

บทที่ 4

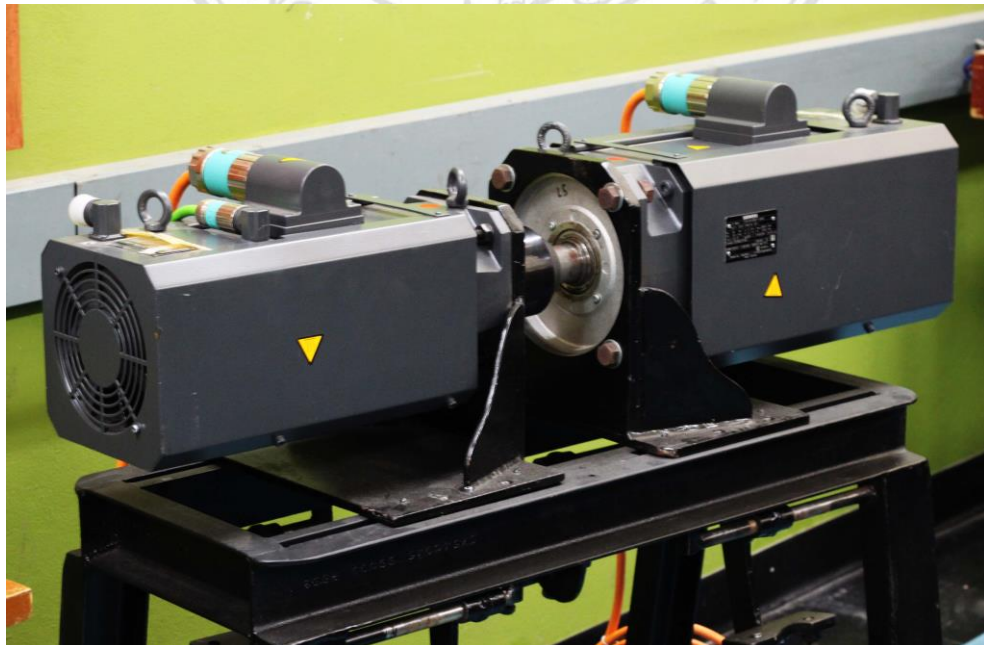
การออกแบบเครื่องต้นแบบ แบบจำลองการทำงาน และผลทดสอบ

4.1 บทนำ

ในบทนี้จะกล่าวถึงการออกแบบเครื่องต้นแบบเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเชิงโรตัสชนิดแม่เหล็กถาวร เชื่อมต่อเข้ากับกริดระบบ โดยใช้คอนเวอร์เตอร์กำลังแบบแหล่งจ่ายแรงดันสองระดับในลักษณะหันหลังชนกัน ที่ถูกควบคุมทั้งทางด้านเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและควบคุมด้านกริดระบบ มากกว่านั้นในบทนี้ ยังได้นำเสนอแบบจำลองการควบคุมกระแสสแตเตอร์สำหรับระบบขับเคลื่อนเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเชิงโรตัสชนิดแม่เหล็กถาวรที่ถูกเชื่อมกริด ด้วยโปรแกรม Matlab/Simulink เพื่อให้เห็นภาพรวมและผลของระบบก่อนการทดสอบในระบบจริง

4.2 เครื่องกำเนิดไฟฟ้าเชิงโรตัสแบบกระตุ้นด้วยแม่เหล็กและตัวขับเคลื่อนกำลัง

ภาพที่ 4.1 แสดงระบบขับเคลื่อนเครื่องกำเนิดไฟฟ้าฯ ที่ใช้ในการทดสอบในงานวิจัยนี้ซึ่งจะมีคุณลักษณะและค่าพารามิเตอร์ดังตารางที่ 4.1 และ 4.2



ภาพที่ 4.1 ระบบขับเคลื่อนเครื่องกำเนิดไฟฟ้าฯ ที่ใช้ในงานวิจัย

ตารางที่ 4.1 ลักษณะเฉพาะและค่าพารามิเตอร์ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเชิงโรนัสแบบกระตุ้นด้วยแม่เหล็กที่นำมาทดสอบในระดับห้องปฏิบัติการ

พิกัดกำลังไฟฟ้า	9.27 กิโลวัตต์
แรงดันสเตเตอร์	230/400 โวลต์
กระแสสเตเตอร์	21.7 แอมแปร์
จำนวนขั้วแม่เหล็ก	8 ขั้ว
ความถี่	50 เฮิรตซ์
พิกัดความเร็วรอบ	1500 รอบต่อนาที

ตารางที่ 4.2 ลักษณะเฉพาะและค่าพารามิเตอร์ของตัวขับเคลื่อนกำลังที่นำมาทดสอบในระดับห้องปฏิบัติการ

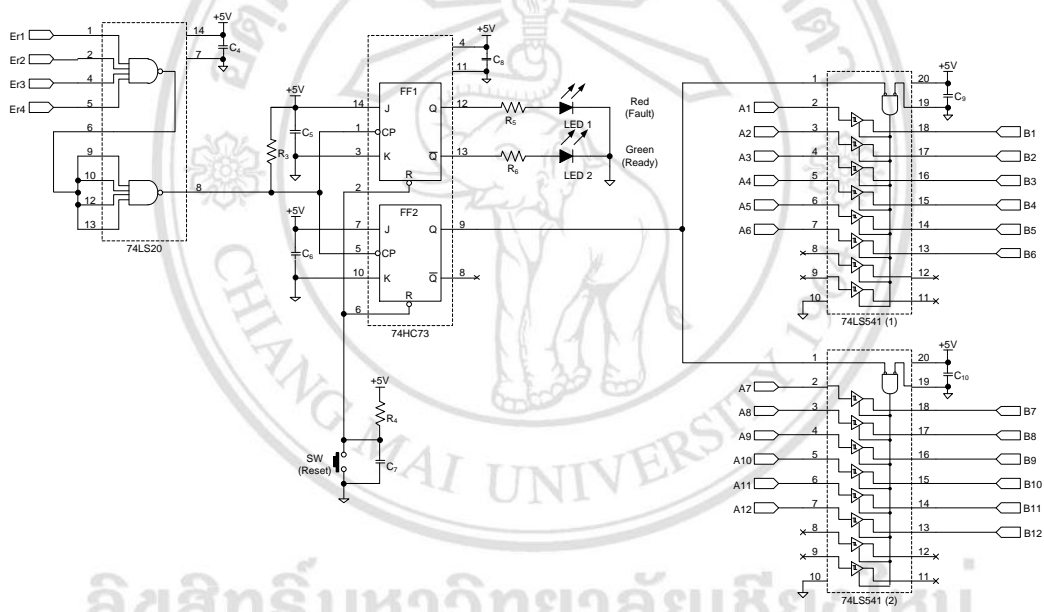
พิกัดกำลังไฟฟ้า	15 กิโลวัตต์
แรงดันสเตเตอร์	230/400 โวลต์
กระแสสเตเตอร์	24.5 แอมแปร์
จำนวนขั้วแม่เหล็ก	16 ขั้ว
ความถี่	50 เฮิรตซ์
พิกัดความเร็วรอบ	4500 รอบต่อนาที

4.3 บอร์ดอินเตอร์เฟส อุปกรณ์เซนเซอร์ตรวจวัดแรงดันและกระแส

4.3.1 วงจรอินเตอร์เฟส

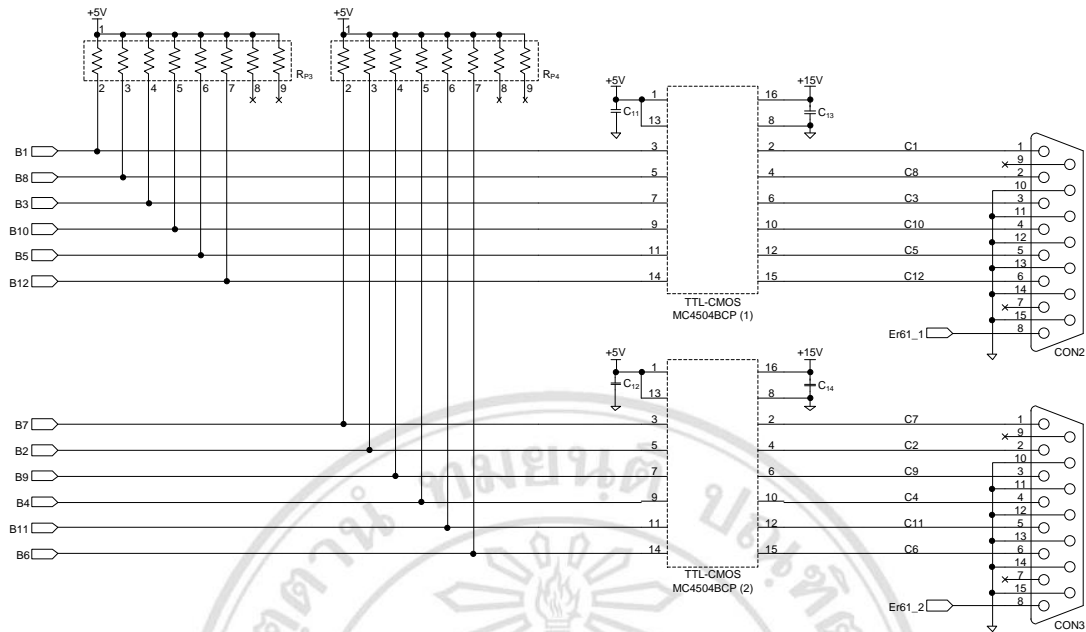
ภาพที่ 4.2 แสดงวงจรอินเตอร์เฟส ในที่นี้จะทำหน้าที่ปรับช่วงระดับแรงดันและเพิ่มจำนวนสัญญาณให้มีจำนวนสัญญาณตามที่ต้องการ เพื่อให้เหมาะสมกับการใช้งานต่อไป ในส่วนของการปรับช่วงระดับแรงดันนั้นใช้ไอซีเบอร์ MC4504BCP โดยปรับจากช่วงแรงดันตั้งแต่ 0V ถึง 5V ที่มาจากตัวประมวลผลสัญญาณเชิงดิจิทัล dSPACE1103 ถูกปรับมาให้อยู่ในช่วงแรงดันตั้งแต่ 0V ถึง 15V แทน และในส่วนของ การเพิ่มจำนวนสัญญาณ โดยจะเพิ่มจำนวนสัญญาณขึ้นเป็นสองเท่า หรือจาก 6 สัญญาณจากตัวประมวลผลสัญญาณเชิงดิจิทัล ให้มาเป็น 12 เพื่อให้เหมาะสมกับการขับสวิทช์ต่อไป ซึ่งจะใช้อิซีเบอร์ 74HC04 เป็นตัวเพิ่มจำนวนสัญญาณเป็นสองเท่า โดยวงจรอินเตอร์เฟสมีลักษณะดังที่แสดงใน ภาพที่ 4.3, 4.4 และ 4.5 ดังต่อไปนี้

จากภาพที่ 4.3 จะพบว่าสัญญาณที่เข้ามาจากคอนโทรลเลอร์มี 8 สัญญาณ ไม่รวมกราวด์ ซึ่งจะมี 6 สัญญาณเท่านั้นที่เป็นสัญญาณขับ อีก 2 สัญญาณจะเป็นค่าคลาดเคลื่อน (Error) ในส่วนของสัญญาณขับสวิตช์จะผ่านไอซีเบอร์ 74LS07 เพื่อทำหน้าที่ลดผลกระทบจากการส่งผ่านสัญญาณภายในสาย และผ่านไอซีเบอร์ 74HC04 ต่อ ซึ่งมีลักษณะของ NOT Gate เพื่อทำหน้าที่เพิ่มจำนวนสัญญาณ โดยทำการกลับสัญญาณที่มาจากคอนโทรลเลอร์ทั้ง 6 สัญญาณ ทำให้ได้สัญญาณที่มีลักษณะตรงกันข้ามกับสัญญาณข้างต้นอีก 6 สัญญาณ ซึ่งสัญญาณที่จะนำไปขับสวิตช์ก็จะได้มาทั้งหมด 12 สัญญาณสำหรับตัวคอนเวอร์เตอร์ และในส่วนของสัญญาณคลาดเคลื่อนจะได้มาจากคอนโทรลเลอร์จำนวน 2 สัญญาณ และอีก 2 สัญญาณ จากวงจรขับนำสวิตช์ ซึ่งทำให้ได้สัญญาณคลาดเคลื่อนทั้งหมด 4 สัญญาณ ทำการผ่านไอซีเบอร์ 74LS07 เพื่อทำหน้าที่ลดผลกระทบจากการส่งผ่านสัญญาณภายในสายเช่นเดียวกับสัญญาณขับสวิตช์ข้างต้น



ภาพที่ 4.4 โค้ดแอมวงจรถนอินเตอร์เฟสส่วนที่ 2

จากภาพที่ 4.4 จะพบว่าจากสัญญาณความผิดพลาดในภาพใน 4.2 ถูกนำมาผ่านไอซีเบอร์ 74LS20 ซึ่งต้องมีสัญญาณคลาดเคลื่อนมาทั้ง 4 สัญญาณ ไอซีถึงจะให้สัญญาณที่ต้องการก็คือ ลอจิก “1” เนื่องจากไอซีเบอร์ 74HC73 นั้นต้องการลอจิก “1” เพื่อสามารถจะทำงานได้ตามต้องการ โดยถ้าไอซีเบอร์ 74HC73 อยู่ในสถานะพร้อมทำงาน (LED 2 ทำงาน) ไอซีจะทำการส่งลอจิก “0” ให้ไอซีเบอร์ 74LS541 ต่อไป โดยเมื่อไอซีเบอร์ 74LS541 นั้นจะสามารถทำงานที่ได้ก็ต่อเมื่อ ได้ลอจิก “0” จากไอซี

