

บทที่ 6

การสร้างเสถียรภาพเชิงปรับตัวด้วยอัลกอริทึมการค้นหาแบบตาบูลิงเชิงปรับตัว

6.1 บทนำ

การสร้างเสถียรภาพเชิงปรับตัวของระบบไฟฟ้ากำลังบนเครื่องบินที่ศึกษาด้วยวิธีการแบบดั้งเดิมที่อาศัยการประยุกต์ใช้การบรรเทาการขาดเสถียรภาพด้วยเทคนิคคุยกเล็กร่วมกับสมการสร้างเสถียรภาพเชิงปรับตัวซึ่งจะอยู่ในรูปของค่าอัตราขยายป้อนกลับที่แปรเปลี่ยนค่าได้ตามระดับกำลังไฟฟ้าของโหลดตั้งที่ได้นำเสนอในบทที่ 5 ที่ผ่านมา สามารถทำให้ระบบทำงานได้อย่างมีเสถียรภาพ ภายใต้เงื่อนไขการเพิ่มขึ้นของโหลดกำลังไฟฟ้าคงตัวจนถึงระดับกำลังไฟฟ้าที่ค่าพิกัดรวมถึงทำให้แอมพลิจูดของแรงดันบัสไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไปตามกรอบมาตรฐาน MIL-STD-704F อย่างไรก็ตามช่วงเวลาเข้าที่ของแรงดันบัสไฟฟ้ากระแสตรงในบางจุดปฏิบัติงานยังคงไม่เป็นไปตามมาตรฐานที่กำหนด ดังนั้นในบทที่ 6 จึงนำเสนอการประยุกต์ใช้อัลกอริทึมการค้นหาแบบตาบูลิงเชิงปรับตัวในการออกแบบสมการสร้างเสถียรภาพเชิงปรับตัวที่สามารถทำให้ผลการตอบสนองของแรงดันบัสไฟฟ้ากระแสตรงของระบบมีสมรรถนะที่ดีมากยิ่งขึ้นและเป็นไปตามกรอบมาตรฐานที่กำหนดทุกประการ ภายใต้เงื่อนไขการมีเสถียรภาพตลอดระยะทางและระยะเวลาทำการบิน โดยเนื้อหาในบทที่ 6 จะกล่าวถึงหลักการและทฤษฎีพื้นฐานของการค้นหาแบบตาบูลิงเชิงปรับตัว กระบวนการออกแบบสมการสร้างเสถียรภาพเชิงปรับตัวด้วยอัลกอริทึมการค้นหาแบบตาบูลิงเชิงปรับตัว และผลการออกแบบสมการสร้างเสถียรภาพเชิงปรับตัว พร้อมทั้งยืนยันผลการออกแบบดังกล่าวด้วยการวิเคราะห์เสถียรภาพในทางทฤษฎีด้วยทฤษฎีบทค่าเจาะจง การวิเคราะห์ตัวประกอบมีส่วนร่วม การวิเคราะห์ระนาบเฟส การจำลองสถานการณ์ด้วยชุดบล็อก SimPowerSystem™ บนโปรแกรม MATLAB และเทคนิคฮาร์ดแวร์ในรูป เพื่อแสดงให้เห็นว่า ระบบไฟฟ้ากำลังบนเครื่องบินที่ศึกษาที่ได้มีการพิจารณาสมการสร้างเสถียรภาพเชิงปรับตัวที่ได้รับการออกแบบด้วยวิธีการที่ได้นำเสนอในบทนี้จะมีความเสถียรภาพตลอดช่วงการทำงานจนถึงระดับกำลังไฟฟ้าที่ค่าพิกัด และมีสมรรถนะการควบคุมแรงดันบัสไฟฟ้ากระแสตรงที่ดีกว่าเมื่อเทียบกับวิธีการแบบดั้งเดิม ภายใต้กรอบมาตรฐาน MIL-STD-704F

6.2 การออกแบบสมการสร้างเสถียรภาพเชิงปรับตัวด้วยอัลกอริทึมการค้นหาแบบตาบูลิงเชิงปรับตัว

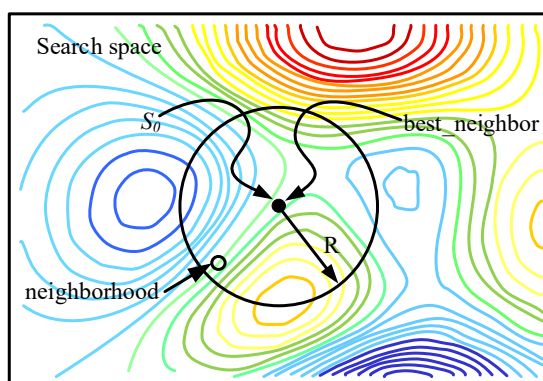
หัวข้อนี้ได้นำเสนอการค้นหาค่าสัมประสิทธิ์ของสมการโพลิโนเมียลอันดับหนึ่งที่ใช้ในการสร้างเสถียรภาพเชิงปรับตัวด้วยอัลกอริทึมการค้นหาแบบตาบูลิงเชิงปรับตัวสำหรับระบบไฟฟ้ากำลังบนเครื่องบินเพื่อให้ผลการตอบสนองของแรงดันบัสไฟฟ้ากระแสตรงมีสมรรถนะที่ดีกว่าผลการตอบสนอง

ที่ได้จากวิธีการแบบดั้งเดิมที่ได้รับการอธิบายไว้แล้วในบทที่ 5 อีกทั้งยังช่วยลดความซับซ้อนของสมการสร้างเสถียรภาพเชิงปรับตัวที่จากเดิมอยู่ในรูปของสมการโพลิโนเมียลอันดับสอง (วิธีการแบบดั้งเดิม) จะเปลี่ยนไปอยู่ในรูปของสมการโพลิโนเมียลอันดับหนึ่ง ซึ่งง่ายต่อการสร้างจริงโดยอาศัยเพียงแค่วงจรแอนะล็อกเท่านั้น โดยเนื้อหาที่สำคัญจะประกอบไปด้วย หลักการและทฤษฎีพื้นฐานของการค้นหาแบบตาบู่เชิงปรับตัว กระบวนการออกแบบสมการสร้างเสถียรภาพเชิงปรับตัว ผลการออกแบบสมการสร้างเสถียรภาพเชิงปรับตัว การวิเคราะห์เสถียรภาพบนระนาบเอสด้วยทฤษฎีบทค่าเจาะจง การวิเคราะห์ตัวประกอบการมีส่วนร่วม การวิเคราะห์เสถียรภาพด้วยการวิเคราะห์ระนาบเฟส และการจำลองสถานการณ์เพื่อยืนยันผลการออกแบบสมการสร้างเสถียรภาพเชิงปรับตัวด้วยอัลกอริทึมการค้นหาแบบตาบู่เชิงปรับตัว ซึ่งจะได้รับการนำเสนอในหัวข้อที่ 6.2.1 ถึงหัวข้อที่ 6.2.7 ตามลำดับ

6.2.1 หลักการและทฤษฎีพื้นฐานของการค้นหาแบบตาบู่เชิงปรับตัว

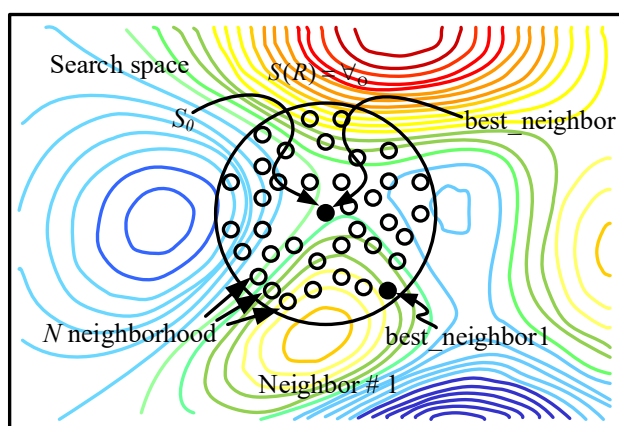
อัลกอริทึมการค้นหาแบบตาบู่เชิงปรับตัว (Puangdownreong, D., Areerak, K-N., Sujitjorn, S., and Kulworawanichpong, T., 2004) เป็นอัลกอริทึมที่ถูกต่อยอด พัฒนา และปรับปรุงมาจากอัลกอริทึมการค้นหาแบบตาบู่ (Tabu Search : TS) โดยอาศัยการเพิ่มกลไกการปรับรัศมีการค้นหา (adaptive radius) ที่สามารถทำการปรับลดรัศมีในขณะทำการค้นหาจนกระทั่งการค้นหาเข้าใกล้คำตอบที่ดีที่สุดและกลไกการเดินย้อนรอย (back tracking) ที่สามารถแก้ปัญหาสำหรับการติดอยู่ในคำตอบแบบวงแคบเฉพาะถิ่น (local optimum) ซึ่งส่งผลให้การค้นหามีประสิทธิภาพเพิ่มมากขึ้น สำหรับกระบวนการค้นหาแบบตาบู่เชิงปรับตัวสามารถสรุปดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 ทำการกำหนดรัศมีการค้นหา (R) พื้นที่การค้นหา จำนวนรอบการค้นหา ($round$) และจำนวนรอบการค้นหาสูงสุด ($round_{max}$) พร้อมทั้งดำเนินการหาคำตอบเริ่มต้น S_0 ภายใต้พื้นที่การค้นหาด้วยการสุ่ม เพื่อใช้เป็นคำตอบที่ดีที่สุดแบบวงแคบเฉพาะถิ่น (local solution) ดังแสดงได้ในรูปที่ 6.1



รูปที่ 6.1 สุ่มค่า S_0 ในพื้นที่การค้นหา

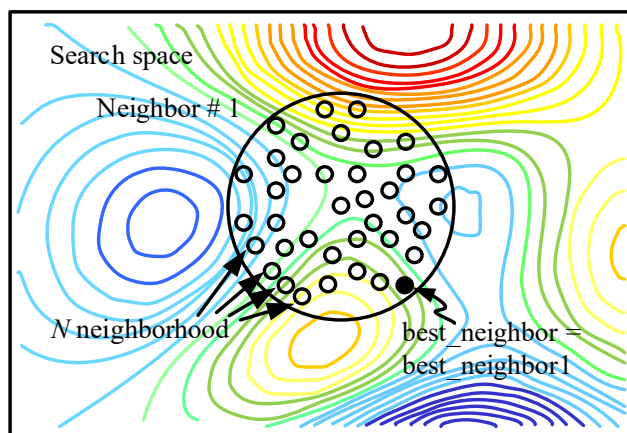
ขั้นตอนที่ 2 ทำการสุ่มเลือกคำตอบจำนวน N คำตอบรอบ ๆ S_0 ภายในพื้นที่ที่รัศมีการค้นหา R พร้อมทั้งกำหนดให้เซต $S(R)$ เป็นเซตของคำตอบ N คำตอบ ซึ่งเรียกว่า คำตอบรอบข้าง แสดงดังรูปที่ 6.2



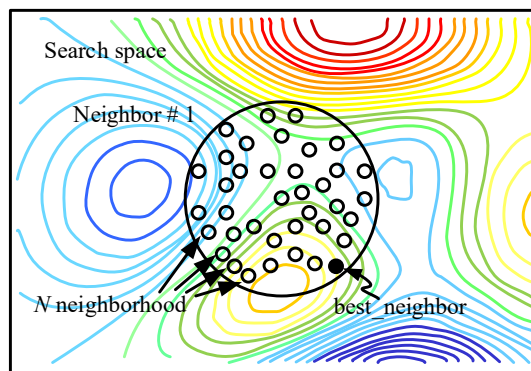
รูปที่ 6.2 ค่าใกล้เคียงรอบ ๆ S_0

ขั้นตอนที่ 3 ทำการประเมินคำตอบของแต่ละสมาชิกใน $S(R)$ ด้วยฟังก์ชันวัตถุประสงค์ โดยจะกำหนดให้ S_i เป็นคำตอบที่ดีที่สุดที่สุดในเซต $S(R)$

ขั้นตอนที่ 4 ถ้า $S_i < S_0$ ทำการเก็บค่า S_0 ในรายการตามด้วยการกำหนดให้ $S_i = S_0$ ดังแสดงได้ในรูปที่ 6.3 และรูปที่ 6.4



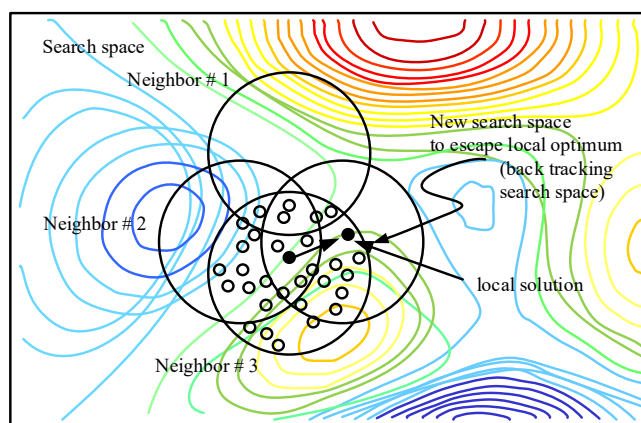
รูปที่ 6.3 กำหนดค่าใกล้เคียงใหม่



รูปที่ 6.4 กำหนดค่า S_0 ใหม่

ขั้นตอนที่ 5 ถ้า $round \geq round_{max}$ จะหยุดกระบวนการค้นหาทันที โดยที่ค่า S_0 คือคำตอบที่ดีที่สุด มิเช่นนั้นแล้วจะกลับไปสู่ขั้นตอนที่ 3 พร้อมทั้งเริ่มกระบวนการใหม่อีกครั้งจนกระทั่งได้คำตอบที่น่าพอใจ

ขั้นตอนที่ 6 จะเข้าสู่กลไกการเดินย้อนรอย เมื่อจำนวนคำตอบในแต่ละรอบไม่หลุดออกจากคำตอบที่เป็นวงแคบเฉพาะถิ่นเป็นจำนวนเท่ากับจำนวนคำตอบสูงสุดที่ได้ทำการตั้งค่าไว้ กลไกนี้จะเลือกคำตอบที่ดีที่สุดที่ได้จากการค้นหาในพื้นที่การค้นหาเดิมในรายการตาบู่เพื่อนำมากำหนดเป็นคำตอบเริ่มต้นสำหรับการค้นหาในรอบถัดไป ทั้งนี้เพื่อให้หลุดออกจากคำตอบที่เป็นแบบวงแคบเฉพาะถิ่น แสดงดังรูปที่ 6.5



รูปที่ 6.5 กลไกการเดินย้อนรอย

ขั้นตอนที่ 7 เข้าสู่กลไกการปรับค่ารัศมีการค้นหา โดยจะทำการลดรัศมีเพื่อกระชับพื้นที่การค้นหาให้แคบลงเมื่อกระบวนการการค้นหาเข้าใกล้คำตอบที่ดีที่สุด ซึ่งจะทำให้ได้คำตอบจาก

