

รัฐพล โพธิ์สังข์ : การสร้างเสถียรภาพเชิงปรับตัวของระบบไฟฟ้ากำลังบนเครื่องบินด้วย
อัลกอริทึมการค้นหาแบบตาบูลูเชิงปรับตัว (ADAPTIVE STABILIZATION OF AIRCRAFT
ELECTRICAL POWER SYSTEMS USING ADAPTIVE TABU SEARCH ALGORITHM)
อาจารย์ที่ปรึกษา : ศาสตราจารย์ ดร.ก้องพันธุ์ อารีย์รักษ์, 381 หน้า.

คำสำคัญ: เครื่องบินที่ใช้ไฟฟ้ามากขึ้น/โหลดกำลังไฟฟ้าคงตัว/การสร้างเสถียรภาพเชิงปรับตัว/
เทคนิคลูปลูกเล็ก/อัลกอริทึมการค้นหาแบบตาบูลูเชิงปรับตัว

เครื่องบินที่ใช้ไฟฟ้ามากขึ้นถือได้ว่าเป็นแนวคิดและทางออกที่สำคัญของวิศวกรรมการบินและอวกาศยุคสมัยใหม่สำหรับการลดการปล่อยมลพิษ การเพิ่มประสิทธิภาพและความน่าเชื่อถือของเครื่องบินโดยรวม และการลดต้นทุนการบำรุงรักษาและการดำเนินการ อย่างไรก็ตาม การนำระบบไฟฟ้ามาใช้งานบนเครื่องบินที่มากขึ้นยังมีปัญหาด้านเสถียรภาพที่ต้องนำมาพิจารณาอีกด้วย เนื่องจากระบบไฟฟ้ากำลังที่ใช้งานบนเครื่องบินโดยส่วนใหญ่ล้วนเป็นวงจรแปลงผันกำลังที่มีการควบคุมการทำงาน โดยวงจรแปลงผันกำลังเมื่อมีการควบคุมมักจะแสดงพฤติกรรมเปรียบเสมือนโหลดกำลังไฟฟ้าคงตัวที่สามารถลดทอนเสถียรภาพของระบบไฟฟ้ากำลังบนเครื่องบินได้โดยตรง ซึ่งการขาดเสถียรภาพนั้นไม่เพียงทำให้สมรรถนะการควบคุมลดลงจนกระทั่งสูญเสียการควบคุมทั้งระบบเท่านั้น แต่อาจก่อให้เกิดความเสียหายต่อโครงสร้างของระบบโดยรวมที่นำไปสู่อุบัติเหตุทางการบินได้ด้วยเหตุผลดังกล่าว การวิเคราะห์เสถียรภาพเพื่อคาดการณ์จุดปฏิบัติงานที่ทำให้ระบบเกิดการขาดเสถียรภาพและการบรรเทาการขาดเสถียรภาพเพื่อให้ระบบที่เคยขาดเสถียรภาพกลับมามีเสถียรภาพจึงมีความสำคัญเป็นอย่างมาก โดยงานวิจัยวิทยานิพนธ์จะดำเนินการวิเคราะห์เสถียรภาพของระบบไฟฟ้ากำลังบนเครื่องบินที่ใช้ไฟฟ้ามากขึ้นที่มีระบบจำหน่ายแบบไฟฟ้ากระแสตรงแบบเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเดี่ยวและบัสเดี่ยว โดยอาศัยทฤษฎีบทค่าเจาะจง การวิเคราะห์ตัวประกอบมีส่วนร่วม และการวิเคราะห์ระนาบเฟส ในส่วนของการบรรเทาการขาดเสถียรภาพจะอาศัยการชดเชยแบบแอกทีฟด้านแหล่งจ่ายด้วยเทคนิคลูปลูกเล็กที่สามารถกำจัดผลของโหลดกำลังไฟฟ้าคงตัวได้โดยตรง อย่างไรก็ตามการบรรเทาการขาดเสถียรภาพเพียงอย่างเดียวไม่มีประสิทธิภาพมากพอที่จะทำให้ระบบทำงานได้อย่างมีเสถียรภาพจนถึงระดับกำลังไฟฟ้าที่ค่าพิกัด ดังนั้นงานวิจัยวิทยานิพนธ์จึงได้ศึกษาวิจัยวิธีการสร้างเสถียรภาพเชิงปรับตัวของระบบไฟฟ้าที่ศึกษาซึ่งมีอยู่ด้วยกัน 2 แนวทาง โดยแนวทางแรกคือ การสร้างเสถียรภาพเชิงปรับตัวด้วยสมการที่ได้จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ แนวทางนี้จะอาศัยการสร้างสมการการสร้างเสถียรภาพเชิงปรับตัวด้วยการพิสูจน์หาจากแบบจำลองของระบบ โดยสมการดังกล่าวจะเป็นสมการอย่างง่ายที่สามารถคำนวณหาค่าอัตราขยายของลูปลูกเล็กที่แปรเปลี่ยนค่าได้ตามระดับกำลังไฟฟ้าของโหลดกำลังไฟฟ้าคงตัว อย่างไรก็ตามแนวทางดังกล่าวเมื่อนำมาประยุกต์ใช้กับระบบที่มีความซับซ้อนจะไม่สามารถหา

