

TEMA: Estudo de processos de impacto visando o aumento da taxa de penetração na perfuração de rochas duras

Sub-tema: Vibrações em Viga Engastada

**Alunos: Carolina do Amaral Galhardo
Pedro Tovar Braga
Orientador: Hans Ingo Weber**

Comentários Iniciais

A aluna Carolina Galhardo afastou-se por intercâmbio internacional do Bolsa PIBIC no início deste ano, tendo sido substituída por Pedro Tovar Braga na temática. Ao concluir apresentou ao orientador um relatório que serviu de uma introdução ao assunto ao aluno Pedro Tovar. Preferimos ao apresentar este relatório, fazê-lo na forma de uma síntese de atividades. Dentro do tema perfuração em rochas duras os alunos ocuparam-se do problema de uma viga engastada trabalhando com modelagem e validação de modelo.

Introdução

Vibração é o movimento de um ponto oscilando em torno de um ponto de referência. Uma viga, por exemplo, ao vibrar, possui amplitude e frequência. A amplitude do movimento é indicada em milímetros ou polegadas. O número de vezes que ocorre o movimento completo em determinado tempo é chamado de frequência em geral indicada em Hertz (Hz). As vibrações mecânicas podem ser medidas em aceleração (unidade no SI: metros por segundo ao quadrado), velocidade (unidade no SI: metros por segundo) ou deslocamento (unidade no SI: metros).

A análise de vibrações tem fundamental importância para as mais diversas áreas da engenharia, podendo ajudar na manutenção de máquinas, construção de grandes obras de engenharia civil, estudos de resistência de materiais e nas mais diversas áreas.

Para estudar as vibrações de uma viga engastada é de extrema utilidade o uso das funções horárias do deslocamento, da velocidade e da aceleração. Tais funções são relativamente simples e de grande importância no entendimento físico de certas experiências. Com o uso de equipamentos adequados podemos aplicar tais funções a partir de medidas coletadas e entender o comportamento oscilatório de uma viga.

Objetivos

Analisar o comportamento de uma viga em três diferentes situações: Vão Livre (condição inicial arbitrária), Forçamento por Motor e Forçamento por Agitador (“Shaker”).

Extraír, com o uso de acelerômetros, sensores de deslocamento e osciloscópio, dados experimentais.

Por último, a partir dos dados anteriores, comparar a velocidade da viga calculada com a ferramenta computacional MATLAB. Além disso, para o forçamento por agitador, encontrar a frequência natural de oscilação.

Metodologia

Inicialmente foi construída uma bancada de laboratório com um suporte no qual uma viga de metal ficava presa por parafusos e porcas, simulando um engaste. Para calcular a velocidade da viga ao ser excitada por uma condição inicial qualquer (Vão Livre), foi necessário utilizar os seguintes equipamentos:

-Acelerômetro piezoelétrico: Acelerômetro piezoelétrico é um instrumento que mede a aceleração de um corpo qualquer. Seu funcionamento é baseado no efeito piezoelétrico, gerando uma voltagem quando deformado, ou seja, converte a aceleração mecânica num sinal elétrico, que pode ser medido num osciloscópio.



Acelerômetro Piezoelétrico

-Sensor de deslocamento: O sensor de deslocamento, conforme o nome sugere, é usado para monitorar o movimento de um corpo qualquer. Existem diversos tipos destes sensores, e optamos por usar um sensor do tipo ótico, que funciona da seguinte forma: o laser interferométrico incide sobre o corpo que se deseja medir o deslocamento, e a variação da distância percorrida pelo laser é justamente o deslocamento em questão. Da mesma forma que o acelerômetro, o sinal é elétrico e também pode ser medido num osciloscópio.



Sensor de deslocamento

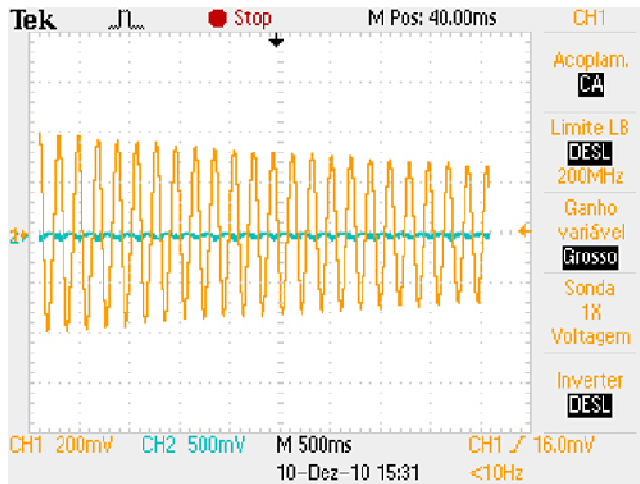
-Osciloscópio: O osciloscópio é um instrumento de medida eletrônico que cria um gráfico bi-dimensional visível de uma ou mais diferenças de potencial. O eixo horizontal do monitor normalmente representa o tempo, tornando o instrumento útil para mostrar sinais periódicos. O eixo vertical comumente mostra a tensão. O monitor é constituído por um "ponto" que periodicamente "varre" a tela da esquerda para a direita.