การค้นหามีความละเอียดมากขึ้น จนพบคำตอบที่อยู่ในเกณฑ์ที่กำหนด ส่งผลให้การค้นหาสามารถพบคำตอบได้อย่างรวดเร็วยิ่งขึ้น ซึ่งการปรับลดรัศมีเป็นไปตามสมการที่ (6-1)

$$R_{new} = \frac{R_{old}}{DF} \quad (6-1)$$

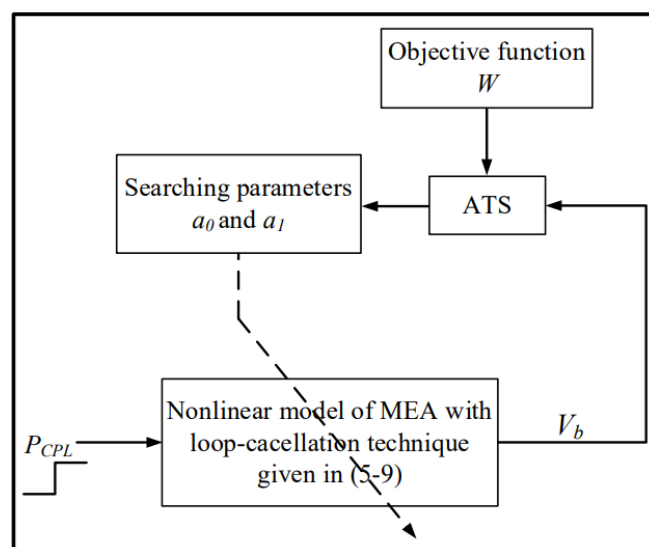
โดยที่ R_{new} คือ รัศมีการค้นหาใหม่

R_{old} คือ รัศมีการค้นหาเก่า

DF คือ อัตราปรับลดรัศมี

6.2.2 กระบวนการออกแบบสมการสร้างเสถียรภาพเชิงปรับตัว

โครงสร้างบล็อกไดอะแกรมสำหรับการออกแบบสมการสร้างเสถียรภาพเชิงปรับตัวด้วยอัลกอริทึมการค้นหาแบบตาปูเชิงปรับตัว แสดงได้ดังในรูปที่ 6.6 ซึ่งประกอบไปด้วย 2 ส่วนหลัก ๆ คือ แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของระบบไฟฟ้ากำลังบนเครื่องบินที่ศึกษาเมื่อมีการบรรเทาการขาดเสถียรภาพด้วยเทคนิคลูปยกเลิกและอัลกอริทึมการค้นหาแบบตาปูเชิงปรับตัว



รูปที่ 6.6 บล็อกไดอะแกรมการออกแบบสมการสร้างเสถียรภาพเชิงปรับตัวด้วยอัลกอริทึมการค้นหาแบบตาปูเชิงปรับตัว

จากรูปที่ 6.6 สามารถสรุปขั้นตอนในการออกแบบสมการสร้างเสถียรภาพเชิงปรับตัวของระบบไฟฟ้ากำลังบนเครื่องบินที่ศึกษาได้ดังต่อไปนี้

ขั้นตอนที่ 1 กำหนดฟังก์ชันเงื่อนไขสมการที่กำหนดจากการมีเสถียรภาพของระบบตามทฤษฎีบทค่าเจาะจงดังในสมการที่ (6-2) ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ (W) ในรูปผลรวมของค่า w_t , w_{ss} และ w_{pf} ดังแสดงในสมการที่ (6-3) ฟังก์ชันเงื่อนไขสมการที่กำหนดจากกรอบมาตรฐาน MIL-STD-704F ดังสมการที่ (6-6) และฟังก์ชันเงื่อนไขสมการที่กำหนดจากขอบเขตของค่าสัมประสิทธิ์ของสมการโพลิโนเมียลอันดับหนึ่ง (a_0 และ a_1) ดังสมการที่ (6-7)

$$\text{Subject to} \quad \text{Re}\{\lambda\} < 0 \quad (6-2)$$

เมื่อ λ คือ ค่าเจาะจงทั้งหมดของระบบ โดยถ้า λ เป็นไปตามเงื่อนไขในสมการที่ (6-2) หรือกล่าวได้ว่าระบบมีเสถียรภาพจะกำหนดให้ W เท่ากับ 0 มิเช่นนั้นแล้ว จะกำหนดให้ W เท่ากับ 10000

$$\text{Minimize} \quad W = \sum_{i=1}^n w_{t,i} + w_{ss,i} + w_{pf,i} \quad (6-3)$$

เมื่อ n คือ จำนวนจุดปฏิบัติงานที่ถูกปรับตั้งดังแสดงในตารางที่ 6.1 ซึ่งมีค่าเท่ากับ 5

w_t คือ ค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์สำหรับการตรวจสอบคุณลักษณะของแรงดันบัลไฟฟ้า กระแสตรง (V_b) ในสถานะชั่วครู่ โดยค่า w_t จะมีค่าเท่ากับ 0 ถ้าแรงดัน V_b ในสถานะชั่วครู่สอดคล้องกับฟังก์ชันเงื่อนไขสมการที่ (6-6) มิเช่นนั้นแล้ว จะกำหนดให้ w_t มีค่าเท่ากับ 10000

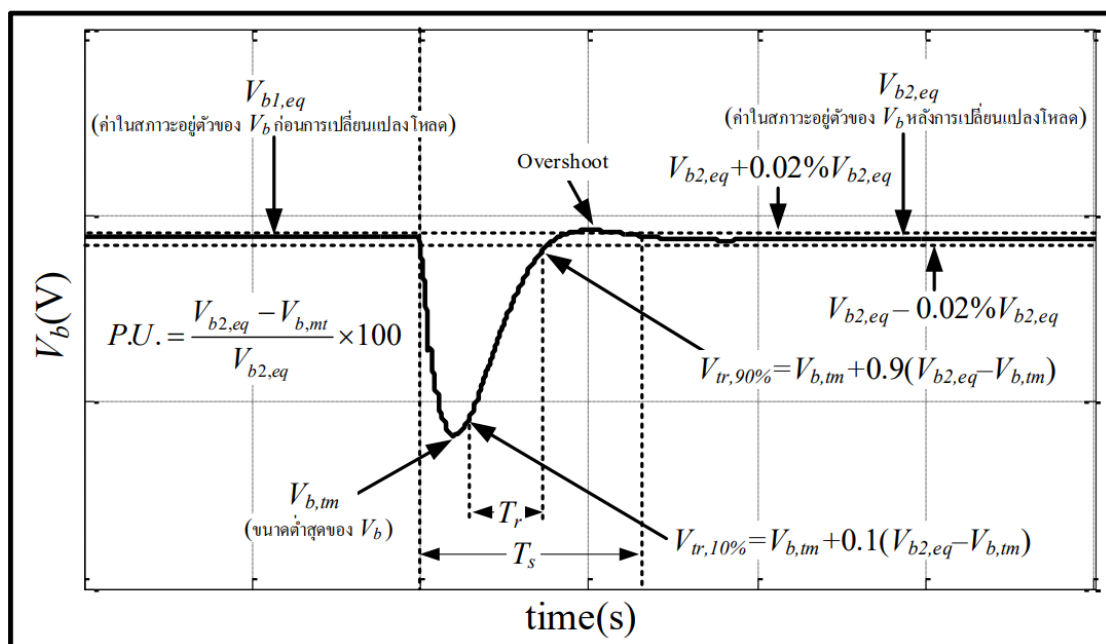
w_{ss} คือ ค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์สำหรับการตรวจสอบคุณลักษณะของแรงดัน V_b ในสถานะอยู่ตัว โดยค่า w_{ss} จะมีค่าเท่ากับ 0 ถ้าแรงดัน V_b ในสถานะอยู่ตัวสอดคล้องกับฟังก์ชันเงื่อนไขสมการที่ (6-6) มิเช่นนั้นแล้ว จะกำหนดให้ w_{ss} มีค่าเท่ากับ 10000

w_{pf} คือ ค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์สำหรับการประเมินสมรรถนะการควบคุม ซึ่งคำนวณได้จากเปอร์เซ็นต์การพุ่งลงทางด้านลบ (Percent undershoot : $P.U.$) ช่วงเวลาขึ้น (Rise time : T_r) และช่วงเวลาเข้าที่ (Settling time : T_s) ดังแสดงได้ในรูปที่ 6.7 โดยอาศัยสมการที่ (6-4) สำหรับสาเหตุที่งานวิจัยวิทยานิพนธ์เลือกพิจารณา ค่าดัชนีสมรรถนะ (Performance index) ทั้ง 3 เป็นเพราะช่วงเวลาเข้าที่ได้ถูกระบุไว้ในมาตรฐาน MIL-STD-704F ในส่วนของเปอร์เซ็นต์การพุ่งลงทางด้านลบและ

ช่วงเวลานี้จะปรากฏอย่างชัดเจนในผลการตอบสนองของแรงดัน V_b อย่างไรก็ตาม ผลการตอบสนองดังกล่าวยังมีการพุ่งเกิน (Overshoot) อีกด้วย แต่มีเพียงเล็กน้อยเท่านั้น ดังนั้นเปอร์เซ็นต์การพุ่งเกิน (Percent overshoot) จึงไม่ถูกนำมาพิจารณา

ตารางที่ 6.1 การปรับตั้งค่าระดับกำลังไฟฟ้าของโหลดกำลังไฟฟ้าคงตัว

จุดปฏิบัติงานที่	ระดับกำลังไฟฟ้าของโหลดกำลังไฟฟ้าคงตัว
1	เปลี่ยนจาก 18 kW เป็น 22 kW (จุดขาดเสถียรภาพ)
2	เปลี่ยนจาก 22 kW เป็น 26 kW
3	เปลี่ยนจาก 26 kW เป็น 30 kW
4	เปลี่ยนจาก 30 kW เป็น 34 kW
5	เปลี่ยนจาก 34 kW เป็น 38 kW (พิกัดของโหลดกำลังไฟฟ้าคงตัว)



รูปที่ 6.7 ค่าสมรรถนะที่พิจารณาสำหรับผลตอบสนองแรงดันบัสไฟฟ้ากระแสตรง

$$w_{pf} = \alpha \left(\frac{P.U._{ATS}}{P.U._{CON}} \right) + \beta \left(\frac{T_{r,ATS}}{T_{r,CON}} \right) + \gamma \left(\frac{T_{s,ATS}}{T_{s,CON}} \right) \quad (6-4)$$

โดยที่	$P.U_{ATS}$	คือ เปอร์เซ็นต์การพุ่งลงทางด้านลบของ V_b โดยอัลกอริทึมการค้นหาแบบตามเชิงปรับตัว (เปอร์เซ็นต์)
	$T_{r,ATS}$	คือ ช่วงเวลาขึ้นของ V_b โดยอัลกอริทึมการค้นหาแบบตามเชิงปรับตัว (วินาที)
	$T_{s,ATS}$	คือ ช่วงเวลาเข้าที่ของ V_b โดยอัลกอริทึมการค้นหาแบบตามเชิงปรับตัว (วินาที)
	$P.U_{CON.}$	คือ เปอร์เซ็นต์การพุ่งลงทางด้านลบของ V_b โดยวิธีการแบบดั้งเดิม (เปอร์เซ็นต์)
	$T_{r,CON.}$	คือ ช่วงเวลาขึ้นของ V_b โดยวิธีการแบบดั้งเดิม (วินาที)
	$T_{s,CON.}$	คือ ช่วงเวลาเข้าที่ของ V_b โดยวิธีการแบบดั้งเดิม (วินาที)

$$\alpha + \beta + \gamma = 1 \quad (6-5)$$

เมื่อ α β และ γ คือ ค่าสัมประสิทธิ์ความสำคัญ (priority coefficients) ของค่า $P.U$, T_r และ T_s ตามลำดับ ซึ่งการออกแบบในงานวิจัยวิทยานิพนธ์จะให้ความสำคัญของค่า $P.U$, T_r และ T_s อย่างละเท่า ๆ กัน โดยการนำค่าสมรรถนะจากอัลกอริทึมการค้นหาแบบตามเชิงปรับตัว ($P.U_{ATS}$, $T_{r,ATS}$, $T_{s,ATS}$) หารด้วยค่าสมรรถนะจากวิธีการแบบดั้งเดิม ($P.U_{CON.}$, $T_{r,CON.}$, $T_{s,CON.}$) ดังสมการที่ (6-2) และได้กำหนดให้ค่า α β และ γ มีค่าเท่ากับ 0.34 0.33 และ 0.33 ตามลำดับ

$$\text{Subject to } \left. \begin{array}{l} V_{b,t(\max)} < 330\text{V or } V_{b,t(\max)} = 330\text{V within } 0.02\text{s}, \\ V_{b,t(\min)} < 200\text{V or } V_{b,t(\min)} = 200\text{V within } 0.01\text{s}, \\ T_s < 0.04\text{s}, \\ V_{b,ss(\max)} \leq 280\text{V}, \\ V_{b,ss(\min)} \geq 250\text{V}, \\ \Delta V_{b,ss} < 6V, \end{array} \right\} \quad (6-6)$$

เมื่อ	$V_{b,t(\max)}$	คือ ขนาดแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงสูงสุดในสภาวะชั่วคราว
	$V_{b,t(\min)}$	คือ ขนาดแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงต่ำสุดในสภาวะชั่วคราว
	T_s	คือ ช่วงเวลาเข้าที่
	$V_{b,ss(\max)}$	คือ ขนาดแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงสูงสุดในสภาวะอยู่ตัว
	$V_{b,ss(\min)}$	คือ ขนาดแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงต่ำสุดในสภาวะอยู่ตัว
	$\Delta V_{b,ss}$	คือ ขนาดแรงดันกระเพื่อม

$$\text{Subject to } \left. \begin{array}{l} a_{0(\min)} \leq a_0 \leq a_{0(\max)}, \\ a_{l(\min)} \leq a_l \leq a_{l(\max)}, \end{array} \right\} \quad (6-7)$$

เมื่อ	$a_{0,(\min)}$	คือ ขอบเขตล่างของ a_0 ซึ่งแสดงได้ดังตารางที่ 6.3
	$a_{0,(\max)}$	คือ ขอบเขตบนของ a_0 ซึ่งแสดงได้ดังตารางที่ 6.3
	$a_{1,(\min)}$	คือ ขอบเขตล่างของ a_1 ซึ่งแสดงได้ดังตารางที่ 6.3
	$a_{1,(\max)}$	คือ ขอบเขตบนของ a_1 ซึ่งแสดงได้ดังตารางที่ 6.3

ขั้นตอนที่ 2 ประมวลผลโปรแกรมการค้นหาลำดับอัลกอริทึมการค้นหาลำดับแบบตาข่ายเชิงปรับตัวบนโปรแกรม MATLAB เพื่อค้นหาค่าสัมประสิทธิ์ของสมการโพลิโนเมียลอันดับหนึ่ง a_0 และ a_1 หรือเรียกว่า ค่าสัมประสิทธิ์ของสมการสร้างเสถียรภาพเชิงปรับตัว ที่เหมาะสม ภายในปริภูมิการค้นหาในสมการที่ (6-7) และสอดคล้องกับฟังก์ชันเงื่อนไขสมการที่ (6-2) และ (6-6) เพื่อให้ W ในสมการที่ (6-3) มีค่าน้อยที่สุด