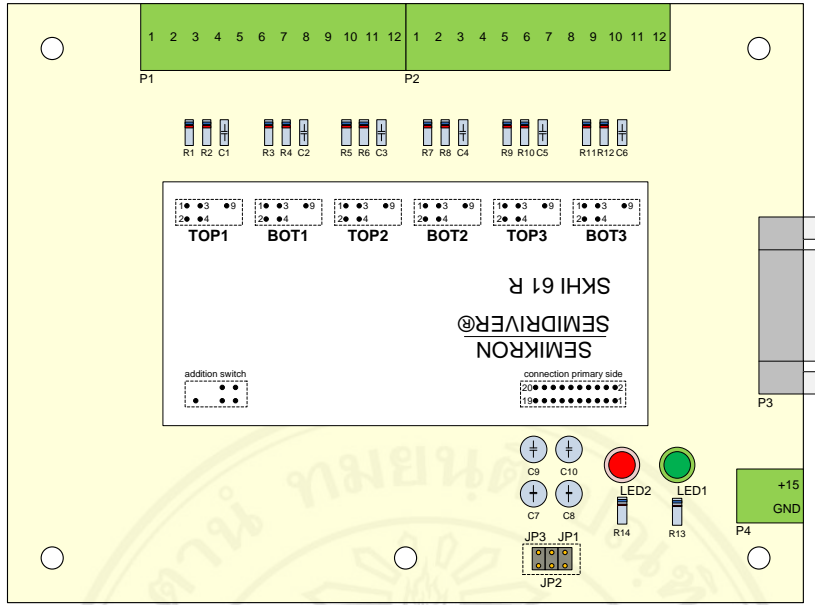


ภาพที่ 4.5 โค้ดแอมป์วงจรอินเวอร์ตเฟสส่วนที่ 3

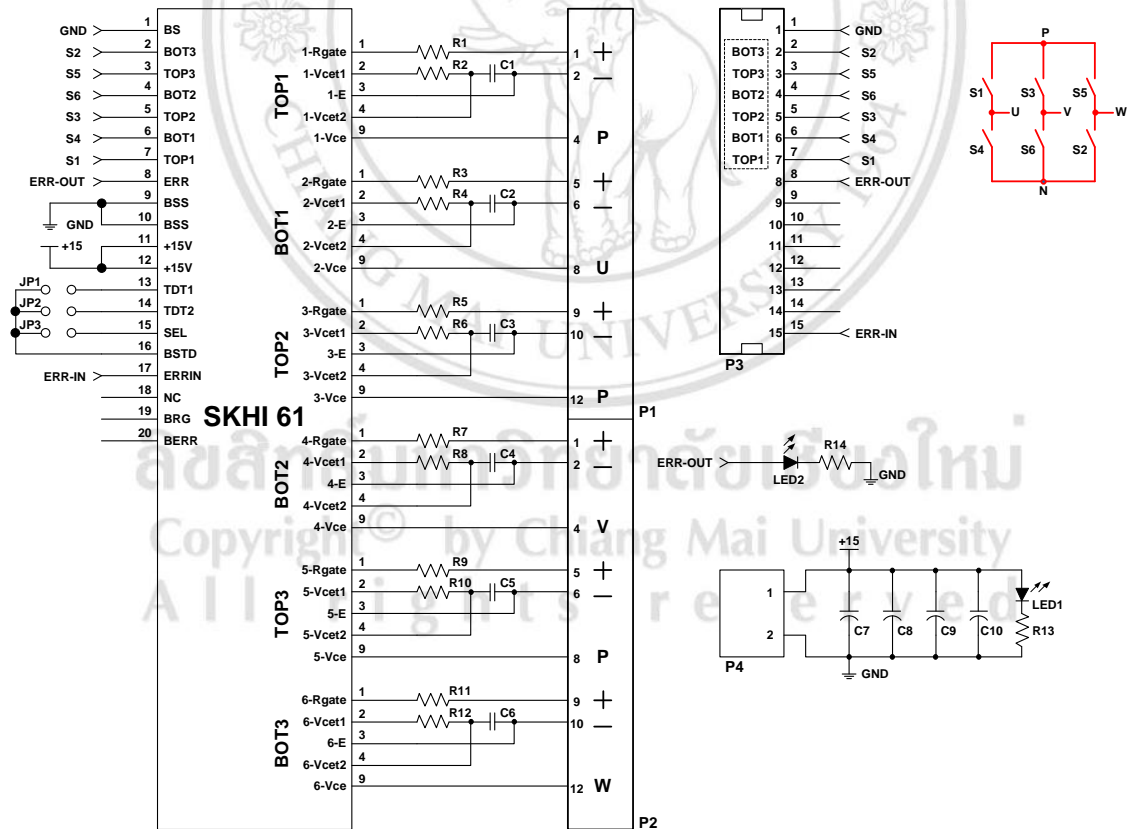
เบอร์ 74HC73 ส่วนสัญญาณที่ได้จากไอซีเบอร์ 74LS541 จะมีสัญญาณที่ใกล้เคียงกับสัญญาณเดิมที่ป้อนเข้าไป และเช่นเดียวกันจากภาพที่ 4.5 จะพบว่าสัญญาณขับสวิตช์ที่ได้จากวงจรอินเวอร์ตเฟสในภาพที่ 4.3 ทั้ง 12 สัญญาณ จะนำมาผ่านไอซีเบอร์ MC4504BCP โดยแบ่งสัญญาณเข้าไอซีทั้งสองตัว เพื่อทำการปรับแรงดันก่อนที่จะนำไปขับสวิตช์ของคอนเวอร์เตอร์ โดยสัญญาณสุดท้ายที่ได้จะมีช่วงระดับแรงดันตั้งแต่ 0 V ถึง 15 V เพื่อให้เหมาะสมในการขับสวิตช์ต่อไป

4.3.2 วงจรขับนำสวิตช์ (Gate Driver)

วงจรขับนำสวิตช์ ในส่วนของอินเวอร์เตอร์ทั้งสองชุด ทำหน้าที่ปรับช่วงระดับแรงดันของสัญญาณที่นำมาขับสวิตช์ให้อินเวอร์เตอร์ให้มีความเหมาะสม โดยจากช่วงแรงดันตั้งแต่ 0V ถึง 15V ที่มาจากตัวเชื่อมประสาน ถูกปรับมาให้อยู่ในช่วงแรงดันตั้งแต่ -5V ถึง 10V แทนเพื่อให้เหมาะสมกับการขับสวิตช์ให้อินเวอร์เตอร์ทั้งสองตัว โดยใช้ SKHI61 เป็นวงจรขับนำสวิตช์ ซึ่งในตัว ของ SKHI61 เองนั้นสามารถปรับค่าเวลาวิกฤต (Dead Time) ได้ในตัว โดยถ้าสวิตช์มีการทำงานพร้อมกัน จะทำให้เกิดการลัดวงจร ซึ่งอาจทำให้วงจรเสียหายได้ ดังนั้นการกำหนดค่าเวลาวิกฤตนั้นจะทำให้สวิตช์ทุกตัวในอินเวอร์เตอร์ไม่ทำงานในเวลาพร้อมกัน ซึ่งเป็นการป้องกันไม่ให้อินเวอร์เตอร์เสียหายนั่นเอง แสดงดังภาพที่ 4.6 และ 4.7



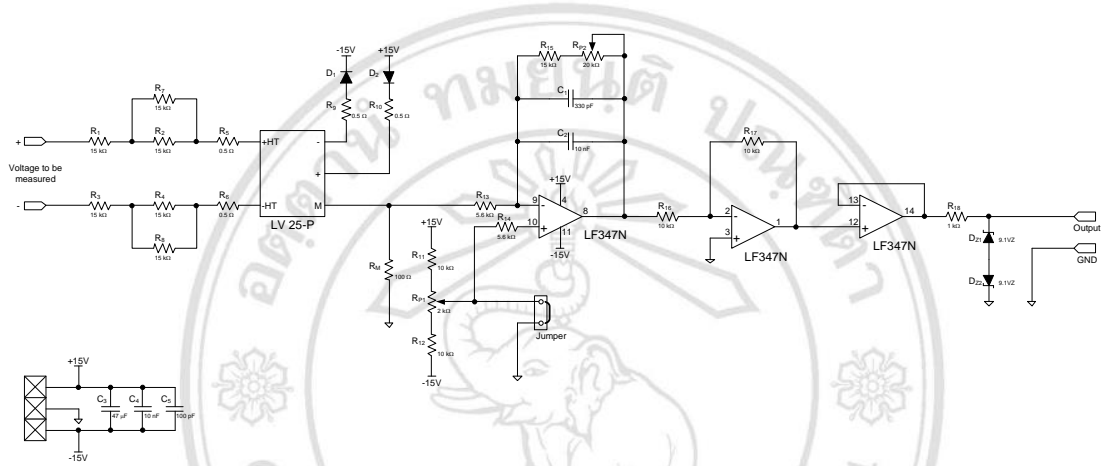
ภาพที่ 4.6 วงจรขั้วนำสวิตซ์ที่ได้ออกแบบและสร้างขึ้น



ภาพที่ 4.7 โค้ดแกรมวงจรขั้วนำสวิตซ์

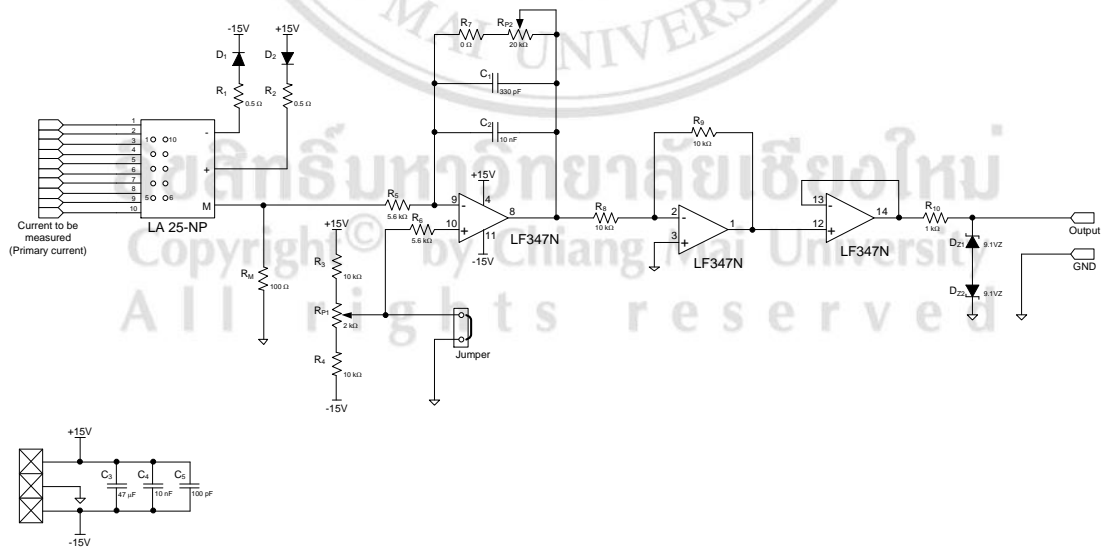
4.3.3 อุปกรณ์เซนเซอร์ตรวจวัดแรงดัน

การตรวจจับแรงดันไฟฟ้าของวงจรขับเคลื่อนกำเนิดไฟฟ้าในงานวิจัยนี้ จะตรวจจับแรงดันเชื่อมโยงไฟตรงที่คร่อมตัวเก็บประจุที่บัสไฟตรง และแรงดันไฟฟ้าในระบบกระแสสลับ โดยชุดตรวจวัดแรงดันไฟฟ้า (Voltage Sensor) ได้นำไอซีเบอร์ LV 25-P เป็นตัววัดสัญญาณอนาลอกที่แยกการเชื่อมต่อทางไฟฟ้าของสัญญาณอินพุต และสัญญาณเอาต์พุต โดยจะมีโครงสร้างการทำงานแสดงในภาพที่ 4.8



ภาพที่ 4.8 ไดอะแกรมวงจรเซนเซอร์ตรวจวัดแรงดัน

4.2.4 อุปกรณ์เซนเซอร์ตรวจวัดกระแส

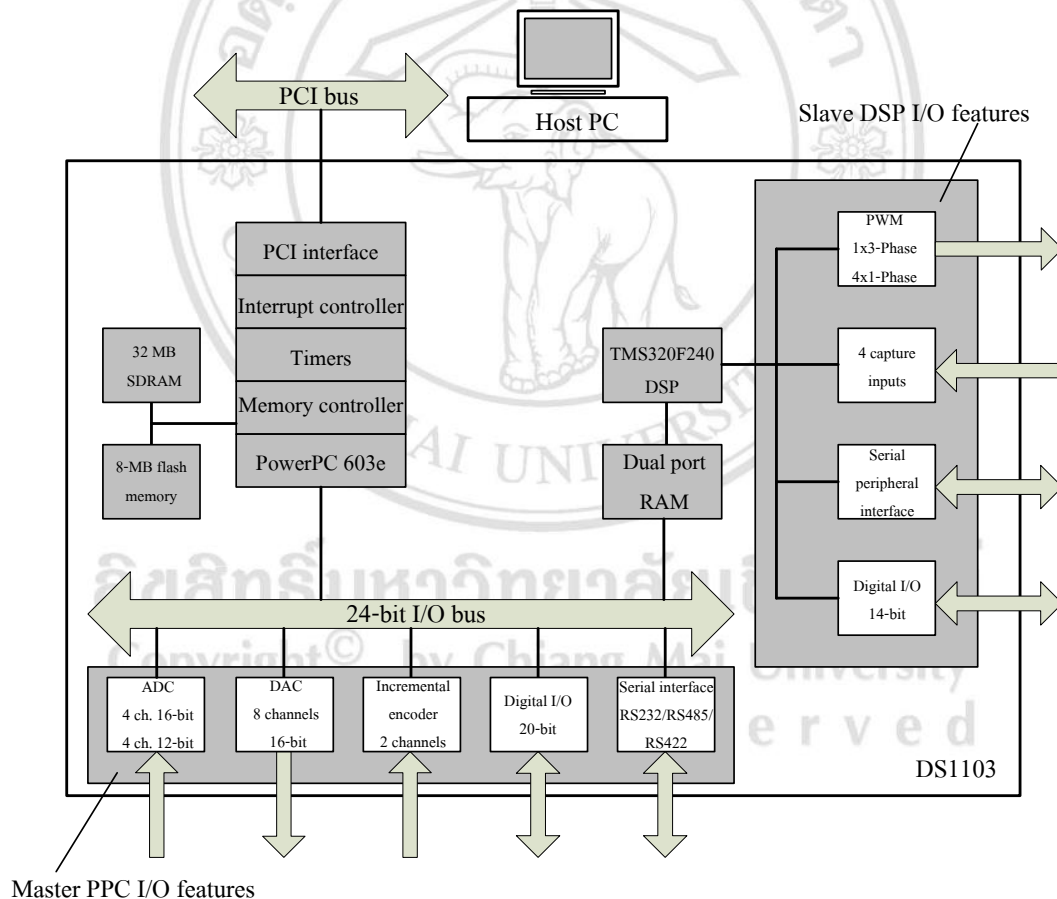


ภาพที่ 4.9 ไดอะแกรมวงจรเซนเซอร์ตรวจวัดกระแส

การตรวจจับกระแสไฟฟ้าของวงจรขับเคลื่อนกำเนิดไฟฟ้าในงานวิจัยนี้ จะทำการตรวจจับกระแสไฟฟ้าสองเฟสทางด้านเครื่องกำเนิดไฟฟ้า และกระแสไฟฟ้าสองเฟสทางด้านกริดระบบ โดยชุดตรวจวัดกระแสไฟฟ้า (Current Sensor) ได้นำไอซีเบอร์ LV 25-NP เป็นตัววัดสัญญาณอนาลอกที่แยกการเชื่อมต่อทางไฟฟ้าของสัญญาณอินพุตและสัญญาณเอาต์พุต โดยจะมีโครงสร้างการทำงานแสดงในภาพที่ 4.9

4.4 บอร์ดตัวประมวลผลสัญญาณเชิงดิจิทัล dSPACE เบอร์ DS1103

ภาพที่ 4.10 แสดงโครงสร้างการทำงานของตัวประมวลผลที่ใช้ในงานวิจัยนี้ ได้นำบอร์ดตัวประมวลผลสัญญาณดิจิทัล dSPACE 1103 ของบริษัท dSPACE สามารถประมวลผลด้วยความเร็ว 250 MHz



ภาพที่ 4.10 ไดอะแกรมแสดงการทำงานของตัวประมวลผลสัญญาณดิจิทัล dSPACE 1103

4.5 แบบจำลองการทำงาน

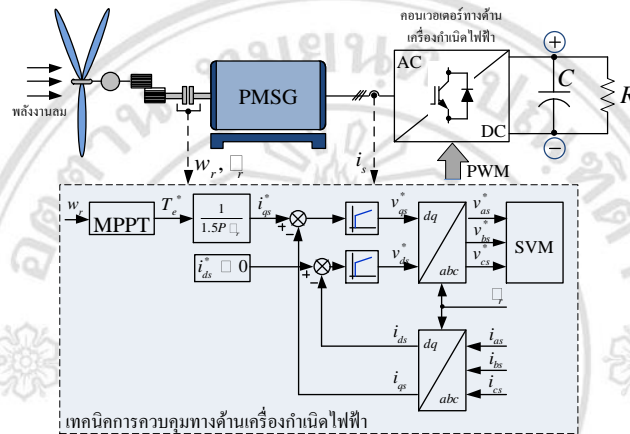
ตารางที่ 4.3 ค่าพิกัดและพารามิเตอร์ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัสชนิดแม่เหล็กถาวร

