

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ (ภาษาไทย)	ก
บทคัดย่อ (ภาษาอังกฤษ)	ค
กิตติกรรมประกาศ	จ
สารบัญ.....	ฉ
สารบัญตาราง	ฎ
สารบัญรูป.....	ณ

บทที่

1	บทนำ.....	1
1.1	ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2	วัตถุประสงค์ของงานวิจัย.....	3
1.3	ข้อตกลงเบื้องต้น.....	4
1.4	ขอบเขตของงานวิจัย	5
1.5	สมมติฐานการวิจัย	6
1.6	จุดเด่นของงานวิจัยวิทยานิพนธ์.....	6
1.7	ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	7
1.8	การจัดรูปแบบรายงานวิจัยวิทยานิพนธ์	7
2	ปริทัศน์วรรณกรรมและงานวิจัยในอดีตที่เกี่ยวข้อง	10
2.1	บทนำ.....	10
2.2	งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับสถาปัตยกรรมของระบบไฟฟ้ากำลังบนเครื่องบิน	10
2.3	งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับโหลดกำลังไฟฟ้าคงตัวที่ส่งผลต่อเสถียรภาพ.....	18
2.4	งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการพิสูจน์หาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์.....	22
2.5	งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการวิเคราะห์เสถียรภาพของระบบไฟฟ้า	28
2.6	งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการบรรเทาการขาดเสถียรภาพและ งานวิจัยที่ได้รับการพัฒนาในงานวิจัยวิทยานิพนธ์.....	33
2.7	สรุป	44

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

3	การพิสูจน์หาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของระบบไฟฟ้ากำลังบนเครื่องบิ นที่ใช้ไฟฟ้ามากขึ้นที่มีระบบจำหน่ายแบบไฟฟ้ากระแสตรง.....	45
3.1	บทนำ	45
3.2	ระบบไฟฟ้ากำลังบนเครื่องบิที่ใช้ไฟฟ้ามากขึ้นที่มี ระบบจำหน่ายแบบไฟฟ้ากระแสตรง.....	45
3.3	การพิสูจน์หาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของระบบไฟฟ้ากำลัง บนเครื่องบิที่ศึกษา	47
3.3.1	การพิสูจน์หาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของระบบ ในกรณีที่ไม่มีการควบคุม	48
3.3.2	การคำนวณหาค่ามุต่งเฟสระหว่างแรงดันไฟฟ้าภายในและ แรงดันไฟฟ้าที่ขั้วของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าด้วย ทฤษฎีการไหลของกำลังไฟฟ้า	55
3.3.3	การตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์	58
3.3.4	การพิสูจน์หาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของระบบ ในกรณีที่มีการควบคุม	61
3.3.5	การทำให้เป็นเชิงเส้นของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์.....	72
3.3.6	การตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์	73
3.4	สรุป.....	76
4	การวิเคราะห์เสถียรภาพของระบบไฟฟ้ากำลังบนเครื่องบิ นที่ใช้ไฟฟ้ามากขึ้นที่มีระบบจำหน่ายแบบไฟฟ้ากระแสตรง.....	78
4.1	บทนำ	78
4.2	การวิเคราะห์เสถียรภาพของระบบไฟฟ้ากำลังบนเครื่องบิที่ศึกษา	78
4.2.1	มาตรฐาน MIL-STD-704F	79
4.2.2	การวิเคราะห์เสถียรภาพด้วยทฤษฎีบทค่าเจาะจง	80
4.2.3	การวิเคราะห์ตัวประกอบการมีส่วนร่วม.....	82
4.2.4	การวิเคราะห์เสถียรภาพด้วยการวิเคราะห์ระนาบเฟส	88
4.3	การยืนยันผลการวิเคราะห์เสถียรภาพ.....	91

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

4.4	การศึกษาผลกระทบที่มีต่อเสถียรภาพอันเนื่องมาจากการเปลี่ยนแปลง ค่าพารามิเตอร์ของระบบ	96
4.4.1	การศึกษาผลกระทบของตัวเก็บประจุทางด้านไฟฟ้ากระแสตรง.....	96
4.4.2	การศึกษาผลกระทบของความยาวของสายส่งกำลังไฟฟ้า	99
4.4.3	การศึกษาผลกระทบของตัวเก็บประจุของบัสไฟฟ้ากระแสตรง.....	102
4.4.4	การศึกษาผลกระทบของอัตราส่วนการหน่วงของ ลูปควบคุมแรงดันและกระแส	105
4.4.5	การศึกษาผลกระทบของความถี่ธรรมชาติของ ลูปควบคุมแรงดันและกระแสไฟฟ้า.....	108
4.4.6	การศึกษาผลกระทบของค่าอัตราการขยายรูปและ ค่าอัตราการขยายรูปรวม.....	112
4.5	สรุป.....	115
5	การบรรเทาการขาดเสถียรภาพด้วยเทคนิคลูปยกเล็กและ การสร้างเสถียรภาพเชิงปรับตัวด้วยวิธีการแบบดั้งเดิม.....	117
5.1	บทนำ.....	117
5.2	การบรรเทาการขาดเสถียรภาพของระบบไฟฟ้ากำลังบนเครื่องบินที่ศึกษา โดยใช้เทคนิคลูปยกเล็ก.....	118
5.2.1	หลักการบรรเทาการขาดเสถียรภาพด้วยเทคนิคลูปยกเล็ก ของระบบที่ศึกษา.....	118
5.2.2	การพิสูจน์หาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของระบบเมื่อ มีการบรรเทาการขาดเสถียรภาพโดยใช้เทคนิคลูปยกเล็ก.....	121
5.2.3	การทำให้เป็นเชิงเส้นของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์.....	125
5.2.4	การตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์	126
5.3	การวิเคราะห์เสถียรภาพของระบบที่มีการบรรเทาการขาดเสถียรภาพ โดยใช้เทคนิคลูปยกเล็ก.....	128
5.3.1	การวิเคราะห์เสถียรภาพของระบบที่มี การบรรเทาการขาดเสถียรภาพด้วยทฤษฎีบทค่าเจาะจง.....	129