การออกแบบสมการสร้างเสถียรภาพเชิงปรับตัวด้วยอัลกอริทึมการค้นหาลำดับแบบตาข่ายเชิงปรับตัวผ่านการค้นหาค่าสัมประสิทธิ์ของสมการโพลิโนเมียลอันดับหนึ่ง จำเป็นต้องมีการทดสอบพารามิเตอร์ที่สำคัญของอัลกอริทึมการค้นหาลำดับแบบตาข่ายเชิงปรับตัวซึ่งได้แก่ จำนวนคำตอบเริ่มต้น จำนวนคำตอบรอบข้าง ค่ารัศมีการค้นหา ค่าอัตราปรับลดรัศมี และจำนวนรอบการค้นหา เนื่องจากค่าพารามิเตอร์ดังกล่าวจะส่งผลโดยตรงต่อประสิทธิภาพของการค้นหา หากค่าพารามิเตอร์ดังกล่าวมีความเหมาะสมจะทำให้กระบวนการในการค้นหาลำดับด้วยอัลกอริทึมการค้นหาลำดับแบบตาข่ายเชิงปรับตัวมีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้นด้วยเช่นกัน สำหรับรายละเอียดของการทดสอบพารามิเตอร์ทั้ง 5 นั้นจะได้รับการนำเสนอไว้ที่ภาคผนวก ง. ในตารางที่ ง.1 ถึงตารางที่ ง.5 จากการทดสอบพารามิเตอร์ของอัลกอริทึมการค้นหาลำดับแบบตาข่ายเชิงปรับตัวในภาคผนวก ง. งานวิจัยวิทยานิพนธ์ได้เลือกใช้พารามิเตอร์ของอัลกอริทึมการค้นหาลำดับแบบตาข่ายเชิงปรับตัวที่เหมาะสมที่สุดโดยอาศัยเกณฑ์การพิจารณาจากค่า W เฉลี่ยที่น้อยที่สุด ซึ่งแสดงได้ดังตารางที่ 6.2

ตารางที่ 6.2 พารามิเตอร์ของอัลกอริทึมการค้นหาลำดับแบบตาข่ายเชิงปรับตัว

พารามิเตอร์	ค่า	รายละเอียด
<i>Initial number neighbor</i>	20	จำนวนคำตอบเริ่มต้น
<i>Number neighbor</i>	40	จำนวนคำตอบรอบข้าง
<i>Radius</i>	30 (%)	ค่ารัศมีการค้นหาคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ของขอบเขต
<i>DF</i>	1.4	ค่าอัตราปรับลดรัศมี
<i>Round</i>	50	จำนวนรอบการค้นหา

ในลำดับถัดไปจะเป็นการกำหนดขอบเขตการค้นหาค่าซึ่งเป็นส่วนสำคัญอีกส่วนหนึ่งที่มีผลต่อประสิทธิภาพการค้นหาค่าด้วยเช่นกัน การกำหนดขอบเขตการค้นหาค่าสัมประสิทธิ์ a_0 และ a_1 ของสมการสร้างเสถียรภาพเชิงปรับตัวจะพิจารณาให้มีค่าเป็น 9 เท่าของค่าสัมประสิทธิ์ของสมการโพลีโนเมียลอันดับหนึ่งที่ได้แสดงในรูปที่ 5.19 ของบทที่ 5 ซึ่งสามารถแสดงอีกครั้งได้ดังสมการที่ (6-8) โดยขอบเขตล่างจะมีเครื่องหมายเป็นลบและขอบเขตบนจะมีเครื่องหมายบวก เนื่องจากการกำหนดขอบเขตการค้นหาค่าที่แคบเกินไป อาทิเช่น 3 เท่าหรือ 4 เท่าของค่าสัมประสิทธิ์ของสมการที่ (6-8) จะทำให้ค่าสัมประสิทธิ์ a_0 และ a_1 ที่ได้จากกระบวนการค้นหามีค่าใกล้เคียงกับขอบเขตบนหรือขอบเขตล่าง ซึ่งถือได้ว่าคำตอบที่ได้ยังไม่เหมาะสม ดังนั้นต้องทำการปรับเปลี่ยนขอบเขตของคำตอบรวมถึงทำการค้นหาใหม่จนกว่าจะได้คำตอบที่เหมาะสม อย่างไรก็ตาม หากพารามิเตอร์ของระบบไฟฟ้ากำลังบนเครื่องบินมีการเปลี่ยนแปลงหรือระบบไฟฟ้ากำลังที่ศึกษาเปลี่ยนไป ยกตัวอย่างเช่นระบบโครงข่ายกำลังไฟฟ้ากระแสตรงขนาดเล็ก (DC micro-grid system) และรถยนต์ไฟฟ้า (electric vehicle) เป็นต้น จำเป็นจะต้องมีการปรับเปลี่ยนขอบเขตการค้นหาค่าด้วยเช่นกัน ซึ่งจะต้องพิจารณาเป็นกรณี ๆ ไป

$$K_{FB} = 5.685 \times 10^{-5} P_{CPL} - 1.0689 \quad (6-8)$$

$$\text{เมื่อ } P_{CPL} = I_o V_b - \frac{V_b^2}{R_L}$$

ตารางที่ 6.3 ขอบเขตการค้นหาค่าสัมประสิทธิ์ของสมการสร้างเสถียรภาพเชิงปรับตัว

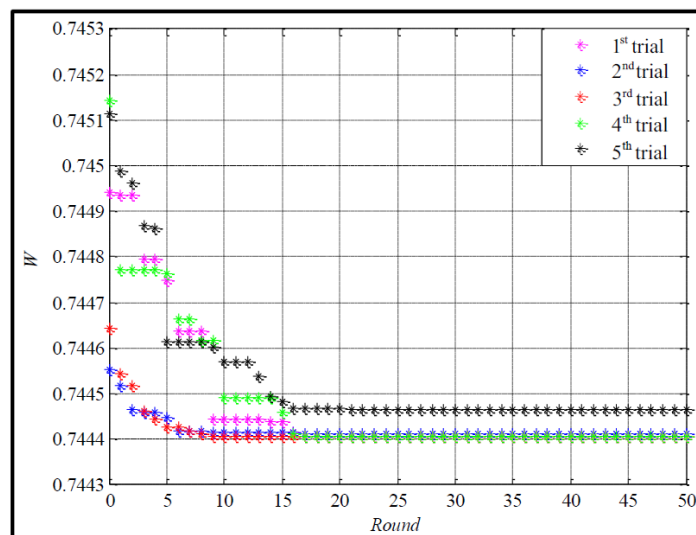
ค่าสัมประสิทธิ์	ขอบเขตการค้นหา	
	ขอบเขตล่าง	ขอบเขตบน
a_1	$-51.165 \times 10^{-5} (a_{1,(\min)})$	$51.165 \times 10^{-5} (a_{1,(\max)})$
a_0	$-9.6201 (a_{0,(\min)})$	$9.6201 (a_{0,(\max)})$

เมื่อทราบถึงองค์ประกอบที่สำคัญทั้งหมดสำหรับการออกแบบสมการสร้างเสถียรภาพเชิงปรับตัวแล้วไม่ว่าจะเป็น กระบวนการออกแบบ ค่าพารามิเตอร์ของอัลกอริทึมการค้นหาแบบตามูเชิงปรับตัวที่เหมาะสม และขอบเขตการค้นหา ในลำดับต่อไปจะเป็นการประยุกต์ใช้อัลกอริทึมการค้นหาแบบตามูเชิงปรับตัวสำหรับการออกแบบค่าสัมประสิทธิ์ a_0 และ a_1 ที่ทำให้แรงดัน V_b มีสมรรถนะการควบคุมแรงดันที่ดีขึ้นและเป็นไปตามกรอบมาตรฐาน MIL-STD-704F

ภายใต้เงื่อนไขระบบมีเสถียรภาพทุก ๆ จุดปฏิบัติงานจนถึงระดับกำลังไฟฟ้าที่ค่าพิกัด โดยผลการออกแบบค่าสัมประสิทธิ์ดังกล่าวจะได้รับการนำเสนอในหัวข้อที่ 6.2.3 ต่อไป

6.2.3 ผลการออกแบบสมการสร้างเสถียรภาพเชิงปรับตัว

การออกแบบสมการสร้างเสถียรภาพเชิงปรับตัวของระบบไฟฟ้ากำลังบนเครื่องบิน ที่ศึกษาผ่านการค้นหาค่า a_0 และ a_1 สำหรับในงานวิจัยวิทยานิพนธ์จะพิจารณาผลการลู่เข้าของค่า W ทั้งหมด 5 ครั้ง เพื่อนำมาใช้ในการเลือกค่า a_0 และ a_1 ที่เหมาะสมที่สุด ผ่านเงื่อนไขค่า W ที่น้อยที่สุด นอกจากนี้ยังเป็นการเพิ่มความน่าเชื่อถือของผลการออกแบบที่ได้อีกด้วย โดยผลการลู่เข้าของค่า W ทั้ง 5 ครั้งและค่าสัมประสิทธิ์ a_0 และ a_1 ที่เหมาะสมที่สุดของสมการสร้างเสถียรภาพเชิงปรับตัว สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 6.8 และตารางที่ 6.4 ตามลำดับ



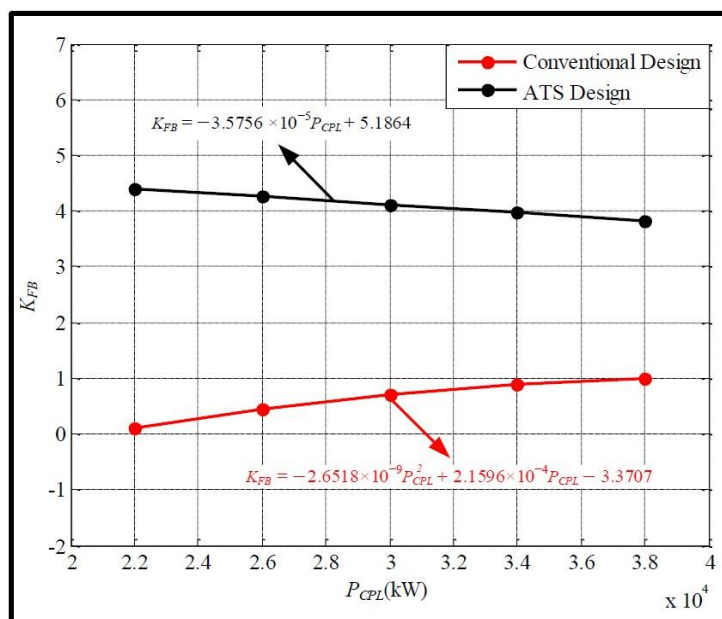
รูปที่ 6.8 การลู่เข้าหาค่าตอบ W ทั้ง 5 ครั้ง

ตารางที่ 6.4 ค่าสัมประสิทธิ์ที่เหมาะสมที่สุดของสมการสร้างเสถียรภาพเชิงปรับตัว

ครั้งที่	ค่าที่ออกแบบ		ค่า W	สมการสร้างเสถียรภาพเชิงปรับตัว
	a_1	a_0		
1	-3.5756×10^{-5}	5.1864	0.7444	$K_{FB} = -3.5756 \times 10^{-5} P_{CPL} + 5.1864$
2	-3.7299×10^{-5}	5.4086	0.74441	$K_{FB} = -3.7299 \times 10^{-5} P_{CPL} + 5.4086$
3	-3.5756×10^{-5}	5.1864	0.7444	$K_{FB} = -3.5756 \times 10^{-5} P_{CPL} + 5.1864$
4	-3.5756×10^{-5}	5.1864	0.7444	$K_{FB} = -3.5756 \times 10^{-5} P_{CPL} + 5.1864$
5	-3.4124×10^{-5}	4.9613	0.7445	$K_{FB} = -3.4124 \times 10^{-5} P_{CPL} + 4.9613$

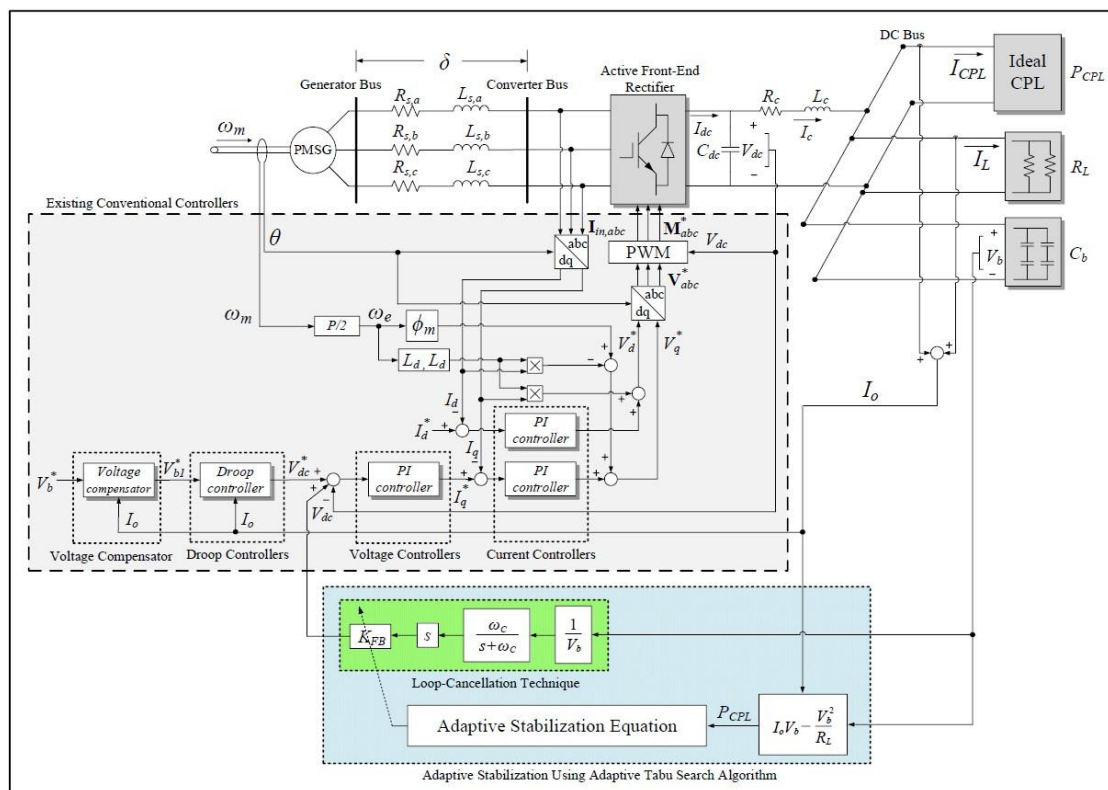
จากรูปที่ 6.8 จะเห็นได้ว่า ค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ W ทั้ง 5 ครั้งมีแนวโน้มที่ลดลง เมื่อจำนวนรอบการค้นหามีขึ้น ซึ่งเป็นการบ่งบอกอย่างชัดเจนว่า อัลกอริทึมการค้นหาลำดับเชิงปรับตัวสามารถค้นหาค่าสัมประสิทธิ์ a_0 และ a_1 ของสมการสร้างเสถียรภาพเชิงปรับตัวที่ทำให้ผลการตอบสนองของ V_b มีสมรรถนะที่ดีขึ้นได้และเป็นไปตามมาตรฐานที่กำหนด ในขณะที่ระบบยังคงมีเสถียรภาพทุก ๆ จุดการทำงาน โดยค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ W ที่มีค่าน้อยที่สุดคือ 0.7444 ซึ่งจะปรากฏอยู่ในผลการสุ่มค่าหาค่าตอบ W ในครั้งที่ 1 (เส้นกราฟสีม่วง) ครั้งที่ 3 (เส้นกราฟสีแดง) และครั้งที่ 4 (เส้นกราฟสีเขียว)