ค่าพิกัดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า (1 pu)		ค่าพารามิเตอร์ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า			
P_m	พิกัดกำลังด้านออก	9.27 kW	R_s ความต้านทานด้านสเตเตอร์	0.35 Ω	
v_s	พิกัดแรงดันต่อสาย	283.5 V	L_s ตัวเหนี่ยวนำในแกน d	7.5 mH	
i_s	พิกัดกระแสทางด้านสเตเตอร์	21.7 A	L_r ตัวเหนี่ยวนำในแกน q	7.5 mH	
ω_m	พิกัดความเร็วรอบ	1500rpm	J_{eq} โมเมนต์ความเฉื่อย	0.0168	
T_e	พิกัดแรงบิดแม่เหล็กไฟฟ้า	59 N.m	P จำนวนขั้วแม่เหล็ก	8 Poles	
λ_r	ฟลักซ์โรเตอร์	0.32 wb			
ค่าพารามิเตอร์ของโหลดตัวต้านทาน		ค่าพิกัดของกริดระบบในการจำลอง (1 pu)			
R_L	โหลดตัวต้านทาน	240 Ω	V_{dc} พิกัดแรงดันบัสไฟตรง	700 V	
ค่าพารามิเตอร์ของกริดระบบ		v_g	พิกัดแรงดันกริดระบบ	380 V	
R_g	ความต้านทานกริด	0.5 Ω	i_g	พิกัดกระแสกริดระบบ	12.67 A
L_g	ตัวเหนี่ยวนำกริด	20 mH	f_g	พิกัดความถี่กริดระบบ	50 Hz

การจำลองการควบคุมกระแสสเตเตอร์สำหรับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัสชนิดแม่เหล็กถาวรที่ถูกเชื่อมต่อกับกริด จะแบ่งจำลองเป็นสองส่วนคือส่วนทางด้านเครื่องกำเนิดไฟฟ้าฯ และทางด้านกริดระบบ ในการจำลองทางด้านเครื่องกำเนิดไฟฟ้าฯ นั้นจะเป็นการจำลองเชื่อมกับโหลดตัวต้านทาน เพื่อยืนยันความถูกต้องของเทคนิคการควบคุมกระแสสเตเตอร์ในแกน d ให้เป็นศูนย์ ทั้งในภาวะชั่วขณะ และภาวะคงตัว หลังจากนั้นจะเป็นการจำลองเชื่อมเข้ากับกริดระบบ ซึ่งพลังงานจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าฯ จะจ่ายเข้ากริดระบบทั้งหมด ซึ่งในการจำลองดังกล่าว ทำเพื่อยืนยันความถูกต้องของเทคนิคการควบคุมทั้งสองด้าน ไม่ว่าจะเป็นทางด้านเครื่องกำเนิดไฟฟ้าฯ ก็ดี หรือทางด้านกริดระบบก็ดี อีกทั้งการจำลองดังกล่าวจะช่วยเป็นผลอ้างอิงสำหรับการทดสอบจริง ให้เห็นถึงผลลัพธ์และสมรรถนะของเทคนิคการควบคุมดังกล่าวที่ได้นำเสนอในบทก่อนหน้านี้ โดยค่าพิกัดและค่าพารามิเตอร์ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัสชนิดแม่เหล็กถาวร คอนเวอร์เตอร์กำลัง และกริดระบบ ที่ใช้ในการจำลองจะแสดงดังตารางที่ 4.3

4.5.1 การควบคุมทางด้านเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเชิงโรนัสนชนิดแม่เหล็กถาวรเชื่อมโหลดตัวต้านทาน โดยอาศัยเทคนิคการควบคุมองค์ประกอบของกระแสเตเตอร์ในแกน d ให้เป็นศูนย์

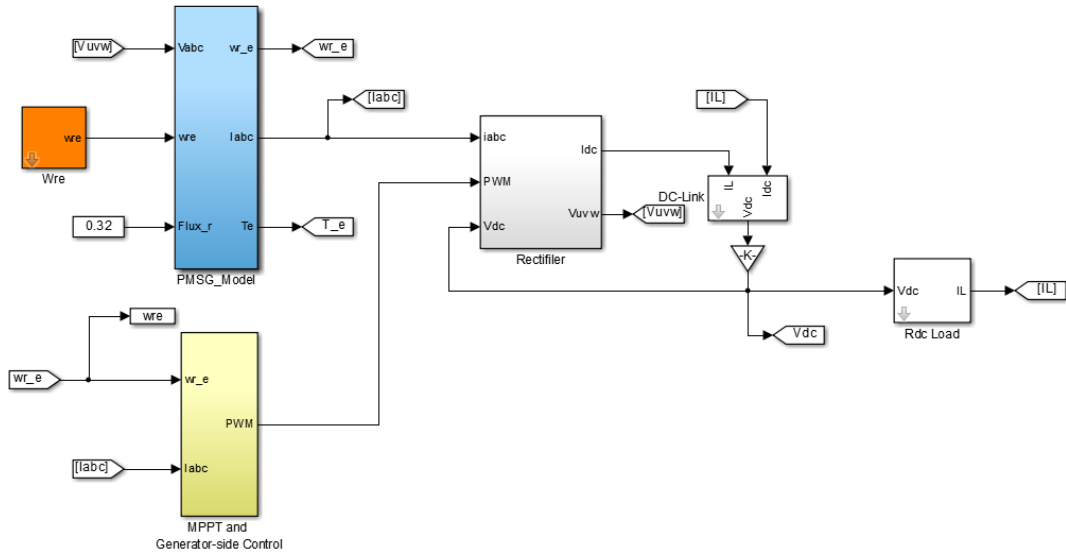
ในการสร้างแบบจำลองการควบคุมทางด้านเครื่องกำเนิดไฟฟ้า จะทำการสร้างแบบจำลองตามโมเดลแบบจำลองตามภาพที่ 4.11 โดยโครงสร้างของโมเดลดังกล่าวจะแบ่งออกเป็นสามส่วนหลักๆ คือ ส่วนของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าฯ ส่วนของคอนเวอร์เตอร์กำลังเชื่อมโหลดตัวต้านทาน และส่วนของการควบคุมฯ



ภาพที่ 4.11 แบบจำลองการควบคุมทางด้านเครื่องกำเนิดไฟฟ้าฯ เชื่อมโหลดตัวต้านทานโดยอาศัยเทคนิคการควบคุมองค์ประกอบของกระแสเตเตอร์ในแกน d ให้เป็นศูนย์

จากแบบจำลองภาพที่ 4.11 นำมาสร้างแบบจำลองบนโปรแกรม MATLAB/Simulink ดังภาพที่ 4.12 โดยใช้ค่าพารามิเตอร์ตามตารางที่ 4.3

การจำลองการควบคุมเครื่องกำเนิดไฟฟ้าฯ ทางด้านเครื่องกำเนิดไฟฟ้าฯ เชื่อมโหลดตัวต้านทานโดยอาศัยเทคนิคการควบคุมองค์ประกอบของกระแสเตเตอร์ในแกน d ให้เป็นศูนย์ จะแบ่งจำลองเป็นสองเงื่อนไข โดยเงื่อนไขแรก (ภาพที่ 4.13) จะเริ่มจำลอง ณ จุดหยุดนิ่ง จนถึงความเร็วพิกัด 1 pu เพื่อให้เห็นคุณสมบัติของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าฯ ภายใต้การเทคนิคการควบคุมฯ และเงื่อนไขที่สอง (ภาพที่ 4.14) จะจำลองให้ความเร็วรอบของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าฯ เพิ่มขึ้นทันทีทันใด จาก 0.5 pu ถึงความเร็วพิกัด 1 pu ซึ่งในการจำลองเงื่อนไขที่สอง จะแสดงให้เห็นถึงสมรรถนะของเทคนิคการควบคุมนั้น สามารถรับมือกับการเปลี่ยนแปลงอย่างทันทีทันใดได้

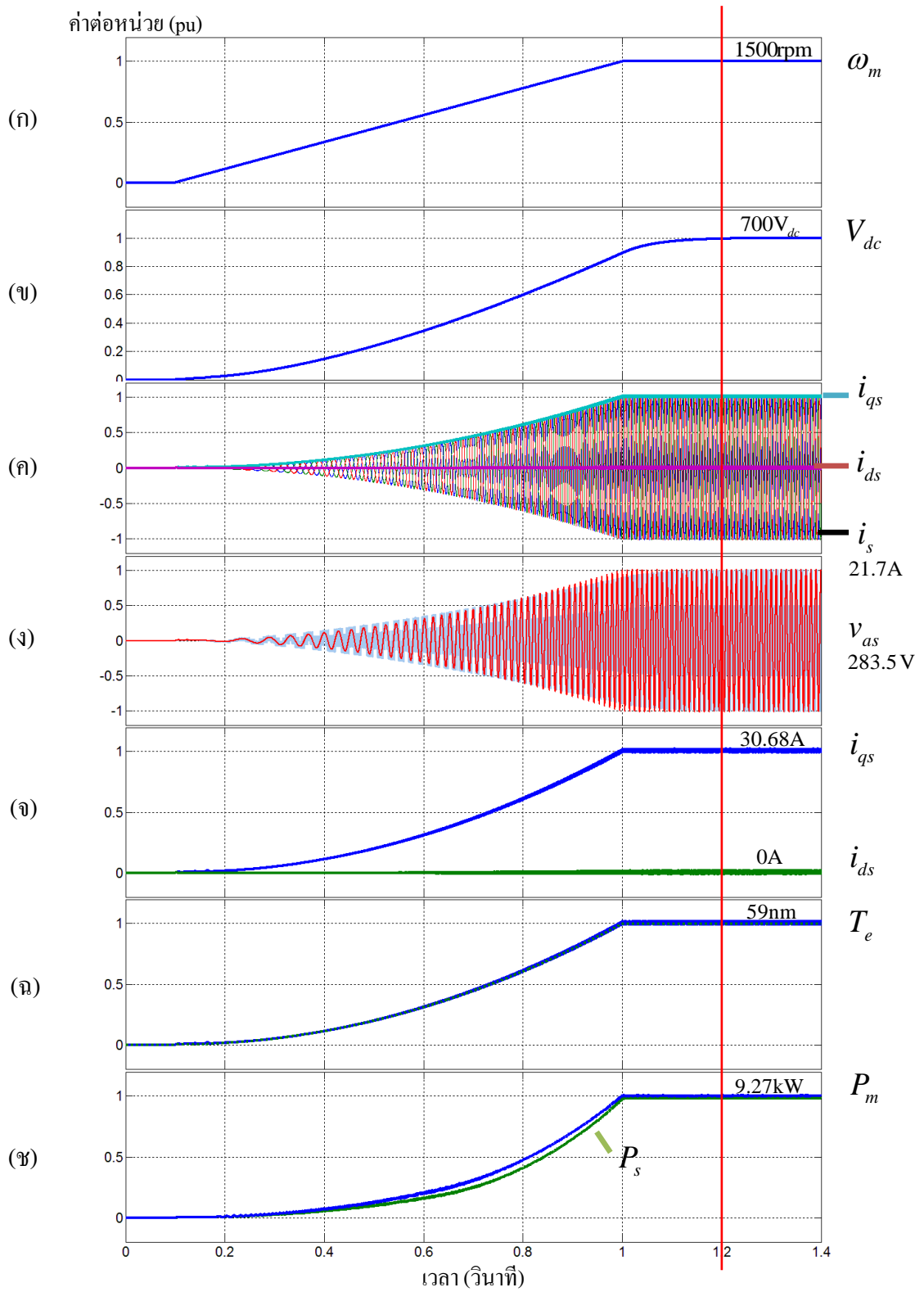


ภาพที่ 4.12 แบบจำลองการควบคุมทางด้านเครื่องกำเนิดไฟฟ้าฯ เชื่อมโหลดตัวด้านทานด้วยโปรแกรม Matlab/Simulink

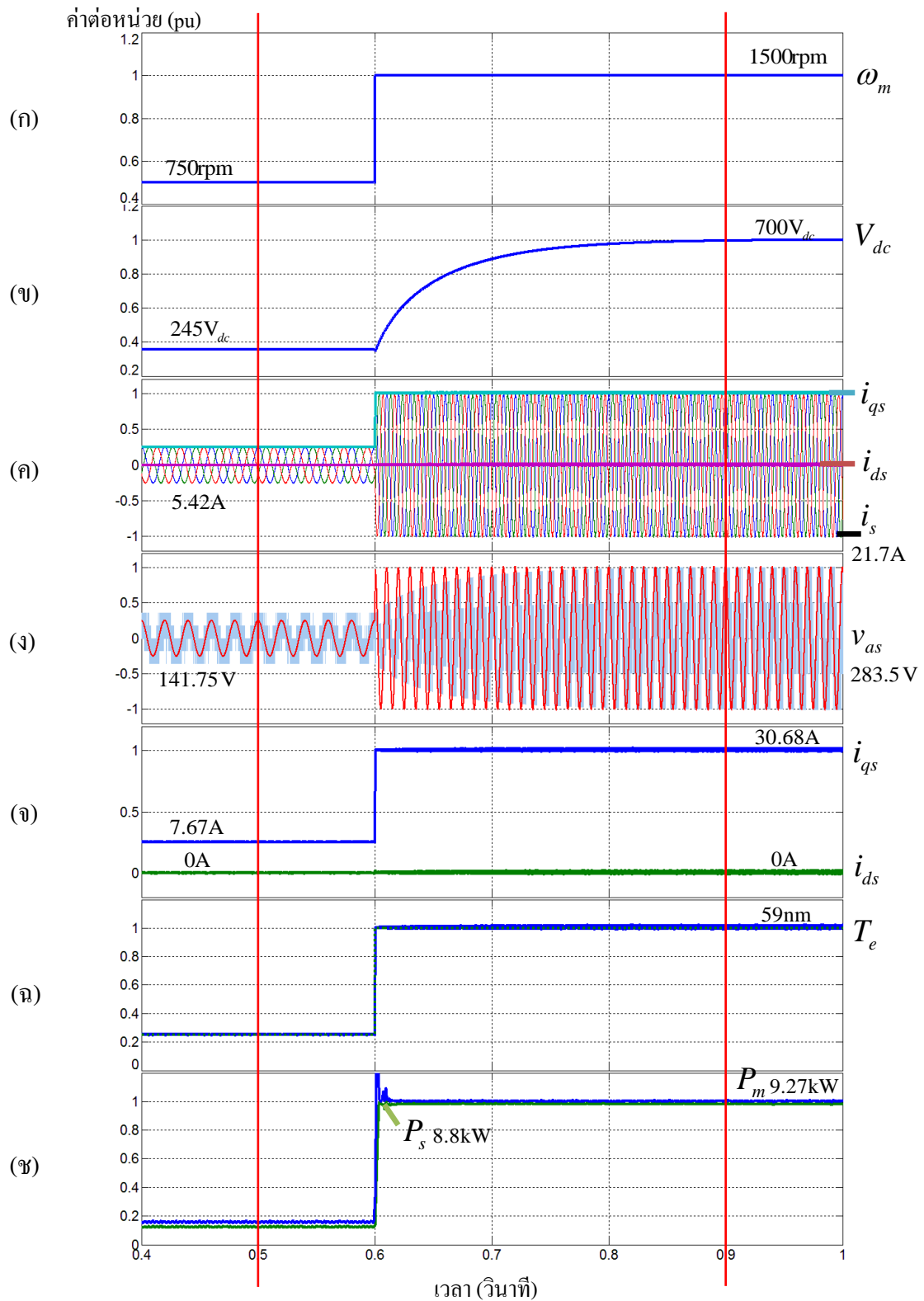
จากภาพที่ 4.13 แสดงผลการจำลองการควบคุมกระแสสเตเตอร์สำหรับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัสชนิดแม่เหล็กถาวรเชื่อมโหลดตัวด้านทาน จากจุดหยุดนิ่งใน วินาทีที่ 0.2 จนถึงความเร็วพิกัด 1 pu ในวินาทีที่ 1 ดังภาพที่ 4.13(ก) จากผลการจำลองจะสังเกตเห็นได้ว่าในขณะที่ความเร็วรอบเพิ่มขึ้น แรงดันบัสไฟตรง (V_{dc}) ก็เพิ่มขึ้นตาม เช่นเดียวกับกับแรงดันสเตเตอร์ (v_s) กระแสสเตเตอร์ (i_s) และแรงบิดแม่เหล็กไฟฟ้า (T_e) แสดงดังภาพที่ 4.13(ข), (ค), (ง) และ (ฉ) ตามลำดับ แต่อย่างไรก็ตามแรงดันบัสไฟตรงจะไม่ถูกรักษาให้คงที่ อันเนื่องมาจากโหลดของระบบคือตัวด้านทาน แรงดันบัสไฟตรงจึงแปรตรงกับความเร็วยรอบของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าฯ

