



Noções básicas e introdução às “vibrações mecânicas”

Introdução

As vibrações de natureza mecânica são manifestações que ocorrem com frequência ao nosso redor, muitas vezes liberando grande quantidade de energia, como tremores na crosta terrestre, por exemplo. Por isso, já são objetos de estudo muito anterior à revolução industrial. Entretanto, a partir de então, passaram a ser parte importante nos projetos de novos equipamentos, máquinas, utensílios domésticos, etc.

na fase de projeto procura-se, através de análise de vibração, determinar e eliminar possíveis fontes de excitação, simulando problemas que possam vir a causar falhas prematuras de equipamentos ou componentes de máquinas.

Mas, em virtude da impossibilidade de se fabricar componentes mecânicos totalmente isentos de imperfeições, bem como de se executar montagens e acoplamentos perfeitos entre os componentes de um equipamento, as máquinas ficam sujeitas a apresentar um determinado “nível de vibração”.

o conhecimento e o controle deste “nível de vibração” são de extrema importância, pois, seu efeito tem consequências das mais variadas formas, tais como desgaste prematuro de superfície de contato (mancais, rolamentos), redução de vida útil de componentes por fadiga do material (eixos, engrenagens, estruturas), e, em situações mais extremas, a vibração pode levar à ruptura prematura dos elementos de fixação, causando graves danos materiais.

no nosso segmento específico, as máquinas para fabricação de papel começaram a trabalhar em regime de velocidade considerável a partir de 1970, quando se percebeu a necessidade da utilização da análise de vibração.

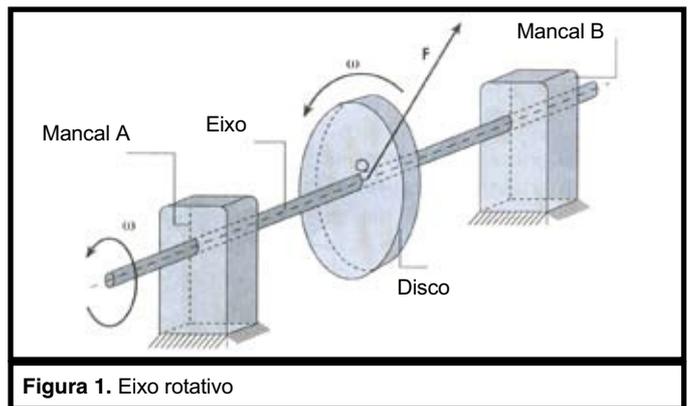
Fundamentos básicos

Claro que nosso objetivo aqui é mais específico e vamos abordar apenas os fundamentos que nos permitam o entendimento dos mecanismos associados aos fenômenos de vibração mecânica.

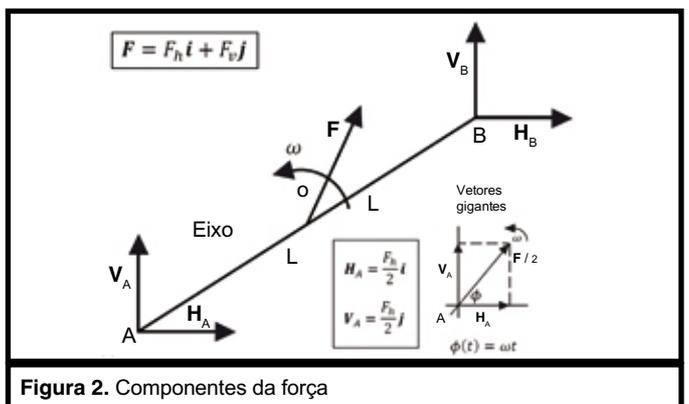
Apenas para efeito de ilustração (não faremos aqui toda a sequência de demonstração da dedução das fórmulas que correlacionam a Lei de Newton com as forças resultantes no mancal de um elemento rotativo), podemos tomar como exemplo um eixo rotativo, representado na

Figura 1, suportando um disco ao qual se adiciona uma massa que provoca um desbalanceamento.