จากตารางที่ 6.4 ได้แสดงผลการออกแบบสมการสร้างเสถียรภาพเชิงปรับตัวผ่านการค้นหาค่าสัมประสิทธิ์ a_0 และ a_1 ที่ทำให้ผลตอบสนอง V_b มีสมรรถนะการควบคุมที่ดีขึ้นและเป็นไปตามมาตรฐานที่กำหนด ในขณะที่ระบบยังคงมีเสถียรภาพทุก ๆ จุดการทำงาน ทั้ง 5 ครั้ง ซึ่งจะพบได้ว่า ผลการออกแบบในครั้งที่ 1 ครั้งที่ 3 และครั้งที่ 4 ให้ค่า W ที่มีค่าเท่ากันและมีค่าน้อยที่สุด ดังนั้นในงานวิจัยวิทยานิพนธ์จึงได้พิจารณาเลือกใช้ค่า a_0 และ a_1 เท่ากับ -3.5756×10^{-5} และ 5.1864 ตามลำดับ นอกจากนี้จะเห็นอีกว่า ค่าสัมประสิทธิ์ a_0 และ a_1 ที่ได้จากการค้นหาทั้ง 5 ครั้งมีค่าที่ใกล้เคียงกันหรือเป็นชุดข้อมูลที่เกาะกลุ่มกัน ดังนั้นจึงเป็นการรับประกันได้ว่าค่าสัมประสิทธิ์ที่เลือกใช้เป็นค่าที่เหมาะสมที่สุดกับการออกแบบสมการสร้างเสถียรภาพเชิงปรับตัวของระบบไฟฟ้ากำลังบนเครื่องบินที่ศึกษา สำหรับเส้นกราฟของสมการสร้างเสถียรภาพเชิงปรับตัวที่ได้รับการออกแบบด้วยอัลกอริทึมการค้นหาลำดับเชิงปรับตัวสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 6.9



รูปที่ 6.9 เส้นกราฟของสมการสร้างเสถียรภาพเชิงปรับตัวที่เหมาะสมที่สุด

จากรูปที่ 6.9 จะเห็นได้ว่า สมการสร้างเสถียรภาพเชิงปรับตัวที่ได้รับการออกแบบด้วยวิธีการแบบดั้งเดิม (แสดงด้วยเส้นกราฟสีแดง) จะเป็นสมการโพลิโนเมียลอันดับสอง โดยเมื่อคำนึงถึงการสร้างชุดทดสอบจริงโดยอาศัยเพียงวงจรแอนะล็อกจะมีความซับซ้อนและยุ่งยากมากกว่าการสร้างเสถียรภาพเชิงปรับตัวโดยอาศัยสมการที่ได้รับการออกแบบด้วยอัลกอริทึมการค้นหาแบบตามูเชิงปรับตัวซึ่งเป็นสมการโพลิโนเมียลอันดับหนึ่ง (แสดงด้วยเส้นกราฟสีดำ) ดังนั้นจึงถือได้ว่าการสร้างเสถียรภาพเชิงปรับตัวด้วยวิธีการที่นำเสนอนอกจากช่วยบรรเทาการขาดเสถียรภาพของระบบไฟฟ้ากำลังบนเครื่องบินที่ศึกษาได้ ยังสามารถลดความซับซ้อนของสมการสร้างเสถียรภาพเชิงปรับตัวได้ด้วยเช่นกัน สำหรับระบบไฟฟ้ากำลังบนเครื่องบินที่มีการสร้างเสถียรภาพเชิงปรับตัวด้วยอัลกอริทึมการค้นหาแบบตามูเชิงปรับตัวสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 6.10



รูปที่ 6.10 ระบบไฟฟ้ากำลังบนเครื่องบินที่ศึกษาที่มีการสร้างเสถียรภาพเชิงปรับตัวด้วยอัลกอริทึมการค้นหาแบบตามูเชิงปรับตัว

จากรูปที่ 6.10 จะเห็นได้ว่า การสร้างเสถียรภาพเชิงปรับตัวด้วยอัลกอริทึมการค้นหาแบบตามูเชิงปรับตัวที่แสดงในพื้นที่สีฟ้า จะประกอบไปด้วยโครงสร้าง 2 ส่วนคือ ส่วนที่ 1 คือ ส่วนของการบรรเทาการขาดเสถียรภาพด้วยเทคนิคลูปยกเลิก ส่วนที่ 2 คือ ส่วนของสมการสร้าง

เสถียรภาพเชิงปรับตัว ซึ่งเป็นโครงสร้างเดียวกันกับการสร้างเสถียรภาพเชิงปรับตัวด้วยวิธีการแบบดั้งเดิม ในหัวข้อที่ 5.4 ของบทที่ 5 แต่จะแตกต่างกันตรงที่สมการสร้างเสถียรภาพเชิงปรับตัวที่ออกแบบด้วย อัลกอริทึมการค้นหาแบบตาบู่เชิงปรับตัวจะอยู่ในรูปของสมการโพลีโนเมียลอันดับหนึ่ง ในขณะที่สมการสร้างเสถียรภาพเชิงปรับตัวที่ออกแบบด้วยวิธีการแบบดั้งเดิมจะอยู่ในรูปของสมการโพลีโนเมียลอันดับสอง โดยค่าอัตราขยายป้อนกลับ (K_{FB}) ที่คำนวณได้จากสมการโพลีโนเมียลอันดับหนึ่งดังกล่าว ณ ระดับ P_{CPL} ต่าง ๆ สามารถแสดงได้ดังตารางที่ 6.5

ตารางที่ 6.5 ค่า P_{CPL} และ K_{FB} สำหรับการสร้างเสถียรภาพเชิงปรับตัวด้วยอัลกอริทึมการค้นหาแบบตาบู่เชิงปรับตัว

กรณี	P_{CPL}	K_{FB}
1	22 kW (จุดขาดเสถียรภาพ)	4.3998
2	26 kW	4.2568
3	30 kW	4.1137
4	34 kW	3.9707
5	38 kW (พิกัดของโหลดกำลังไฟฟ้าคงตัว)	3.8277

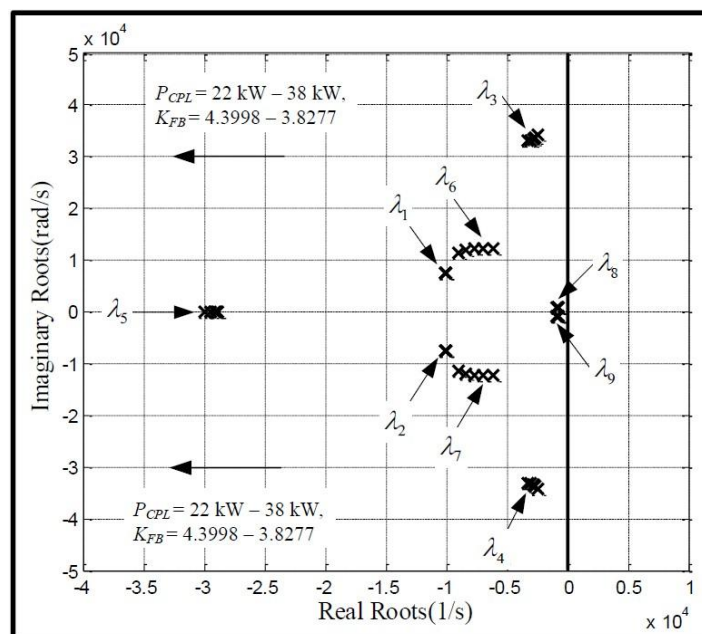
จากตารางที่ 6.5 จะสังเกตได้ว่า ค่า K_{FB} ที่คำนวณได้จากสมการสร้างเสถียรภาพเชิงปรับตัวที่ได้รับการออกแบบด้วยอัลกอริทึมการค้นหาแบบตาบู่เชิงปรับตัวจะมีค่ามากกว่าค่า K_{FB} ที่คำนวณได้จากสมการสร้างเสถียรภาพเชิงปรับตัวที่ได้รับการออกแบบด้วยวิธีการแบบดั้งเดิม ในตารางที่ 5.9 ของบทที่ 5 ทั้งนี้เป็นเพราะการออกแบบสมการสร้างเสถียรภาพเชิงปรับตัวด้วยวิธีการแบบดั้งเดิมจะอาศัยเพียงแค่เงื่อนไขการมีเสถียรภาพของระบบตลอดช่วงการทำงานในการออกแบบเท่านั้น ในขณะที่การออกแบบสมการสร้างเสถียรภาพเชิงปรับตัวด้วยอัลกอริทึมการค้นหาแบบตาบู่เชิงปรับตัวได้นำทั้งเงื่อนไขการมีคุณลักษณะเฉพาะของแรงดันบัสไฟฟ้ากระแสตรงตามกรอบมาตรฐาน MIL-STD-704F เงื่อนไขการมีเสถียรภาพของระบบทุก ๆ จุดปฏิบัติงาน และการมีสมรรถนะการควบคุมแรงดันที่ดีมากยิ่งขึ้น มาพิจารณาในกระบวนการออกแบบด้วยจึงทำให้ค่า K_{FB} ที่ได้มีความแตกต่างกันอย่างเห็นได้ชัด

และเพื่อเป็นการยืนยันประสิทธิภาพและความน่าเชื่อถือของผลการออกแบบสมการสร้างเสถียรภาพเชิงปรับตัวที่ได้นำเสนอในทางทฤษฎี ดังนั้นงานวิจัยวิทยานิพนธ์จึงได้นำเสนอการวิเคราะห์เสถียรภาพของระบบไฟฟ้ากำลังบนเครื่องบินที่ใช้ไฟฟ้ามากขึ้นที่มีระบบจำหน่ายเป็นไฟฟ้า

กระแสดตรง แบบเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเดี่ยวและบัสเดี่ยว ที่มีการสร้างเสถียรภาพเชิงปรับตัวด้วย อัลกอริทึมการค้นหาแบบตาบู่เชิงปรับตัว ซึ่งจะได้รับการนำเสนอในหัวข้อที่ 6.2.4 ถึง 6.2.6

6.2.4 การวิเคราะห์เสถียรภาพด้วยทฤษฎีบทค่าเจาะจง

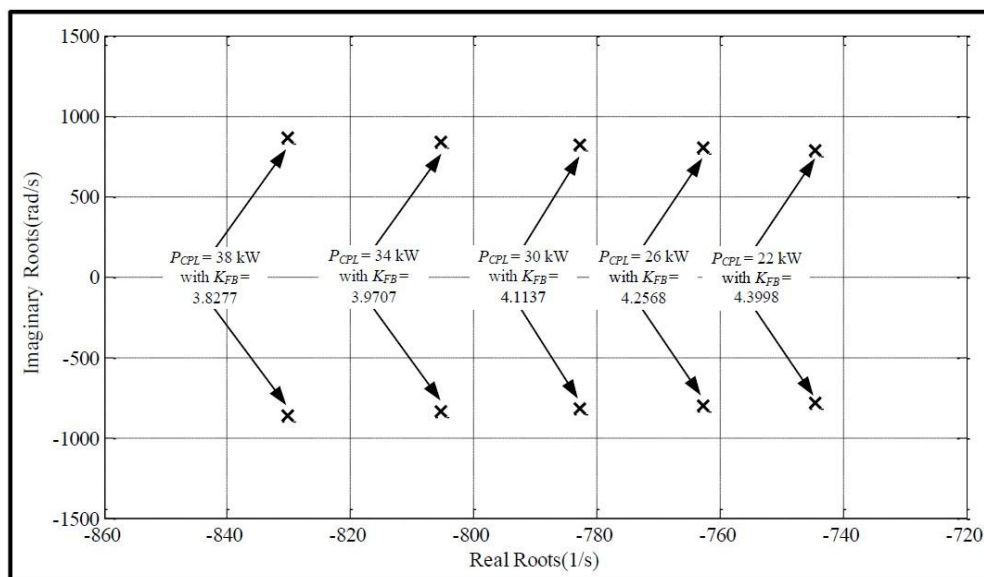
การวิเคราะห์เสถียรภาพบนระบบนาเบสด้วยทฤษฎีบทค่าเจาะจงเพื่อยืนยันประสิทธิภาพและความน่าเชื่อถือของผลการออกแบบสมการสร้างเสถียรภาพเชิงปรับตัวด้วย อัลกอริทึมการค้นหาแบบตาบู่เชิงปรับตัวในทางทฤษฎีจะดำเนินการในลักษณะเดียวกันกับการวิเคราะห์เสถียรภาพของระบบไฟฟ้ากำลังบนเครื่องบินที่ศึกษาในกรณีที่มีการสร้างเสถียรภาพเชิงปรับตัวด้วยวิธีการแบบดั้งเดิมในหัวข้อที่ 5.4.1 ของบทที่ 5 นั่นคือ การพิจารณาวิถีการเคลื่อนที่และตำแหน่งของค่าเจาะจง ในขณะที่ระดับกำลังไฟฟ้าของโหลดกำลังไฟฟ้าคงตัว (P_{CPL}) มีการเปลี่ยนแปลงและค่าอัตราขยายป้อนกลับ (K_{FB}) ได้มีการปรับเปลี่ยนตามระดับกำลังไฟฟ้าของโหลดดังกล่าว จากสมการสร้างเสถียรภาพเชิงปรับตัวที่ได้จากอัลกอริทึมการค้นหาแบบตาบู่เชิงปรับตัว ค่า K_{FB} ที่ระดับ P_{CPL} ต่าง ๆ แสดงได้ดังตารางที่ 6.5 โดยค่าเจาะจงของระบบทั้งหมดสามารถแสดงได้ดังในรูปที่ 6.11



รูปที่ 6.11 ค่าเจาะจงทั้งหมดของระบบไฟฟ้าที่ศึกษาเมื่อมีการสร้างเสถียรภาพเชิงปรับตัวด้วย อัลกอริทึมการค้นหาแบบตาบู่เชิงปรับตัว

จากรูปที่ 6.11 ค่าเจาะจงจะมีทั้งหมด 9 ค่า ($\lambda_1 - \lambda_9$) เช่นเดียวกับค่าเจาะจงของระบบในกรณีที่มีการบรรเทาการขาดเสถียรภาพในหัวข้อที่ 5.3.1 และการสร้างเสถียรภาพเชิงปรับตัว

ในหัวข้อที่ 5.4.1 ของบทที่ 5 แต่มีความแตกต่างในส่วนของคุณค่าเจาะจงเด่นของระบบที่แสดงในรูปที่ 6.11 จากเดิมคือ λ_3 และ λ_4 ได้เปลี่ยนไปเป็น λ_8 และ λ_9



รูปที่ 6.12 ค่าเจาะจงเด่นของระบบไฟฟ้าที่ศึกษาเมื่อมีการสร้างเสถียรภาพเชิงปรับตัวด้วย อัลกอริทึมการค้นหาแบบตาบู่เชิงปรับตัว