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

5.3.2	การวิเคราะห์ตัวประกอบที่มีส่วนร่วมของระบบที่มี การบรรเทาการขาดเสถียรภาพ	132
5.3.3	การวิเคราะห์เสถียรภาพของระบบที่มี การบรรเทาการขาดเสถียรภาพด้วยการวิเคราะห์ระนาบเฟส.....	137
5.3.4	การยืนยันผลการบรรเทาการขาดเสถียรภาพ	143
5.4	การสร้างเสถียรภาพเชิงปรับตัวด้วยวิธีการแบบดั้งเดิม	147
5.4.1	การวิเคราะห์เสถียรภาพบนระนาบเอสด้วย ทฤษฎีบทค่าเจาะจงสำหรับระบบที่มี การสร้างเสถียรภาพเชิงปรับตัวด้วยวิธีการแบบดั้งเดิม	151
5.4.2	การวิเคราะห์ตัวประกอบที่มีส่วนร่วมของระบบที่มี การสร้างเสถียรภาพเชิงปรับตัวด้วยวิธีการแบบดั้งเดิม.....	152
5.4.3	การวิเคราะห์ระนาบเฟสของระบบที่มี การสร้างเสถียรภาพเชิงปรับตัวด้วยวิธีการแบบดั้งเดิม.....	155
5.4.4	การจำลองสถานการณ์สำหรับการสร้างเสถียรภาพเชิงปรับตัว ด้วยวิธีการแบบดั้งเดิม	160
5.5	สรุป.....	163
6	การสร้างเสถียรภาพเชิงปรับตัวด้วยอัลกอริทึม	
	การค้นหาแบบตาบู่เชิงปรับตัว	166
6.1	บทนำ	166
6.2	การออกแบบสมการสร้างเสถียรภาพเชิงปรับตัวด้วยอัลกอริทึม	
	การค้นหาแบบตาบู่เชิงปรับตัว	166
6.2.1	หลักการและทฤษฎีพื้นฐานของการค้นหาแบบตาบู่เชิงปรับตัว	167
6.2.2	กระบวนการออกแบบสมการสร้างเสถียรภาพเชิงปรับตัว	170
6.2.3	ผลการออกแบบสมการสร้างเสถียรภาพเชิงปรับตัว.....	175
6.2.4	การวิเคราะห์เสถียรภาพด้วยทฤษฎีบทค่าเจาะจง.....	179
6.2.5	การวิเคราะห์ตัวประกอบที่มีส่วนร่วม.....	181
6.2.6	การวิเคราะห์ระนาบเฟส.....	184

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

6.2.7	การจำลองสถานการณ์สำหรับการสร้างเสถียรภาพเชิงปรับตัว ด้วยอัลกอริทึมการค้นหาแบบตาข่ายเชิงปรับตัว	189
6.3	สรุป	195
7	การสร้างชุดทดสอบและผลการทดสอบของระบบไฟฟ้ากำลัง บนเครื่องบินที่มีการสร้างเสถียรภาพเชิงปรับตัวด้วย อัลกอริทึมการค้นหาแบบตาข่ายเชิงปรับตัว	197
7.1	บทนำ	197
7.2	ระบบไฟฟ้ากำลังบนเครื่องบินที่ศึกษาและมาตรฐาน MIL-STD-704F ของชุดทดสอบ	198
7.2.1	ระบบไฟฟ้ากำลังบนเครื่องบินที่ศึกษาของชุดทดสอบ	198
7.2.2	มาตรฐาน MIL-STD-704F ของชุดทดสอบ	199
7.3	การสร้างชุดทดสอบของระบบไฟฟ้ากำลังบนเครื่องบินที่มี การสร้างเสถียรภาพเชิงปรับตัวด้วย อัลกอริทึมการค้นหาแบบตาข่ายเชิงปรับตัว	200
7.3.1	ระบบผลิตไฟฟ้ากระแสสลับ	201
7.3.2	วงจรเรียงกระแสภาคหน้าแบบแอททีฟและตัวควบคุม	202
7.3.3	วงจรทางด้านไฟฟ้ากระแสตรง	209
7.3.4	โหลดต่าง ๆ ของระบบไฟฟ้าที่ศึกษา	211
7.3.5	การทดสอบสมรรถนะการควบคุมของชุดทดสอบ ตามมาตรฐาน MIL-STD-704F	215
7.4	การศึกษาวิถัยเกี่ยวกับเสถียรภาพของ ชุดทดสอบระบบไฟฟ้ากำลังบนเครื่องบิน	217
7.4.1	การพิสูจน์หาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของชุดทดสอบ	217
7.4.2	การวิเคราะห์เสถียรภาพของชุดทดสอบที่มี การบรรเทาการขาดเสถียรภาพ	231
7.4.3	การสร้างเสถียรภาพเชิงปรับตัวด้วย วิธีการแบบดั้งเดิมของชุดทดสอบ	244

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

7.4.4	การสร้างเสถียรภาพเชิงปรับตัวด้วยอัลกอริทึม การค้นหาแบบตาบู่เชิงปรับตัวของชุดทดสอบ	246
7.5	ผลการทดสอบเสถียรภาพของชุดทดสอบระบบไฟฟ้ากำลัง บนเครื่องบินที่ศึกษาวิจัย.....	259
7.5.1	การทดสอบสภาวะขาดเสถียรภาพ	259
7.5.2	การทดสอบการบรรเทาการขาดเสถียรภาพ	261
7.5.3	การทดสอบการสร้างเสถียรภาพเชิงปรับตัวด้วยวิธีการแบบดั้งเดิม	264
7.5.4	การทดสอบการสร้างเสถียรภาพเชิงปรับตัวด้วย อัลกอริทึมการค้นหาแบบตาบู่เชิงปรับตัว	267
7.6	สรุป	269
8	สรุปและข้อเสนอแนะ	272
8.1	สรุป	272
8.2	สรุปจุดเด่นของงานวิจัยวิทยานิพนธ์	278
8.3	ข้อเสนอแนะสำหรับงานวิจัยในอนาคต	279
	รายการอ้างอิง	280
	ภาคผนวก	
ภาคผนวก ก.	ผลงานวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์และเผยแพร่ในระหว่างศึกษา	290
ภาคผนวก ข.	โปรแกรมการคำนวณการไหลของกำลังไฟฟ้าด้วย การคำนวณเชิงคณิตศาสตร์ของนิวตัน – ราวสันสำหรับ คำนวณหาค่ามุมต่างเฟสระหว่างแรงดันไฟฟ้าภายใน และแรงดันไฟฟ้าที่ขั้วของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า	348
ภาคผนวก ค.	สมการในรูปแบบทั่วไปของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ที่ถูกทำให้เป็นเชิงเส้น	352
ภาคผนวก ง.	การทดสอบหาค่าพารามิเตอร์ของอัลกอริทึม การค้นหาแบบตาบู่เชิงปรับตัวที่เหมาะสมที่สุดสำหรับ การออกแบบสมการสร้างเสถียรภาพเชิงปรับตัว	360
ภาคผนวก จ.	โปรแกรมการควบคุมแรงดันบัสไฟฟ้ากระแสตรงของชุดทดสอบ ระบบไฟฟ้ากำลังบนเครื่องบิน	368
	ประวัติผู้เขียน	379