จากเทคนิคการควบคุมองค์ประกอบของกระแสสเตเตอร์ในแกน d ให้เป็นศูนย์ ดังภาพที่ 4.13(จ) จะสังเกตเห็นได้ว่า กระแส i_{ds} จะถูกควบคุมให้เป็นศูนย์ในทุกๆ ย่านความเร็วรอบ ในทางกลับกันกระแส i_{qs} จะเป็นสัดส่วนเดียวกันกับแรงบิดแม่เหล็กไฟฟ้า ซึ่งแรงบิดฯ ดังกล่าวเป็นแรงบิด ณ จุดที่มีกำลังไฟฟ้าสูงสุด (MPPT) ดังนั้นกำลังไฟฟ้าจึงมีสัดส่วนเช่นเดียวกับกับแรงบิดฯ ดังกล่าว

ภาพที่ 4.13(ซ) แสดงการเปรียบเทียบระหว่างกำลังไฟฟ้าทางกลของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าฯ (P_m) และกำลังไฟฟ้าสเตเตอร์ (P_s) ซึ่งจากผลการจำลองนั้นแสดงให้เห็นว่าประสิทธิภาพของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าฯ สูงถึง 99.5% เนื่องจากเทคนิคการควบคุมฯ ช่วยลดกำลังสูญเสียในขดลวดสเตเตอร์โดยการควบคุมให้องค์ประกอบของกระแสสเตเตอร์ในแกน d ให้เป็นศูนย์นั่นเอง



ภาพที่ 4.13 ผลการจำลองการควบคุมกระแสเตเตอร์สำหรับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัสชนิดแม่เหล็กถาวรเชื่อมโหลดตัวต้านทาน จากหยุดนิ่งจนถึงความเร็วพิกัด (Ramp starting-up with stand-alone resistive load condition)



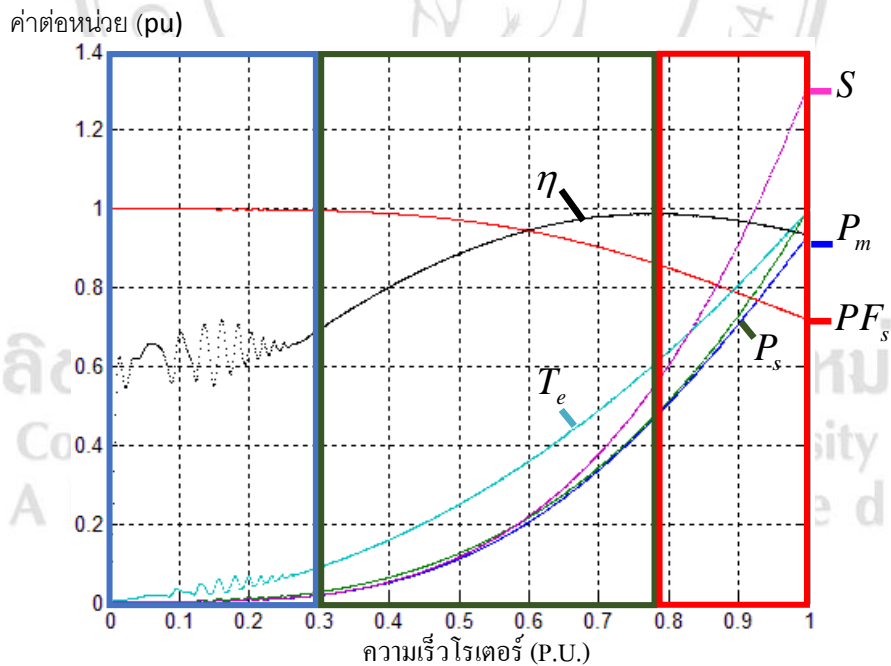
ภาพที่ 4.14 ผลการจำลองการควบคุมกระแสเตเตอร์สำหรับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัสชนิด กระตุ้นด้วยแม่เหล็กเชื่อมโพลตัวต้านทาน ในสภาวะเปลี่ยนแปลงอย่างทันทีทันใด (Step transient with stand-alone resistive load)

ผลการจำลองการควบคุมกระแสเตอร์สำหรับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าฯ เชื่อมโหลดตัวต้านทาน ในสถานะเปลี่ยนแปลงอย่างทันทีทันใด แสดงดังภาพที่ 4.14

จากภาพที่ 4.14(ก) ในวินาทีที่ 0.6 นั้นความเร็วรอบโรเตอร์ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าฯ เปลี่ยนแปลงอย่างทันทีทันใด จาก 0.5 pu เป็น 1 pu ส่งผลให้แรงดันบัสไฟตรง (V_{dc}) แรงดันสเตเตอร์ (v_s) กระแสสเตเตอร์ (i_s) และแรงบิดแม่เหล็กไฟฟ้า (T_e) เปลี่ยนแปลงตามไปด้วย ดังภาพที่ 4.14(ข), (ค), (ง) และ (ฉ) ตามลำดับ

การจำลองให้ความเร็วรอบเปลี่ยนแปลงอย่างทันทีทันใดนั้นเพื่อยืนยันสมรรถนะของเทคนิคการควบคุมฯ ซึ่งจากผลการจำลองนั้นก็แสดงให้เห็นว่าเทคนิคการควบคุมดังกล่าวมีสมรรถนะที่ดี แสดงดังภาพที่ 4.14(จ) จากภาพดังกล่าวเห็นได้ว่ากระแส i_{ds} ยังคงเป็นศูนย์ ในขณะที่ i_{qs} เปลี่ยนแปลงตามสัดส่วนของแรงบิดแม่เหล็กไฟฟ้า

อย่างไรก็ดีประสิทธิภาพของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าฯ ด้วยเทคนิคการควบคุมองค์ประกอบของกระแสสเตเตอร์ในแกน d ให้เป็นศูนย์ ยังคงมีประสิทธิภาพสูงในทุกย่านความเร็วรอบ เช่นเดียวกันกับผลการจำลองในเงื่อนไขแรกดังภาพที่ 4.13(ข)



ภาพที่ 4.15 กราฟลักษณะเฉพาะของเทคนิคการควบคุมองค์ประกอบของกระแสสเตเตอร์ในแกน d ให้เป็นศูนย์ สำหรับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าฯ เชื่อมโหลดตัวต้านทาน

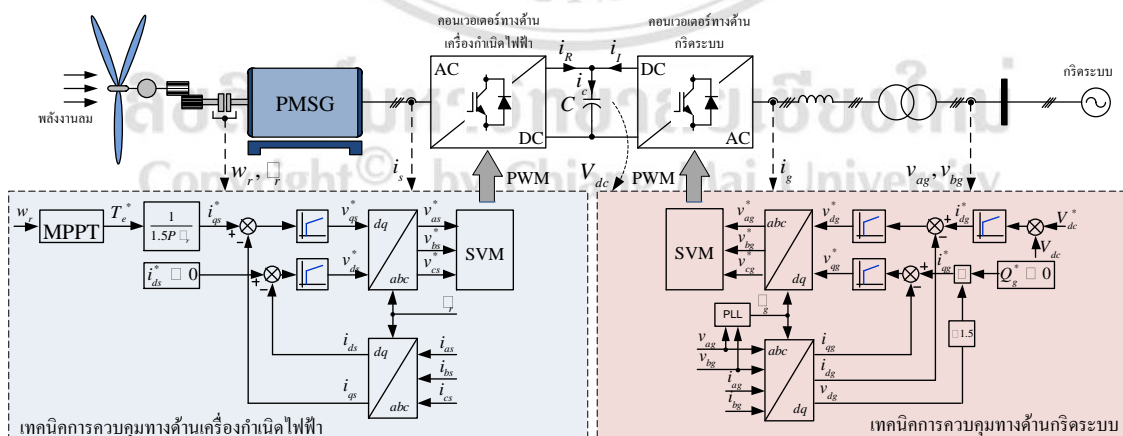
จากผลการจำลองข้างต้นสามารถนำมาพอร์ตเป็นเส้นกราฟลักษณะเฉพาะของเทคนิคการควบคุมองค์ประกอบของกระแสสเตเตอร์ในแกน d ให้เป็นศูนย์ ซึ่งจะบ่งบอกถึงประสิทธิภาพของเครื่อง

กำเนิดไฟฟ้า (η) ตัวประกอบกำลัง (PF_s) และกำลังไฟฟ้าในทุกๆ ย่านความเร็วรอบตั้งแต่หยุดนิ่ง จนถึงความเร็วพิกัด แสดงดังภาพที่ 4.15 จากผลดังกล่าวพบว่าประสิทธิภาพของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า จะสูงสุดเมื่อความเร็วรอบเข้าใกล้ความเร็วพิกัด ในทางกลับกันตัวประกอบกำลังของเครื่องกำเนิด ไฟฟ้า (PF_s) มีแนวโน้มที่สวนทางกับความเร็วรอบ อันเนื่องมาจากค่ากำลังไฟฟ้าปรากฏ (S) ที่ สูงขึ้น

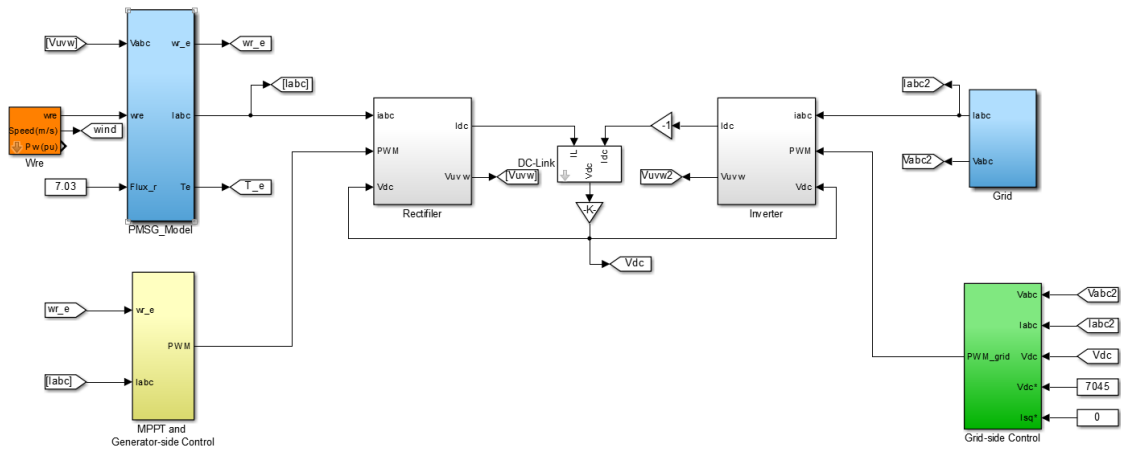
4.5.2 การควบคุมทางด้านกริดระบบโดยอาศัยเทคนิคการควบคุมแบบเวกเตอร์

ภาพที่ 4.16 แสดงโมเดลการจำลองการควบคุมเครื่องกำเนิดไฟฟ้า เชื่อมกริดระบบ โดยอาศัยเทคนิค การควบคุมองค์ประกอบของกระแสเตอร์ในแกน d ให้เป็นศูนย์ทางด้านเครื่องกำเนิดไฟฟ้า และ เทคนิคการควบคุมแบบเวกเตอร์ทางด้านกริดระบบ จากโมเดลดังกล่าวจะประกอบไปด้วย เครื่อง ก่อเกิดไฟฟ้า คอนเวอร์เตอร์หลังชนหลังชนิดแหล่งจ่ายแรงดันเชื่อมกริดระบบ และส่วนของการ ควบคุมทั้งสองฝั่ง

จากโมเดลดังกล่าวจะนำมาสร้างแบบจำลองบนโปรแกรม MATLAB/Simulink ได้ดังภาพที่ 4.16 ซึ่ง ทางด้านเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจะอาศัยเทคนิคการควบคุมองค์ประกอบของกระแสเตอร์ในแกน d ให้เป็นศูนย์เพื่อลดกำลังไฟฟ้าสูญเสียในขดลวดสเตเตอร์ เพิ่มประสิทธิภาพของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ในทำนองเดียวกันทางด้านกริดระบบจะอาศัยเทคนิคควบคุมแบบเวกเตอร์เพื่อรักษาระดับแรงดันบัส ไฟตรงให้คงที่ และสามารถควบคุมกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟทางด้านกริดได้อีกด้วย