จากรูปที่ 6.12 จะสังเกตได้ว่า ค่าเจาะจงเด่นของระบบในกรณีนี้ที่ K_{FB} มีค่าแปรเปลี่ยนไปตามระดับกำลังไฟฟ้าของโหลดกำลังไฟฟ้าคงตัวตามสมการการสร้างเสถียรภาพเชิงปรับตัวในตารางที่ 6.4 จนกระทั่งมีค่าเท่ากับ 3.8277 ที่ค่าพิกัดของโหลดกำลังไฟฟ้าคงตัว นั่นก็คือ $P_{CPL, rated} = 38$ kW จะมีส่วนจริงน้อยกว่าศูนย์ทุกค่า ซึ่งสอดคล้องกับเงื่อนไขการมีเสถียรภาพที่ถูกนำมาประยุกต์ใช้ในกระบวนการออกแบบสมการการสร้างเสถียรภาพเชิงปรับตัวในขั้นตอนที่ 2 หรือกล่าวได้ว่ากลไกการตรวจสอบเสถียรภาพขณะทำการออกแบบสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพและให้ประสิทธิภาพที่ดี ดังนั้นจึงถือได้ว่า การสร้างเสถียรภาพเชิงปรับตัวด้วยอัลกอริทึมการค้นหาแบบตาบู่เชิงปรับตัวที่ได้นำเสนอในงานวิจัยวิทยานิพนธ์เป็นวิธีการที่มีประสิทธิภาพสามารถทำให้ระบบไฟฟ้ากำลังบนเครื่องบินที่ศึกษามีเสถียรภาพทุก ๆ จุดปฏิบัติงานจนถึงระดับกำลังไฟฟ้าที่ค่าพิกัด

6.2.5 การวิเคราะห์ตัวประกอบการมีส่วนร่วม

การวิเคราะห์หาตัวแปรสถานะของระบบที่ส่งผลต่อตำแหน่งของคุณค่าเจาะจงเด่นที่แสดงดังในรูปที่ 6.12 ของระบบไฟฟ้ากำลังบนเครื่องบินที่ศึกษาที่มีการสร้างเสถียรภาพเชิงปรับตัวด้วยอัลกอริทึมการค้นหาแบบตาบู่เชิงปรับตัวโดยอาศัยการวิเคราะห์ตัวประกอบการมีส่วนร่วมจะดำเนินการภายใต้เงื่อนไขการทำงานเดียวกันกับการวิเคราะห์เสถียรภาพบนระนาบเอสด้วย

ทฤษฎีบทค่าเจาะจงตามตารางที่ 6.5 โดยเมตริกซ์ตัวประกอบการมีส่วนร่วมของระบบไฟฟ้าที่ศึกษาเมื่อมีการสร้างเสถียรภาพเชิงปรับตัวด้วยอัลกอริทึมการค้นหาแบบตาบู่เชิงปรับตัวสามารถแสดงได้ดังตารางที่ 6.6 ถึง 6.10

ตารางที่ 6.6 เมตริกซ์ตัวประกอบการมีส่วนร่วมเมื่อมีการสร้างเสถียรภาพที่ $K_{FB} = 4.3998$ (กรณีที่ 1)

	Eig. I	Eig. II	Eig. III	Eig. IV	...	Eig. VIII	Eig. IX
I_d	0.8333	0.8333	0	0	...	0	0
$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\ddots$	$\vdots$	$\vdots$
V_{dc}	0	0	0.0905	0.0905	...	0.5516	0.5516
$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\ddots$	$\vdots$	$\vdots$
X_v	0	0	0.0050	0.0050	...	0.7641	0.7641
$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\ddots$	$\vdots$	$\vdots$
V_{stab}	0	0	0.1876	0.1876	...	0.0544	0.0544
	Mode I		Mode II (Dominant mode)		...	Mode V	

ตารางที่ 6.7 เมตริกซ์ตัวประกอบการมีส่วนร่วมเมื่อมีการสร้างเสถียรภาพที่ $K_{FB} = 4.2568$ (กรณีที่ 2)

	Eig. I	Eig. II	Eig. III	Eig. IV	...	Eig. VIII	Eig. IX
I_d	0.8333	0.8333	0	0	...	0	0
$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\ddots$	$\vdots$	$\vdots$
V_{dc}	0	0	0.0904	0.0904	...	0.5770	0.5770
$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\ddots$	$\vdots$	$\vdots$
X_v	0	0	0.0061	0.0061	...	0.7830	0.7830
$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\ddots$	$\vdots$	$\vdots$
V_{stab}	0	0	0.2294	0.2294	...	0.0566	0.0566
	Mode I		Mode II (Dominant mode)		...	Mode V	

ตารางที่ 6.8 เมตริกซ์ตัวประกอบการมีส่วนร่วมเมื่อมีการสร้างเสถียรภาพที่ $K_{FB} = 4.1137$ (กรณีที่ 3)

	Eig. I	Eig. II	Eig. III	Eig. IV	...	Eig. VIII	Eig. IX
I_d	0.8333	0.8333	0	0	...	0	0
$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\ddots$	$\vdots$	$\vdots$
V_{dc}	0	0	0.1012	0.1012	...	0.6052	0.6052
$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\ddots$	$\vdots$	$\vdots$
X_v	0	0	0.0074	0.0074	...	0.8035	0.8035
$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\ddots$	$\vdots$	$\vdots$
V_{stab}	0	0	0.2753	0.2753	...	0.0590	0.0590
	Mode I		Mode II (Dominant mode)		...		Mode V

ตารางที่ 6.9 เมตริกซ์ตัวประกอบการมีส่วนร่วมเมื่อมีการสร้างเสถียรภาพที่ $K_{FB} = 3.9707$ (กรณีที่ 4)

	Eig. I	Eig. II	Eig. III	Eig. IV	...	Eig. VIII	Eig. IX
I_d	0.8333	0.8333	0	0	...	0	0
$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\ddots$	$\vdots$	$\vdots$
V_{dc}	0	0	0.1226	0.1226	...	0.6364	0.6364
$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\ddots$	$\vdots$	$\vdots$
X_v	0	0	0.0086	0.0086	...	0.8259	0.8259
$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\ddots$	$\vdots$	$\vdots$
V_{stab}	0	0	0.3236	0.3236	...	0.0618	0.0618
	Mode I		Mode II (Dominant mode)		...		Mode V

ตารางที่ 6.10 เมตริกซ์ตัวประกอบที่มีส่วนร่วมเมื่อมีการสร้างเสถียรภาพที่ $K_{FB} = 3.8277$ (กรณีที่ 5)

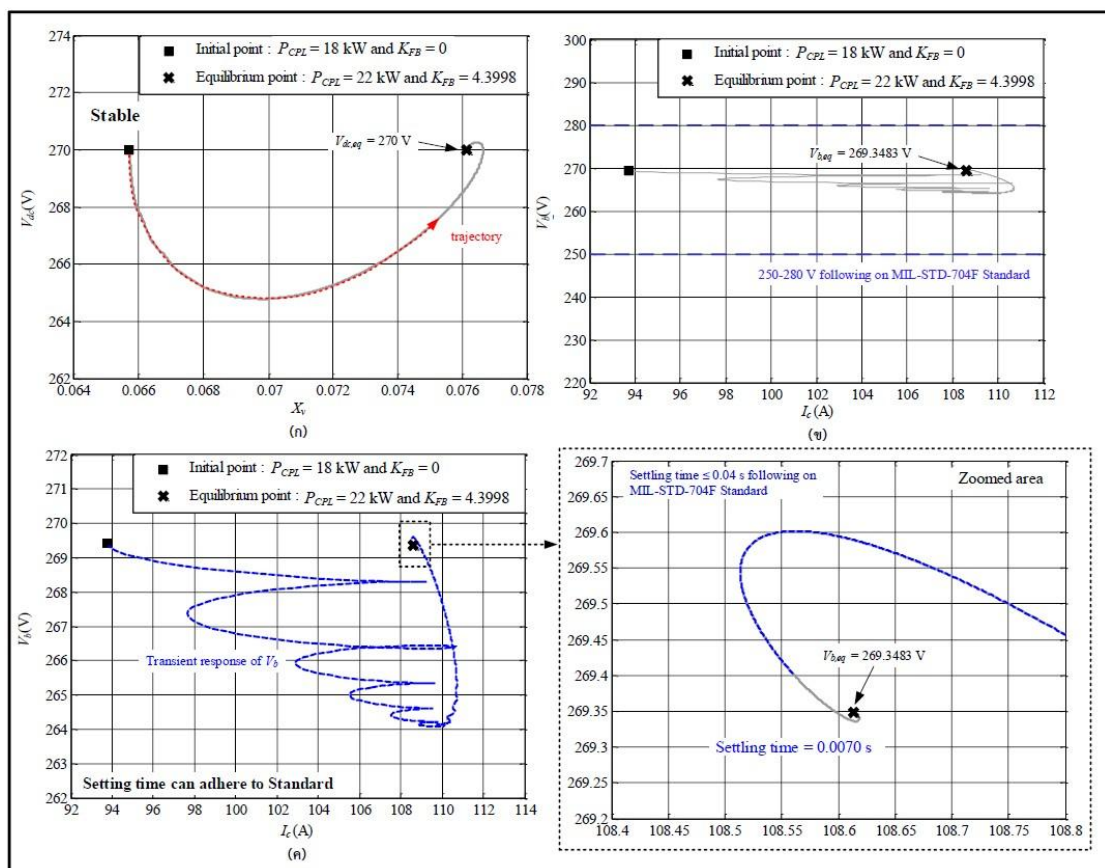
	Eig. I	Eig. II	Eig. III	Eig. IV	...	Eig. VIII	Eig. IX
I_d	0.8333	0.8333	0	0	...	0	0
$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\ddots$	$\vdots$	$\vdots$
V_{dc}	0	0	0.1499	0.1499	...	0.6714	0.6714
$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\ddots$	$\vdots$	$\vdots$
X_v	0	0	0.0097	0.0097	...	0.8504	0.8504
$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\ddots$	$\vdots$	$\vdots$
V_{stab}	0	0	0.3697	0.3697	...	0.0649	0.0649
	Mode I	Mode II (Dominant mode)			...	Mode V	

จากตารางที่ 6.6 ถึง 6.10 จะเห็นได้ว่า ตัวแปรสถานะ V_{dc} และ X_v ซึ่งมีนัยสำคัญมากที่สุด ในโหมดเด่นจะมีความเกี่ยวข้องกับค่าเจาะจงเด่นของระบบ ซึ่งจะแตกต่างจากผลการวิเคราะห์ตัวประกอบที่มีส่วนร่วมในกรณีที่ระบบมีการบรรเทาการขาดเสถียรภาพในหัวข้อที่ 5.3.2 และมีการสร้างเสถียรภาพเชิงปรับตัวในหัวข้อที่ 5.4.2 ของบทที่ 5 ที่ตัวแปรสถานะ I_c และ V_b จะมีความเกี่ยวข้องโดยตรงกับค่าเจาะจงเด่นของระบบ ทั้งนี้เนื่องจากค่าเจาะจงเด่นของระบบได้เปลี่ยนจาก λ_3 และ λ_4 ไปเป็น λ_8 และ λ_9 ดังแสดงได้ในรูปที่ 6.10 สำหรับข้อมูลทางเสถียรภาพที่ได้จากการวิเคราะห์หาตัวประกอบที่มีส่วนร่วมในหัวข้อนี้จะถูกนำไปใช้ในการพิจารณาเลือกตัวแปรสถานะ 2 ตัวแปรสำหรับสร้างระนาบเฟสในหัวข้อที่ 6.2.6 ต่อไป

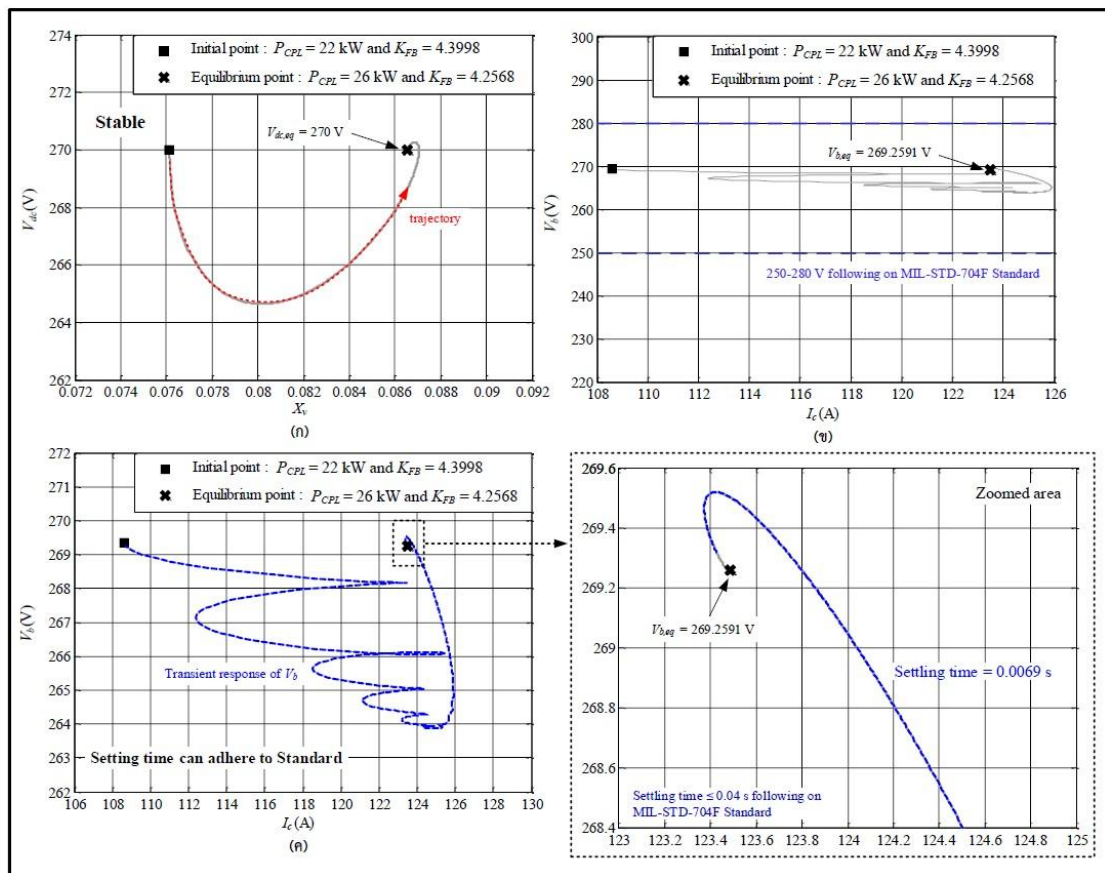
6.2.6 การวิเคราะห์ระนาบเฟส

การวิเคราะห์เสถียรภาพบนระนาบของตัวแปรสถานะด้วยการวิเคราะห์ระนาบเฟสเพื่อยืนยันประสิทธิภาพและความน่าเชื่อถือของผลการออกแบบสมการสร้างเสถียรภาพเชิงปรับตัวด้วยอัลกอริทึมการค้นหาแบบตามูเชิงปรับตัวในทางทฤษฎีจะดำเนินการในลักษณะเดียวกันกับการวิเคราะห์เสถียรภาพของระบบไฟฟ้ากำลังบนเครื่องบินที่ศึกษาในกรณีที่มีการสร้างเสถียรภาพเชิงปรับตัวด้วยวิธีการแบบดั้งเดิม ในหัวข้อที่ 5.4.3 ของบทที่ 5 นั่นคือ การวิเคราะห์และพิจารณารูปแบบการโคจรของคำตอบสมการอนุพันธ์บนระนาบเฟสเพื่อตรวจสอบทั้งเสถียรภาพของระบบและลักษณะเฉพาะของแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง (V_b) ตามมาตรฐาน MIL-STD-704F ในขณะที่ระดับกำลังไฟฟ้าของโหลดกำลังไฟฟ้าคงตัว (P_{CPL}) มีการเปลี่ยนแปลงจาก 22 kW ไปจนถึง 38 kW