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับสถาปัตยกรรมของระบบไฟฟ้ากำลังบนเครื่องบิน	11
2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับโหลดกำลังไฟฟ้าคงตัวที่ส่งผลต่อเสถียรภาพ	18
2.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการพิสูจน์หาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์	23
2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการวิเคราะห์เสถียรภาพของระบบไฟฟ้า	28
2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการบรรเทาการขาดเสถียรภาพของระบบไฟฟ้า	33
2.6 ข้อดีและข้อเสียของการบรรเทาการขาดเสถียรภาพด้วยวิธีแบบแยกทีฟ	42
2.7 ข้อดีและข้อเสียของการสร้างเสถียรภาพเชิงปรับตัว	44
3.1 พารามิเตอร์ของระบบไฟฟ้าบนเครื่องบินที่ศึกษาในกรณีที่ไม่มีการควบคุม	59
3.2 พารามิเตอร์ของตัวควบคุมแบบเวกเตอร์บนแกนดีคิว	74
4.1 เมตริกซ์เวกเตอร์ลักษณะเฉพาะซ้าย ณ จุดขาดเสถียรภาพ	85
4.2 เมตริกซ์เวกเตอร์ลักษณะเฉพาะขวา ณ จุดขาดเสถียรภาพ	86
4.3 เมตริกซ์ค่าเจาะจง ณ จุดขาดเสถียรภาพ	87
4.4 เมตริกซ์ตัวประกอบการมีส่วนร่วม ณ จุดขาดเสถียรภาพ	88
5.1 ค่า P_{CPL} และ K_{FB} สำหรับการบรรเทาการขาดเสถียรภาพ ด้วยเทคนิคลูปลูกเล็ก	133
5.2 เมตริกซ์ตัวประกอบการมีส่วนร่วมเมื่อมี การบรรเทาการขาดเสถียรภาพที่ $K_{FB} = 0$ (กรณีที่ 1)	133
5.3 เมตริกซ์ตัวประกอบการมีส่วนร่วมเมื่อมี การบรรเทาการขาดเสถียรภาพที่ $K_{FB} = 0.1$ (กรณีที่ 2)	134
5.4 เมตริกซ์ตัวประกอบการมีส่วนร่วมเมื่อมี การบรรเทาการขาดเสถียรภาพที่ $K_{FB} = 0.46$ (กรณีที่ 3)	134
5.5 เมตริกซ์ตัวประกอบการมีส่วนร่วมเมื่อมี การบรรเทาการขาดเสถียรภาพที่ $K_{FB} = 0.72$ (กรณีที่ 4)	135
5.6 เมตริกซ์ตัวประกอบการมีส่วนร่วมเมื่อมี การบรรเทาการขาดเสถียรภาพที่ $K_{FB} = 0.9$ (กรณีที่ 5)	135

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
5.7 เมตริกซ์ตัวประกอบการมีส่วนร่วมเมื่อมี การบรรเทาการขาดเสถียรภาพที่ $K_{FB} = 1.01$ (กรณีที่ 6).....	136
5.8 เมตริกซ์ตัวประกอบการมีส่วนร่วมเมื่อมี การบรรเทาการขาดเสถียรภาพที่ $K_{FB} = 9.02$ (กรณีที่ 7).....	136
5.9 ค่า P_{CPL} และ K_{FB} สำหรับการสร้างเสถียรภาพเชิงปรับตัวด้วยวิธีการแบบดั้งเดิม	152
5.10 เมตริกซ์ตัวประกอบการมีส่วนร่วมเมื่อมี การสร้างเสถียรภาพที่ $K_{FB} = 0.0969$ (กรณีที่ 1).....	153
5.11 เมตริกซ์ตัวประกอบการมีส่วนร่วมเมื่อมี การสร้างเสถียรภาพที่ $K_{FB} = 0.4516$ (กรณีที่ 2).....	153
5.12 เมตริกซ์ตัวประกอบการมีส่วนร่วมเมื่อมี การสร้างเสถียรภาพที่ $K_{FB} = 0.7215$ (กรณีที่ 3).....	154
5.13 เมตริกซ์ตัวประกอบการมีส่วนร่วมเมื่อมี การสร้างเสถียรภาพที่ $K_{FB} = 0.9065$ (กรณีที่ 4).....	154
5.14 เมตริกซ์ตัวประกอบการมีส่วนร่วมเมื่อมี การสร้างเสถียรภาพที่ $K_{FB} = 1.0066$ (กรณีที่ 5).....	155
6.1 การปรับตั้งค่าระดับกำลังไฟฟ้าของโหลดกำลังไฟฟ้าคงตัว.....	171
6.2 พารามิเตอร์ของอัลกอริทึมการค้นหาแบบตาบู่เชิงปรับตัว	174
6.3 ขอบเขตการค้นหาค่าสัมประสิทธิ์ของสมการสร้างเสถียรภาพเชิงปรับตัว	175
6.4 ค่าสัมประสิทธิ์ที่เหมาะสมที่สุดของสมการสร้างเสถียรภาพเชิงปรับตัว	176
6.5 ค่า P_{CPL} และ K_{FB} สำหรับการสร้างเสถียรภาพเชิงปรับตัว ด้วยอัลกอริทึมการค้นหาแบบตาบู่เชิงปรับตัว	179
6.6 เมตริกซ์ตัวประกอบการมีส่วนร่วมเมื่อมี การสร้างเสถียรภาพที่ $K_{FB} = 4.3998$ (กรณีที่ 1).....	182
6.7 เมตริกซ์ตัวประกอบการมีส่วนร่วมเมื่อมี การสร้างเสถียรภาพที่ $K_{FB} = 4.2568$ (กรณีที่ 2).....	182

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
6.8 เมตริกซ์ตัวประกอบการมีส่วนร่วมเมื่อมี การสร้างเสถียรภาพที่ $K_{FB} = 4.1137$ (กรณีที่ 3).....	183
6.9 เมตริกซ์ตัวประกอบการมีส่วนร่วมเมื่อมี การสร้างเสถียรภาพที่ $K_{FB} = 3.9707$ (กรณีที่ 4).....	183
6.10 เมตริกซ์ตัวประกอบการมีส่วนร่วมเมื่อมี การสร้างเสถียรภาพที่ $K_{FB} = 3.8277$ (กรณีที่ 5).....	184
7.1 พารามิเตอร์ของตัวควบคุมพีไอของวงจรแปลงผันแบบบัส.....	214
7.2 พารามิเตอร์ของชุดทดสอบระบบไฟฟ้าบนเครื่องบินที่ศึกษา.....	229
7.3 ค่า P_{CPL} และ K_{FB} สำหรับการบรรเทาการขาดเสถียรภาพของชุดทดสอบ.....	235
7.4 เมตริกซ์ตัวประกอบการมีส่วนร่วมของชุดทดสอบเมื่อ $K_{FB} = 0$ (กรณีที่ 1).....	236
7.5 เมตริกซ์ตัวประกอบการมีส่วนร่วมของชุดทดสอบเมื่อ $K_{FB} = 0.1$ (กรณีที่ 2).....	236
7.6 เมตริกซ์ตัวประกอบการมีส่วนร่วมของชุดทดสอบเมื่อ $K_{FB} = 0.15$ (กรณีที่ 3).....	237
7.7 เมตริกซ์ตัวประกอบการมีส่วนร่วมของชุดทดสอบเมื่อ $K_{FB} = 0.19$ (กรณีที่ 4).....	237
7.8 เมตริกซ์ตัวประกอบการมีส่วนร่วมของชุดทดสอบเมื่อ $K_{FB} = 6.73$ (กรณีที่ 5).....	238
7.9 ค่า P_{CPL} และ K_{FB} สำหรับการสร้างเสถียรภาพเชิงปรับตัวด้วย วิธีการแบบดั้งเดิมของชุดทดสอบ.....	246
7.10 จดปฏิบัติงานของชุดทดสอบระบบไฟฟ้ากำลังบนเครื่องบินที่ศึกษา.....	247
7.11 พารามิเตอร์ของอัลกอริทึมการค้นหาแบบตาบู่เชิงปรับตัวสำหรับชุดทดสอบ.....	248
7.12 ขอบเขตการค้นหาค่าสัมประสิทธิ์ของสมการสร้างเสถียรภาพเชิงปรับตัว สำหรับชุดทดสอบ.....	248
7.13 ค่าสัมประสิทธิ์ที่เหมาะสมที่สุดของสมการสร้างเสถียรภาพเชิงปรับตัว สำหรับชุดทดสอบ.....	250
7.14 ค่า P_{CPL} และ K_{FB} สำหรับการสร้างเสถียรภาพเชิงปรับตัว ด้วยอัลกอริทึมการค้นหาแบบตาบู่เชิงปรับตัวของชุดทดสอบ.....	252
7.15 เมตริกซ์ตัวประกอบการมีส่วนร่วมเมื่อมี การสร้างเสถียรภาพที่ $K_{FB} = 1.3504$ (กรณีที่ 1).....	254

