

RAT – APLICAÇÃO DE GERADORES EÓLICOS EM AERONAVES COMO FONTE DE GERAÇÃO ELÉTRICA ALTERNATIVA EM CONDIÇÕES DE EMERGÊNCIA ELÉTRICA

Luciene Marques Petroff¹, Gustavo de Carvalho Higashi², Luiz Roberto Nogueira³

^{1,3}UNIVAP/FEAU-Engenharia Elétrica, Av. Shishima Hifumi, 2911, Urbanova, CEP 12244-000, São José dos Campos – SP, ¹luciene.petroff@embraer.com.br, ³nogueiralr@uol.com.br

²EMBRAER/Engenharia de Sistemas Elétricos, Av. Brigadeiro Faria Lima, 2170, Putim, CEP 12227-910, São José dos Campos - SP, higashi@embraer.com.br

Resumo - O intuito deste trabalho é apresentar um estudo acerca da importância da aplicação de geradores eólicos no ramo aeronáutico. Geradores Eólicos retráteis, designados como ADG (*Air Driven Generator*) ou RAT (*Ram Air Turbine*) são usualmente instalados em aeronaves civis e militares de grande porte, com o principal objetivo de atuar como fonte de geração elétrica alternativa em condições de emergência elétrica – quando todas as outras fontes normais de geração elétrica falham. Tal tecnologia tem sido aplicada na aviação desde 1951, e ainda equipa os mais avançados aviões comerciais do mundo, tal como o Airbus A380 e o Boeing 787.

Palavras-chave: Geradores, elétricos, eólicos, RAT, emergência.

Área do Conhecimento:

Introdução

Desde os tempos mais remotos o desejo de voar está presente na humanidade. Após inúmeras tentativas mal-sucedidas registradas na história, o homem finalmente conseguiu este feito em 8 de agosto de 1709, com o balão de ar quente de Bartolomeu Gusmão. Mais tarde, em busca de novos desafios, Alberto Santos Dumont, a bordo de seu histórico 14-Bis, alçou vôo em 23 de outubro de 1906; vôo este considerado como o primeiro bem sucedido de uma aeronave mais pesada do que o ar, decolando por meios próprios (HISTÓRIA DA AVIAÇÃO CIVIL, 2008).

A indústria aeronáutica se expande utilizando tecnologia de ponta e reúne engenheiros preocupados em somar melhorias no desenvolvimento de aeronaves. Itens como aerodinâmica, segurança, autonomia, custos operacionais, entre outros, são continuamente aprimorados, de forma a tornar o avião cada vez mais eficiente, automatizado e seguro.

Segurança: mesmo com a utilização de novas tecnologias de navegabilidade através de equipamentos eletrônicos, com o objetivo de diminuir a atuação do piloto e minimizar a incidência de acidentes aéreos, a possibilidade de falha em uma aeronave existe. Este artigo tem como objetivo apresentar um dispositivo de emergência para o caso de uma pane elétrica durante o vôo: a RAT (*Ram Air Turbine*). Esta pequena turbina retrátil é capaz de converter energia eólica em elétrica, e manter os barramentos elétricos essenciais energizados, para a conclusão do vôo em segurança. Um dispositivo aparentemente simples e que já salvou muitas vidas, conforme será apresentado adiante.

Desenvolvimento

O sistema elétrico de uma aeronave consiste em fontes principais de alimentação, uma fonte de alimentação de emergência, equipamento(s) de conversão de energia, equipamentos de controle e proteção, e uma rede de interconexão (fios, cabos, conectores elétricos, etc.). A alimentação principal é originada de geradores acoplados aos motores de propulsão da aeronave. A alimentação de emergência pode ser originada de baterias, unidades auxiliares de energia, geradores a ar comprimido ou hidráulico. (EISMIN, 1994).

A operação em emergência de uma aeronave é caracterizada quando ocorre a perda total da alimentação principal em vôo, e utiliza-se uma quantidade restrita de energia (emergencial) para manter os equipamentos essenciais em funcionamento e conseqüentemente, garantir vôo e pouso seguros. (MIL-STD-704F, 2004).

Usualmente a fonte principal de emergência elétrica de uma aeronave é composta por RAT e baterias ou somente por baterias. A necessidade de instalação de uma RAT é definida no início do projeto da aeronave, e depende de uma série de fatores dentre os quais destacam-se: tempo médio de cada vôo, tempo estimado para alcance de um aeroporto alternativo em caso de emergência, peso total da aeronave, demanda elétrica de emergência, peso do dispositivo, facilidade de instalação, manutenção requerida, análise de limitação de tempo e possíveis modos de falha do dispositivo em questão. Historicamente, as RATs são aplicáveis a aeronaves de grande porte, pois a demanda elétrica de emergência destas exigiria baterias excessivamente grandes para cumprir com os requisitos operacionais e de certificação,

penalizando drasticamente o peso e custo operacional do projeto.