Osciloscópio Digital

Com os equipamentos devidamente conectados na bancada, analisamos as medidas de aceleração e deslocamento no monitor do osciloscópio e percebemos a existência de duas regiões: Regime Transiente e Regime Permanente.

Para cálculo de velocidade da viga, nos importa apenas a parte do sinal onde a amplitude do deslocamento se mantém praticamente constante, sendo desprezível o Regime Transiente. Portanto, para todas as análises do projeto utilizamos janelas do osciloscópio que não partiam do tempo zero, e sim de quando começava o Regime Permanente.



Regime permanente no osciloscópio
CH1: Deslocamento. CH2: Aceleração

tempo, estamos tratando de funções senoidais, que possuem derivadas e integrais de resolução trivial. No entanto, se queremos derivar ou integrar um sinal de osciloscópio com boa precisão, precisamos recorrer a ferramentas computacionais. O uso de osciloscópio digital facilita a passagem do sinal do próprio equipamento para um computador, e essa passagem é feita a partir da discretização do sinal. A ferramenta computacional utilizada para derivar e integrar tais sinais no tempo foi o MATLAB [2].

Por termos as medidas do sinal em tempo discreto, não conhecemos de imediato as derivadas e integrais do sinal. Utilizamos então três métodos para poder aplicar tais conceitos matemáticos em sinais contínuos: média móvel (“moving average”), ajuste polinomial (“polyfit”) e aproximação por funções seno.

A “moving average” é uma função existente na biblioteca do MATLAB que suaviza um sinal discreto a partir do cálculo da média de um determinado número de pontos flutuantes. Isso é necessário uma vez que o sinal proveniente do osciloscópio apresenta alguns ruídos, por mais que os sensores estejam calibrados. Daí então, convertemos tal sinal discreto para contínuo, de duas formas. A primeira delas foi feita com o uso da função (também na biblioteca do MATLAB) “polyfit”, que gera um polinômio de grau a escolher que melhor representa a curva de pontos flutuantes. Tendo o polinômio gerado, a derivada do sinal de deslocamento e a integral do sinal da aceleração são triviais.

Com o mesmo sinal suavizado, podemos obter ainda uma função contínua que o represente a partir de um somatório de funções seno, usando o princípio da série de Fourier [3]. Para nosso trabalho, um somatório de cinco funções seno já é mais do que o suficiente para bem representar o sinal que desejamos. E, mais uma vez, tendo a função, derivadas e integrais são triviais.

Numa segunda análise, observamos o comportamento da viga a partir de um Forçamento por Motor de baixas frequências. Neste caso, era importante diminuir movimentos horizontais e torque na viga, e por isso acoplamos engrenagens desbalanceadas ao sistema, nas quais o motor era conectado. Utilizamos nesse momento a mesma metodologia usada em Vão Livre para encontrar a velocidade da viga.

Por último, o motor foi removido e em baixo da viga colocado um “shaker”, que nada mais é do que um agitador com frequências e amplitudes controladas por um gerador de sinal. Ao analisar esse Forçamento por Agitador, percebemos que variando a frequência do shaker a viga pode assumir comportamento caótico e, por outro lado, em específicas frequências,

Sabemos que a função horária do deslocamento [1] nos fornece a posição do móvel em qualquer instante do movimento. Derivando essa função em relação ao tempo, obtemos a função horária da velocidade. Também encontramos tal função ao integrar a função horária da aceleração em relação ao tempo. Portanto, tendo dois diferentes sinais em um osciloscópio provenientes da oscilação de uma viga, sendo um do deslocamento no espaço e outro da aceleração, podemos encontrar a velocidade em questão a partir do uso de derivadas e integrais.