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
7.16 เมตริกซ์ตัวประกอบมีส่วนร่วมเมื่อมี การสร้างเสถียรภาพที่ $K_{FB} = 1.7245$ (กรณีที่ 2).....	254
7.17 เมตริกซ์ตัวประกอบมีส่วนร่วมเมื่อมี การสร้างเสถียรภาพที่ $K_{FB} = 2.0986$ (กรณีที่ 3).....	255

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 สถาปัตยกรรมของเครื่องบิน (ก) เครื่องบินยุคแรก (ข) เครื่องบินที่ใช้ไฟฟ้ามากขึ้น	14
2.2 ผังของเครื่องบินยุคแรกและเครื่องบินที่ใช้ไฟฟ้ามากขึ้น	16
2.3 ระบบไฟฟ้ากำลังบนเครื่องบินที่ใช้ไฟฟ้ามากขึ้น แบบเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเดี่ยวและแบตเตอรี่	16
2.4 คุณลักษณะสมบัติของโหลดกำลังไฟฟ้าคงตัว	21
2.5 เสถียรภาพของระบบไฟฟ้ากำลัง (ก) ก่อนการเชื่อมต่อกับ โหลดกำลังไฟฟ้าคงตัว (ข) หลังการเชื่อมต่อกับโหลดกำลังไฟฟ้าคงตัว	21
2.6 ส่วนประกอบของเครื่องบินที่เป็นโหลดกำลังไฟฟ้าคงตัว	22
2.7 ระดับของการพิสูจน์หาแบบจำลองของระบบไฟฟ้ากำลัง บนเครื่องบินที่ใช้ไฟฟ้ามากขึ้น	26
2.8 แผนภาพสรุปวิธีในการพิสูจน์หาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์	26
2.9 แผนภาพสรุปการวิเคราะห์เสถียรภาพของระบบไฟฟ้า	31
2.10 แผนภาพสรุปการบรรเทาการขาดเสถียรภาพของระบบไฟฟ้า	41
3.1 ระบบไฟฟ้ากำลังบนเครื่องบินที่สนใจศึกษา	47
3.2 วงจรสมมูลของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเชิงโรตารี่ชนิดแม่เหล็กถาวรบนแกนดีคิว	49
3.3 วงจรเรียงกระแสภาคหน้าแบบแอททีฟ	49
3.4 วงจรเรียงกระแสภาคหน้าแบบแอททีฟบนแกนดีคิว	52
3.5 แผนภาพเวกเตอร์สำหรับการแปลงดีคิว	52
3.6 วงจรสมมูลอย่างง่ายบนแกนดีคิวของระบบไฟฟ้ากำลังบนเครื่องบิน ในกรณีที่ไม่มีการควบคุม	53
3.7 แผนภาพการวิเคราะห์การไหลของกำลังไฟฟ้าหนึ่งเฟส	56
3.8 ชุดบล็อก SimPowerSytem TM บนโปรแกรม MATLAB ของ ระบบไฟฟ้ากำลังบนเครื่องบินที่ศึกษากรณีที่ไม่มีการควบคุม	58

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.9 ผลตอบสนอง V_{dc} I_c และ V_b ของระบบไฟฟ้ากำลังบนเครื่องบิน กรณีไม่มีการควบคุมสำหรับการตรวจสอบความถูกต้อง ของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์	60
3.10 แผนภาพสำหรับออกแบบตัวควบคุมกระแสไฟฟ้าบนแกนดี	63
3.11 แผนภาพสำหรับออกแบบตัวควบคุมแรงดันไฟฟ้า	66
3.12 ลักษณะเฉพาะของแรงดันและกระแสสำหรับ การควบคุมแบบดรูโปหมดแรงดัน	68
3.13 ตัวชดเชยแรงดันไฟฟ้าสำหรับตัวควบคุมแบบดรูโปหมดแรงดัน	69
3.14 โครงสร้างภายในของระบบควบคุมสำหรับ ระบบไฟฟ้ากำลังบนเครื่องบินที่ศึกษา	70
3.15 ชุดบล็อก SimPowerSytem™ บนโปรแกรม MATLAB ของ ระบบไฟฟ้ากำลังบนเครื่องบินที่ศึกษากรณีที่มีการควบคุม	74
3.16 ผลตอบสนอง V_{dc} I_c และ V_b (ก) การตรวจสอบความถูกต้องของ แบบจำลองที่ถูกทำให้เป็นเชิงเส้น (ข) การตรวจสอบความถูกต้องของ แบบจำลองที่ไม่เป็นเชิงเส้น	75
4.1 มาตรฐาน MIL-STD-704F สำหรับระบบไฟฟ้ากำลังบนเครื่องบินที่มี ระบบจำหน่ายแบบไฟฟ้ากระแสตรงขนาด 270 V	80
4.2 ค่าเจาะจงเด่นทั้งหมดของระบบไฟฟ้ากำลังบนเครื่องบินที่ศึกษา	81
4.3 ค่าเจาะจงเด่นของระบบไฟฟ้ากำลังบนเครื่องบินที่ศึกษา	82
4.4 แผนภาพการวิเคราะห์ตัวประกอบการมีส่วนร่วม	83
4.5 แผนภาพการวิเคราะห์เสถียรภาพด้วยการวิเคราะห์ระนาบเฟส	89
4.6 ผลการวิเคราะห์เสถียรภาพด้วยการวิเคราะห์ระนาบเฟส (ก) $P_{CPL} = 18$ kW (ข) $P_{CPL} = 20$ kW (ค) $P_{CPL} = 22$ kW	91
4.7 ภาพรวมของชุดทดสอบการจำลองสถานการณ์ที่อาศัย เทคนิคฮาร์ดแวร์ในลูป	93
4.8 บล็อกไดอะแกรมการจำลองสถานการณ์โดยอาศัยเทคนิคฮาร์ดแวร์ในลูป	93