A RAT é usualmente instalada em áreas sem controle de temperatura e pressão, no nariz da aeronave (local que apresenta o maior índice de aproveitamento de energia - 95% - onde o fluxo de ar apresenta mínima turbulência), na raiz da asa (75~85%), ou na barriga da aeronave (80~90%). Ela é composta por um gerador eólico (pás e turbina) acoplado a um braço articulado, uma unidade eletrônica de controle do gerador (GCU-Generator Control Unit), um atuador hidráulico, um dispositivo solenóide para travamento do sistema enquanto recolhido, alavanca de acionamento manual e uma bomba hidráulica para recolhimento manual do sistema (HAMILTON SUNDSTRAND, 2008).

Como a aeronave é exposta a grande variação de umidade e temperatura a cada ciclo de vôo, o gerador da RAT possui uma manta aquecedora resistiva entre rotor e estator, com o objetivo de minimizar o acúmulo de água, e conseqüentemente, riscos de congelamento e travamento das pás.

Há dois modos de acionamento do mecanismo de extensão da RAT: automático e manual. O acionamento automático é realizado através de um sinal elétrico enviado pelos sistemas da aeronave ao dispositivo solenóide para liberação do gatilho. O modo de acionamento manual exerce papel de meio alternativo de extensão em caso de falha do automático, e para tanto basta acionar a alavanca que se encontra instalada na cabine do piloto (*cockpit*) que conectada ao gatilho por um cabo de aço, também libera o mecanismo.

Uma vez liberado o gatilho de travamento, a RAT é automaticamente estendida pela força proveniente do atuador hidráulico (através de mola interna), vencendo a carga aerodinâmica até a posição final, onde as pás da turbina são liberadas e começam a girar. O mecanismo e respectiva estrutura são dimensionados para atender todo o envelope de velocidade, altitude e atitude da aeronave.

No interior da turbina do gerador há um dispositivo denominado governador mecânico de rotação, que estabiliza a frequência do gerador. O governador mecânico é um sistema massa-mola que ajusta o passo das pás de acordo com o maior ou menor fluxo de ar de impacto, de maneira a estabilizar a frequência de rotação em uma faixa pré-definida (ex. 8000rpm \pm 10%). Quanto menor o fluxo de ar de impacto (menor velocidade da aeronave), maior inclinação terão as pás e, conseqüentemente, maior quantidade de energia é convertida em rotação (e vice-versa). O sistema é dimensionado para todas as possíveis velocidades do avião de tal maneira que a conversão de energia em rotação sempre se equilibre na faixa pré-estabelecida.

O gerador é continuamente monitorado pela GCU (*Generator Control Unit*), uma unidade eletrônica instalada no interior da aeronave, alimentada exclusivamente pela RAT (o que torna este sistema completamente independente dos demais). A GCU monitora a frequência de rotação da RAT e, assim que o gerador atinge a frequência mínima pré-estabelecida (ex: 340Hz), habilita o fechamento do contactor de potência, ou seja, a conexão do gerador elétrico de emergência aos barramentos da aeronave. A GCU também possui funções de proteção contra alta tensão, baixa frequência e contra alta corrente no gerador.

O gerador elétrico da RAT atende ao padrão de tensão alternada utilizado no meio aeronáutico, 115VAC/400Hz (MIL-STD-704F, 2004), sem escovas (a ausência de escovas minimiza o desgaste e a necessidade de manutenção, reduzindo custo operacional e paradas da aeronave) (FITZGERALD; et. al, 1975); entretanto, grande parte dos sistemas essenciais são computadores, controladores, sensores, etc, sistemas alimentados por tensão contínua 28VDC. Neste caso torna-se necessária a instalação de uma unidade transformadora, denominada TRU (*Transformer Rectifier Unit*), composta por transformador, retificador e filtro. A TRU é dimensionada para disponibilizar tensão DC segundo a norma MIL-STD-704F, que especifica tensão de emergência na faixa de 16 a 29V.



Figura 1 – RAT e seus componentes principais (HAMILTON SUNDSTRAND, 2008)

Desta forma, uma vez a aeronave estando em condições de emergência elétrica, a RAT é automaticamente estendida e exposta ao fluxo de

ar de impacto, com seu gerador assumindo todos os sistemas essenciais para o cumprimento do voo de maneira segura até a total parada da aeronave.

Como o sistema da RAT não é utilizado com frequência, o mesmo deve ser periodicamente testado em solo, através do acoplamento de um motor hidráulico ao eixo da turbina. O motor gira a RAT e seu funcionamento é verificado através de indicações de tensão e frequência nos monitores do *cockpit*. Tal procedimento deve ser executado, usualmente, uma vez ao ano (período este que pode variar mediante perfil de operação de cada aeronave).

O desenvolvimento da RAT como canal de geração de emergência e toda a lista de equipamentos e procedimento essenciais para operação em emergência devem ser cuidadosamente analisados de maneira a cumprir todos os requisitos de certificação aeronáutica aplicáveis: RBHA/FAR/JAR 25.1301, 25.1309, 25.1351, 25.1353.

Discussão

Assim como qualquer outro equipamento, a RAT também possui aspectos positivos e negativos em sua aplicação.

O aspecto positivo mais relevante deste sistema é o fato da RAT não apresentar limite de tempo de operação (ao contrário de uma bateria).

Por outro lado, como não é utilizado com frequência, o sistema é susceptível a um número considerável de falhas denominadas dormentes, ou seja, falhas que permanecem imperceptíveis até o momento em que o sistema for requerido ou durante a execução de algum teste (ex: falha no mecanismo de extensão da RAT). Em razão disto, os requisitos de certificação impõem a verificação do sistema através do teste periódico para garantia da disponibilidade do mesmo.

As atividades requeridas para a instalação da RAT durante a fase de desenvolvimento da aeronave são bastante complexas, envolvendo cálculo de cargas estruturais (estáticas e dinâmicas), análise de cinemática do mecanismo, desenvolvimento do compartimento, porta e conexões estruturais, análise de vibração e ruído proveniente do sistema em operação, integração da eficiência do gerador com a faixa de velocidade prevista da aeronave, desenvolvimento das tarefas de manutenção e respectivos avisos de segurança (com o objetivo de minimizar a probabilidade de ferimentos no manuseio e teste do sistema).

Aeronaves de pequeno porte utilizam apenas baterias dimensionadas para suprir os sistemas essenciais por um período limitado de tempo. O peso da bateria é proporcional a esta quantidade de energia, e seus possíveis modos de falha são geralmente evidentes, ou seja, perceptíveis aos

pilotos assim que ocorrem. Todos estes aspectos devem ser considerados na seleção da fonte de emergência.

Outra alternativa como fonte de energia elétrica em condições de emergência é o HMG (*Hydraulic Motor Generator*), que consiste em um gerador elétrico acoplado a um motor hidráulico, instalado na tubulação do sistema hidráulico de uma aeronave. É um dispositivo com eficiência muito baixa na conversão de energia (Mecânica → Hidráulica → Elétrica), e conseqüentemente bastante restrito na extração de potência, em razão de perdas por aquecimento. Geralmente é utilizado em aeronaves de grande porte, em conjunto com uma RAT Hidráulica (RAT acoplada a uma bomba hidráulica ao invés de um gerador).

Estudo de caso

O *Air Transat 236* era uma rota da *Air Transat* entre Toronto (Ontário, Canadá) e Lisboa (Portugal). Com 306 passageiros a bordo, sendo 13 tripulantes, o *Airbus A330* deixou o aeroporto de Toronto na noite do dia 23 de Agosto de 2001 com cerca de 47,9 toneladas de combustível a bordo - 5,5 toneladas a mais do que o requerido. Cerca de quatro horas depois, após ter sua rota redirecionada mais para o sul através do Atlântico, devido a congestionamento, a aeronave apresentou um primeiro alerta: "temperatura de óleo baixa e pressão de óleo alta no motor direito". Os pilotos, considerando as duas indicações contraditórias, assumiram que era uma falha dos computadores e prosseguiram o voo sem tomar qualquer ação corretiva (AIR TRANSAT FLIGHT TS 236, 2004)

Vinte minutos depois, um novo alerta: "*fuel imbalance*" (desequilíbrio de combustível) entre os tanques das asas. Em busca da melhor solução para o problema, a tripulação acionou a válvula de "*cross feed*" (alimentação cruzada), transferindo combustível do tanque da asa esquerda, para o tanque da asa direita (sem o conhecimento dos pilotos, a aeronave havia desenvolvido um grande vazamento no motor direito e, com a abertura da válvula, todo o combustível estava sendo "drenado" para o local do rompimento).

Vinte e cinco minutos depois, a tripulação do *Air Transat* declara emergência de combustível para o aeroporto mais próximo, a Base Aérea de Lajes.

Uma hora após o primeiro alerta, o motor do lado direito fica sem combustível e pára de funcionar. Cerca de dez minutos depois, o motor esquerdo também se apaga e o *Airbus A330* passa a ser um gigantesco planador, derivando para baixo, em direção ao oceano.

Sem a energia gerada pelo motor, o controle da aeronave passou a depender do último backup de energia, a RAT, a qual fornece energia limitada

para os sistemas hidráulicos e elétricos; sendo assim, embora tenha se tornado um planador, ao menos o A330 seria um planador controlável.

De acordo com os cálculos da tripulação, a aeronave descia a razão de 2.000 pés (600 metros) por minuto, resultando apenas cerca de quinze a vinte minutos de vôo antes da queda da aeronave no oceano.

Vinte minutos após a falha dos motores, o *Airbus A330* tocou a pista da base de Lajes a 370Km/h, estourando 8 de seus 12 pneus devido a utilização dos freios de emergência. Durante a evacuação da aeronave, 16 passageiros e 2 tripulantes se feriram (AIR TRANSAT 236, 2008).

O incidente descrito é um dos exemplos reais da aplicação da RAT como sistema de emergência elétrica, no qual o *Airbus A330*, mesmo sem nenhum meio de propulsão, conseguiu planar sobre o oceano atlântico, com a RAT sustentando todos os sistemas essenciais, incluindo comandos de vôo, garantindo assim a aproximação e aterrissagem da aeronave, salvando a vida destas 306 pessoas.

Conclusão

O sistema da RAT é robusto, utiliza princípios simples de funcionamento, e requer pouca manutenção. A geração elétrica ocorre através da conversão de energia eólica em mecânica, e finalmente em elétrica: o vento resultante do deslocamento da aeronave gira as pás da RAT, a qual coloca o gerador elétrico em funcionamento, provendo alimentação AC e DC ilimitada em tempo para os sistemas essenciais da aeronave.

Devido ao fato de sua incorporação no desenvolvimento de uma aeronave ser bastante complexa (exigindo cálculos estruturais, etc.), a melhor forma de definir sua aplicabilidade é realizando um *trade-off* de alternativas (análise comparativa – Tabela 1) no início do projeto.

Tabela 1- Exemplo de *trade-off* de alternativas

Fonte de Emergência	Opção 1 (Bateria 55Ah)	Opção 2 (RAT)
Instalação	Simples	Complexa
Integração com demais sistemas	Simples	Complexa
Peso	Bateria = 45Kg	RAT = 42,5Kg Caixa = 4Kg
Manutenção	Simples	Complexa
Observação	Fonte limitada (tempo)	Fonte ilimitada (tempo) Falhas dormentes

Esta análise deve avaliar, para cada opção de fonte de alimentação de emergência, itens como instalação, integração com demais sistemas, custo, manutenção, tamanho da aeronave, autonomia de vôo para traslados sobre o Atlântico, quantidade de falhas dormentes, etc., buscando a melhor solução para determinado projeto.

A RAT é um sistema pouco conhecido, mas de grande importância nas aeronaves em que se faz presente. Incidentes aéreos registrados na história não se tornaram catastróficos devido à sua utilização (dados de fornecedores constataam que mais de 1400 vidas já foram salvas com a utilização desse sistema).

Referências

- AIR TRANSAT 236. Disponível em <http://www.airdisaster.com/photos/ts236/photo.shtml>. Acesso em 10 mai 2008.
- AIR TRANSAT FLIGHT TS 236. Disponível em http://www.transat.com/en/media_centre/2.0.media_centre.asp?id=827. Montreal, Qc, Canadá – October 17, 2004. Acesso em 10 mai 2008.
- EISMIN, T. K. *Aircraft Electricity & Electronics*, Fifth (5ª) Ed. New York: Ed. MacMillan/McGraw-Hill, 1994.
- FAR – *Federal Aviation Regulation* – October, 2007. Disponível em <http://rgl.faa.gov/>. Acesso em 10 abr 2008.
- FITZGERALD, A. E.; KINGSLEY, C. Jr.; KUSKO, Alexander. *Maquinas Elétricas*, São Paulo: Ed. McGraw-Hill, 1975.
- HAMILTON SUNDSTRAND – *A United Technologies Company*. Disponível em www.hamiltonsundstrand.com. Acesso em 10 mar 2008.
- HISTÓRIA DA AVIAÇÃO CIVIL. Disponível em http://www.portalbrasil.net/aviacao_historia.htm. Acesso em 31 mar 2008.
- JAR – *Joint Airworthiness Requirements* – January, 2008. Disponível em www.jaa.nl. Acesso em 10 abr 2008.
- MIL-STD-704F - *Department of Defense Interface Standard – Aircraft Electric Power Characteristics* – March, 2004. Disponível em www.mil-standards.com. Acesso em 10 abr 2008.
- RBHA – Regulamento Brasileiro de Homologação Aeronáutica – Agosto, 1990. Disponível em www.anac.gov.br. Acesso em 10 abr 2008.