A vibração mecânica se manifesta em função de esforços de natureza dinâmica, onde a intensidade e direção de forças mudam continuamente com o tempo. E sabe-se que essas forças são proporcionais ao quadrado da velocidade angular.



As forças rotativas no eixo e mancal podem ser decompostas na horizontal e vertical, variando conforme a posição da massa, como mostra o gráfico da Figura 2.



Para simplificar o raciocínio, tomemos um modelo mecânico que representa o mancal “A”, conforme Figura 3, onde a massa “M” representa toda a massa agregada a esse mancal, a mola “k” a deformação do material e componentes.

Se observarmos apenas a direção vertical do mancal “A”, teremos um gráfico de deslocamento no tempo na forma senoidal. De forma simplificada poderíamos representá-lo conforme a Figura 4, onde T é o período ou

ciclo de repetição do evento (no caso a rotação do eixo, normalmente medido em segundos), “f” a frequência ou número de ciclos por segundo (medido em Hz).

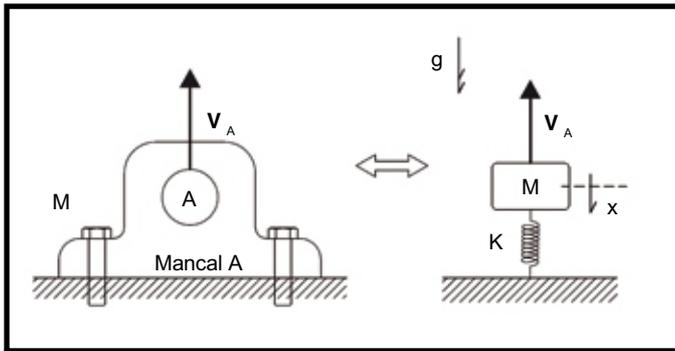


Figura 3. Modelo simplificado

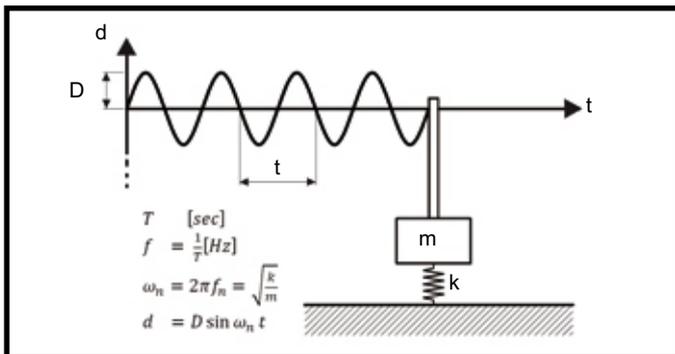


Figura 4. Deslocamento em função do tempo

nesse movimento da massa na direção vertical temos o deslocamento “D”, a velocidade de deslocamento “V” e a aceleração “a” atuando simultaneamente. Quando o deslocamento atinge o ponto máximo, a velocidade de deslocamento cai a zero e a aceleração atinge seu valor máximo no sentido oposto, conforme podemos observar nos diagramas da Figura 5, bem como a correlação matemática entre as grandezas.

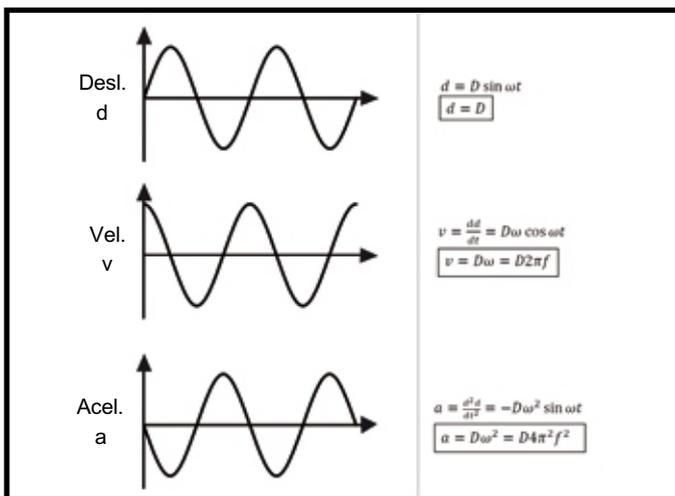


Figura 5. Correlação entre as grandezas

A correlação matemática entre as equações nos permite, a partir da medição de uma das variáveis, conhecer as outras duas, através de “integração” ou “derivação”. Com o desenvolvimento de computadores, foi possível construir analisadores que processam essas grandezas em tempo real, nos possibilitando visualizá-las em tempo real.