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.9 การยืนยันผลการวิเคราะห์เสถียรภาพ (ก) การจำลองสถานการณ์ด้วยโปรแกรม MATLAB บนคอมพิวเตอร์ (ข) การจำลองสถานการณ์ด้วยเทคนิคฮาร์ดแวร์ในรูป.....	94
4.10 เส้นอเสถียรภาพเมื่อ C_{dc} มีการเปลี่ยนแปลง.....	97
4.11 ผลการจำลองสถานการณ์บนคอมพิวเตอร์เมื่อ C_{dc} มีการเปลี่ยนแปลง.....	97
4.12 ผลการจำลองสถานการณ์ด้วยเทคนิคฮาร์ดแวร์ในรูปเมื่อ C_{dc} มีการเปลี่ยนแปลง.....	98
4.13 เส้นอเสถียรภาพเมื่อความยาวสายส่งมีการเปลี่ยนแปลง.....	99
4.14 ผลการจำลองสถานการณ์บนคอมพิวเตอร์เมื่อความยาวสายส่งมีการเปลี่ยนแปลง.....	100
4.15 ผลการจำลองสถานการณ์ด้วยเทคนิคฮาร์ดแวร์ในรูปเมื่อความยาวสายส่งมีการเปลี่ยนแปลง.....	101
4.16 เส้นอเสถียรภาพเมื่อ C_b มีการเปลี่ยนแปลง.....	102
4.17 ผลการจำลองสถานการณ์บนคอมพิวเตอร์เมื่อ C_b มีการเปลี่ยนแปลง.....	104
4.18 ผลการจำลองสถานการณ์ด้วยเทคนิคฮาร์ดแวร์ในรูปเมื่อ C_b มีการเปลี่ยนแปลง.....	105
4.19 เส้นอเสถียรภาพเมื่อ ζ_v และ ζ_i มีการเปลี่ยนแปลง.....	106
4.20 ผลการจำลองสถานการณ์บนคอมพิวเตอร์เมื่อ ζ_v และ ζ_i มีการเปลี่ยนแปลง.....	107
4.21 ผลการจำลองสถานการณ์ด้วยเทคนิคฮาร์ดแวร์ในรูปเมื่อ ζ_v และ ζ_i มีการเปลี่ยนแปลง.....	108
4.22 เส้นอเสถียรภาพเมื่อ f_{mv} และ f_{mi} มีการเปลี่ยนแปลง.....	109
4.23 ผลการจำลองสถานการณ์บนคอมพิวเตอร์เมื่อ f_{mv} และ f_{mi} มีการเปลี่ยนแปลง.....	110

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.24 ผลการจำลองสถานการณ์ด้วยเทคนิคฮาร์ดแวร์ในรูป เมื่อ f_{nv} และ f_{ni} มีการเปลี่ยนแปลง.....	111
4.25 เส้นอเสถียรภาพเมื่อ K_d และ K_i มีการเปลี่ยนแปลง.....	112
4.26 ผลการจำลองสถานการณ์บนคอมพิวเตอร์เมื่อ K_d และ K_i มีการเปลี่ยนแปลง.....	113
4.27 ผลการจำลองสถานการณ์ด้วยเทคนิคฮาร์ดแวร์ในรูปเมื่อ K_d และ K_i มีการเปลี่ยนแปลง.....	114
5.1 แผนภาพบล็อกไดอะแกรมของวงจรเรียงกระแสภาคหน้าแบบแอคทีฟ ที่มีเทคนิคคุยกเล็ก.....	119
5.2 ระบบไฟฟ้ากำลังบนเครื่องบินที่ศึกษาเมื่อมีการบรรเทาการขาดเสถียรภาพ ด้วยเทคนิคคุยกเล็ก	119
5.3 โครงสร้างภายในของระบบควบคุมเมื่อมีการบรรเทาการขาดเสถียรภาพ ด้วยเทคนิคคุยกเล็ก.....	121
5.4 ชุดบล็อก SimPowerSytem™ บนโปรแกรม MATLAB ของระบบไฟฟ้ากำลังบนเครื่องบินที่ศึกษาเมื่อมี การบรรเทาการขาดเสถียรภาพด้วยเทคนิคคุยกเล็ก	126
5.5 การตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองผ่านผลตอบสนอง V_{dc} I_c และ V_b เมื่อ $K_{FB}=1$ (ก) แบบจำลองที่ถูกทำให้เป็นเชิงเส้น (ข) แบบจำลองที่ไม่เป็นเชิงเส้น.....	127
5.6 ค่าเจาะจงทั้งหมดของระบบไฟฟ้าที่ศึกษาเมื่อมี การบรรเทาการขาดเสถียรภาพ.....	129
5.7 ค่าเจาะจงเด่นของระบบไฟฟ้าที่ศึกษาเมื่อมีการบรรเทาการขาดเสถียรภาพ (ก) $K_{FB} = 0.1$ (ข) $K_{FB} = 0.46$ (ค) $K_{FB} = 0.72$ (ง) $K_{FB} = 0.9$	130
5.8 ค่าเจาะจงเด่นของระบบไฟฟ้าที่ศึกษาเมื่อมี การบรรเทาการขาดเสถียรภาพ (ต่อ) (ก) $K_{FB} = 1.01$ (ข) $K_{FB} = 9.02$	131
5.9 การวิเคราะห์หรรษาเพลสเมื่อ $P_{CPL} = 22$ kW และ $K_{FB} = 0$ (กรณี 1).....	137

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
5.10 การวิเคราะห์ระบบเฟสเมื่อ $P_{CPL} = 22$ kW และ $K_{FB} = 0.1$ (กรณีที่ 2)	
(ก) สำหรับพิจารณาเสถียรภาพของระบบ	
(ข) สำหรับพิจารณาแอมพลิจูดของ V_b (ค) สำหรับพิจารณา T_s	138
5.11 การวิเคราะห์ระบบเฟสเมื่อ $P_{CPL} = 26$ kW และ $K_{FB} = 0.46$ (กรณีที่ 3)	
(ก) สำหรับพิจารณาเสถียรภาพของระบบ	
(ข) สำหรับพิจารณาแอมพลิจูดของ V_b (ค) สำหรับพิจารณา T_s	140
5.12 การวิเคราะห์ระบบเฟสเมื่อ $P_{CPL} = 30$ kW และ $K_{FB} = 0.712$ (กรณีที่ 4)	
(ก) สำหรับพิจารณาเสถียรภาพของระบบ	
(ข) สำหรับพิจารณาแอมพลิจูดของ V_b	141
5.13 การวิเคราะห์ระบบเฟสเมื่อ $P_{CPL} = 34$ kW และ $K_{FB} = 0.9$ (กรณีที่ 5)	
(ก) สำหรับพิจารณาเสถียรภาพของระบบ	
(ข) สำหรับพิจารณาแอมพลิจูดของ V_b	141
5.14 การวิเคราะห์ระบบเฟสเมื่อ $P_{CPL} = 38$ kW และ $K_{FB} = 1.01$ (กรณีที่ 6)	
(ก) สำหรับพิจารณาเสถียรภาพของระบบ	
(ข) สำหรับพิจารณาแอมพลิจูดของ V_b	142
5.15 การวิเคราะห์ระบบเฟสเมื่อ $P_{CPL} = 22$ kW และ $K_{FB} = 9.02$ (กรณีที่ 7)	142
5.16 บล็อกไดอะแกรมการจำลองสถานการณ์ของระบบที่มี	
การบรรเทาการขาดเสถียรภาพด้วยเทคนิคฮาร์ดแวร์ในรูป	144
5.17 การยืนยันผลบรรเทาการขาดเสถียรภาพ	
(ก) การจำลองสถานการณ์บนคอมพิวเตอร์เมื่อ $K_{FB} = 0.1$	
(ข) การจำลองสถานการณ์ด้วยเทคนิคฮาร์ดแวร์ในรูปเมื่อ $K_{FB} = 0.1$	
(ค) การจำลองสถานการณ์บนคอมพิวเตอร์เมื่อ $K_{FB} = 9.02$	
(ง) การจำลองสถานการณ์ด้วยเทคนิคฮาร์ดแวร์ในรูปเมื่อ $K_{FB} = 9.02$	145
5.18 บล็อกไดอะแกรมการออกแบบสมการสร้างเสถียรภาพเชิงปรับตัว	
ด้วยวิธีการแบบดั้งเดิม	148
5.19 การหาสมการโพลีโนเมียลโดยอาศัยการเลือกเส้นกราฟที่เหมาะสม.....	149