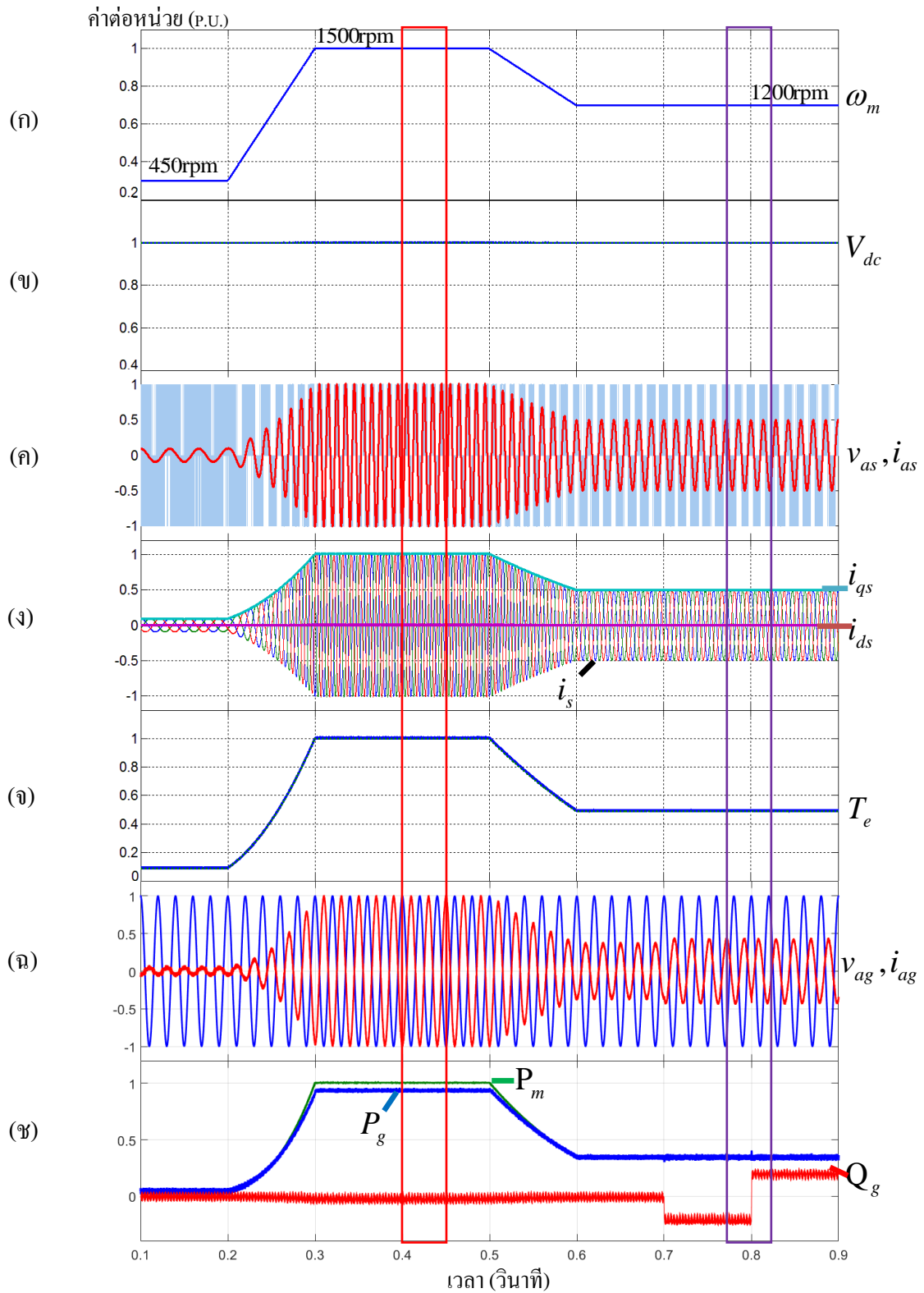
ภาพที่ 4.16 โมเดลการจำลองการควบคุมทางด้านเครื่องกำเนิดไฟฟ้า เชื่อมกริดระบบ โดยอาศัย เทคนิคการควบคุมองค์ประกอบของกระแสเตอร์ในแกน d ให้เป็นศูนย์ทางด้านเครื่องกำเนิด ไฟฟ้า และเทคนิคการควบคุมแบบเวกเตอร์ทางด้านกริดระบบ



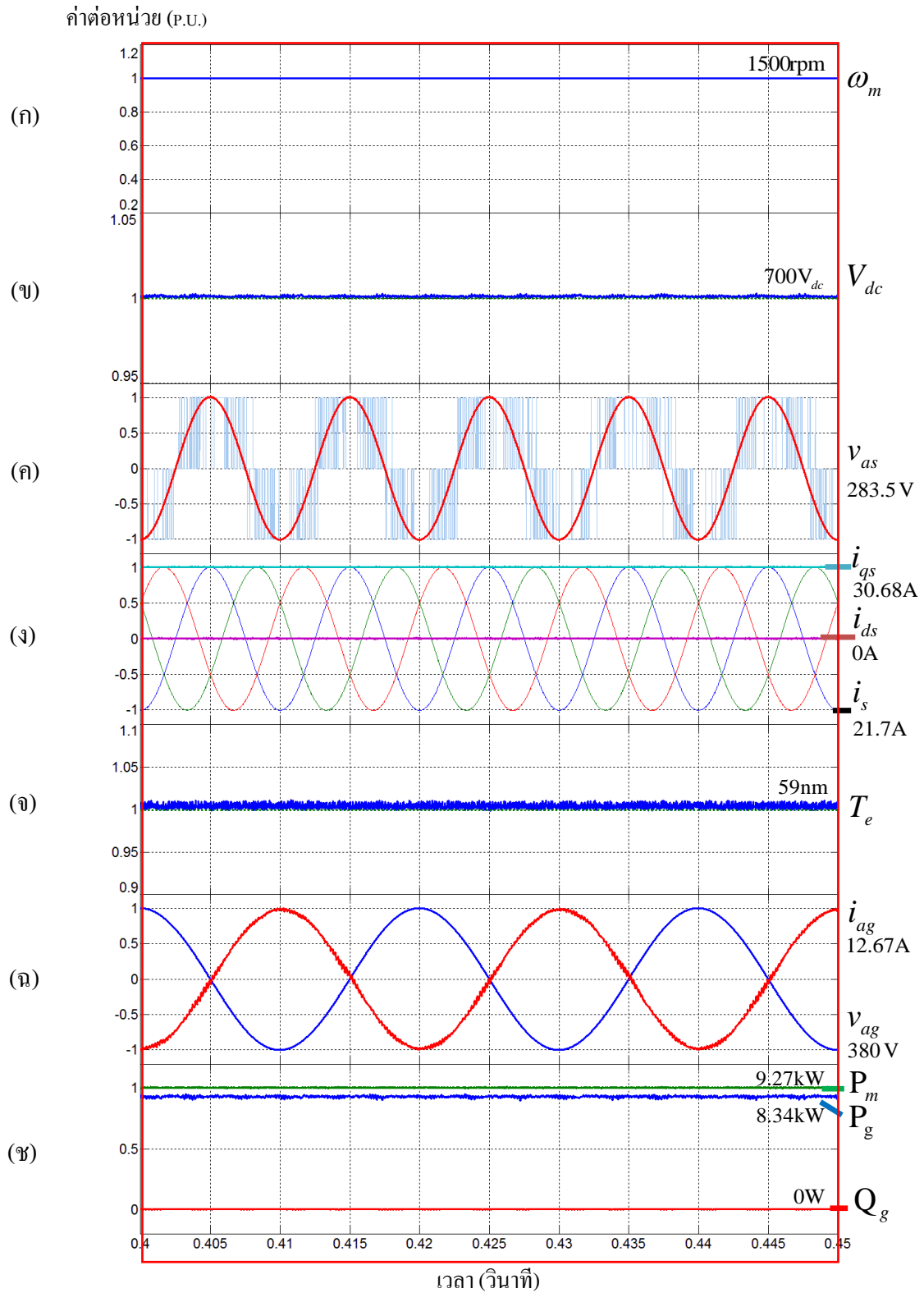
ภาพที่ 4.17 แบบจำลองการควบคุมทางด้านเครื่องกำเนิดไฟฟ้าฯ เชื่อมกริดระบบด้วยโปรแกรม Matlab/Simulink

ผลการจำลองดังกล่าวจะแสดงดังภาพที่ 4.18 โดยจะจำลองให้ความเร็วรอบโรเตอร์ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าฯ เปลี่ยนแปลงอย่างทันทีทันใดจาก 0.5 pu เป็น 1 pu ในวินาทีที่ 0.6 แสดงดังภาพที่ 4.18(ก) ซึ่งภายใต้การเทคนิคการควบคุมแบบเวกเตอร์ทางด้านกริดระบบ ซึ่งจะทำหน้าที่รักษาระดับแรงดันบัสไฟตรง (V_{dc}) ให้คงที่ ดังนั้นในขณะที่ความเร็วรอบโรเตอร์ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าฯ เปลี่ยนแปลงแรงดันบัสไฟตรงก็ยังคงที่ ณ ค่าหนึ่งที่ถูกควบคุมไว้ แสดงดังภาพที่ 4.18(ข) ส่งผลให้แรงดันสเตเตอร์ (v_s) ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าฯ คงที่เช่นเดียวกับแรงดันบัสไฟตรง ดังภาพที่ 4.18(ค) ในทางกลับกันกระแสสเตเตอร์ (i_s) จะเปลี่ยนแปลงตามความเร็วรอบโรเตอร์ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าฯ เช่นเดียวกับกระแส i_{qs} จะเป็นสัดส่วนเดียวกันกับแรงบิดแม่เหล็กไฟฟ้า (T_e) และกระแส i_{ds} ยังคงถูกควบคุมให้เป็นศูนย์ภายใต้การเทคนิคควบคุมทางด้านเครื่องกำเนิดไฟฟ้าฯ เช่นเดียวกับผลการจำลองในหัวข้อที่ 4.3.1

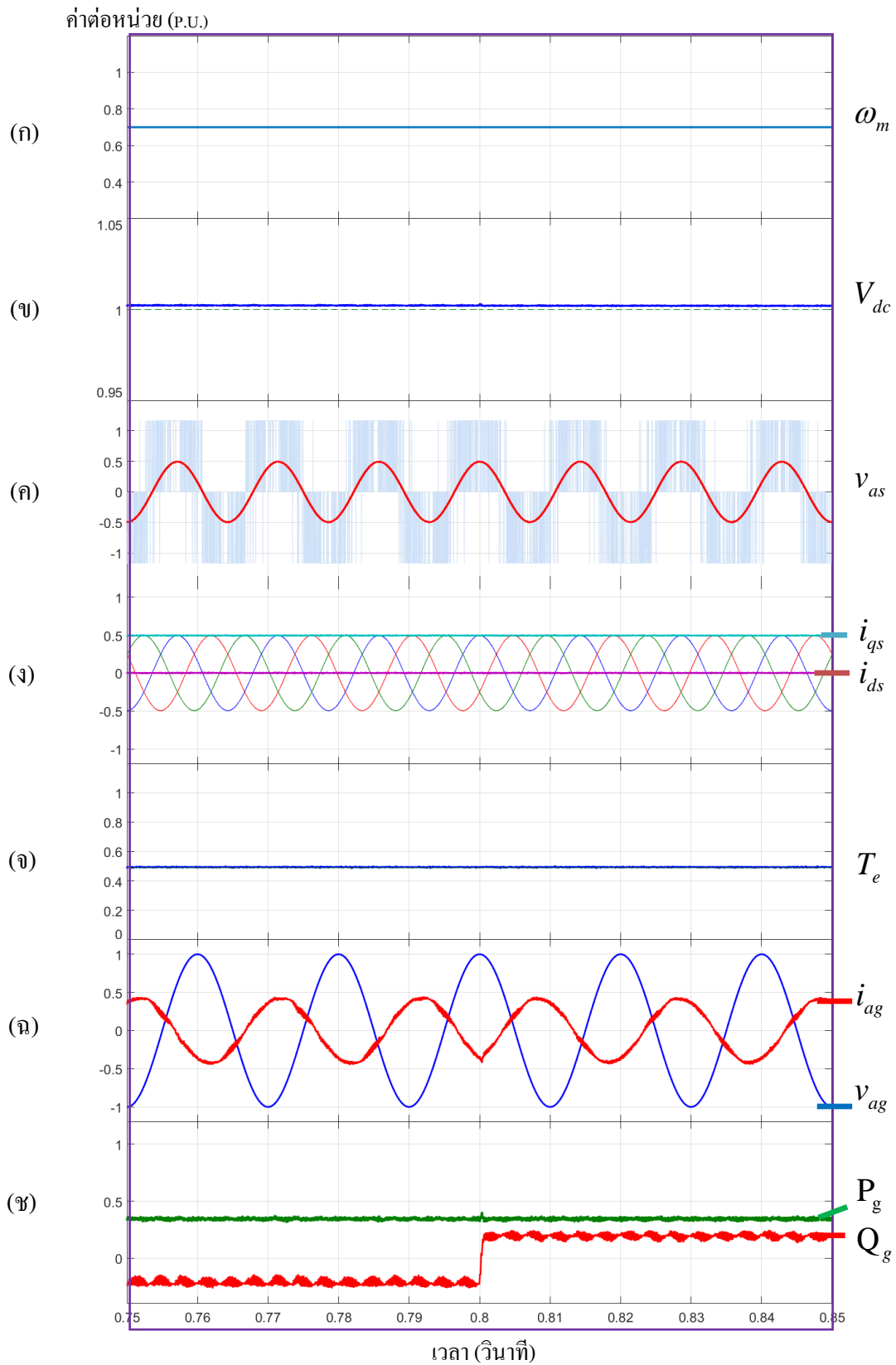
เนื่องจากโหลดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าฯ คือกริดระบบ ดังนั้นกำลังไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าฯ จะจ่ายเข้าสู่กริดระบบ เป็นผลให้กระแส i_g และแรงดันไฟฟ้าทางด้านกริด (v_g) มีรูปคลื่นนำหน้ากันอยู่ 180 องศา แสดงดังภาพที่ 4.18(ง) และในภาพที่ 4.18 (ข) แสดงกำลังไฟฟ้าแอกทีฟทางกล (P_m) กำลังไฟฟ้าแอกทีฟทางด้านกริด (P_g) และกำลังไฟฟารีแอกทีฟทางด้านกริด (Q_g) โดยจะสังเกตเห็นว่า กำลังไฟฟ้าทางกลถูกจ่ายเข้าสู่กริดผ่านคอนเวอร์เตอร์หลังชนหลัง เป็นผลให้ทั้ง P_m และ P_g มีสัดส่วนคล้ายกัน โดยมีประสิทธิภาพของกำลังไฟฟ้าที่จ่ายเข้าสู่กริดระบบสูงสุด ณ ความเร็วพิกัดถึง 97% ในทำนองเดียวกัน ณ วินาทีที่ 0.75 จะเห็นได้ว่ากำลังไฟฟารีแอกทีฟถูกควบคุมให้เป็นได้ทั้งบวกและลบ เป็นผลให้แรงดันและกระแสทางด้านกริดสามารถควบคุมให้นำหน้าและล่าหลังกันได้ กล่าวคือตัวประกอบกำลังทางด้านกริดระบบจะสามารถควบคุมได้ด้วยการควบคุม Q_g นั้นเอง



ภาพที่ 4.18 ผลการจำลองการควบคุมกระแสสแตเตอร์สำหรับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าฯ เชื่อมกริดระบบ ในสภาวะการเปลี่ยนแปลงชั่วขณะ (Ramp transient with grid-connected condition)



ภาพที่ 4.19 ภาพขยายผลการจำลองการควบคุมกระแสเตเตอร์สำหรับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าฯ เชื่อมกริดระบบ ในสภาวะการเปลี่ยนแปลงชั่วขณะ ในวินาทีที่ 0.4 ถึง 0.45



ภาพที่ 4.20 ภาพขยายผลการจำลองการควบคุมกระแสเตเตอร์สำหรับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าฯ
เชื่อมกริตระบบ ในสภาวะการเปลี่ยนแปลงชั่วขณะ ในวินาทีที่ 0.75 ถึง 0.85

4.6 ผลการทดสอบเครื่องต้นแบบ

การทดสอบเครื่องต้นแบบ โดยจะแบ่งทดสอบเป็นสองส่วน คือส่วนทางด้านเครื่องกำเนิดไฟฟ้าฯ เชื่อมโหลดตัวต้านทาน และส่วนทางด้านกริระบบ ซึ่งค่าพิกัดและพารามิเตอร์ของเครื่องต้นแบบ จะแสดงดังตารางที่ 4.3 และ 4.4

ตารางที่ 4.3 ค่าพิกัดและพารามิเตอร์ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเชิงโรนัสนชนิดแม่เหล็กถาวร สำหรับเครื่องต้นแบบในการทดสอบจริง