สมการอย่างง่ายได้ ดังนั้นงานวิจัยวิทยานิพนธ์จึงมุ่งเน้นที่จะศึกษาการสร้างเสถียรภาพเชิงปรับตัวที่อาศัยสมการสร้างเสถียรภาพเชิงปรับตัวที่ได้จากการวิเคราะห์เสถียรภาพเนื่องจากแนวทางดังกล่าวมีความยืดหยุ่นสูงและสามารถประยุกต์ใช้ได้กับระบบไฟฟ้ากำลังโดยส่วนใหญ่ อย่างไรก็ตามการสร้างเสถียรภาพเชิงปรับตัวไม่ว่าจะแนวทางใดที่มีอยู่ในปัจจุบันไม่สามารถทำให้สมรรถนะการควบคุมแรงดันบัสไฟฟ้ากระแสตรงดีขึ้นได้ ยิ่งไปกว่านั้นอาจทำให้สมรรถนะการควบคุมแรงดันลดลงจนกระทั่งไม่เป็นไปตามกรอบมาตรฐาน MIL-STD-704F ด้วยเหตุนี้งานวิจัยวิทยานิพนธ์จึงได้นำเสนอการออกแบบค่าสัมประสิทธิ์ของสมการสร้างเสถียรภาพเชิงปรับตัวด้วยการประยุกต์ใช้อัลกอริทึมการค้นหาแบบตาบู่เชิงปรับตัว เพื่อให้สมรรถนะการควบคุมแรงดันบัสไฟฟ้ากระแสตรงดีที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้และสอดคล้องตามกรอบมาตรฐาน MIL-STD-704F ภายใต้เงื่อนไขการมีเสถียรภาพตลอดช่วงการทำงาน สำหรับการตรวจสอบของผลการออกแบบจะอาศัยผลการวิเคราะห์ในทางทฤษฎี ผลการจำลองสถานการณ์ และผลการทดสอบที่ได้จากชุดทดสอบจริงภายในห้องปฏิบัติการที่สอดคล้องและคล้อยตามกันอย่างเห็นได้ชัด เพื่อแสดงให้เห็นว่า วิธีการสร้างเสถียรภาพเชิงปรับตัวที่นำเสนอสามารถทำให้ระบบไฟฟ้ากำลังบนเครื่องบินที่ศึกษาทำงานได้อย่างมีเสถียรภาพตลอดระยะทางและระยะเวลาทำการบิน และยังคงให้ผลการตอบสนองของแรงดันบัสไฟฟ้ากระแสตรงที่ดีเป็นไปตามกรอบมาตรฐานที่กำหนด ดังนั้นจึงเป็นการยืนยันได้ว่า การประยุกต์ใช้วิธีการทางปัญญาประดิษฐ์ร่วมกับการสร้างเสถียรภาพเชิงปรับตัวที่นำเสนอในงานวิจัยวิทยานิพนธ์เป็นวิธีการที่มีประสิทธิภาพและความน่าเชื่อถือสูงเหมาะสำหรับการนำไปใช้งานจริงในภาคอุตสาหกรรมการบิน



สาขาวิชา วิศวกรรมไฟฟ้า
ปีการศึกษา 2567

ลายมือชื่อนักศึกษา.....
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....