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
5.20 ระบบไฟฟ้ากำลังบนเครื่องบินที่ศึกษาที่มีการสร้างเสถียรภาพเชิงปรับตัวด้วยวิธีการแบบดั้งเดิม	150
5.21 ค่าเจาะจงเด่นของระบบเมื่อมีการสร้างเสถียรภาพเชิงปรับตัวด้วยวิธีการแบบดั้งเดิม	151
5.22 การวิเคราะห์ระนาบเฟสเมื่อ $P_{CPL} = 22$ kW และ $K_{FB} = 0.0969$ (กรณีที่ 1) (ก) สำหรับพิจารณาเสถียรภาพของระบบ (ข) สำหรับพิจารณาแอมพลิจูดของ V_b (ค) สำหรับพิจารณา T_s	156
5.23 การวิเคราะห์ระนาบเฟสเมื่อ $P_{CPL} = 26$ kW และ $K_{FB} = 0.4516$ (กรณีที่ 2) (ก) สำหรับพิจารณาเสถียรภาพของระบบ (ข) สำหรับพิจารณาแอมพลิจูดของ V_b (ค) สำหรับพิจารณา T_s	157
5.24 การวิเคราะห์ระนาบเฟสเมื่อ $P_{CPL} = 30$ kW และ $K_{FB} = 0.7215$ (กรณีที่ 3) (ก) สำหรับพิจารณาเสถียรภาพของระบบ (ข) สำหรับพิจารณาแอมพลิจูดของ V_b	158
5.25 การวิเคราะห์ระนาบเฟสเมื่อ $P_{CPL} = 34$ kW และ $K_{FB} = 0.9065$ (กรณีที่ 4) (ก) สำหรับพิจารณาเสถียรภาพของระบบ (ข) สำหรับพิจารณาแอมพลิจูดของ V_b	158
5.26 การวิเคราะห์ระนาบเฟสเมื่อ $P_{CPL} = 34$ kW และ $K_{FB} = 1.0066$ (กรณีที่ 5) (ก) สำหรับพิจารณาเสถียรภาพของระบบ (ข) สำหรับพิจารณาแอมพลิจูดของ V_b	159
5.27 ชุดบล็อก SimPowerSytem™ บนโปรแกรม MATLAB ของระบบที่มีการสร้างเสถียรภาพเชิงปรับตัวด้วยวิธีการแบบดั้งเดิม	160
5.28 บล็อกไดอะแกรมการจำลองสถานการณ์ของระบบที่มีการสร้างเสถียรภาพเชิงปรับตัวด้วยวิธีการแบบดั้งเดิม	161
5.29 การจำลองสถานการณ์เพื่อยืนยันผลการสร้างเสถียรภาพเชิงปรับตัวด้วยวิธีการแบบดั้งเดิม (ก) ชุดบล็อก SimPowerSytem™ บนโปรแกรม MATLAB (ข) เทคนิคฮาร์ดแวร์ในลูป	162

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
6.1	หาค่า S_0 ในพื้นที่การค้นหา..... 167
6.2	ค่าใกล้เคียงรอบ ๆ S_0 168
6.3	กำหนดค่าใกล้เคียงใหม่..... 168
6.4	กำหนดค่า S_0 ใหม่..... 169
6.5	กลไกการเดินย้อนรอย..... 169
6.6	บล็อกไดอะแกรมการออกแบบสมการสร้างเสถียรภาพเชิงปรับตัว ด้วยอัลกอริทึมการค้นหาแบบตาบู่เชิงปรับตัว..... 170
6.7	การสุ่มค่าคำตอบ W ทั้ง 5 ครั้ง..... 176
6.8	เส้นกราฟของสมการสร้างเสถียรภาพเชิงปรับตัวที่เหมาะสมที่สุด..... 177
6.9	ระบบไฟฟ้ากำลังบนเครื่องบินที่ศึกษาที่มี การสร้างเสถียรภาพเชิงปรับตัวด้วย อัลกอริทึมการค้นหาแบบตาบู่เชิงปรับตัว..... 178
6.10	ค่าเจาะจงทั้งหมดของระบบไฟฟ้าที่ศึกษาเมื่อมี การสร้างเสถียรภาพเชิงปรับตัวด้วย อัลกอริทึมการค้นหาแบบตาบู่เชิงปรับตัว..... 180
6.11	ค่าเจาะจงเด่นของระบบไฟฟ้าที่ศึกษาเมื่อมี การสร้างเสถียรภาพเชิงปรับตัวด้วย อัลกอริทึมการค้นหาแบบตาบู่เชิงปรับตัว..... 181
6.12	การวิเคราะห์ระนาบเฟสเมื่อ $P_{CPL} = 22$ kW และ $K_{FB} = 4.3998$ (กรณีที่ 1) (ก) สำหรับพิจารณาเสถียรภาพของระบบ (ข) สำหรับพิจารณาแอมพลิจูดของ V_b (ค) สำหรับพิจารณา T_s 185
6.13	การวิเคราะห์ระนาบเฟสเมื่อ $P_{CPL} = 26$ kW และ $K_{FB} = 4.2568$ (กรณีที่ 2) (ก) สำหรับพิจารณาเสถียรภาพของระบบ (ข) สำหรับพิจารณาแอมพลิจูดของ V_b (ค) สำหรับพิจารณา T_s 186
6.14	การวิเคราะห์ระนาบเฟสเมื่อ $P_{CPL} = 30$ kW และ $K_{FB} = 4.1137$ (กรณีที่ 3) (ก) สำหรับพิจารณาเสถียรภาพของระบบ (ข) สำหรับพิจารณาแอมพลิจูดของ V_b 187