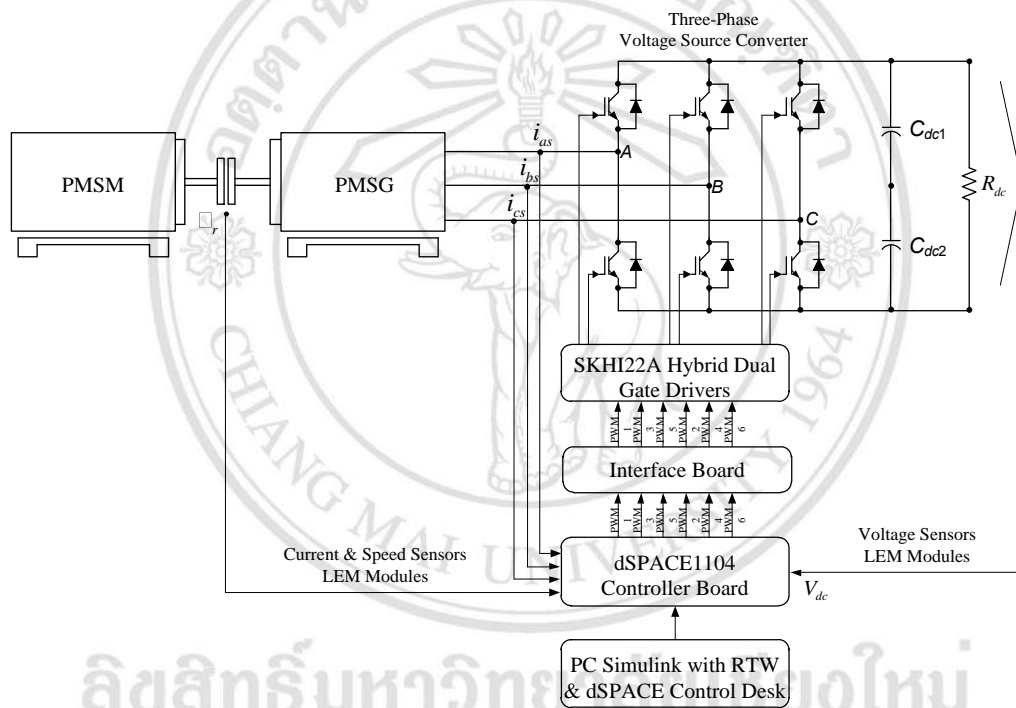
ค่าพิกัดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า (1 pu)		ค่าพารามิเตอร์ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า			
P_m	พิกัดกำลังด้านออก	9.27 kW	R_s ความต้านทานด้านสเตเตอร์	0.35 Ω	
v_s	พิกัดแรงดันต่อสาย	283.5 V	L_s ตัวเหนี่ยวนำในแกน d	7.5 mH	
i_s	พิกัดกระแสทางด้านสเตเตอร์	21.7 A	L_r ตัวเหนี่ยวนำในแกน q	7.5 mH	
ω_m	พิกัดความเร็วรอบ	1500rpm	J_{eq} โมเมนต์ความเฉื่อย	0.0168	
T_e	พิกัดแรงบิดแม่เหล็กไฟฟ้า	59 N.m	P จำนวนขั้วแม่เหล็ก	8 Poles	
λ_r	ฟลักซ์โรเตอร์	0.32 Wb			
ค่าพารามิเตอร์ของโหลดตัวต้านทาน		ค่าพิกัดของกริระบบในการทดสอบจริง (1 pu)			
R	โหลดตัวต้านทาน	240 Ω	V_{dc} พิกัดแรงดันบัสไฟตรง	180 V	
ค่าพารามิเตอร์ของตัวเหนี่ยวนำ		v_g	พิกัดแรงดันกริระบบ	380 V	
L_m	ตัวเหนี่ยวนำ	20 mH	i_g	พิกัดกระแสกริระบบ	12.67 A
			f_g	พิกัดความถี่กริระบบ	50 Hz

ตารางที่ 4.4 ค่าองค์ประกอบกระแสสเตเตอร์ในแกน q สำหรับเครื่องต้นแบบในการทดสอบจริง

ค่าองค์ประกอบกระแสสเตเตอร์ในแกน q (i_{qs}) ณ ย่านความเร็ว 0 – 600 รอบต่อนาที (ω_m)					
ω_m (rpm)	0	150	300	450	600
i_{qs} (A)	0	0.3	0.6	0.9	1.2

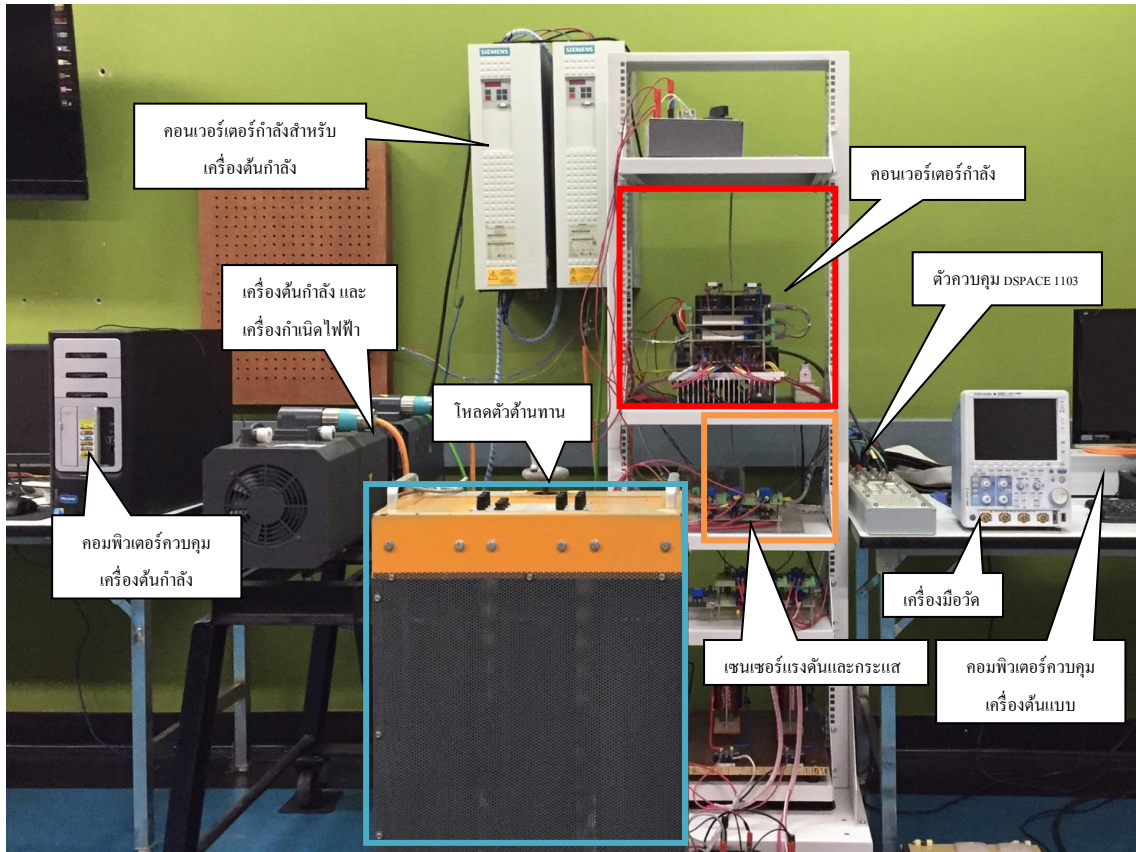
4.4.1 การควบคุมทางด้านเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเชิงโรตอร์ชนิดแม่เหล็กถาวรเชื่อมโพลตัว
ด้านทานโดยอาศัยเทคนิคการควบคุมองค์ประกอบของกระแสเตอร์ในแกน d ให้เป็นศูนย์

แผนภาพระบบสำหรับการทดสอบเครื่องต้นแบบการควบคุมกระแสเตอร์ทางด้านเครื่องกำเนิด
ไฟฟ้าฯ เชื่อมโพลตัวด้านทาน ดังภาพที่ 4.21 และ 4.22 จะประกอบไปด้วยเครื่องต้นกำลัง เครื่อง
กำเนิดไฟฟ้าฯ คอนเวอร์เตอร์กำลังชนิดแหล่งจ่ายแรงดันทางด้านเครื่องกำเนิดไฟฟ้าฯ เช่นเซอร์
กระแสแรงดัน และโพลตัวด้านทาน ซึ่งคอนเวอร์เตอร์จะถูกควบคุมด้วยตัวควบคุม DSPACE1103
โดยตัวควบคุมจะสร้างสัญญาณขับนำสวิตช์ ผ่านบอร์ดอินเตอร์เฟสและวงจรขับนำสวิตช์ สำหรับขับ
สวิตช์ IGBT ของคอนเวอร์เตอร์กำลัง



ภาพที่ 4.21 แผนภาพระบบสำหรับการทดสอบเครื่องต้นแบบการควบคุมทางด้านเครื่องกำเนิดไฟฟ้าฯ
เชื่อมโพลตัวด้านทาน

ในการทดสอบทางด้านเครื่องกำเนิดไฟฟ้านั้นจะแสดงผลการทดสอบการทำงานทั้งในภาวะคงตัว,
ภาวะชั่วครู่ และสมรรถนะของเทคนิคการควบคุม สำหรับการทดสอบเครื่องต้นแบบการควบคุม
ทางด้านเครื่องกำเนิดไฟฟ้าฯ เชื่อมโพลตัวด้านทานนี้จะกำหนดให้ความเร็วพิกัดสูงสุดของเครื่อง
กำเนิดไฟฟ้าฯ เท่ากับ 600 รอบต่อนาที ทั้งนี้เพื่อให้แรงดันสเตเตอร์ที่สร้างขึ้นสัมพันธ์กับแรงดันกริด
ระบบสำหรับการทดสอบในหัวข้อถัดไป



ภาพที่ 4.22 เครื่องต้นแบบการทดลองการควบคุมกระแสสเตเตอร์ทางด้านเครื่องกำเนิดไฟฟ้าฯ เชื่อม โหลดตัวต้านทาน

ตารางที่ 4.4 แสดงค่าองค์ประกอบกระแสสเตเตอร์ในแกน ในแกน q ณ ย่านความเร็วระหว่าง 0 ถึง 600 รอบต่อนาที ค่ากระแสดังกล่าวได้จากการทดสอบความสัมพันธ์การถ่ายเทกำลังไฟฟ้าระหว่างเครื่องต้นกำลัง เครื่องกำเนิดไฟฟ้าฯ และโหลดตัวต้านทาน

สำหรับการทดสอบในหัวข้อนี้จะแบ่งทดสอบเป็นสองเงื่อนไข โดยเงื่อนไขแรกจะเริ่มทดสอบจากจุดหยุดนิ่ง จนถึงความเร็ว 600 รอบต่อนาที เพื่อให้ทราบถึงพฤติกรรมของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าฯ และเทคนิคการควบคุมฯ

จากผลการทดสอบในภาพที่ 4.23(ก) แสดงให้เห็นว่ากระแส i_{ds} ถูกรักษาให้เป็นศูนย์ในทุกย่านความเร็ว ในขณะที่กระแส i_{qs} เป็นสัดส่วนเดียวกับความเร็วรอบตามตารางที่ 4.4 ในทำนองเดียวกันภาพที่ 4.23(ข) แสดงรูปคลื่นของแรงดันสเตเตอร์ (v_{abs}) และแรงดันบัสไฟตรง (V_{dc}) ซึ่งแรงดันดังกล่าวเพิ่มขึ้นตามความเร็วรอบของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าฯ เป็นผลจากการเชื่อมโหลดตัวต้านทาน ที่ไม่มีการควบคุมแรงดันบัสไฟตรง ในขณะที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้าเริ่มหมุน จะเห็นได้ว่ากระแส i_{qs} เกิดการกระเพื่อม เนื่องจากเป็นพฤติกรรมของระบบควบคุมพีไอเชิงเส้นในขณะเริ่มต้น ที่

จะควบคุมให้กระแส i_{qs} มีค่าตามที่กำหนด อย่างไรก็ตามเมื่อเวลาผ่านไประบบควบคุมจะเริ่มเข้าที่ เป็นผลให้ กระแส i_{qs} และกระแส i_{ds} ต่างมีรูปคลื่นที่ราบเรียบ

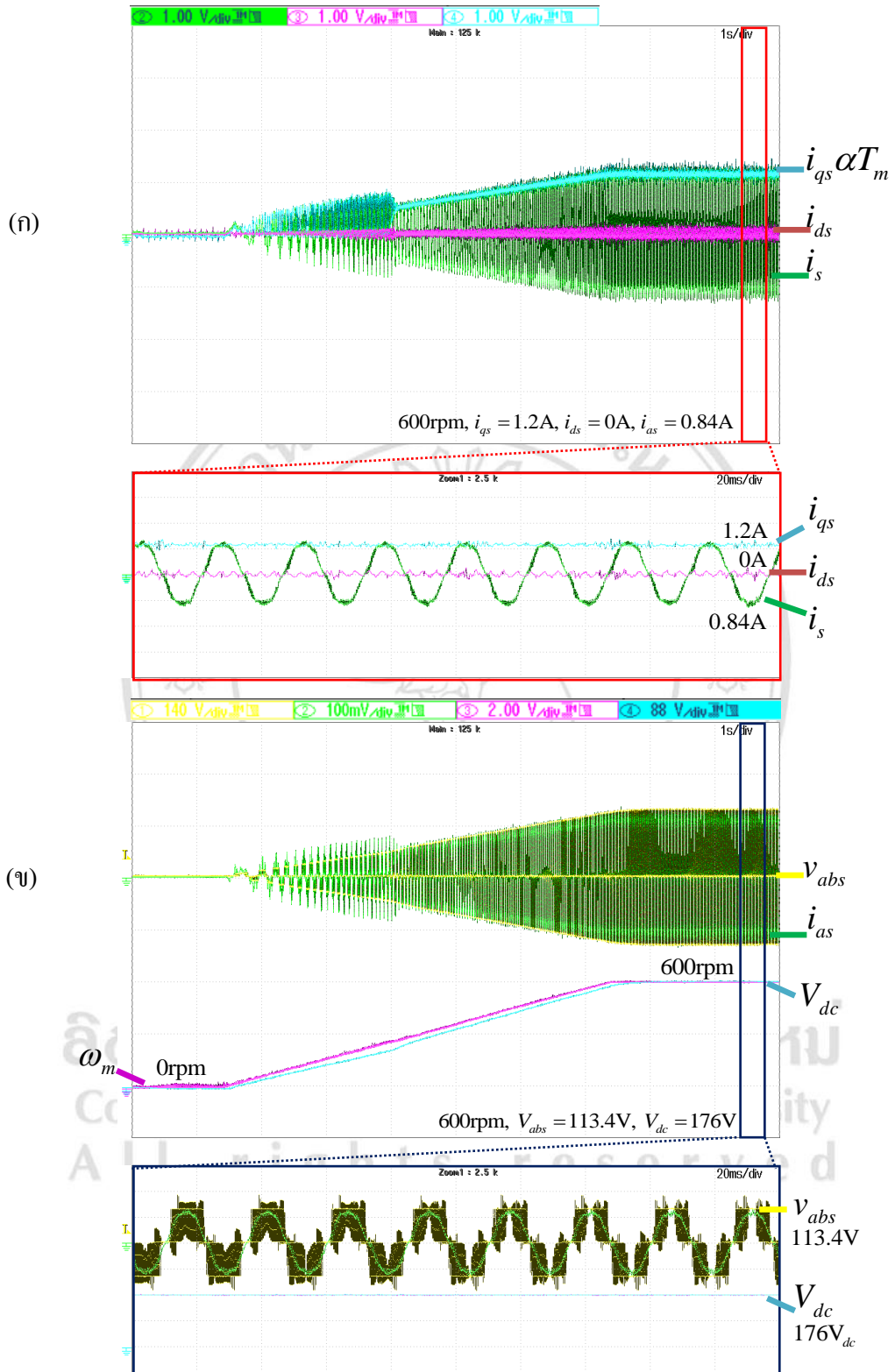
ในทำนองเดียวกันเงื่อนไขที่สองจะทำการทดสอบในภาวะชั่วขณะ โดยการเพิ่มความเร็วยกจาก 150 รอบต่อนาที เป็น 600 รอบต่อนาที แสดงดังภาพที่ 4.24