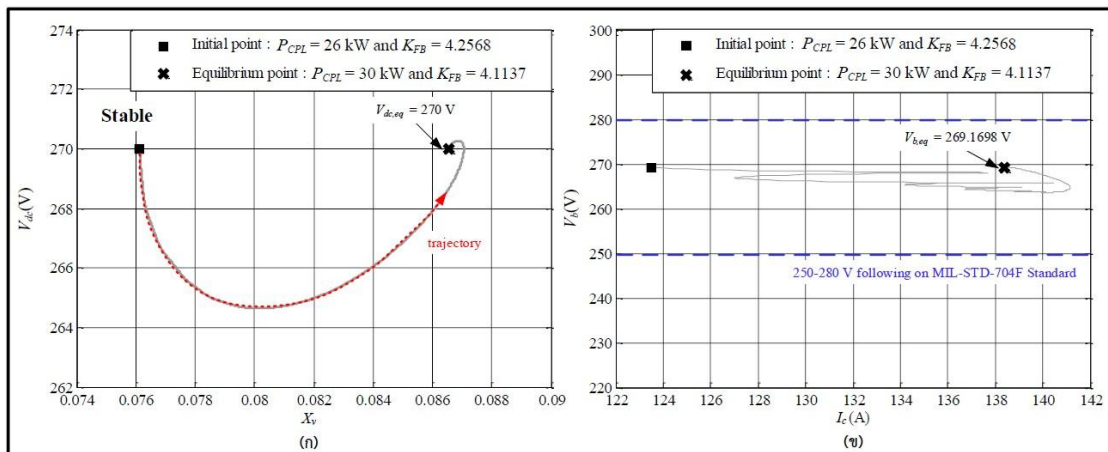
และค่าอัตราขยายป้อนกลับ (K_{FB}) ได้มีการปรับเปลี่ยนตามระดับกำลังไฟฟ้าของโหลดดังกล่าว โดยในส่วนของการวิเคราะห์เสถียรภาพของระบบจะพิจารณาจากการโคจรของคำตอบสมการอนุพันธ์บนระนาบเฟสของตัวแปรสถานะ V_{dc} และ X_v โดยตัวแปรสถานะทั้ง 2 ตัว เป็นตัวแปรสถานะที่มีความสัมพันธ์กับค่าเจาะจงเด่นซึ่งเป็นข้อมูลทางเสถียรภาพที่ได้จากการวิเคราะห์หาตัวประกอบมีส่วนร่วมในหัวข้อที่ผ่านมา ในขณะที่การตรวจสอบคุณลักษณะเฉพาะของแรงดันบัลไฟฟ้ากระแสตรง (V_b) จะอาศัยการวิเคราะห์จากการโคจรของคำตอบสมการอนุพันธ์บนระนาบเฟสของตัวแปรสถานะ I_c และ V_b โดยผลการวิเคราะห์ในทางทฤษฎีเพื่อยืนยันประสิทธิภาพและความน่าเชื่อถือของผลการออกแบบสมการสร้างเสถียรภาพเชิงปรับตัวด้วยการวิเคราะห์ระนาบเฟสเมื่อค่า P_{CPL} และค่า K_{FB} ที่พิจารณาตามตารางที่ 6.5 สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 6.13 ถึง 6.17 ตามลำดับ



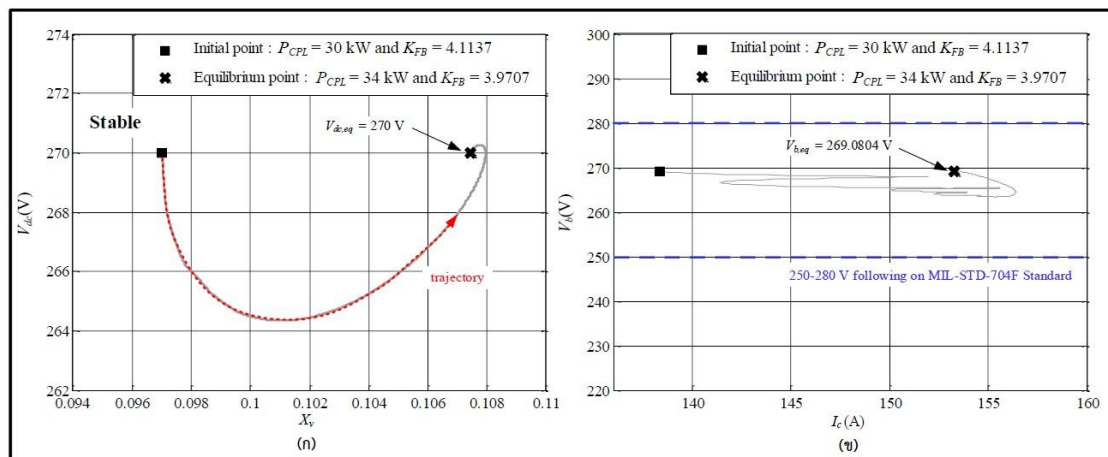
รูปที่ 6.13 การวิเคราะห์ระนาบเฟสเมื่อ $P_{CPL} = 22 \text{ kW}$ และ $K_{FB} = 4.3998$ (กรณีที่ 1) (ก) สำหรับพิจารณาเสถียรภาพของระบบ (ข) สำหรับพิจารณาแอมพลิจูดของ V_b (ค) สำหรับพิจารณา T_s



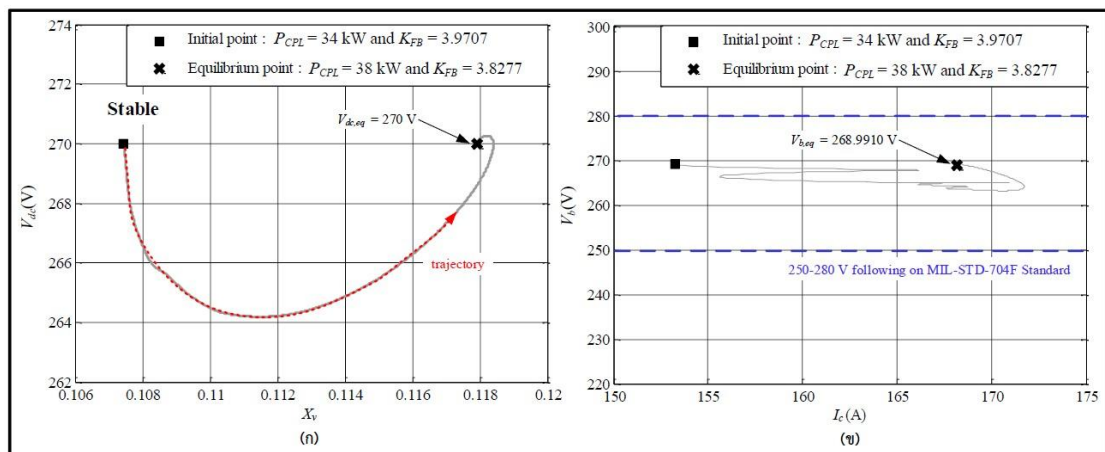
รูปที่ 6.14 การวิเคราะห์ระบบเฟสเมื่อ $P_{CPL} = 26$ kW และ $K_{FB} = 4.2568$ (กรณีที่ 2) (ก) สำหรับพิจารณาเสถียรภาพของระบบ (ข) สำหรับพิจารณาแอมพลิจูดของ V_b (ค) สำหรับพิจารณา T_s



รูปที่ 6.15 การวิเคราะห์ระบบเฟสเมื่อ $P_{CPL} = 30$ kW และ $K_{FB} = 4.1137$ (กรณีที่ 3) (ก) สำหรับพิจารณาเสถียรภาพของระบบ (ข) สำหรับพิจารณาแอมพลิจูดของ V_b



รูปที่ 6.16 การวิเคราะห์ระบบเฟสเมื่อ $P_{CPL} = 34$ kW และ $K_{FB} = 3.9707$ (กรณีที่ 4) (ก) สำหรับพิจารณาเสถียรภาพของระบบ (ข) สำหรับพิจารณาแอมพลิจูดของ V_b



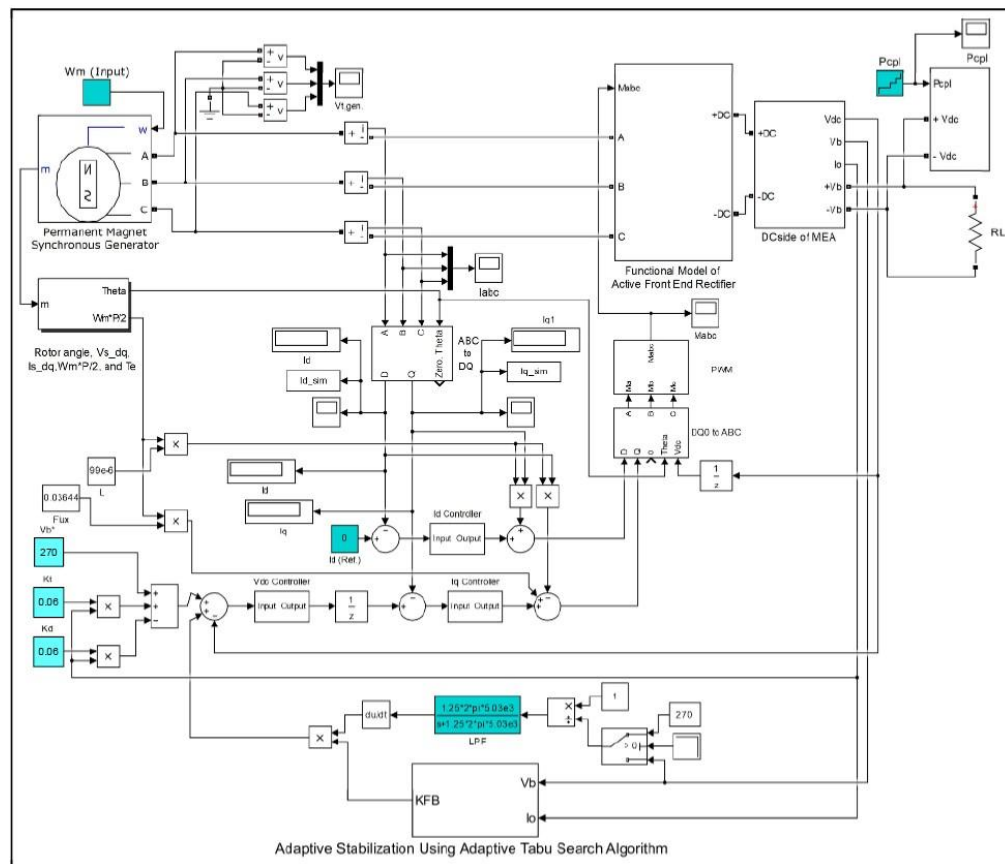
รูปที่ 6.17 การวิเคราะห์ระบบเฟสเมื่อ $P_{CPL} = 38$ kW และ $K_{FB} = 3.8277$ (กรณีที่ 5) (ก) สำหรับพิจารณาเสถียรภาพของระบบ (ข) สำหรับพิจารณาแอมพลิจูดของ V_b

จากรูปที่ 6.13 (ก) แสดงให้เห็นได้ว่า การโคจรของคำตอบสมการอนุพันธ์บนระนาบของตัวแปรสถานะ V_{dc} และ X_v เมื่อ P_{CPL} เท่ากับ 22 kW และ $K_{FB} = 4.3998$ จะเคลื่อนที่จากจุดเริ่มต้นและเข้าสู่จุดสมดุลหรือจุดปฏิบัติงานของระบบ (ดูได้จากเส้นประสีแดง) หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งคือระบบไฟฟ้าที่ศึกษาจะมีเสถียรภาพ ณ จุดปฏิบัติงานนี้ ดังนั้นจึงถือได้ว่า กลไกการตรวจสอบเสถียรภาพขณะทำการออกแบบภายในอัลกอริทึมการค้นหาแบบตาบู่เชิงปรับตัวสามารถทำงานได้อย่างถูกต้อง และเมื่อตรวจสอบลักษณะเฉพาะของแรงดันบัสไฟฟ้ากระแสตรง (V_b) ในส่วนของขนาดแรงดันไฟฟ้าในสภาวะอยู่ตัวและช่วงเวลาเข้าที่ (T_s) ผ่านการโคจรของคำตอบสมการอนุพันธ์ในรูปที่ 6.13 (ข) และรูปที่ 6.13 (ค) จะพบว่า แรงดันบัสไฟฟ้ากระแสตรง V_b ในสภาวะอยู่ตัวจะมีค่าอยู่ในช่วง 250 V ถึง 280 V ตามกรอบมาตรฐาน MIL-STD-704F และช่วงเวลาเข้าที่ (คำนวณได้จากการโคจรของคำตอบสมการอนุพันธ์ในสภาวะชั่วครู่ที่แสดงในเส้นสีน้ำเงิน) จะมีค่าเท่ากับ 0.007 วินาที ซึ่งมีค่าไม่เกิน 0.04 วินาที ตามที่มาตรฐานกำหนดไว้ ดังนั้นจึงถือได้ว่า กลไกการตรวจสอบคุณลักษณะของแรงดันบัสไฟฟ้ากระแสตรงและการประเมินสมรรถนะการควบคุมภายในอัลกอริทึมการค้นหาแบบตาบู่เชิงปรับตัวสามารถทำงานได้เป็นอย่างดี โดยสามารถปรับปรุงช่วงเวลาเข้าที่ของผลการตอบสนอง V_b ที่ได้จากวิธีการแบบดั้งเดิมในรูปที่ 5.22 ของบทที่ 5 ที่มีค่าเท่ากับ 0.7072 วินาที (ไม่เป็นไปตามมาตรฐาน MIL-STD-704F) ให้มีค่าลดลงเป็น 0.007 วินาที โดยรูปที่ 6.14 (ก) ได้แสดงการโคจรของคำตอบสมการอนุพันธ์บนระนาบของตัวแปรสถานะ V_{dc} และ X_v เมื่อ P_{CPL} เท่ากับ 26 kW และ $K_{FB} = 4.2568$ ซึ่งจะสังเกตได้ว่าการโคจรของคำตอบสมการอนุพันธ์จะเคลื่อนที่เข้าหาจุดปฏิบัติงานของระบบ ดังนั้น ณ จุดปฏิบัติงานนี้ระบบไฟฟ้าที่ศึกษาสามารถทำงานได้อย่างมีเสถียรภาพ และเมื่อพิจารณาในส่วนของขนาดแรงดันไฟฟ้าในสภาวะอยู่ตัวและช่วงเวลาเข้าที่ผ่านการโคจรของคำตอบสมการอนุพันธ์ใน