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
6.15 การวิเคราะห์ระบบเฟสเมื่อ $P_{CPL} = 34$ kW และ $K_{FB} = 3.9707$ (กรณีที่ 4) (ก) สำหรับพิจารณาเสถียรภาพของระบบ (ข) สำหรับพิจารณาแอมพลิจูดของ V_b	187
6.16 การวิเคราะห์ระบบเฟสเมื่อ $P_{CPL} = 38$ kW และ $K_{FB} = 3.8277$ (กรณีที่ 5) (ก) สำหรับพิจารณาเสถียรภาพของระบบ (ข) สำหรับพิจารณาแอมพลิจูดของ V_b	188
6.17 ชุดบล็อก SimPowerSytem TM บนโปรแกรม MATLAB ของระบบที่มีการสร้างเสถียรภาพเชิงปรับตัวด้วย อัลกอริทึมการค้นหาลูปแบบตาข่ายปรับตัว.....	190
6.18 บล็อกไดอะแกรมการจำลองสถานการณ์ของระบบที่มี การสร้างเสถียรภาพเชิงปรับตัวด้วยอัลกอริทึมการค้นหาลูปแบบตาข่ายปรับตัว	190
6.19 การจำลองสถานการณ์เพื่อยืนยันผลการสร้างเสถียรภาพเชิงปรับตัวด้วย อัลกอริทึมการค้นหาลูปแบบตาข่ายปรับตัว (ก) ชุดบล็อก SimPowerSytem TM บนโปรแกรม MATLAB (ข) เทคนิคฮาร์ดแวร์ในลูป	192
6.20 การยืนยันความคงทนต่อการเปลี่ยนแปลงของ R_c (ก) การจำลองสถานการณ์ บนคอมพิวเตอร์เมื่อ $R_c+10\% = 6.6$ mΩ (ข) การจำลองสถานการณ์ด้วย เทคนิคฮาร์ดแวร์ในลูปเมื่อ $R_c+10\% = 6.6$ mΩ (ค) การจำลองสถานการณ์ บนคอมพิวเตอร์เมื่อ $R_c-10\% = 5.4$ mΩ (ง) การจำลองสถานการณ์ด้วย เทคนิคฮาร์ดแวร์ในลูปเมื่อ $R_c-10\% = 5.4$ mΩ	193
6.21 การยืนยันความคงทนต่อการเปลี่ยนแปลงของ R_L (ก) การจำลองสถานการณ์ บนคอมพิวเตอร์เมื่อ $R_L+10\% = 11$ Ω (ข) การจำลองสถานการณ์ด้วย เทคนิคฮาร์ดแวร์ในลูปเมื่อ $R_L+10\% = 11$ Ω (ค) การจำลองสถานการณ์ บนคอมพิวเตอร์เมื่อ $R_L-10\% = 9$ Ω (ง) การจำลองสถานการณ์ด้วย เทคนิคฮาร์ดแวร์ในลูปเมื่อ $R_L-10\% = 9$ Ω	194
7.1 ระบบไฟฟ้ากำลังบนเครื่องบินที่มีการสร้างเสถียรภาพเชิงปรับตัว ด้วยอัลกอริทึมการค้นหาลูปแบบตาข่ายปรับตัว สำหรับการสร้างชุดทดสอบ.....	198

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
7.2	มาตรฐาน MIL-STD-704F ของชุดทดสอบสำหรับ ระบบไฟฟ้ากำลังบนเครื่องบิน..... 199
7.3	ภาพรวมชุดทดสอบสำหรับระบบไฟฟ้ากำลังบนเครื่องบินที่มี การสร้างเสถียรภาพเชิงปรับตัวด้วย อัลกอริทึมการค้นหาแบบตาข่ายปรับตัว..... 201
7.4	ระบบผลิตไฟฟ้ากระแสสลับ (ก) ชุดแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับ สามเฟสสมดุล (ข) วงจรกรองทางด้านไฟฟ้ากระแสสลับ 202
7.5	ภาพรวมของวงจรเรียงกระแสภาคหน้าแบบแอกทีฟและตัวควบคุม 202
7.6	มอดูลไอจีบีทีรุ่น IPM6MBP50RA120-5 (ก) แผนภาพการต่อวงจร ของมอดูลไอจีบีที (ข) วงจรที่ใช้งานจริงของมอดูลไอจีบีที 203
7.7	ตัวเก็บประจุทางด้านไฟฟ้ากระแสตรง 204
7.8	วงจรตรวจจับแรงดันไฟฟ้าทางด้านไฟฟ้ากระแสสลับ 204
7.9	วงจรตรวจจับกระแสไฟฟ้าทางด้านไฟฟ้ากระแสสลับ 205
7.10	วงจรตรวจจับแรงดันไฟฟ้าทางด้านไฟฟ้ากระแสตรง 206
7.11	วงจรปรับแต่งสัญญาณที่ถูกสร้างขึ้น..... 207
7.12	ชุดบอร์ด DSP รุ่น TMS320F28335 Experimenter Kit 208
7.13	ไอซีเบอร์ PC923 ของบริษัท SHARP 208
7.14	วงจรแยกโคตสัญญาณหรือวงจรขับเกทที่ถูกสร้างขึ้น..... 209
7.15	สายส่งกำลังไฟฟ้าทางด้านไฟฟ้ากระแสตรง 209
7.16	วงจรตรวจจับแรงดันบัสไฟฟ้ากระแสตรง..... 210
7.17	วงจรตรวจจับกระแสโหลดของระบบ 211
7.18	ภาพรวมชุดทดสอบโหลดวงจรแปลงผันแบบบัคที่มีการควบคุม (ก) แผนภาพการต่อวงจร (ข) วงจรที่สร้างขึ้น..... 212
7.19	ส่วนประกอบที่สำคัญของโหลดวงจรแปลงผันแบบบัค 212
7.20	โหลดความต้านทานของชุดทดสอบระบบไฟฟ้ากำลังบนเครื่องบิน..... 214
7.21	ตู้ตัวเก็บประจุไฟฟ้าหรือตัวเก็บประจุที่บัสไฟฟ้ากระแสตรง..... 215