ภาพที่ 4.24(ก) แสดงรูปคลื่นของกระแส i_{qs} และกระแส i_{ds} โดยกระแส i_{ds} จะถูกรักษาให้เป็นศูนย์ ในทุกย่านความเร็ว และกระแส i_{qs} ณ ความเร็ว 150 รอบต่อนาที จะมีค่า 0.3A และจะมีค่าเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ตามสัดส่วนของความเร็วรอบจนถึง 1.2 A ณ ความเร็ว 600 รอบต่อนาที ดังตารางที่ 4.4 และภาพที่ 4.24(ข) แสดงรูปคลื่นของแรงดันสเตเตอร์ (v_{abs}) และแรงดันบัสไฟตรง (V_{dc}) โดยรูปคลื่นดังกล่าวเพิ่มขึ้นตามความเร็วรอบของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าฯ เช่นเดียวกันกับการทดสอบในเงื่อนไขก่อนหน้า ที่ไม่มีการควบคุมแรงดันบัสไฟตรงให้คงที่

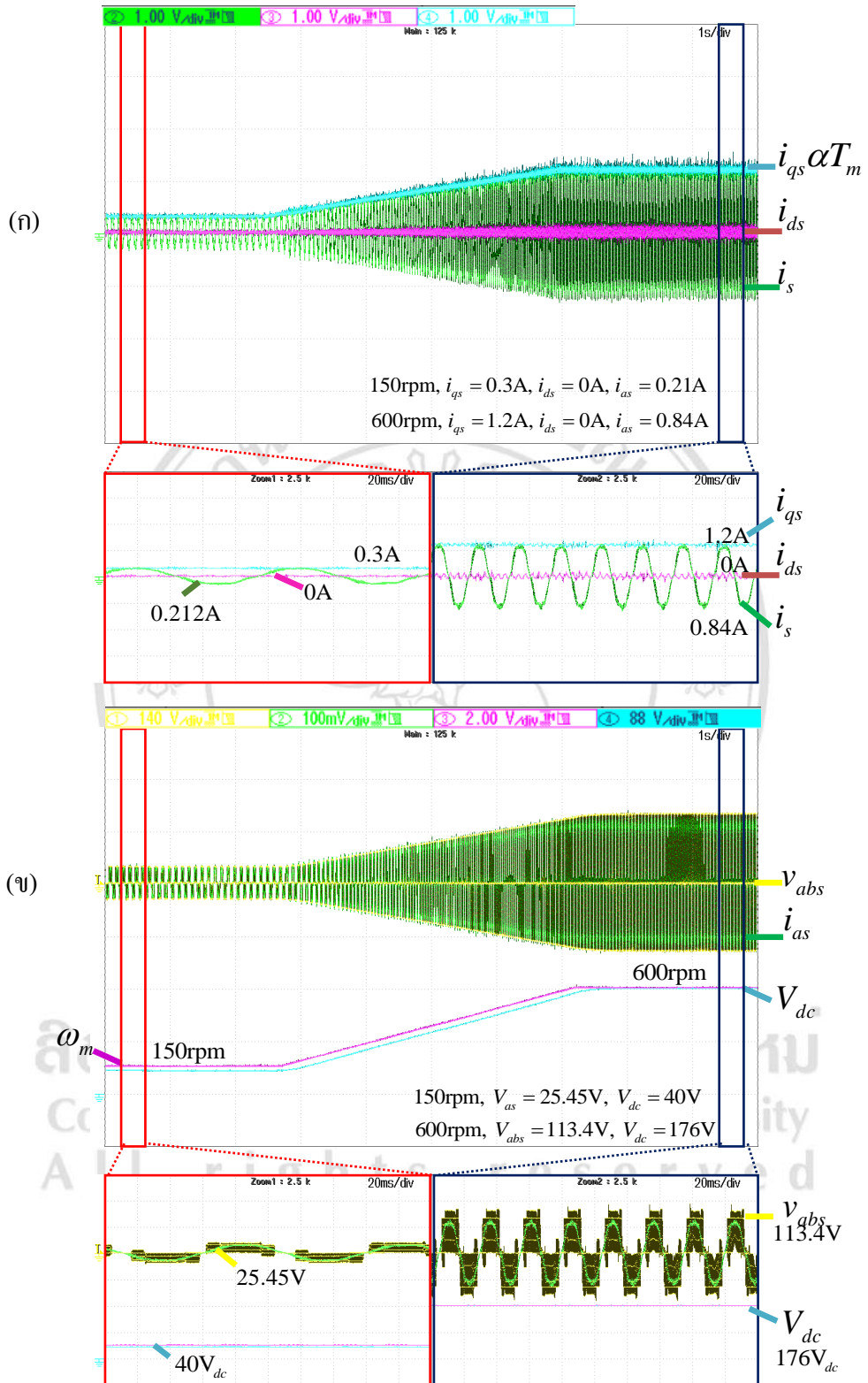
ตารางที่ 4.5 ประสิทธิภาพรวมของระบบ จากการทดสอบเครื่องกำเนิดไฟฟ้าฯ เชื่อมโหลดตัวต้านทาน

ด้านเครื่องต้นกำลัง		ด้านเครื่องกำเนิดไฟฟ้าฯ			
ω_m	ความเร็วรอบ ณ 600 Rpm	62.83 rad/s	v_{abs}	แรงดันสเตเตอร์	113.4 V
T_m	แรงบิดทางกล	2.31 N.m	i_s	กระแสสเตเตอร์	0.85 A
P_m	กำลังไฟฟ้าทางกล	145.1 W	P_s	กำลังไฟฟ้าสเตเตอร์	144.5 W
ด้านโหลดตัวต้านทาน		ประสิทธิภาพรวมของระบบ			
R_{load}	ค่าความต้านทานโหลด	240 Ω	P_s/P_m		99.50 %
V_{load}	แรงดันบัสไฟตรง	176 V	P_{load}/P_s		89.96 %
P_{load}	กำลังไฟฟ้าด้านโหลด	130 W	P_{load}/P_m		89.59 %

พิจารณากำลังไฟฟ้าทางด้านเครื่องกำเนิดไฟฟ้าฯ และทางด้านโหลดตัวต้านทาน ณ ความเร็วรอบ 600 รอบต่อนาที จากตารางที่ 4.5 การส่งกำลังไฟฟ้าจากเครื่องต้นกำลังไปยังเครื่องกำเนิดไฟฟ้าฯ มีประสิทธิภาพถึง 99.5% และจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าฯ ไปยังโหลดตัวต้านทานมีประสิทธิภาพ 89.96% โดยมีประสิทธิภาพรวมของระบบสูงถึง 89.59%

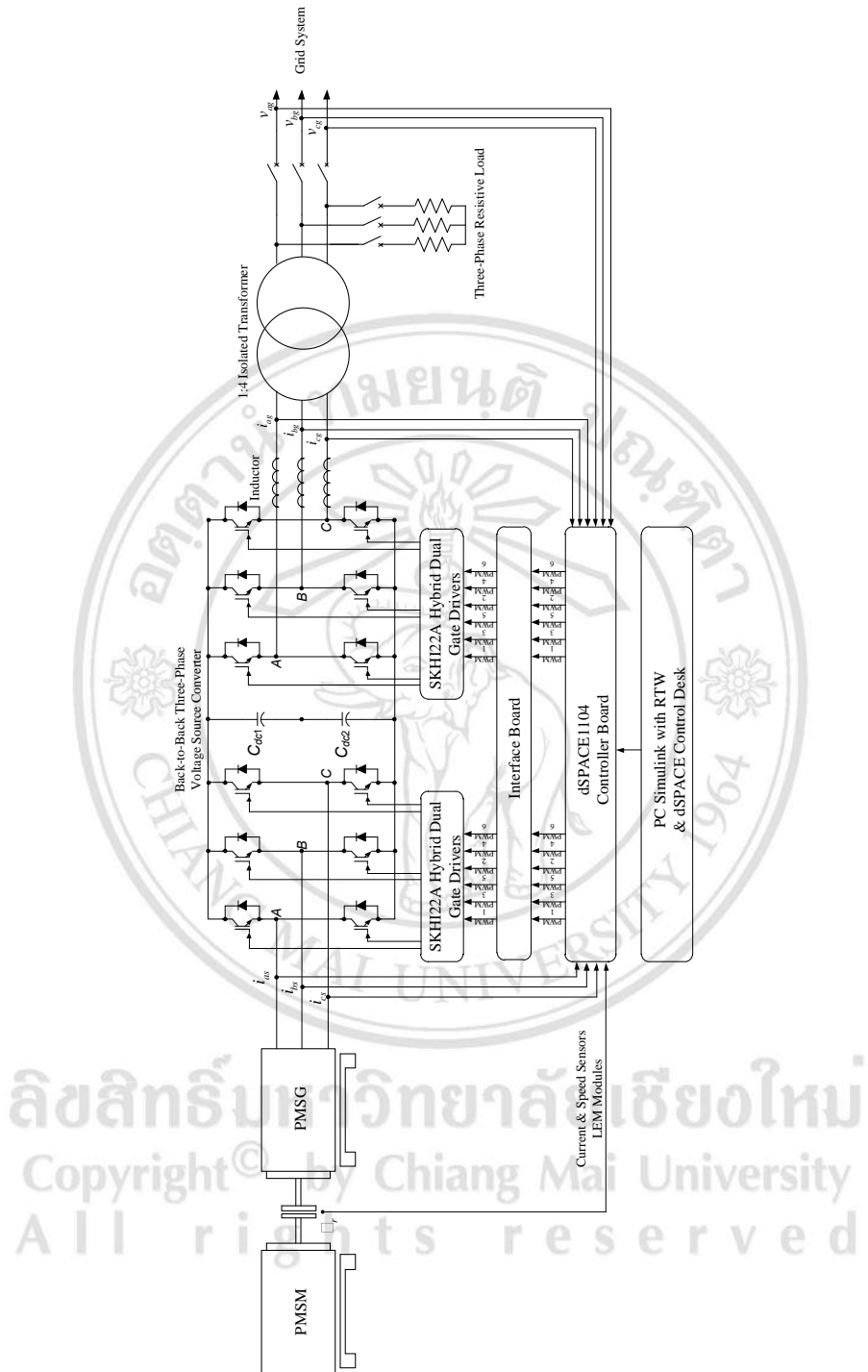


ภาพที่ 4.23 ผลการทดสอบการควบคุมกระแสแอสเตอร์สำหรับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัสชนิดแม่เหล็กถาวรเชื่อมโหลดตัวต้านทาน จากหยุดนิ่งจนถึงความเร็วพิกัด

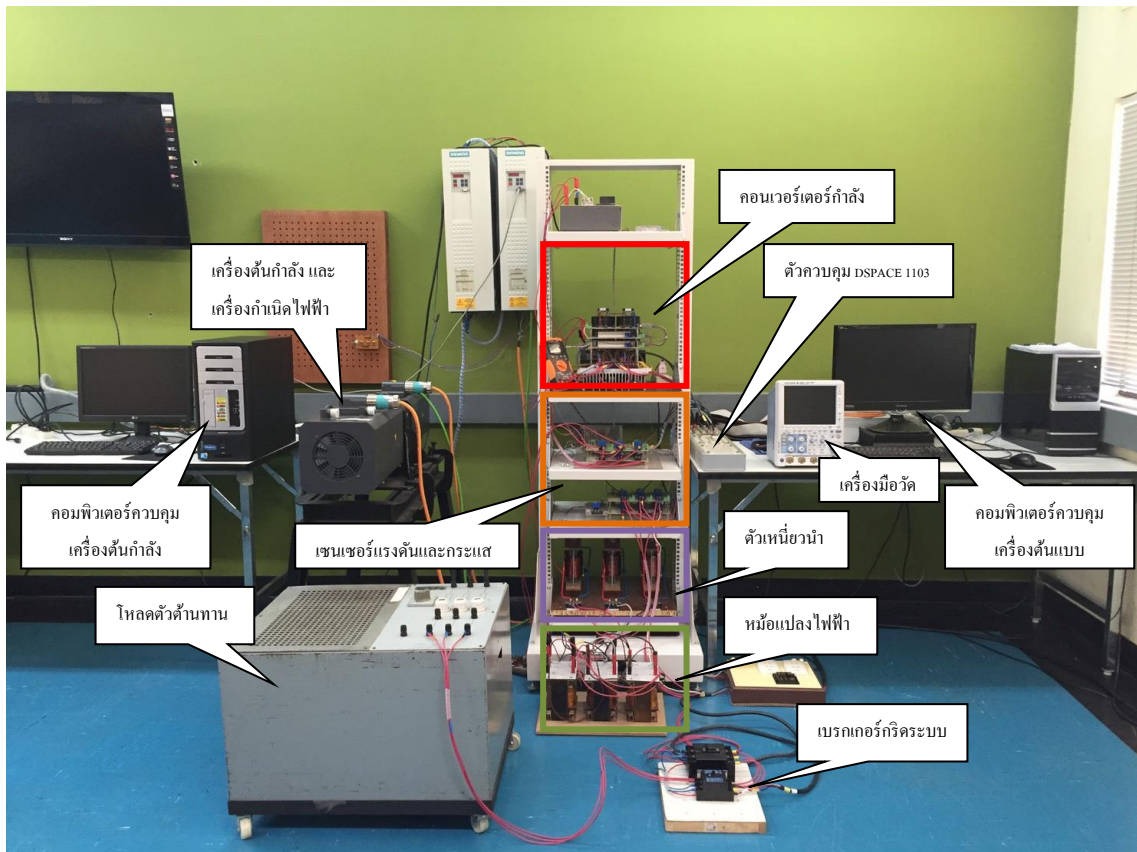


ภาพที่ 4.24 ผลการทดสอบการควบคุมกระแสสแตเตอร์สำหรับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเชิงโรตารีชนิดแม่เหล็กถาวรเชื่อมโพลตัวต้านทาน ในภาวะชั่วขณะ

4.4.2 การควบคุมทางด้านกริดระบบ โดยอาศัยเทคนิคการควบคุมแบบเวกเตอร์



ภาพที่ 4.25 แผนภาพระบบที่ใช้สำหรับทดสอบเครื่องต้นแบบการควบคุมกระแสเดเตอร์ทางด้านเครื่องกำเนิดไฟฟ้า และการควบคุมแบบเวกเตอร์ทางด้านกริดระบบ



ภาพที่ 4.26 เครื่องต้นแบบการทดลองการควบคุมกระแสสเตเตอร์ทางด้านเครื่องกำเนิดไฟฟ้าฯ และการควบคุมแบบเวกเตอร์ทางด้านกรีตระบบ

ในหัวข้อนี้จะแสดงผลการทดสอบการควบคุมกระแสสเตเตอร์ทางด้านเครื่องกำเนิดไฟฟ้าฯ โดยอาศัยเทคนิคการควบคุมองค์ประกอบของกระแสสเตเตอร์ในแกน d ให้เป็นศูนย์ เชื่อมกรีตระบบ ซึ่งการควบคุมทางด้านกรีตระบบจะอาศัยเทคนิคการควบคุมแบบเวกเตอร์

