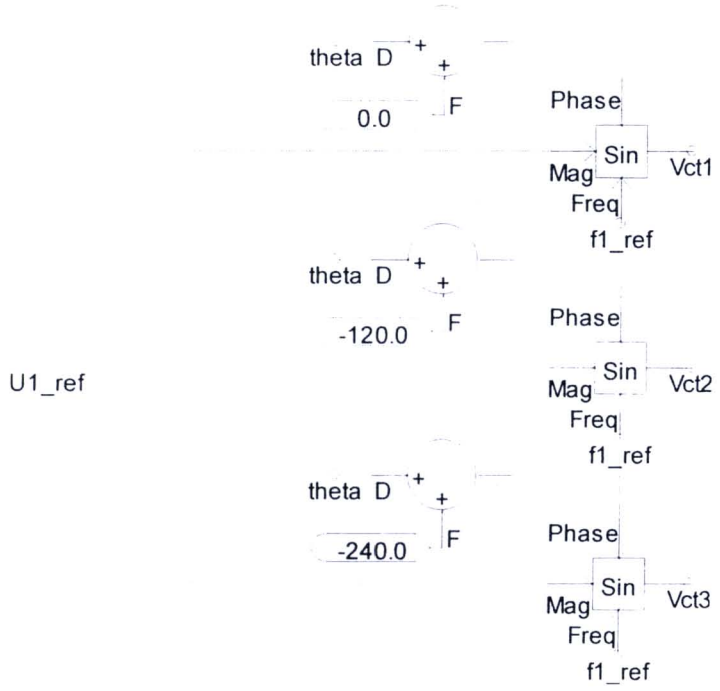
รูปที่ 3.34 บล๊อกไดอะแกรมการออกแบบพิกัดกำลังที่ต้องการชดเชยตอนไมโครกริด

2. เมื่อได้ขนาดพิกัดกำลังไฟฟ้าที่ต้องการนำมาเขียนบล๊อกความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้าแอคทีฟกับความถี่และเขียนบล๊อกความสัมพันธ์ของกำลังไฟฟ้ารีแอคทีฟกับแรงดันตามรูปที่ 3.35



รูปที่ 3.35 บล๊อกไดอะแกรมการหาขนาดแรงดันและความถี่อ้างอิงที่ต้องการสร้างสัญญาณไซน์ที่ใช้ควบคุมการทำงานดี-สแตตคอม

3. นำความถี่และแรงดันไฟฟ้าอ้างอิงที่ได้ไปสร้างสัญญาณไซน์ที่ใช้ควบคุมการทำงานของดี-สแตตคอมเพื่อชดเชยกำลังไฟฟ้าในสภาวะไมโครกริดดังรูปที่ 3.36



รูปที่ 3.36 บล๊อกไดอะแกรมสร้างสัญญาณไซน์อ้างอิงเพื่อใช้ควบคุมการทำงานของดี-สแตตคอม