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
7.22 ผลการทดสอบสมรรถนะการควบคุมแรงดันบัลไฟฟ้ากระแสตรง (ก) ชุดบล็อก SimPowerSytem™ บนโปรแกรม MATLAB (ข) ชุดทดสอบจริงภายในห้องปฏิบัติการ	216
7.23 วงจรสมมูลของวงจรกรองทางด้านไฟฟ้ากระแสล้บบนแกนดีคิว	219
7.24 วงจรเรียงกระแสภาคหน้าแบบแอทที่พบนแกนดีคิว	220
7.25 แผนภาพเวกเตอร์สำหรับการแปลงดีคิวของ ชุดทดสอบระบบไฟฟ้ากำลังบนเครื่องบิน.....	220
7.26 วงจรสมมูลอย่างง่ายบนแกนดีคิวของชุดทดสอบกรณีที่ไม่มีการควบคุม	221
7.27 โครงสร้างภายในของตัวควบคุมแบบเวกเตอร์บนแกนดีคิว และเทคนิคลู่ยกเล็กของชุดทดสอบ	222
7.28 ชุดบล็อก SimPowerSytem™ บนโปรแกรม MATLAB ของชุดทดสอบระบบไฟฟ้ากำลังบนเครื่องบินที่ศึกษา.....	228
7.29 ผลตอบสนอง V_{dc} , I_c และ V_b สำหรับชุดทดสอบ เมื่อ $K_{FB}=1$ (ก) แบบจำลองที่ไม่เป็นเชิงเส้น (ข) แบบจำลองที่ถูกทำให้เป็นเชิงเส้น	230
7.30 ค่าเจาะจงทั้งหมดของชุดทดสอบระบบไฟฟ้ากำลังบนเครื่องบินที่ศึกษา (ก) สำหรับวิเคราะห์จุดขาดเสถียรภาพ (ข) สำหรับหาค่า K_{FB} ที่น้อย และเพียงพอต่อการบรรเทาการขาดเสถียรภาพ (ค) สำหรับหาค่า K_{FB} ที่มากเกินไปสำหรับการบรรเทาการขาดเสถียรภาพ	232
7.31 ค่าเจาะจงเด่นของชุดทดสอบระบบไฟฟ้ากำลังบนเครื่องบินที่ศึกษา (ก) $K_{FB} = 0$ (ข) $K_{FB} = 0.1$ (ค) $K_{FB} = 0.15$ (ง) $K_{FB} = 0.19$	233
7.32 ค่าเจาะจงเด่นของชุดทดสอบระบบไฟฟ้ากำลังบนเครื่องบินที่ศึกษา (ต่อ) เมื่อ $K_{FB} = 6.73$	234
7.33 การวิเคราะห์ระนาบเฟสเมื่อ $P_{CPL} = 60$ W และ $K_{FB} = 0$ (กรณีที่ 1).....	239
7.34 การวิเคราะห์ระนาบเฟสเมื่อ $P_{CPL} = 60$ W และ $K_{FB} = 0.1$ (กรณีที่ 2) (ก) สำหรับพิจารณาเสถียรภาพของระบบ (ข) สำหรับพิจารณาแอมพลิจูดของ V_b (ค) สำหรับพิจารณา T_s	240

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
7.35 การวิเคราะห์หรรณบเฟสเมื่อ $P_{CPL} = 80$ W และ $K_{FB} = 0.15$ (กรณีที 3) (ก) สำนหรับพิจำรณำเสถียรภำพของระบบ (ข) สำนหรับพิจำรณำแอมพลิจูดของ V_b (ค) สำนหรับพิจำรณำ T_s	241
7.36 การวิเคราะห์หรรณบเฟสเมื่อ $P_{CPL} = 100$ W และ $K_{FB} = 0.19$ (กรณีที 4) (ก) สำนหรับพิจำรณำเสถียรภำพของระบบ (ข) สำนหรับพิจำรณำแอมพลิจูดของ V_b (ค) สำนหรับพิจำรณำ T_s	242
7.37 การวิเคราะห์หรรณบเฟสเมื่อ $P_{CPL} = 60$ W และ $K_{FB} = 6.73$ (กรณีที 5) (ก) สำนหรับพิจำรณำเสถียรภำพของระบบ (ข) สำนหรับพิจำรณำแอมพลิจูดของ V_b	243
7.38 สมกำรสร้งเสถียรภำพเชิงปรบัตัวทีได้จำกวิธีกำรแบบตั้งเดิมของชุดทดสอบ	244
7.39 บล็อกไดอะแกรมกำรออกแบบสมกำรสร้งเสถียรภำพเชิงปรบัตัว ด้วยอัลกอริทึมกำรค้นหำแบบตำนูเชิงปรบั	247
7.40 กำรลู่เข้หำค้ำตอบ W ท้ง 5 ครั้งสำหรับชุดทดสอบ	249
7.41 เส้นกำรฟสมกำรสร้งเสถียรภำพเชิงปรบัตัวของชุดทดสอบทีเหมำะสมทีสุด	251
7.42 ค่ำเจำะจ้งท้งหมดของชุดทดสอบเมื่อมีกำรสร้งเสถียรภำพเชิงปรบัตัว ด้วยอัลกอริทึมกำรค้นหำแบบตำนูเชิงปรบัตัว.....	252
7.43 ค่ำเจำะจ้งเด่นของชุดทดสอบเมื่อมีกำรสร้งเสถียรภำพเชิงปรบัตัว ด้วยอัลกอริทึมกำรค้นหำแบบตำนูเชิงปรบัตัว.....	253
7.44 การวิเคราะห์หรรณบเฟสเมื่อ $P_{CPL} = 60$ W และ $K_{FB} = 1.3504$ (กรณีที 1) (ก) สำนหรับพิจำรณำเสถียรภำพของระบบ (ข) สำนหรับพิจำรณำแอมพลิจูดของ V_b (ค) สำนหรับพิจำรณำ T_s	256
7.45 การวิเคราะห์หรรณบเฟสเมื่อ $P_{CPL} = 80$ W และ $K_{FB} = 1.7245$ (กรณีที 2) (ก) สำนหรับพิจำรณำเสถียรภำพของระบบ (ข) สำนหรับพิจำรณำแอมพลิจูดของ V_b (ค) สำนหรับพิจำรณำ T_s	257
7.46 การวิเคราะห์หรรณบเฟสเมื่อ $P_{CPL} = 100$ W และ $K_{FB} = 2.0986$ (กรณีที 3) (ก) สำนหรับพิจำรณำเสถียรภำพของระบบ (ข) สำนหรับพิจำรณำแอมพลิจูดของ V_b (ค) สำนหรับพิจำรณำ T_s	258

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
7.47 ผลการทดสอบสมภาวะขาดเสถียรภาพของ ชุดทดสอบระบบไฟฟ้ากำลังบนเครื่องบินที่ศึกษาวิจัย (ก) ผลการจำลองสถานการณ์บนคอมพิวเตอร์ (ข) ผลการทดสอบจากชุดทดสอบจริง.....	260
7.48 การทดสอบการบรรเทาการขาดเสถียรภาพ (ก) ผลการจำลองสถานการณ์บนคอมพิวเตอร์เมื่อ $K_{FB} = 0.1$ (ข) ผลการทดสอบเมื่อ $K_{FB} = 0.1$ (ค) ผลการจำลองสถานการณ์บนคอมพิวเตอร์เมื่อ $K_{FB} = 6.73$ (ง) ผลการทดสอบเมื่อ $K_{FB} = 6.73$	262
7.49 การทดสอบการสร้างเสถียรภาพเชิงปรับตัวด้วยวิธีการแบบดั้งเดิม (ก) ผลการจำลองสถานการณ์ด้วยชุดบล็อก SimPowerSytem™ บนโปรแกรม MATLAB (ข) ผลการทดสอบจาก ชุดทดสอบจริงภายในห้องปฏิบัติการ.....	266
7.50 การทดสอบการสร้างเสถียรภาพเชิงปรับตัวด้วย อัลกอริทึมการค้นหาแบบตามูเชิงปรับตัว (ก) ผลการจำลองสถานการณ์ด้วยชุดบล็อก SimPowerSytem™ บนโปรแกรม MATLAB (ข) ผลการทดสอบจาก ชุดทดสอบภายในห้องปฏิบัติการ.....	268