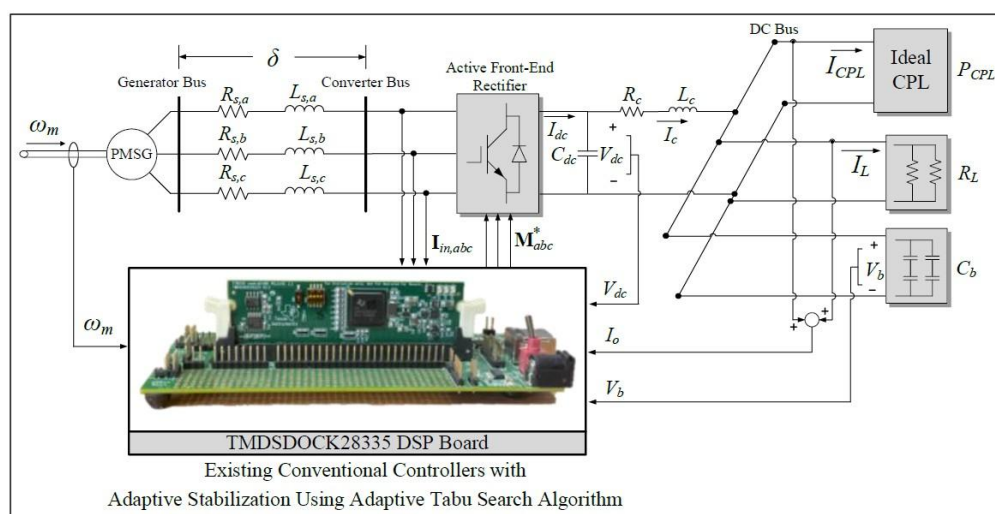
รูปที่ 6.14 (ข) และรูปที่ 6.14 (ค) จะพบว่า ทั้งแรงดันบัลไฟฟ้ากระแสตรง V_b ในสภาวะอยู่ตัวและช่วงเวลาเข้าที่จะอยู่ภายใต้กรอบมาตรฐาน MIL-STD-704F นั่นคือมีค่าอยู่ในช่วง 250 V ถึง 280 V และไม่เกิน 0.04 วินาที ตามลำดับ โดยสมรรถนะการควบคุมแรงดัน V_b ในส่วนของช่วงเวลาเข้าที่จะได้รับการปรับปรุงจาก 0.0556 วินาที (ดูได้จากการโคจรของคำตอบสมการอนุพันธ์ในรูปที่ 5.23 ของบทที่ 5) ไปเป็น 0.0069 วินาที สำหรับผลการวิเคราะห์ในทางทฤษฎีในกรณีอื่น ๆ จะให้ข้อสรุปเดียวกันกับผลการวิเคราะห์ที่ได้อธิบายไว้ข้างต้น ดังนั้นจึงถือได้ว่าการสร้างเสถียรภาพเชิงปรับตัวด้วยอัลกอริทึมการค้นหาแบบตาบู่เชิงปรับตัวที่ได้นำเสนอในงานวิจัยวิทยานิพนธ์เป็นวิธีการที่มีประสิทธิภาพสามารถทำให้ระบบไฟฟ้ากำลังบนเครื่องบินที่ศึกษามีเสถียรภาพทุก ๆ จุดปฏิบัติงานจนถึงระดับกำลังไฟฟ้าที่ค่าพิกัด อีกทั้งยังทำให้ผลการตอบสนองของแรงดัน V_b มีลักษณะเฉพาะเป็นตามมาตรฐาน MIL-STD-704F และเพื่อเป็นการเพิ่มความน่าเชื่อถือของผลการออกแบบสมการสร้างเสถียรภาพเชิงปรับตัวด้วยอัลกอริทึมการค้นหาแบบตาบู่เชิงปรับตัวให้มากยิ่งขึ้นจะอาศัยผลการจำลองสถานการณ์ผ่านชุดบล็อก SimPowerSystem™ บนโปรแกรม MATLAB และเทคนิคฮาร์ดแวร์ในลูป ซึ่งได้นำเสนอไว้ในหัวข้อถัดไป

6.2.7 การจำลองสถานการณ์สำหรับการสร้างเสถียรภาพเชิงปรับตัวด้วยอัลกอริทึมการค้นหาแบบตาบู่เชิงปรับตัว

การยืนยันประสิทธิภาพและความน่าเชื่อถือของผลการออกแบบสมการสร้างเสถียรภาพเชิงปรับตัวด้วยอัลกอริทึมการค้นหาแบบตาบู่เชิงปรับตัวในหัวข้อที่ 6.2.3 จะอาศัยชุดบล็อก SimPowerSystem™ บนโปรแกรม MATLAB แสดงได้ดังรูปที่ 6.18 และเทคนิคฮาร์ดแวร์ในลูปแสดงได้ดังรูปที่ 6.19 มาใช้ในการจำลองสถานการณ์ ณ จุดปฏิบัติงานเดียวกันเพื่อพิจารณาผลการสั่นไหวของแรงดันบัลไฟฟ้ากระแสตรง (V_b) และเปรียบเทียบผลตอบสนองของแรงดันไฟฟ้า V_b ที่ใช้สมการสร้างเสถียรภาพเชิงปรับตัวจากอัลกอริทึมการค้นหาแบบตาบู่เชิงปรับตัวและวิธีการแบบดั้งเดิม ซึ่งหลักการในการจำลองสถานการณ์จะทำการเพิ่มโหลดกำลังไฟฟ้าคงตัวจาก 18 kW ไปจนถึง 38 kW (ค่าพิกัดกำลังไฟฟ้าของโหลดกำลังไฟฟ้าคงตัว) ในขณะที่ค่าอัตราขยายป้อนกลับ (K_{FB}) จะมีการปรับเปลี่ยนค่าอย่างเหมาะสมตามสมการสร้างเสถียรภาพเชิงปรับตัวของแต่ละวิธี

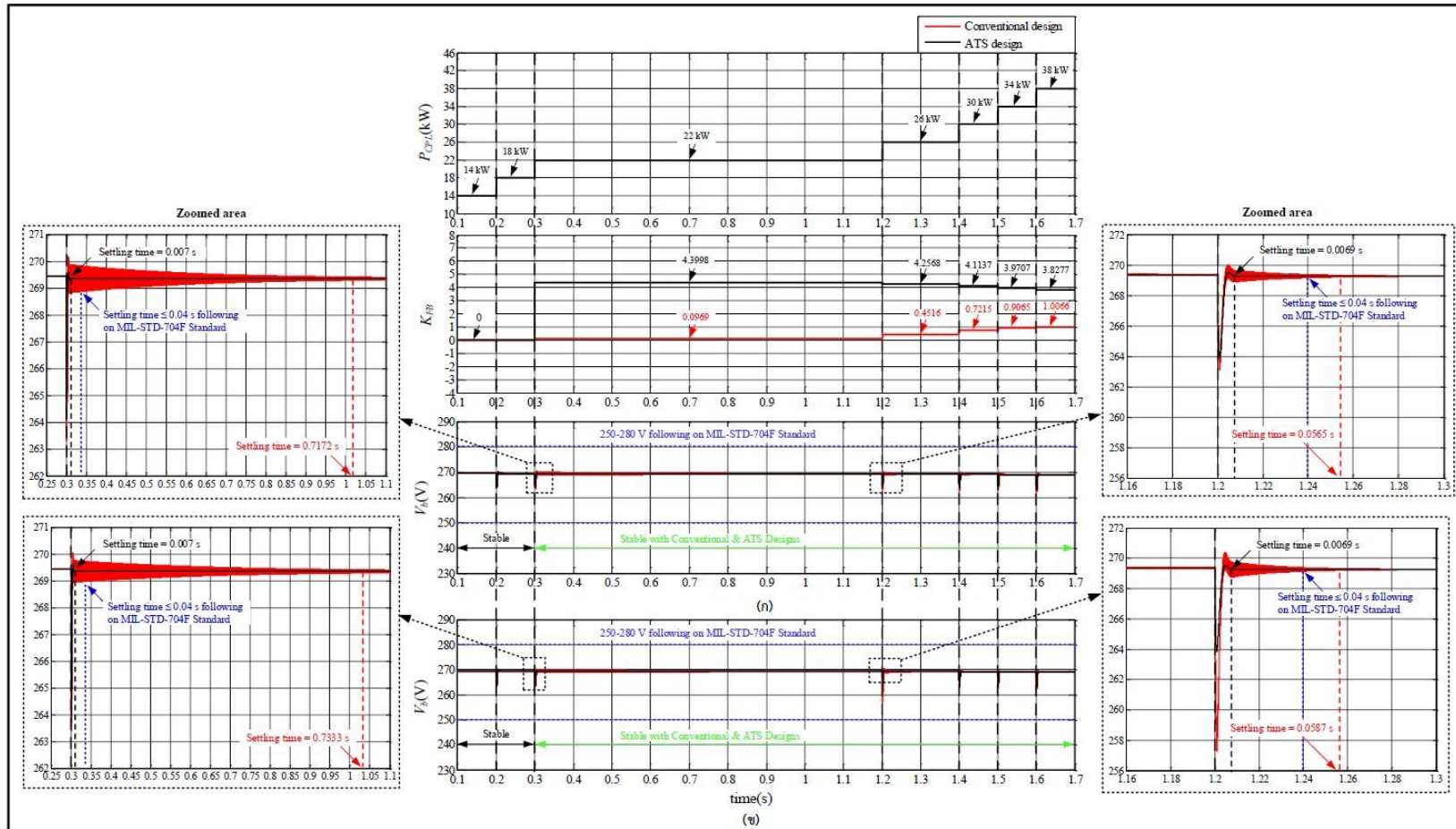


รูปที่ 6.18 ชุดบล็อก SimPowerSytem™ บนโปรแกรม MATLAB ของระบบที่มีการสร้างเสถียรภาพเชิงปรับตัวด้วยอัลกอริทึมการค้นหาแบบตาบู่เชิงปรับตัว



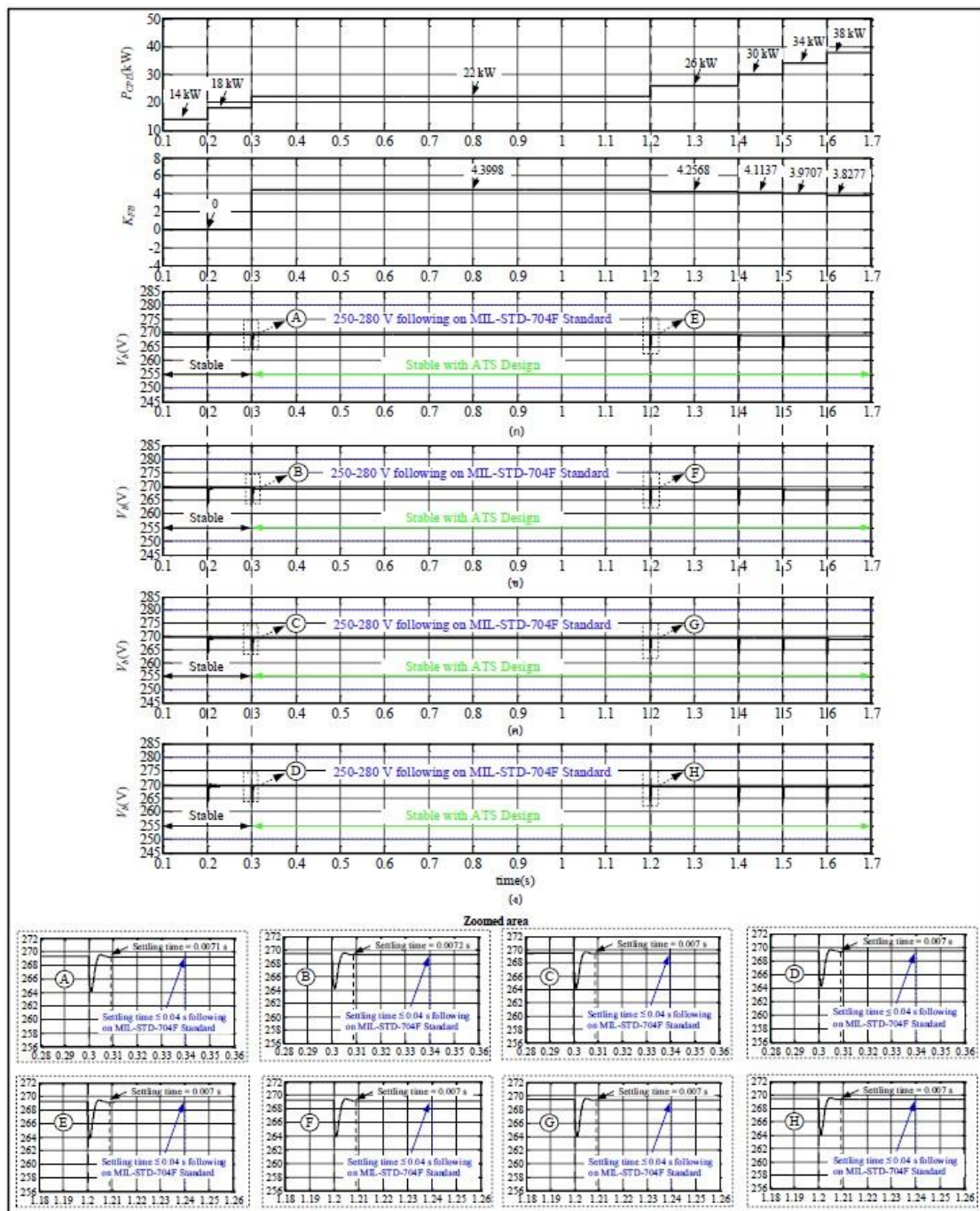
รูปที่ 6.19 บล็อกไดอะแกรมการจำลองสถานการณ์ของระบบที่มีการสร้างเสถียรภาพเชิงปรับตัวด้วยอัลกอริทึมการค้นหาแบบตาบู่เชิงปรับตัว