teoricamente, poderíamos utilizar sensores de deslocamento, de velocidade ou acelerômetros para registrar a vibração e com essa informação determinar as demais. Entretanto, em termos práticos, o sensor de velocidade, embora tenha alta sensibilidade, trabalha em um range de frequências entre 10Hz e 1kHz, cortando as baixas frequências, que nos interessam na análise de rolos e principalmente feltros, além de ter confiabilidade moderada.

o sensor de deslocamento trabalha em um range de frequências entre 0 e 500Hz, de alta confiabilidade e sensibilidade moderada, mas necessita de ponto fixo de referência, o que dificulta um pouco sua praticidade. Já o acelerômetro, embora tenha a menor sensibilidade quando comparado aos anteriores, trabalha em um range entre 0,03Hz e 10kHz, com alta confiabilidade, e pode trabalhar com base magnética sem interferência significativa no seu resultado final.

Com o sinal do acelerômetro e a ajuda de um processador matemático (FFT), no caso um “analisador de vibrações”, que aplica as integrações necessárias e transforma o sinal de aceleração em “velocidade em função da frequência” e “deslocamento em função do tempo”, podemos conhecer o comportamento de vibração em um equipamento registrando os picos de velocidade de deslocamento em suas respectivas frequências.

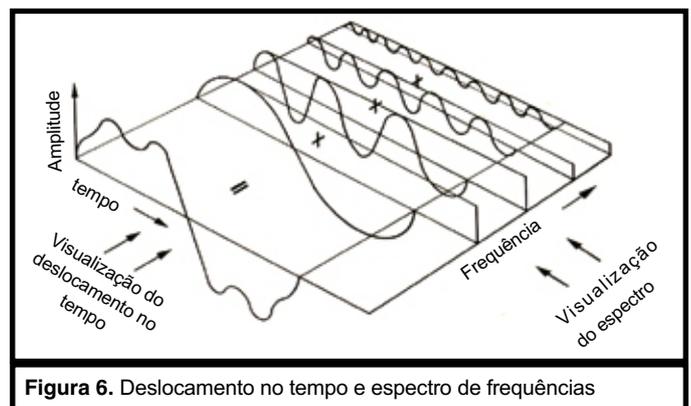


Figura 6. Deslocamento no tempo e espectro de frequências

o gráfico da figura 6 representa esquematicamente como o analisador distribui no espectro de frequência as várias formas de deslocamento que são lidas pelo acelerômetro, pois, vistas na forma de deslocamento no tempo, sem filtro ou sincronismo, não nos dariam uma informação muito precisa de possível relação entre esta informação e os vários elementos rotativos que compõem o sistema. Já o espectro que mostra velocidades de deslocamento em função de frequências, permite-nos

correlacionar as frequências onde os picos se manifestam com as frequências rotacionais dos vários elementos rotativos que compõem a prensa.

Abaixo, duas imagens mostrando os gráficos de deslocamento no tempo (Figura 7A) e espectro em função da frequência (Figura 7B).