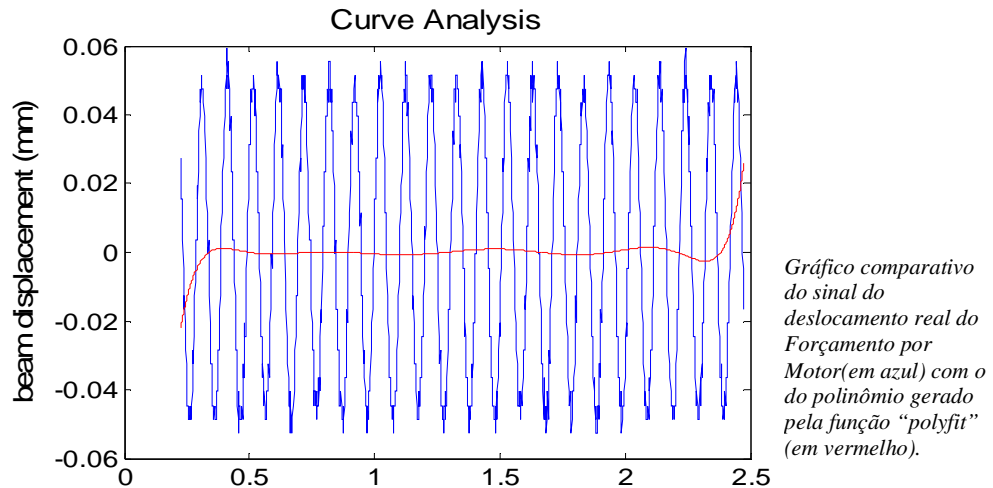
Como a viga oscila no

encontramos comportamento oscilante harmônico com altas amplitudes. Dessa forma, foi possível obter a frequência natural experimentalmente e observar como são diferentes os comportamentos da viga em função da frequência controlada.

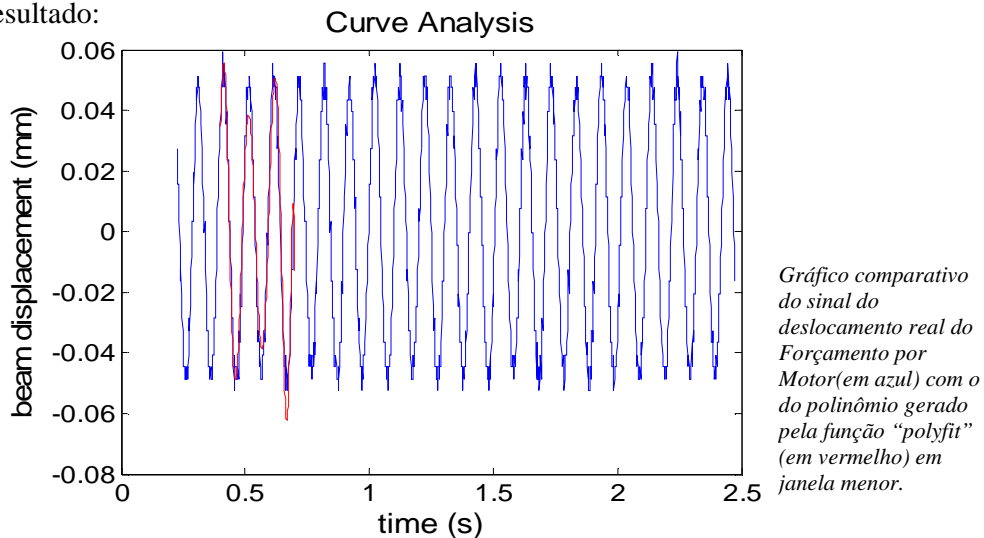
Nesse caso, assim como foi feito no Forçamento por Motor, usamos a metodologia do Vão livre para o cálculo da velocidade da viga.

Análise dos Resultados

Nos três casos, Vão Livre, Forçamento por Motor e Forçamento por Agitador, observamos que o método sugerido para representação dos sinais (aceleração e deslocamento) em tempo contínuo pelo uso da função polyfit nos dá um resultado nada satisfatório, como ilustrado abaixo a exemplo do Forçamento por Motor:

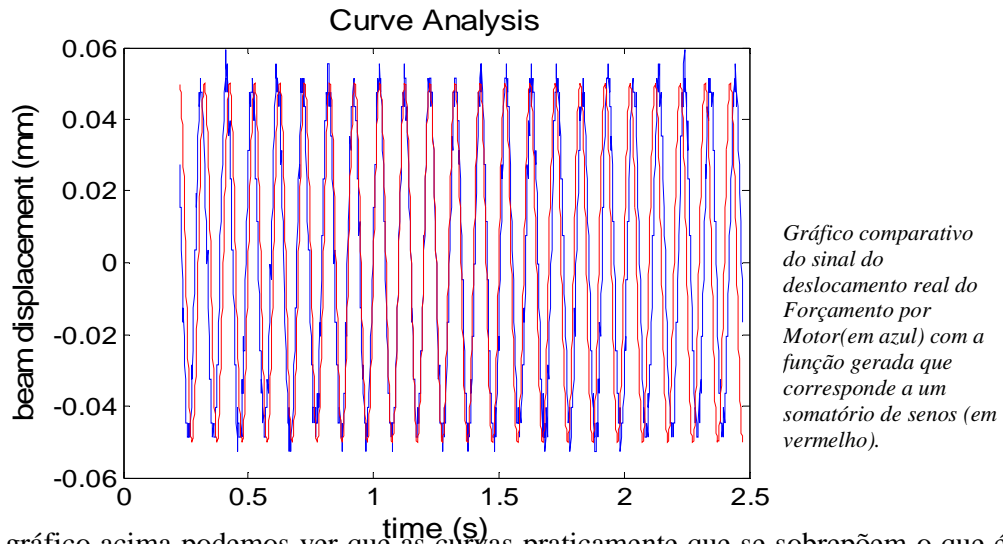


Para resolver este problema, inicialmente aumentamos o grau do polinômio que queríamos que gerasse a curva, o que resultou numa melhora, mas ainda longe do resultado esperado. No entanto, conforme maior o grau do polinômio, maior o esforço computacional, e para polinômios com grau muito superior a dez o tempo de processamento é enorme e inviável para computadores convencionais. Portanto, utilizando "polyfit" para grau dez e reduzindo a janela de pontos para qual desejávamos gerar um polinômio, obtivemos o seguinte resultado:



O que já é bem mais próximo da qualidade do resultado esperado, e assim, ao derivar e integrar o polinômio gerado para o deslocamento e aceleração respectivamente, encontramos velocidades bem próximas para as medidas em questão.

Para o outro método, utilizando o conceito de série de Fourier e aproximação por somatório de senos, obtivemos resultados semelhantes para os três casos, e como exemplo, abaixo está o gráfico encontrado para o Forçamento:



No gráfico acima podemos ver que as curvas praticamente se sobrepõem, o que é um resultado melhor do que o obtido pelo método da função "polyfit", pois não representa só uma janela do sinal, mas o sinal inteiro.

Neste momento, da mesma forma que no método anterior, utilizamos a derivada do deslocamento e a integral da aceleração para encontrar a velocidade da viga. Nesse método, da aproximação por somatório de senos, ao comparar a velocidade encontrada pela medida do acelerômetro com a encontrada pela medida do sensor de deslocamento, os resultados foram muito próximos e compatíveis com a realidade.

Conclusões

A velocidade da viga encontrada a partir da utilização do sensor de deslocamento foi bastante razoável e compatível com os valores teóricos. No entanto, percebemos uma série de problemas nas medições por acelerômetro, pois como trabalhamos sempre com amplitudes bem pequenas (da escala de 200mV a 2V no osciloscópio) e os acelerômetros são de extrema sensibilidade, estes acabavam captando ruídos de também baixas amplitudes que se confundiam com o sinal, tornando a saída extremamente poluída. Para resolver esse problema foram feitas inúmeras pesquisas sobre o funcionamento de acelerômetros piezoelétricos [4].

Além disso, percebemos a importância da frequência natural, visto que uma viga qualquer pode assumir comportamento aleatório ao ser excitada por uma frequência não calculada previamente.

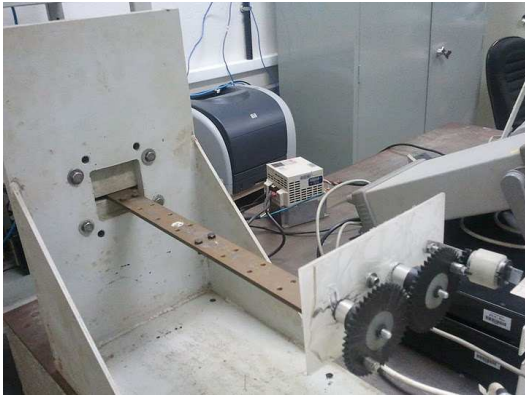
Referências

- 1 - FUNDAMENTOS DE FÍSICA 1 – MECÂNICA – Halliday, Resnick, Walker – 7ª Ed.
- 2 - APOSTILA DE MATLAB – UNI-BH – Centro Universitário de Belo Horizonte – Curso de Engenharia de Telecomunicações.

3 - OPPENHEIM, Alan O.; WILLISKY, A. Signals & Systems; Estados Unidos da América: Prentice-Hall, 1996.

4 - PIEZOELECTRIC ACCELEROMETERS AND VIBRATION PREAMPLIFIERS – Theory and Application Handbook – Brüel & Kjær.

Anexos



Bancada – viga engastada com engrenagens desbalanceadas ligadas ao motor de forçamento.



Shaker colocado em baixo da viga. A transmissão de movimento do shaker para a viga é dada por uma mola.



Para o funcionamento correto do Shaker era necessário conectá-lo a um amplificador de sinais, e este ligado a um gerador de sinais com frequência e amplitude controladas. Na figura ao lado, entre o gerador de sinais e o amplificador de sinais temos um condicionador de sinais, que foi utilizado para ajustar a leitura em osciloscópio do sinal gerado pelo acelerômetro.



A figura ao lado ilustra a localização do acelerômetro na viga.



Ao lado, a bancada completa no momento da simulação do forçamento por agitador para a medição com acelerômetro.