โดยผลการจำลองสถานการณ์สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 6.20 จากรูปที่ 6.20 สามารถยืนยันได้ว่า ระบบไฟฟ้ากำลังบนเครื่องบินที่ศึกษาเมื่อมีการสร้างเสถียรภาพเชิงปรับตัวด้วยวิธีการทั้งสองจะมีเสถียรภาพตลอดระยะทางและระยะเวลาทำการบิน ซึ่งดูได้จากผลการเข้าสู่ของแรงดันไฟฟ้า V_b ณ จุดปฏิบัติงานต่าง ๆ ที่ไม่มีการกระเพื่อมของแรงดันสูงขึ้นและมีค่าอยู่ในช่วง 250 V ถึง 280 V ตามกรอบมาตรฐาน MIL-STD-704F และเมื่อพิจารณาถึงสมรรถนะการควบคุมแรงดันไฟฟ้า V_b ผ่านพื้นที่ขยาย จะพบว่า สมการสร้างเสถียรภาพเชิงปรับตัวที่ได้รับการออกแบบผ่านอัลกอริทึมการค้นหาแบบตาบู่เชิงปรับตัวนั้นให้ผลตอบสนองของแรงดันไฟฟ้า V_b ที่มีการพุ่งลงทางด้านลบเพียงเล็กน้อยและสามารถเข้าสู่สภาวะอยู่ตัวได้อย่างรวดเร็วเมื่อเทียบกับผลตอบสนองที่ได้จากวิธีการแบบดั้งเดิมที่มีการพุ่งลงทางด้านลบที่มากกว่า อีกทั้งยังประสบปัญหาการแกว่งของรูปสัญญาณเป็นเวลานานจนกระทั่งทำให้ช่วงเวลาเข้าที่มีค่าเกิน 0.04 วินาที ตามที่มาตรฐานระบุไว้ในบางจุดปฏิบัติงาน ($P_{CPL} = 22$ kW และ $P_{CPL} = 26$ kW) นอกจากนี้ยังแสดงให้เห็นว่า ผลการออกแบบ ผลการวิเคราะห์ในทางทฤษฎี ผลการจำลองสถานการณ์ด้วยชุดบล็อก SimPowerSystem™ บนโปรแกรม MATLAB และผลการจำลองสถานการณ์ด้วยเทคนิคฮาร์ดแวร์ในรูปมีความสอดคล้องและคล้อยตามกันอย่างเห็นได้ชัดเจน อย่างไรก็ตามค่าพารามิเตอร์ของระบบบางค่าอาจมีการเปลี่ยนแปลงได้โดยเฉพาะอย่างยิ่งค่าความต้านทานที่สามารถแปรเปลี่ยนได้ตามอุณหภูมิ โดยการเปลี่ยนแปลงของค่าความต้านทานดังกล่าวอาจส่งผลต่อเสถียรภาพโดยรวมของระบบได้ ดังนั้นงานวิจัยวิทยานิพนธ์จึงได้จำลองสถานการณ์ในกรณีที่ค่าความต้านทานของสายส่งกำลังไฟฟ้า กระแสตรง (R_c) มีการเปลี่ยนแปลงเป็น $R_c+10\% = 6.6 \text{ m}\Omega$ และ $R_c-10\% = 5.4 \text{ m}\Omega$ ดังแสดงได้ในรูปที่ 6.21 รวมทั้งในกรณีที่ค่าความต้านทานของโหลด (R_L) มีการเปลี่ยนแปลงเป็น $R_L+10\% = 11 \Omega$ และ $R_L-10\% = 9 \Omega$ ดังแสดงได้ในรูปที่ 6.21 ในขณะที่การสร้างเสถียรภาพเชิงปรับตัวยังคงอาศัยสมการสร้างเสถียรภาพเชิงปรับตัวที่ได้รับการออกแบบด้วยอัลกอริทึมการค้นหาแบบตาบู่เชิงปรับตัว ในตารางที่ 6.4 ดั้งเดิม เพื่อรับประกันว่า การสร้างเสถียรภาพเชิงปรับตัวด้วยวิธีการที่น่าเสนอมีความคงทน (robustness) ต่อการเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์

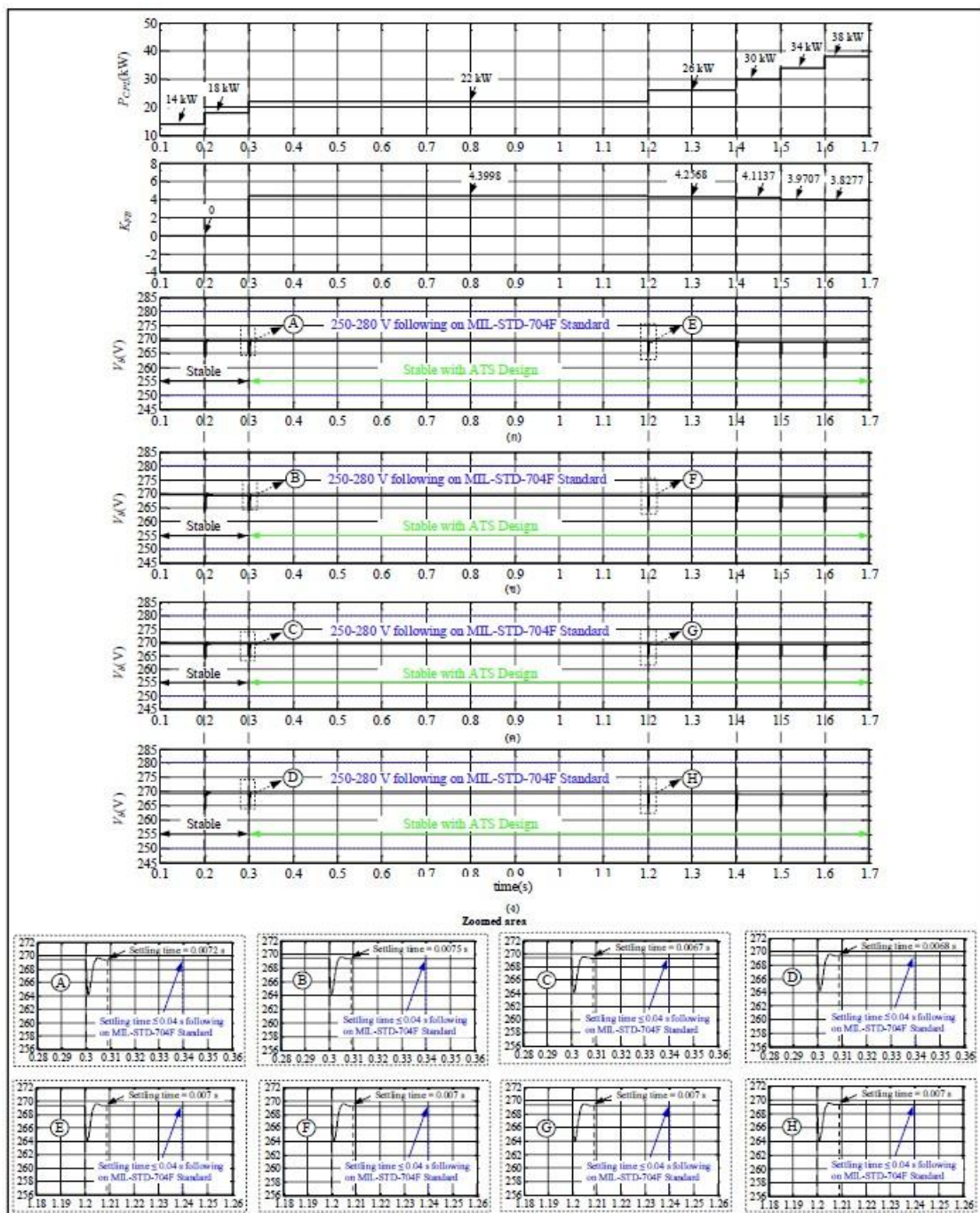


รูปที่ 6.20 การจำลองสถานการณ์เพื่อยืนยันผลการสร้างเสถียรภาพเชิงปรับตัวด้วยอัลกอริทึมการค้นหาแบบตาข่ายปรับตัว

(ก) ชุดบล็อก SimPowerSytem™ บนโปรแกรม MATLAB (ข) เทคนิคฮาร์ดแวร์ในลูป



รูปที่ 6.21 การยืนยันความคงทนต่อการเปลี่ยนแปลงของ R_c (ก) การจำลองสถานการณ์บนคอมพิวเตอร์เมื่อ $R_c+10\% = 6.6 \text{ m}\Omega$ (ข) การจำลองสถานการณ์ด้วยเทคนิคฮาร์ดแวร์ในลูปเมื่อ $R_c+10\% = 6.6 \text{ m}\Omega$ (ค) การจำลองสถานการณ์บนคอมพิวเตอร์เมื่อ $R_c-10\% = 5.4 \text{ m}\Omega$ (ง) การจำลองสถานการณ์ด้วยเทคนิคฮาร์ดแวร์ในลูปเมื่อ $R_c-10\% = 5.4 \text{ m}\Omega$



รูปที่ 6.22 การยืนยันความคงทนต่อการเปลี่ยนแปลงของ R_L (ก) การจำลองสถานการณ์บนคอมพิวเตอร์เมื่อ $R_L+10\% = 11 \Omega$ (ข) การจำลองสถานการณ์ด้วยเทคนิคฮาร์ดแวร์ในลูปเมื่อ $R_L+10\% = 11 \Omega$ (ค) การจำลองสถานการณ์บนคอมพิวเตอร์เมื่อ $R_L-10\% = 9 \Omega$ (ง) การจำลองสถานการณ์ด้วยเทคนิคฮาร์ดแวร์ในลูปเมื่อ $R_L-10\% = 9 \Omega$

จากรูปที่ 6.21 และรูปที่ 6.22 ได้แสดงให้เห็นว่า การสร้างเสถียรภาพเชิงปรับตัวด้วยอัลกอริทึมการค้นหาแบบตาบู่เชิงปรับตัวยังคงรักษาเสถียรภาพของระบบไฟฟ้ากำลังบนเครื่องบินที่ศึกษาไว้ได้จนถึงระดับกำลังไฟฟ้าที่ค่าพิกัด ถึงแม้ว่าค่า R_c และ R_L จะมีการเปลี่ยนแปลงในช่วง $\pm 10\%$ ก็ตาม อีกทั้งยังทำให้ผลการตอบสนองของแรงดันบัสไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไปตามกรอบมาตรฐาน MIL-STD-704F ทุกประการ ดังนั้นจึงถือได้ว่า การสร้างเสถียรภาพเชิงปรับตัวของระบบไฟฟ้ากำลังบนเครื่องบินที่ศึกษาด้วยอัลกอริทึมการค้นหาแบบตาบู่เชิงปรับตัวเป็นวิธีการที่มีความคงทนต่อการเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์และมีประสิทธิภาพสูง

6.3 สรุป

เนื้อหาในบทที่ 6 เป็นการนำเสนอการออกแบบสมการการสร้างเสถียรภาพเชิงปรับตัวของระบบไฟฟ้ากำลังบนเครื่องบินที่ใช้ไฟฟ้ามกขึ้นที่มีระบบจำหน่ายเป็นไฟฟ้ากระแสตรง แบบเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเดี่ยวและบัสเดี่ยว ผ่านการค้นหาค่าสัมประสิทธิ์ a_0 และ a_1 ของสมการโพลีโนเมียลอันดับหนึ่งด้วยการประยุกต์ใช้การบรรเทาการขาดเสถียรภาพด้วยลูกข่ายกับอัลกอริทึมการค้นหาแบบตาบู่เชิงปรับตัว โดยได้เริ่มต้นจากการนำเสนอหลักการและทฤษฎีพื้นฐานของการค้นหาแบบตาบู่เชิงปรับตัว รวมถึงกระบวนการออกแบบสมการการสร้างเสถียรภาพเชิงปรับตัวด้วยอัลกอริทึมการค้นหาแบบตาบู่เชิงปรับตัว ซึ่งในกระบวนการออกแบบอัลกอริทึมดังกล่าวจะได้รับการทดสอบหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุดทั้งหมด 5 ค่า คือ จำนวนคำตอบเริ่มต้น จำนวนคำตอบรอบข้าง ค่ารัศมีการค้นหา ค่าอัตราปรับลดรัศมี และจำนวนรอบการค้นหา อีกทั้งยังได้มีการกำหนดขอบเขตการค้นหาที่เหมาะสม ผลการออกแบบสมการการสร้างเสถียรภาพเชิงปรับตัวได้นำเสนอผลการเข้าสู่ของค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ (J) จำนวน 5 ครั้ง สำหรับนำมาใช้ในการพิจารณาค่าสัมประสิทธิ์ a_0 และ a_1 ของสมการการสร้างเสถียรภาพเชิงปรับตัวที่เหมาะสมที่สุดผ่านเงื่อนไขค่า J ที่น้อยที่สุด ซึ่งจะเห็นได้ว่าค่าสัมประสิทธิ์ a_0 และ a_1 ที่ได้จากการค้นหาทั้ง 5 ครั้งมีค่าที่ใกล้เคียงกันหรือเป็นชุดข้อมูลที่เกาะกลุ่มกัน ดังนั้นจึงเป็นการรับประกันได้ว่าค่าสัมประสิทธิ์ a_0 และ a_1 ที่เลือกใช้เป็นค่าที่เหมาะสมที่สุดกับการออกแบบสมการการสร้างเสถียรภาพเชิงปรับตัว สำหรับการยืนยันประสิทธิภาพและความน่าเชื่อถือของผลการออกแบบดังกล่าวจะอาศัยทั้งการวิเคราะห์เสถียรภาพโดยใช้ทฤษฎีบทค่าเจาะจง การวิเคราะห์ตัวประกอบมีส่วนร่วม และการวิเคราะห์ระนาบเฟสร่วมกับการจำลองสถานการณ์ด้วยชุดบล็อก SimPowerSystem™ บนโปรแกรม MATLAB และเทคนิคฮาร์ดแวร์ในรูป จากผลการออกแบบผลการวิเคราะห์ในทางทฤษฎี และผลการจำลองสถานการณ์ที่มีความสอดคล้องกัน แสดงให้เห็นอย่างชัดเจนว่า ค่าสัมประสิทธิ์ a_0 และ a_1 ของสมการการสร้างเสถียรภาพเชิงปรับตัวที่ได้รับการออกแบบด้วยอัลกอริทึมการค้นหาแบบตาบู่เชิงปรับตัวจะให้สมรรถนะการควบคุมแรงดันบัสไฟฟ้ากระแสตรง (V_b) ที่ดีกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับค่าสัมประสิทธิ์ a_0 และ a_1 ที่ออกแบบด้วยวิธีการแบบดั้งเดิม และ

สอดคล้องตามกรอบมาตรฐาน MIL-STD-704F อีกทั้งยังทำให้ระบบไฟฟ้ากำลังบนเครื่องบินที่ศึกษาทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพทุก ๆ จุดปฏิบัติงาน นอกจากนี้การสร้างเสถียรภาพเชิงปรับตัวด้วยอัลกอริทึมการค้นหาแบบตาบู่เชิงปรับตัวยังมีความคงทนต่อการเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ของระบบในช่วง $\pm 10\%$ อีกด้วย ซึ่งการดำเนินงานในลักษณะนี้ถือเป็นงานวิจัยต่อยอดจากงานวิจัยในอดีตและในปัจจุบันยังไม่มีงานวิจัยใด ๆ ที่นำแนวทางดังกล่าวมาพัฒนาใช้กับระบบไฟฟ้ากำลังบนเครื่องบินและการสร้างเสถียรภาพเชิงปรับตัว ดังนั้นจึงถือได้ว่าเป็นจุดเด่นของงานวิจัยวิทยานิพนธ์

สำหรับงานวิจัยวิทยานิพนธ์ของบทที่ 6 ในส่วนของการออกแบบสมการสร้างเสถียรภาพเชิงปรับตัวของระบบไฟฟ้ากำลังบนเครื่องบินที่ศึกษาด้วยอัลกอริทึมการค้นหาแบบตาบู่เชิงปรับตัวได้รับการจดลิขสิทธิ์โปรแกรมจำนวน 2 โปรแกรม โดยได้แสดงหนังสือแสดงการแจ้งข้อมูลลิขสิทธิ์ไว้ในภาคผนวก ก. ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

ยื่นคำขอลิขสิทธิ์ โปรแกรมการคำนวณค่าสมรรถนะของผลการตอบสนองพลวัตเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงสัญญาณโหลดแบบขั้นบันได

เลขที่คำขอ 421738 วันที่ 15 เดือน กันยายน พ.ศ. 2565

ยื่นคำขอลิขสิทธิ์ โปรแกรมการออกแบบสมการสร้างเสถียรภาพเชิงปรับตัวของระบบไฟฟ้ากำลังบนเครื่องบินด้วยอัลกอริทึมการค้นหาแบบตาบู่เชิงปรับตัว

เลขที่คำขอ 421743 วันที่ 15 เดือน กันยายน พ.ศ. 2565