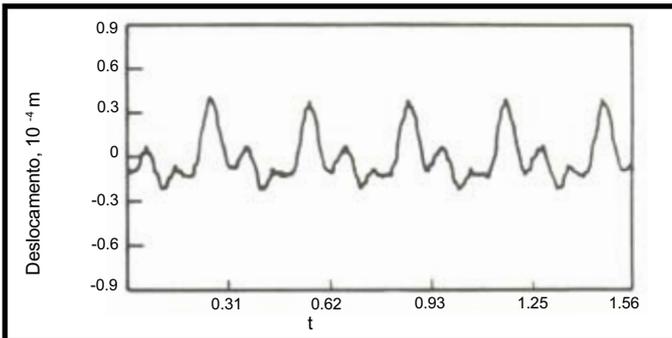


Figura 7A. Deslocamento no tempo tempo, s

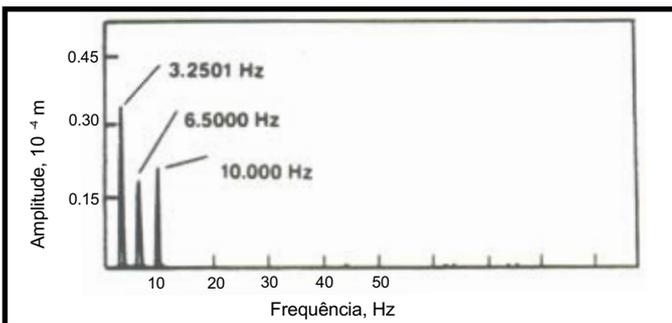


Figura 7B. Espectro em função da frequência

Para efeito de normalização, “velocidade de vibração” foi selecionada como o “parâmetro significativo” para caracterizar a severidade de vibração de um equipamento, mas não a velocidade obtida diretamente do deslocamento pico a pico e sim a velocidade RMS (*root-mean-square*) em “mm/s”.no gráfico da Figura 8 fica fácil visualizar o conceito.

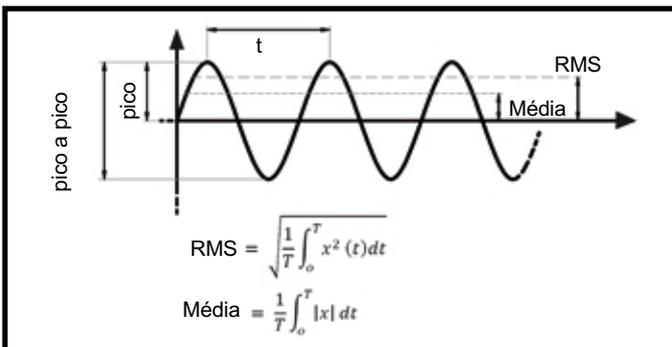


Figura 8. Valor RMS

o que foi fundamental para a escolha de “velocidade de deslocamento”, como parâmetro de norma, é o fato de que as demais grandezas, deslocamento e aceleração,

não têm comportamento linear para todo o espectro de frequências que um equipamento pode apresentar. o espectro de deslocamento tende a amplificar as baixas frequências, enquanto o de aceleração tende a amplificar as altas frequências, como mostra o gráfico da Figura 9.

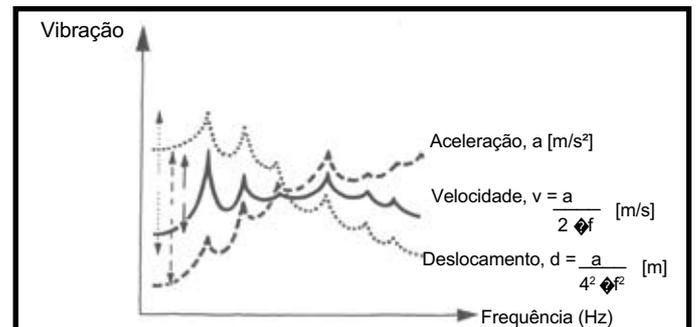


Figura 9. Comparação entre respostas das três grandezas

Portanto, conhecendo as frequências rotacionais dos elementos que compõem uma prensa e com a ajuda de um analisador de vibrações, podemos estabelecer uma correlação entre as frequências lidas em espectros de determinados mancais e os elementos rotativos que as compõem.

A dificuldade que poderemos encontrar utilizando apenas o espectro de frequências está no fato de que, na grande maioria das vezes, os picos de velocidade de deslocamento se apresentam em alta frequência, ou seja, em zonas onde as frequências podem ser múltiplos de vários dos elementos rotativos. Isso pode dificultar a determinação ou correlação matemática entre o fenômeno lido pelo analisador e as frequências rotacionais dos elementos.