RATAPON PHOSUNG : ADAPTIVE STABILIZATION OF AIRCRAFT ELECTRICAL POWER SYSTEMS USING ADAPTIVE TABU SEARCH ALGORITHM. THESIS
ADVISOR : PROF. KONGPAN AREERAK, Ph.D., 381 PP.

Keyword: More Electric Aircraft (MEA)/Constant Power Loads (CPLs)/Adaptive stabilization/Loop-cancellation technique/Adaptive Tabu Search algorithm (ATS)

More Electric Aircraft (MEA) is a crucial concept and solution of modern aerospace engineering for decreasing gas emissions, optimizing global aircraft performance and reliability, and reducing maintenance and operating cost. However, the stability issues should be taken into account in detail when the electric system is applied with aircraft. This is because most electrical power systems (EPSs) on MEA are the power converters under closed-loop mode, acting as constant power loads (CPLs). These CPLs can directly degrade the MEA EPS stability. The destabilizing effect not only results in poor performance until controllers fails but also may cause damage to the entire systems that lead to an aviation accident. From this mentioned reason, both stability analysis and instability mitigation are drastically required to predict the system's instability operation and to return the unstable system to a stable operating state. For this thesis, the stability analysis technique via eigenvalue theorem, phase-plane analysis, and participation factor analysis are performed to investigate the stability margin of a single-generator-single-bus DC distribution MEA EPS. As for instability mitigation, the active compensation on feeder side using loop-cancellation technique, eliminating the instability effect of CPLs directly, is selected. Unfortunately, only the instability mitigation cannot make the system operate stably until the rated power is achieved. Hence, this research thesis will study an adaptive stabilization for studied MEA EPS. The adaptive stabilization techniques can be categorized into two approaches. The first is adaptive stabilization using the equation derived from state-variables-averaging mathematical model, wherein the adaptive stabilization equation is established by system model. This referred equation, i.e., simple equation, can provide the feedback gain of loop-cancellation technique depending on the power level of CPLs. However, when this technique is applied with the complicated system, the simple equation cannot be achieved. Thus, the second approach, namely adaptive stabilization using the adaptive stabilizing equation

obtained from stability assessment, is the better choice. This is because it is high flexible and is appropriately applied for most EPSs. Unfortunately, existing adaptable stabilization approaches cannot improve the DC bus voltage regulation performance. Moreover, the nonadherence of DC bus voltage response to the MIL-STD-704F standard may be occurred. Consequently, in this thesis, adaptable stabilization equation's coefficients will be designed using adaptive tabu search (ATS) algorithm. The main objective of the proposed design technique is to provide the best possible DC bus voltage performance according to the MIL-STD-704F standard. Furthermore, the MEA EPS is constantly stable under all operating conditions. Good agreement among the results of theoretical analysis (derived via eigenvalue theorem, participation factor analysis, and the phase plane analysis), MATLAB simulation, hardware-in-the-loop simulation, and experimental rig are used to verify the design results derived from the ATS algorithm. The results demonstrate that the proposed adaptive stabilization methodology can maintain the stable MEA EPS operation for all distance and flying time with good performance under the defined aircraft standard. It can be, therefore, confirmed that the application of an artificial intelligence (AI) technique for adaptive stabilization presented in this thesis is an effective and high reliability method. Moreover, it is also suitable for practical application in the aviation industry.

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

School of Electrical Engineering

Academic Year 2024

Student's Signature.....

Advisor's Signature.....