ภาพที่ 4.25 แสดงแผนภาพระบบที่ใช้ทดสอบเครื่องต้นแบบดังกล่าว ซึ่งจะประกอบไปด้วยเครื่องต้นกำลัง PMSM เครื่องกำเนิดไฟฟ้าฯ PMSG คอนเวอร์เตอร์กำลังชนิดแหล่งจ่ายแรงดันแบบสองระดับ ต่อในลักษณะหันหลังชนกัน เช่น เซอร์กระแสแรงดัน ตัวเหนี่ยวนำ หม้อแปลงไฟฟ้าแยกชุด $\frac{1}{4}$ และ เบรกเกอร์กรีตระบบ ซึ่งคอนเวอร์เตอร์ดังกล่าวจะถูกควบคุมด้วยตัวควบคุม DSPACE1103 โดยตัวควบคุมจะสร้างสัญญาณขับนำสวิตช์ ผ่านบอร์ดอินเตอร์เฟสและวงจรขับนำสวิตช์ สำหรับขับสวิตช์ IGBT ของคอนเวอร์เตอร์กำลัง ในทำนองเดียวกันภาพที่ 4.26 แสดงเครื่องต้นแบบการทดลองการควบคุมฯ ซึ่งในการทดลองจะกำหนดให้ความเร็วของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าฯ อยู่ระหว่าง 0 ถึง 600 รอบต่อนาที เนื่องจาก ณ ความเร็วดังกล่าวเครื่องกำเนิดไฟฟ้าฯ จะสร้างแรงดันสเตเตอร์ (v_s) และแรงดันบัสไฟตรง (V_{dc}) ซึ่งจะสัมพันธ์กับแรงดันทางด้านกรีตระบบ (v_g) [16]

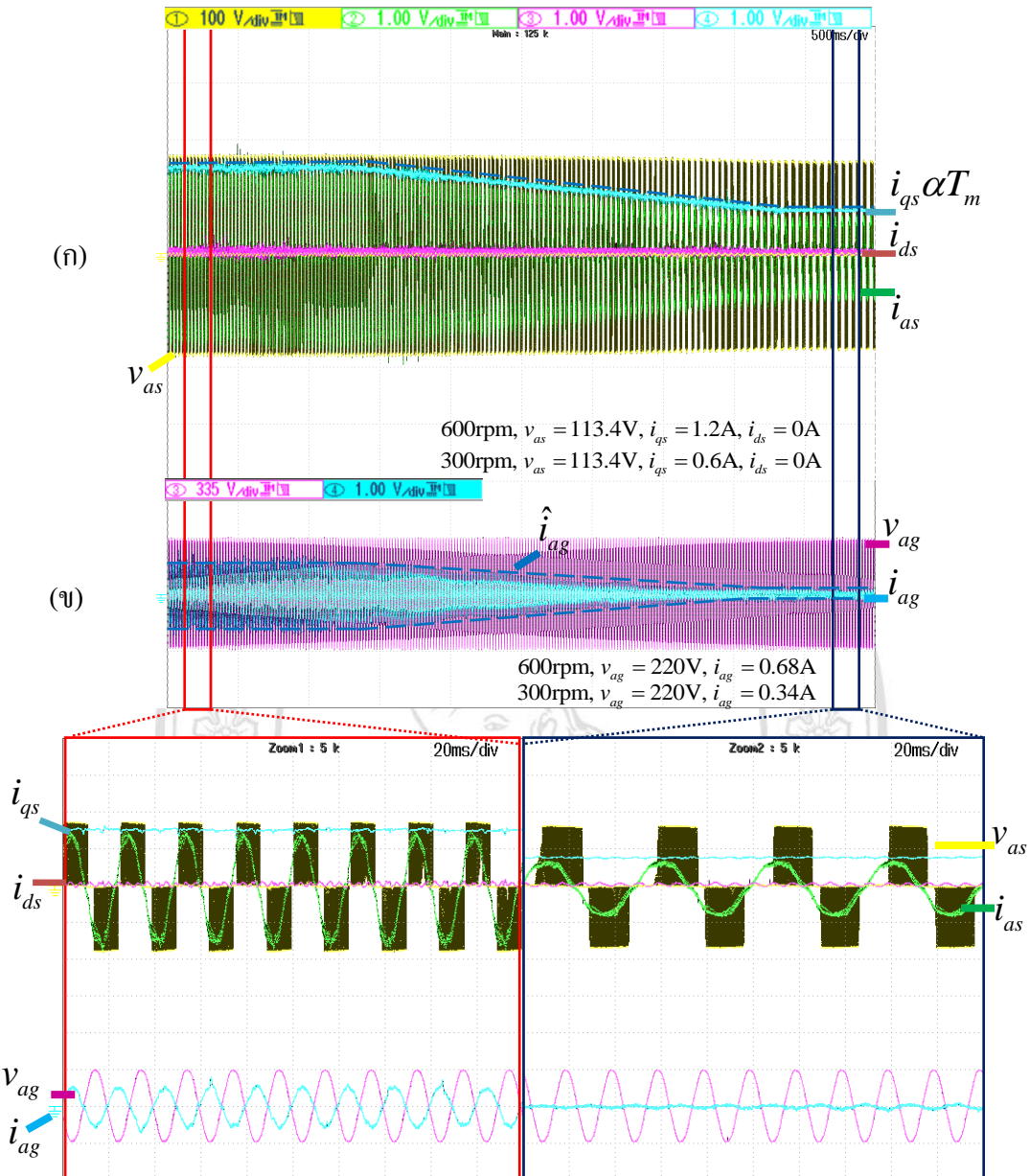
สำหรับการทดสอบในหัวข้อนี้จะให้ความเร็วรอบของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าฯ ค่อยๆ ลดลงจาก 600 รอบ ต่อนาที จนถึง 150 ต่อนาที ขณะเชื่อมกริดระบบ เพื่อให้เห็นถึงสมรรถนะของเทคนิคการควบคุมทั้ง ทางด้านเครื่องกำเนิดไฟฟ้าฯ และทางด้านกริดระบบ กล่าวคือเมื่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าฯ เชื่อมเข้ากับ กริดแล้ว ไม่ว่าเครื่องกำเนิดไฟฟ้าฯ จะมีความเร็วเท่าใด ก็ไม่ทำให้ระบบหลุดออกจากกริดระบบ โดย กระแสสเตเตอร์ แรงดันบัสไฟตรง และกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟ จะต้องควบคุมได้ในทุกๆ ย่านความเร็ว

ภาพที่ 4.27(ก) แสดงรูปคลื่นทางด้านเครื่องกำเนิดไฟฟ้าฯ กระแส i_{ds} ถูกรักษาให้เป็นศูนย์ ณ ทุกย่าน ความเร็ว และกระแส i_{qs} ถูกควบคุมให้มีค่าเป็นสัดส่วนกับความเร็วรอบของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ตาม ตารางที่ 4.4 มากกว่านั้นจะเห็นได้ว่า แรงดันสเตเตอร์มีค่าคงที่ ในทุกๆ ย่านความเร็วอันเป็นผลมาจากการควบคุมแรงดันบัสไฟตรง (V_{dc})

เมื่อพิจารณารูปคลื่นทางด้านกริดระบบ ดังภาพที่ 4.27(ข) ภาพดังกล่าวแสดงรูปคลื่นแรงดันเฟส ทางด้านกริดระบบ (v_{ag}) และกระแสเฟสกริด (i_{ag}) ซึ่งจะสังเกตเห็นได้ว่ากระแสที่จ่ายเข้ากริดระบบจะ เป็นสัดส่วนเดียวกันกับกระแส i_{qs} ทางด้านเครื่องกำเนิดไฟฟ้าฯ กล่าวคือ กำลังไฟฟ้าจากเครื่องกำเนิด ไฟฟ้าฯ จะถ่ายเทสู่กริดระบบผ่านคอนเวอร์เตอร์กำลัง ซึ่งกำลังไฟฟ้างดังกล่าวจะมีค่าน้อยเท่าใด ก็ จะขึ้นอยู่กับ การควบคุมของกระแส i_{qs} นั้นเอง

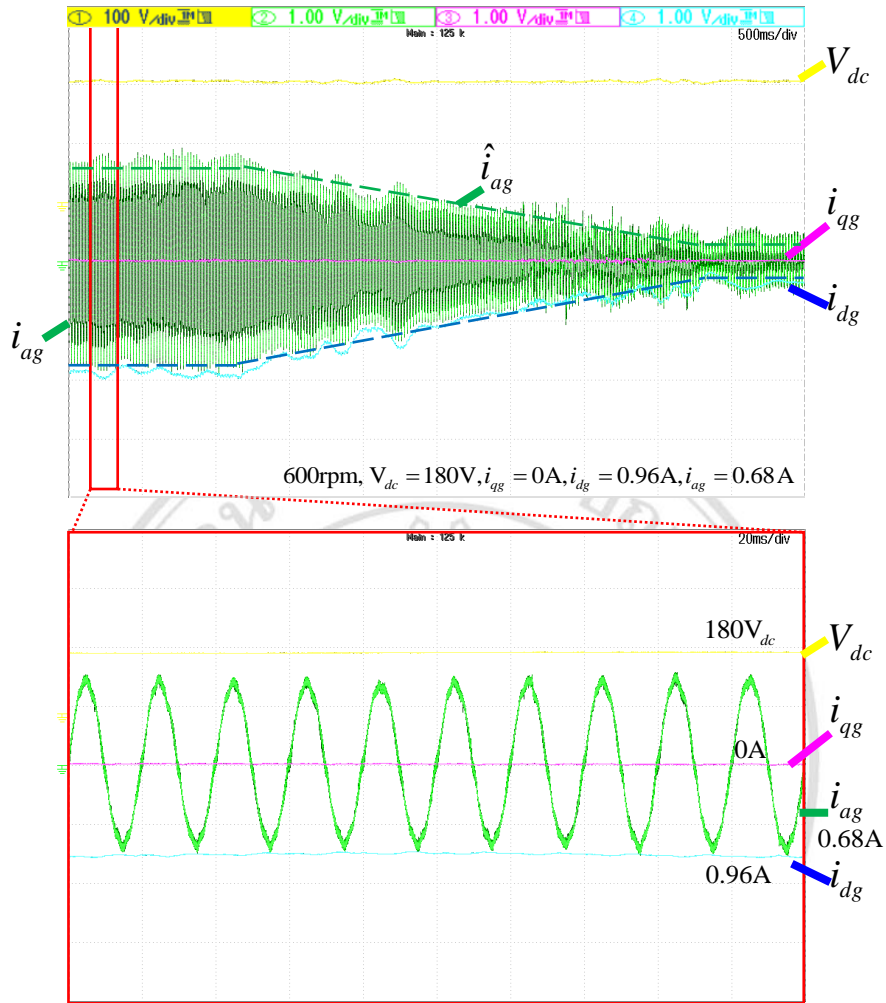
ในขณะที่เกี่ยวกับการควบคุมทางด้านกริดระบบด้วยเทคนิคการควบคุมแบบเวกเตอร์ จะสามารถ ควบคุมกำลังไฟฟ้าแอกทีฟ (P_g) และรีแอกทีฟ (Q_g) จ่ายเข้ากริดระบบได้อย่างอิสระจากกัน แต่ใน การทดสอบนี้กำลังไฟฟ้าแอกทีฟจะขึ้นอยู่กับ การควบคุมกระแสสเตเตอร์ทางด้านเครื่องกำเนิดไฟฟ้าฯ ดังนั้นคอนเวอร์เตอร์กำลังทางด้านกริดระบบ จะควบคุมเพียงแต่กำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟและแรงดันบัส ไฟตรง โดยจากภาพขยายรูปคลื่น ณ ความเร็วรอบ 600 รอบต่อนาที (กรอบสีแดง) จะสังเกตเห็นว่า แรงดัน v_{ag} และกระแส i_{qs} ต่างเฟสกันอยู่ 180 องศา กล่าวคือ กำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟ (Q_g) ถูกควบคุม ให้เป็น 0 var ในทุกย่านความเร็ว

ภาพที่ 4.28 แสดงรูปคลื่นกระแส i_{qs} ซึ่งกระแสดังกล่าวจะเป็นสัดส่วนของกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟ (Q_g) สังเกตได้ว่ากระแสดังกล่าวจะถูกรักษาให้เป็นศูนย์ตลอดเวลา เช่นเดียวกับกับแรงดันบัสไฟตรง (V_{dc}) จะถูกรักษาให้คงที่อยู่ตลอดเวลา



ภาพที่ 4.27 ผลการทดสอบการควบคุมกระแสแอมเพอเรจสำหรับเครื่องกำเนิดไฟฟ้า เชื่อมกริด (1)

พิจารณากำลังไฟฟ้าทางด้านเครื่องกำเนิดไฟฟ้าฯ และทางด้านกริดระบบ ณ ความเร็วรอบ 600 รอบต่อนาที จากตารางที่ 4.6 การส่งกำลังไฟฟ้าจากเครื่องต้นกำลังไปยังเครื่องกำเนิดไฟฟ้าฯ มีประสิทธิภาพถึง 99.5% และจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าฯ ไปยังกริดระบบมีประสิทธิภาพ 77.37% โดยมีประสิทธิภาพรวมของระบบโดยประมาณ 77.05% จากประสิทธิภาพรวมของระบบแสดงให้เห็นว่าระบบสูญเสียกำลังไฟฟ้าไปโดยประมาณ 23% ซึ่งจะสูญเสียระหว่างเครื่องกำเนิดไฟฟ้าฯ และกริดระบบผ่านคอนเวอร์เตอร์กำลัง โดยสูญเสียจากการสับสวิตช์ของชุดสวิตช์ IGBT รวมจนถึงการสูญเสียในแกนเหล็กและขดลวดทั้งในหม้อแปลงและตัวเหนี่ยวนำ



ภาพที่ 4.28 ผลการทดสอบการควบคุมกระแสสเตเตอร์สำหรับเครื่องกำเนิดไฟฟ้า เชื่อมกริด (2)

ตารางที่ 4.6 ประสิทธิภาพรวมของระบบ จากการทดสอบเครื่องกำเนิดไฟฟ้า เชื่อมกริดระบบ

ด้านเครื่องต้นกำลัง		ด้านเครื่องกำเนิดไฟฟ้า		
ω_m	ความเร็วรอบ ณ 600 Rpm	62.83 rad/s	v_{abs} แรงดันสเตเตอร์	113.4 V
T_m	แรงบิดทางกล	2.31 N.m	i_s กระแสสเตเตอร์	0.85 A
P_m	กำลังไฟฟ้าทางกล	145.1 W	P_s กำลังไฟฟ้าสเตเตอร์	144.5 W
ด้านกริด (วัดหน้าหม้อแปลง ¼)		ประสิทธิภาพรวมของระบบ		
v_{ag}	แรงดันกริดระบบ	55 V	P_s/P_m	99.50 %
i_{ag}	กระแสกริดระบบ	0.68 A	P_{load}/P_s	77.37 %
P_g	กำลังไฟฟ้ากริดระบบ	111.8 W	P_{load}/P_m	77.05 %

4.7 สรุป

จากผลการทดสอบเครื่องต้นแบบเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเชิงโรตอร์แบบกระตุ้นด้วยแม่เหล็กเชื่อมต่อเข้ากับกริดระบบไฟฟ้าโดยใช้คอนเวอร์เตอร์กำลังชนิดแหล่งจ่ายแรงดันแบบสองระดับในลักษณะหันหลังชนกันที่ขับเคลื่อนด้วยเครื่องต้นกำลัง โดยอาศัยเทคนิคการควบคุมองค์ประกอบของกระแสเตอร์ในแกน d ให้เป็นศูนย์ทางด้านเครื่องกำเนิดไฟฟ้า และเทคนิคการควบคุมแบบเวกเตอร์ทางด้านกริดระบบ จากผลวิเคราะห์ผลการทดสอบทั้งในภาวะชั่วขณะและภาวะคงตัวแสดงให้เห็นอย่างชัดเจนถึงความสามารถในการจ่ายกำลังไฟฟ้าเข้าสู่กริดระบบ โดยสามารถควบคุมกระแสเตอร์ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าฯ ได้ตรงตามทฤษฎี อีกทั้งยังสามารถควบคุมการจ่ายกำลังไฟฟ้าแอกทีฟและรีแอกทีฟได้อย่างมีประสิทธิภาพ



ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved