

Engine Vibration Analysis

By Dean Benedict, december 07, 2021

Análise de vibração de motor

Dean Benedict – 07/12/2021



Writing about prop balancing in the October 2021 issue of King Air magazine got me thinking about engine vibration analysis. Some King Air owners and pilots have never heard of it, as it's not required by the factory and not part of any Phase checklist or special inspection. Unless you are a turbine engine fanatic or you build them for a living, chances are you haven't crossed paths with an engine vibration analysis. The one exception would be those with an engine on the MORE (Maintenance on Reliable Engines) program, as engine vibration analysis is a recurring requirement for engines enrolled in it.

Escrever o artigo de balanceamento de hélice (*“Good vibrations – the benefits of dynamic prop balancing/Boas vibrações – os benefícios de balanceamento de hélice dinâmico, com data de 08/10/21)* me fez pensar em análise de vibração do motor. Alguns proprietários e pilotos da King Air nunca ouviram nesta, pois não é exigida pela fábrica e não faz parte de nenhuma lista de verificação de fase ou inspeção especial. A menos que você seja um fanático por motores de turbina ou seja um construtor deles para ganhar a vida, é provável que você ainda não tenha cruzado e se deparado com uma análise de vibração do motor. A única exceção seriam aqueles com um motor no programa MORE (*Maintenance on Reliable Engines/Manutenção em motores na Confiabilidade*), uma vez que a análise de vibração do motor é um requisito recorrente para os motores inscritos no programa.

Engine Vibrations / Vibrações do motor

Anything that spins generates a vibration whether it's a propeller or a gearbox, if it spins smoothly the normal vibration is minimal. If it is out of balance, the vibration is more pronounced. Over time, the friction between moving parts creates excess play and the spinning becomes wobbly. This is where good vibrations go bad.

Qualquer coisa que gira gera uma vibração, seja uma hélice ou uma caixa de redução; se girar suavemente, a vibração normal é mínima, se estiver desequilibrada, a vibração é mais

pronunciada. Com o tempo, o atrito entre as partes móveis cria uma folga excessiva e o giro torna-se instável. É aqui que as boas vibrações vão mal.

When you bring an engine to full power there are many associated components operating simultaneously. The starter generator, the fuel control, and oil and scavenge pumps are a few examples. These accessory components operate at a specific frequency (RPM) and each one generates a vibration. As a component begins to wear out, it is somewhat out of balance while spinning – the RPM is the same but the vibration increases. A worn-out component, still spinning at the same RPM is vibrating intensely and on the way to failure.

Quando você coloca um motor em potência total, há muitos componentes associados operando simultaneamente. O gerador de partida (*Starter*), o controle de combustível (*Fuel Control*) e as bombas de óleo (*Oil Pump*) e de retorno/recuperação (*Scavenge Pump*) são alguns exemplos. Esses componentes acessórios operam em uma frequência específica (RPM) e cada um gera uma vibração. Conforme começa a se desgastar, um componente fica um tanto desequilibrado enquanto gira - o RPM é o mesmo, mas a vibração aumenta. Um componente desgastado, ainda girando no mesmo RPM, está vibrando intensamente e a caminho de falha.

An engine vibration analysis (engine vibrate survey) detects the vibrations generated by each component. Periodic surveys, done within the same operational parameters, can pinpoint an issue as it develops, and allows the problem to be monitored and fixed before it becomes serious.

Uma análise de vibração do motor (pesquisa de vibração do motor) detecta as vibrações geradas por cada componente. Pesquisas periódicas, feitas dentro dos mesmos parâmetros operacionais, podem apontar um problema conforme o mesmo se desenvolve e permitem que o problema seja monitorado e corrigido antes que se torne sério.

Going Past TBO / Passando da TBO - revisão geral

Federal Aviation Administration (FAA) PART-135-regulated operators can't run engines past TBO unless they are on an FAA-approved program. For King Airs (other than the B100), it is the MORE program which stipulates that an engine vibration analysis must be done on each engine at 400-hour intervals.

Operadores pelo regulamento PART-135 da FAA não podem operar motores além da TBO (*overhaul* – revisão geral), a menos que estejam em um programa aprovado pela FAA. Para King Air (exceto o B100), é o programa MORE que estipula que uma análise de vibração do motor deve ser feita em cada motor em intervalo de 400 horas.

Many King Air owners operate under PART-91 regulations and therefore aren't required to overhaul their engines at 3.600 hours, nor are they required to put their engines on an FAA-approved alternative maintenance program. Inspections are required (i.e., the Hot Section Inspection) but overhauls become optional.

The decision to run your engines past TBO is one that PART-91 operators should not take lightly. Going on the MORE program is one alternative. It lays out a very thorough and precise schedule of maintenance tasks for each engine, some as frequent as 50-hour intervals.

Muitos proprietários de King Air operam pelo regulamento PART-91 e, portanto, não são obrigados a revisar seus motores a cada 3.600 horas, nem são obrigados a colocar seus motores em um programa de manutenção alternativo aprovado pela FAA. Inspeções são necessárias (ou seja, a inspeção da Seção Quente/*Hot Section*), mas as revisões tornam-se opcionais.

A decisão de operar seus motores além da TBO é algo que os operadores pelo regulamento PART-91 não devem tomar levemente. Aderir ao programa MORE é uma alternativa. O MORE apresenta um cronograma muito completo e preciso de tarefas de manutenção para cada motor, algumas com intervalos de até 50 horas.

Most owners I deal with are PART-91 operators and many are running their engines past overhaul. They just keep plowing along because they trust the PT6As on their King Air. They know them to be an extremely reliable engine and that in other countries the recommendation for overhaul is way beyond the 3.600 hours required in the U.S. That being said, I think performing engine vibrate surveys from time to time is a really good idea.

A maioria dos proprietários com quem lido são operadores pelo PART-91 e muitos estão operando seus motores após a TBO. Eles simplesmente continuam operando além da TBO porque confiam nos PT6A de seus King Air. Eles sabem que são um motor extremamente confiável e que em outros países a recomendação para revisão vai muito além das 3.600 horas exigidas no EUA. Dito isso, acho que realizar pesquisas de vibração do motor de vez em quando é realmente uma boa idéia.

Vibration Detection Equipment / Equipamento de detecção de vibração

Vibration detection is an integral part of aviation maintenance. I learned about prop balancing very early on in my career and always had access to (or owned my own) Chadwick balancer. Today, the equipment used for vibration analysis of aircraft engines and components is the Chadwick-Helmuth 192A Vibration Analyzer or the MicroVib II Aircraft Analyzer. Both are approved for use with the MORE program and identify the various vibrations in an engine running at takeoff power. Both report the frequency (RPM) and the amplitude of the vibrations detected, expressed in "ips" (inches per second). Results are plotted on a graph and typically RPM is plotted along the horizontal axis at the bottom of the graph and ips is the vertical axis.

A detecção de vibração é parte integrante da manutenção da aviação. Aprendi sobre balanceamento de hélice muito cedo em minha carreira e sempre tive acesso (ou tive meu próprio) balanceador *Chadwick*. Hoje, o equipamento usado para análise de vibração de motores e componentes de aeronaves é o Analisador de Vibração *Chadwick-Helmuth 192A* ou o Analisador de Aeronaves *MicroVib II*. Ambos são aprovados para uso com o programa MORE e identificam as várias vibrações em um motor funcionando na potência de decolagem. Ambos relatam a frequência (RPM) e a amplitude das vibrações detectadas, expressas em "IPS" (*inches per second*, ou polegadas por segundo). Os resultados são plotados em um gráfico e normalmente RPM é plotado ao longo do eixo horizontal na parte inferior do gráfico e amplitude IPS é o eixo vertical.

When I maintained King Airs with engines on the MORE program, there was one guy in town with the Chadwick-Helmuth 192A. I hired him to complete all my engine vibrate surveys.

Quando mantive King Air com motores no programa MORE, havia um cara na cidade com um analisador *Chadwick-Helmuth 192A*. Eu o contratei para completar todas as minhas pesquisas de vibração do motor.

The 192A analyzer is an analog device that uses cards pre-printed with a grid of RPM versus ips. It has a pen device that records the analyzer box data onto the card, similar to a seismograph.

It may sound archaic in this digital age but the 192A has surprising sensitivity and scope. The cards record RPMs from 150 to 900,000 and ips from 0 to 10.0. The card most applicable to PT6A engines has the red border with an RPM range of 150-14,000 and ips from 0 to 3.0.

O analisador "192A" é um dispositivo analógico que usa cartões pré-impresos com uma malha de RPM versus IPS. Possui uma caneta que registra os dados do reticulado do analisador no cartão, semelhante a um sismógrafo. Pode parecer arcaico nesta era digital, mas o "192A" tem uma sensibilidade e alcance surpreendentes. Os cartões registram RPM de 150 a 900.000 e IPS de 0 a 10,0. A placa mais aplicável aos motores PT6A tem bordo vermelho com uma faixa de RPM de 150-14.000 e IPS de 0 a 3,0.

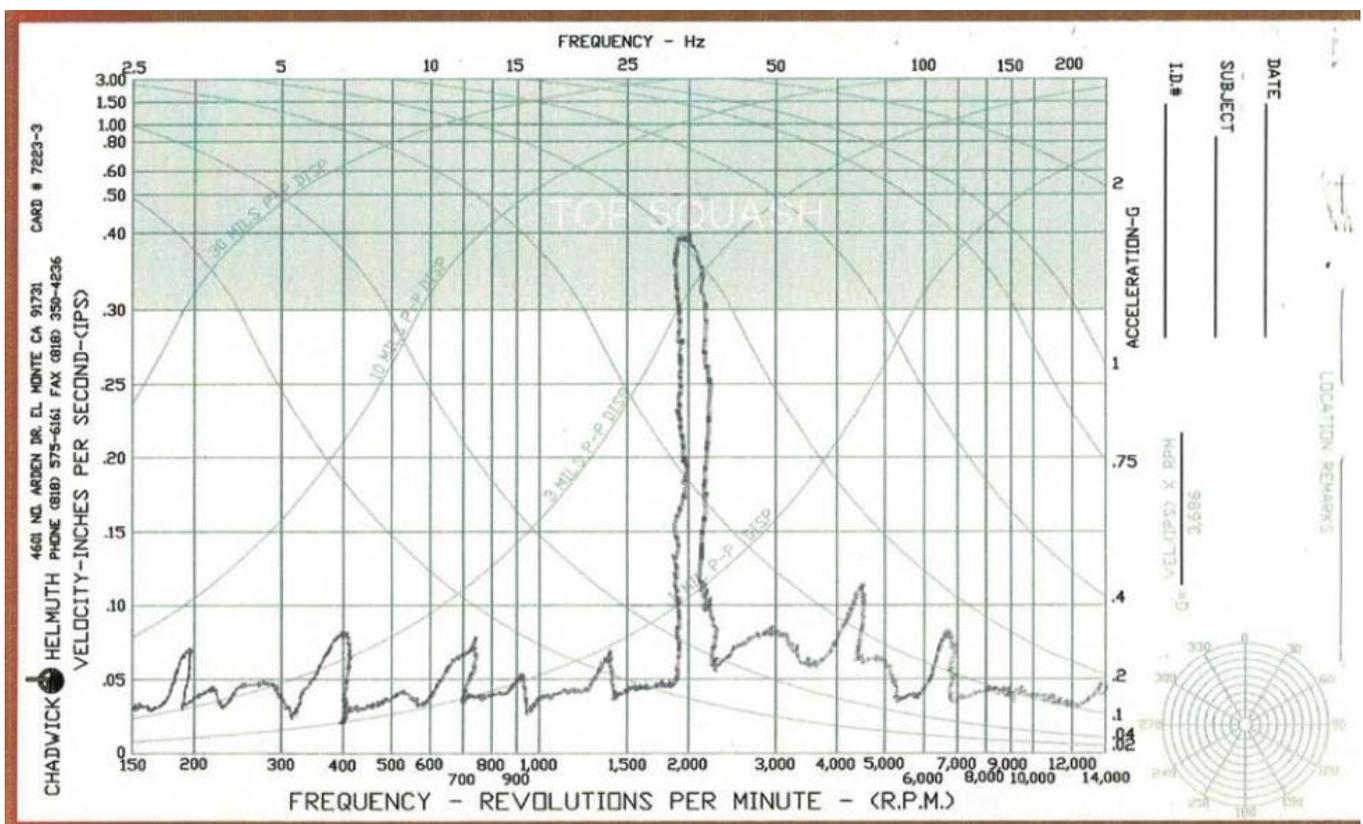
Reading the Graph / Lendo o gráfico (RPM x IPS)

The vertical axis on the graph (ips) shows the degree of vibration. The taller the spike, the more vibration is going on. Remember, the various components have a signature RPM, so look to the horizontal axis (RPM) to identify which component is vibrating.

I prepared a mock-up of a readout from a 192A (shown below). This is strictly for illustration purposes; it is not an actual vibe survey graph, although it looks remarkably similar to ones I've seen over the years.

O eixo vertical no gráfico (IPS) mostra o grau de vibração. Quanto mais alto um pico na linha dos pontos "casados" RPM e IPS, mais vibração ocorre. Lembre-se de que os vários componentes têm um RPM exclusivo, portanto, olhe para o eixo horizontal (RPM) para identificar qual componente está vibrando.

Eu preparei um quadro gráfico de uma leitura de um 192A (mostrado abaixo). Isso é estritamente para fins ilustrativos; não é um gráfico de pesquisa de vibração real, embora seja notavelmente semelhante aos que tenho visto ao longo dos anos.



Note the big spike going up to 0.4 ips. It is aligned with 2,000 RPM, which is the frequency for the prop. Many King Air propellers run at 2,000 RPM. More specifically, model 350s run around 1,700 RPM; the other models range between 1,900-2,200 RPM. In the example I show how a vibrating component manifests on the engine vibration analysis. If this were a survey of a King Air and they found a prop at 0.4, I'd have them balance it and bring it down as low as possible.

Observe o grande pico subindo para 0,4 IPS, que está alinhado com 2.000 RPM, que é a frequência da hélice. Muitas hélices King Air funcionam a 2.000 RPM; mais especificamente, o modelo 350 funciona em torno de 1.700 RPM, os outros modelos variam entre 1.900-2.200 RPM. No exemplo, mostro como um componente vibratório se manifesta na análise de vibração do motor. Se fosse uma pesquisa de um King Air e encontrassem uma hélice em 0,4 IPS, eu os faria balanceá-la e baixar [a vibração] o mais baixo possível.

It's important to note that the vibrations generated by the components other than the propellers cannot be felt in the cabin. The engine isolators remove them from the airframe. So, an engine vibe survey is the only way to find out if something is rattling away under the cowling.

Vibrations reaching the top echelons of the graph need attention. The MicroVib II graphs are similar in this way. The MORE STC classifies vibrations under 0.5 ips as "normal." My only exception to this would be the props, because when they are even slightly out of balance it can be felt in the cabin. "High normal" is 0.5 to 0.75 ips, above that you have "monitor closely" followed by "unacceptable" or "failure imminent."

Common sense would dictate that the greater the vibration, the more rapidly the component will continue to shake itself apart. "Monitor closely" raises enough red flags that I would investigate that component.

É importante notar que as vibrações geradas pelos outros componentes além das hélices não podem ser sentidas na cabine. Os isoladores do motor eliminam vibrações da estrutura. Portanto, uma pesquisa de vibração do motor é a única maneira de descobrir se algo está "trepidando" sob a capota.

As vibrações atingindo os escalões superiores do gráfico precisam de atenção.

Os gráficos MicroVib II são semelhantes neste aspecto. O STC MORE classifica vibrações abaixo de 0,5 IPS como "normais". Minha única exceção seriam as hélices, porque quando estas estão um pouco desbalanceadas podem ser sentidas na cabine. "Normal alto" é de 0,5 a 0,75 IPS, acima disso você tem de "monitorar de perto" para a seguir classificar como "inaceitável" ou "falha iminente".

O bom senso ditaria que quanto maior a vibração, mais rapidamente o componente continuará a trepidar e se desagregar. "Monitorar de perto" levanta "bandeiras vermelhas" o suficiente para que eu investigue esse componente.

Starter Generators and Fuel Controls / Gerador de partida e controle de combustível

Starter generators on most King Airs run around 10,000 RPM at full power. It's one of the first things I look at on an engine vibe survey. I'm especially concerned with the -001s used in King Air 300s and 350s, as this particular model (p/n 23085-001) is notorious for failing to make it to overhaul at 1.000 hours.

When they fail, they do it in a big way. Typically a bearing goes out, then the armature flails around inside the case and destroys everything, leaving no core value – you must buy a new one outright. Many thousands of dollars can be saved by monitoring starter generator vibrations and catching the problem early.

This could happen with any starter generator on any King Air; however, if you have -001s, I can't stress this strongly enough – pay close attention to your starter generators. At a routine inspection, a shop might see that the brushes are worn. They might think, "The -001 isn't due for overhaul for 300 hours, I might just change the brushes and save this guy some money." But unknown to them, one or both bearings are going bad and failure is imminent. An engine vibe survey would show this; I'd recommend one by the 700-hour mark.

Os geradores de partida na maioria dos King Air funcionam com velocidade em torno de 10.000 RPM com potência total. É uma das primeiras coisas que vejo em uma pesquisa de vibração de motor. Estou especialmente preocupado com os geradores de registro de componente "-001" usados no King Air 300 e 350, já que este modelo específico (PN 23085-001) é notório por não conseguir fazer uma revisão em 1.000 horas.

Quando estes falham, o fazem em "grande estilo". Normalmente, um rolamento falha, então o induzido (conjunto rotativo) se agita dentro da caixa e destrói tudo, não deixando nenhum valor

de núcleo - você deve comprar um novo imediatamente. Muitos milhares de Dólares podem ser economizados monitorando-se as vibrações do gerador de partida e detectando o problema o quanto antes.

Isso poderia acontecer com qualquer gerador de partida em qualquer King Air; no entanto, se você tiver um de PN com terminação "-001", não posso enfatizar isso com força suficiente - preste muita atenção aos seus geradores de partida. Em uma inspeção de rotina, uma oficina pode constatar que as escovas estão gastas. Eles podem pensar: "O -001 não deve ser revisado por 300 horas, posso apenas trocar as escovas e economizar algum dinheiro para esse cara". Mas, sem o conhecimento deles, um ou ambos os rolamentos estão com defeito e a falha é iminente. Uma pesquisa de vibração do motor mostraria isso; eu recomendaria uma pesquisa na marca de 700 horas.

Fuel control units on most King Airs run around 5,800 RPM. Excessive vibration on a fuel control is a sign the front bearing is going out. When that bearing fails, the fuel control breaks down and the engine accelerates out of control. If you are unable to shut that engine down immediately, you'll have an over-torque situation and the power section will have to come out.

As unidades de controle de combustível na maioria dos King Air funcionam em torno de 5.800 RPM. A vibração excessiva em um controle de combustível é um sinal de que o rolamento dianteiro está quebrando. Quando esse rolamento falha, o controle de combustível quebra e o motor acelera descontroladamente. Se você não conseguir desligar o motor imediatamente, terá uma situação de torque excessivo e a seção de potência terá que "sair".

Component RPM Complexities / Complexidades de componente a RPM

The concept of engine vibration analysis is quite simple, but there is a devil (or two) in the details. Interpreting the graphed results accurately can be a bit involved. There are two complexities that I must point out. First, the specified RPMs for the various components vary between engine models. When I say that fuel control units operate around 5,800 RPM, it is a ballpark figure. The precise RPM for any component depends on which PT6A you have on your King Air.

The engine maintenance manual specifies the RPM for that engine at 100% and gives mathematical formulas to find the exact RPMs for the accessory components. Due to engine limits, your vibrate survey will be performed at a lower speed, say 97%. Now the RPMs for all the components must be computed to that speed and will decrease accordingly. The lowest acceptable speed for an engine vibrate survey is 93%.

O conceito de análise de vibração do motor é bastante simples, mas há um problema – um "diabo", ou dois, nos detalhes. Interpretar os resultados gráficos com precisão pode ser um pouco complicado. Existem duas complexidades que devo apontar.

Primeiro, as RPM especificadas para os vários componentes variam entre os modelos de motor. Quando digo que as unidades de controle de combustível operam em torno de 5.800 RPM, é um valor aproximado. A RPM precisa para qualquer componente depende de qual PT6A você tem em seu King Air.

O manual de manutenção do motor especifica as RPM para esse motor em 100% e fornece fórmulas matemáticas para encontrar as RPM exatas para os componentes acessórios.

Devido aos limites do motor, sua pesquisa de vibração será realizada em uma velocidade mais baixa, digamos 97%. Agora, as RPM para todos os componentes devem ser calculadas para essa velocidade (de 97%) e diminuirão de acordo. A velocidade mais baixa aceitável para uma pesquisa de vibração do motor é 93%.

Example: on a PT6A-128, the compressor speed at 100% is 37.500 RPM and the starter generator operates at 10.991 RPM. However, at 98%, the compressor speed is 36.750 RPM and the starter generator is now running at 10.771 RPM. Your maintenance technician or the analyzer

operator will do the necessary math to interpret the graphed results, based on information in the manual furnished by Pratt & Whitney.

Exemplo: em um PT6A-128, a velocidade do compressor em 100% é 37.500 RPM e o gerador de partida opera a 10.991 RPM. No entanto, a 98%, a velocidade do compressor é 36.750 RPM [=0,98*37.500] e o gerador de partida agora está funcionando a 10.771 RPM [=0,98*10.991]. Seu técnico de manutenção ou o operador do analisador de vibração fará os cálculos necessários para interpretar os resultados gráficos, com base nas informações do manual fornecido pela Pratt & Whitney.

* os valores de RPM citados acima para um motor PT6A-128 e seu gerador de partida foram fornecidos pelo STC MORE e usados com permissão.

The second complication with component RPM speeds is where multiple frequencies are generated by one component. The propeller is a prime example – your prop may spin at 2,200 RPM but the blades generate additional vibrations. A 3-blade prop will read differently than a 4-blade prop. These additional vibrations will show up on the engine vibration analysis and must be accounted for in the interpretation of the graphed results.

A segunda complicação com as velocidades em RPM dos componentes é quando várias frequências são geradas por um componente. A hélice é um excelente exemplo - sua hélice pode girar a 2.200 RPM, mas as pás geram vibrações adicionais. Uma hélice de 3 pás terá uma leitura diferente de uma hélice de 4 pás. Essas vibrações adicionais aparecerão na análise de vibração do motor e devem ser levadas em consideração na interpretação dos resultados gráficos.

For engines enrolled on the MORE program, a detailed manual specific to that engine is provided. It contains, among other things, tables with all the component RPMs corresponding to a variety of compressor speeds; the math is already done. The RPM figures quoted above for a -128 engine and its starter generator were furnished by the MORE STC and used with permission.

Para motores inscritos no programa MORE, é fornecido um manual detalhado específico para o correspondente motor. O manual contém, entre outras coisas, tabelas com todos as RPM dos componentes correspondendo a uma variedade de velocidades do compressor - a matemática já está feita.

Os valores de RPM citados acima para um motor PT6A-128 e seu gerador de partida foram fornecidos pelo STC MORE e usados com permissão.

An Ounce of Prevention ... / Uma grama de/para prevenção

As moving parts wear down, they go out of balance and vibrate more. An engine vibration analysis identifies these vibrations. Periodic vibration surveys allow you to monitor a developing situation and nip it in the bud before it “blooms” into a costly repair. I can see no downside to doing them. They are an excellent diagnostic tool for all King Air operators, not just those going past TBO.

À medida que as peças móveis se desgastam, as mesmas perdem o balanceamento e vibram mais. Uma análise de vibração do motor identifica essas vibrações. Pesquisas periódicas de vibração permitem que você monitore uma situação em desenvolvimento e “corte-a pela raiz” antes que ‘floresça’ e se torne um reparo caro. Não consigo ver nenhuma desvantagem em fazê-las. Elas são uma excelente ferramenta de diagnóstico para todos os operadores King Air, não apenas para aqueles que passam pela TBO.

As they say, an ounce of prevention is worth a pound of cure.

Como dizem, “um grama de/para prevenção vale um quilo de/para cura”.

Dean Benedict

Especialista em manutenção aeronáutica com certificação A&P/IA (*Airframe and Powerplant/Célula e motor – Inspection Authorization/inspeção autorizada*), com mais de 40 anos de experiência em manutenção da linha Beechcraft King Air

Fundador e ex-proprietário da Honest Air Inc., organização de manutenção especializada em King Air (atendendo ainda modelos Beechcraft *Duke* e *Baron*)

Atualmente à frente da BeechMedic LLC, sua consultoria especializada em King Air para proprietários e operadores, assessorando assuntos relacionados com manutenção, solução para questões técnicas, pré-compra e etc

É articulista permanente da revista mensal King Air Magazine, com a coluna “*Maintenance Tip*” (Dica de manutenção)