Essas frequências múltiplas de uma determinada frequência rotacional ou natural são denominadas “harmônicas”. Portanto, na prática, as harmônicas dos elementos rotativos são determinadas matematicamente a partir da informação de perímetros (ou comprimentos) dos elementos e suas respectivas velocidades, pois a frequência rotacional “f” seria a velocidade “V” (m/s) dividida pelo perímetro “P” (m), ou seja:

$$f = V / P \text{ (Hz)}$$

temos duas informações que têm certa imprecisão, portanto o valor estabelecido nesse cálculo, quando multiplicado por dez ou quinze, para possível correlação com harmônicas, aumenta o erro em função da imprecisão inicial.

Em função disso, temos que ter certo cuidado quando utilizamos as informações de um espectro para a análise das possíveis fontes de excitação de uma prensa, pois poderemos concluir, com base em informações iniciais sujeitas a imprecisões, que um determinado pico de ve-

locidade em alta frequência está relacionado a um elemento rotativo, quando na verdade poderia estar relacionado a um outro.

Análise Síncrona

Para minimizar a possibilidade de erro, existe uma técnica que pode ser aplicada no momento da aquisição das informações pelo analisador de vibrações, que nos permite separar ou filtrar apenas a informação que nos interessa avaliar; essa técnica se chama “análise síncrona”.

A análise síncrona se dá, basicamente, com a inclusão de um sinal fornecido ao analisador de vibrações, que pode ser gerado eletronicamente por “tacogeradores” ou “fotossensores”, ao qual o analisador vincula o início da coleta de informações.

Conclusão

Como pudemos ver anteriormente, os diversos elementos rotativos têm assinaturas de deslocamento no tempo distintas. Recorrendo novamente à Figura 6, podemos associar a cada um dos quatro gráficos de “deslocamento no tempo” e, conseqüentemente, a cada um dos quatro picos de “velocidade de deslocamento em função da frequência”, um determinado elemento rotativo.

Partindo dessa hipótese, ao estabelecermos um sinal externo ao analisador que seja sincronizado com o elemento que se deseja avaliar, poderemos isolar o sinal de “deslocamento no tempo” desse elemento. Pois o analisador inicia a captura de dados sempre num determinado instante que corresponde fisicamente à passagem de um determinado ponto do elemento avaliado frente ao sensor. Como os períodos “t” dos elementos não são exatamente iguais, se fixarmos uma destas curvas no eixo do tempo, as demais se deslocarão em relação a esta, ou seja, há um movimento de deslocamento relativo entre as quatro curvas. Portanto, se solicitamos ao analisador que faça uma média de um número elevado

de amostras síncronas a um determinado elemento rotativo, a somatória dos deslocamentos das demais curvas, que correspondem aos demais elementos, tenderão a zero. Quanto maior o número de amostras envolvidas na captura de dados menor, a possibilidade de influência dos demais elementos não sincronizados no processo. Ao final da captura das leituras estabelecidas inicialmente, o aparelho mostra o “espectro de velocidade de deslocamento em função da frequência”, somente com as frequências ou harmônicas relacionadas com a frequência rotacional do elemento avaliado.

Dessa forma é possível avaliar a contribuição de cada um dos elementos rotativos de uma prensa com os vários mancais da mesma. Existem outros métodos de avaliação e formas de se chegar à causa da excitação, com base nas informações de espectro, mas dependem de uma série de informações adicionais, que trataremos em artigos futuros.

Referências

Soletto Jr, José; França, Luisnovaes Ferreira - Introdução às Vibrações Mecânicas.

Bruel&Kjær - Introduction to Vibration Analysis.

Perfil do autor:

Marcos Emídio Bressani é graduado em Engenharia Mecânica pela Escola de Engenharia Mauá (IMT-SP). Iniciou suas atividades na Voith Paper na área de “Aerotecnologia e Vapor” onde atuou por sete anos como projetista e responsável por *start-up* na Albany desde 1987, iniciou como Engenheiro de Serviços na área de Secagem, assumindo posteriormente, na área de prensagem, o desenvolvimento dos trabalhos em “Análise de vibrações”. Atualmente atua como “Vendedor Sênior” e responde como especialista nas áreas de secagem e vibrações.