

ESPECTRO PBC – PERCENTAGEM DE BANDA CONSTANTE

João António Sobreiro Louro de Matos(*)

1.^{as} Jornadas de Engenharia Mecânica

Escola Superior de Tecnologia e Gestão do Instituto Politécnico da Guarda

Maio de 1999

(*) Engenheiro Mecânico

RESUMO

Em simultâneo com a crescente adopção da manutenção condicionada pela Indústria, as várias técnicas por si utilizadas têm, também, vindo a evoluir. Dentro delas, a medição e análise de vibrações, é talvez a mais aplicada. Por isso mesmo, torna-se imperativo o desenvolvimento de técnicas de medida simples de usar e de interpretar, e da necessária tecnologia para a sua aplicação prática.

O espectro FFT (*Fast Fourier Transform*) é tradicionalmente a técnica de detecção e diagnóstico de vibrações mais utilizada. Apesar da sua óptima *performance*, em determinadas áreas de aplicação, os custos operacionais para a sua utilização podem ser superiores ao expectável. Tal acontece, em aplicações de controlo de condição onde existe um grande número de máquinas (> 50).

O espectro PBC (*Percentagem de Banda Constante*) permite colmatar as falhas do espectro FFT, sendo assim adoptado para a detecção de avarias em máquinas rotativas, pela medição de vibrações. As suas vantagens são: facilidade de utilização e interpretação, óptima resolução, detecção de avarias no estágio inicial do seu desenvolvimento, redução de falsos alarmes, e redução da quantidade de dados recolhidos. As referidas características do espectro PBC permitem a redução dos custos operacionais, aumentando a rentabilidade do investimento efectuado no sistema de medição de vibrações.

O espectro FFT pode assim ser plenamente explorado no diagnóstico de avarias em máquinas rotativas, onde as suas potencialidades são amplamente reconhecidas.

1 - INTRODUÇÃO

Tem-se vindo a assistir nos últimos tempos à adopção da manutenção condicionada como a filosofia de base para a manutenção do parque de máquinas de diversas Indústrias. Assiste-se simultaneamente ao aparecimento de inúmeras inovações e optimizações nas técnicas e equipamentos utilizados na manutenção condicionada, com vista à diminuição dos custos operacionais e ao aumento na facilidade de utilização das relevantes técnicas.

Várias são as técnicas utilizadas no âmbito da manutenção condicionada, podendo salientar-se entre outras, a medição e análise de vibrações, a termografia, a endoscopia, a tribologia, etc. De todas elas, a medição e análise de vibrações, é a mais utilizada. É então de esperar, que seja nesta área que se observe o maior número de inovações e de esforços, no sentido de minimizar os custos envolvidos e maximizar a eficácia e rentabilidade na aplicação da referida técnica.

2 - ESPECTRO PBC

O espectro PBC (*Percentagem de Banda Constante*) é definido por um espectro em frequência, cujas bandas de frequência possuem uma largura determinada por uma percentagem constante da frequência central da banda, sendo a escala de frequência logarítmica. Os três tipos de espectro PBC actualmente utilizados são: espectro 6% PBC, espectro 23% PBC e espectro 70% PBC.

Uma vez que a largura de cada banda em frequência é definida por uma percentagem constante da sua frequência central, observa-se então uma largura de bandas de frequência relativa, sendo essa mesma largura de banda, menor nas baixas frequências e maior nas altas frequências. Facilmente se conclui que a resolução num espectro PBC é maior nas baixas frequências do que nas altas frequências, possuindo assim uma resolução relativa. A título de

exemplo, num espectro 23% PBC com gama de frequência de 10 Hz a 10 kHz, a banda de frequência cuja frequência central é 10 Hz, terá uma largura de banda de 2,3 Hz, enquanto que a largura da banda de frequência cuja frequência central é 1 kHz, será de 230 Hz !

Por definição, cada banda de frequência do espectro PBC, representa a energia contida na vibração medida, na gama de frequência da banda referida.

3 - COMPARAÇÃO DO ESPECTRO PBC COM O ESPECTRO FFT

O espectro FFT (*Fast Fourier Transform*) apresenta uma largura de banda absoluta constante numa escala linear, ou seja, cada linha do espectro tem a mesma largura de banda, em termos de frequência, sendo obtida pela divisão da gama de frequência do espectro pelo número de linhas utilizado no cálculo do mesmo. Por exemplo, um espectro FFT numa gama de frequência de 10 Hz a 10 kHz com 400 linhas, é observado com uma largura de linha de 25 Hz ao longo de todo o espectro. Assim, a resolução do espectro FFT é constante ao longo da sua gama de frequência. No caso de ser necessário aumentar a resolução do espectro FFT, torna-se necessário diminuir a gama de frequência do mesmo ou aumentar o número de linhas do analisador, estando-se, no segundo caso, limitados pelo analisador utilizado.

Conclui-se que as diferenças entre o espectro PBC e o espectro FFT são: a resolução do PBC é variável, enquanto que a do FFT é constante; a escala em frequência do PBC é logarítmica, enquanto que a do FFT é linear. Estas duas diferenças, embora pareçam pouco importantes, determinam que ambos os espectros sejam totalmente distintos e permitem que cada um deles desempenhe um papel importante no controlo de condição de máquinas por medição de vibrações.

4 - CONTROLO DE CONDIÇÃO DE MÁQUINAS

O controlo de condição de máquinas, pela medição de vibrações, passa pela detecção de alterações nos componentes da máquina que possam induzir avarias nessas mesmas máquinas e no posterior diagnóstico dessas mesmas alterações, no sentido de evitar a recorrência de avarias, através da medição sistemática (com recurso a sistemas *off-line* ou *on-line*) de vibrações em pontos criteriosamente escolhidos, da máquina em questão.

As avarias usuais, surgem inicialmente no espectro em frequência como vibrações harmónicas, ou moduladas, ou como impulsos periódicos, ou na forma de ruído aleatório, ou ainda como uma combinação destas quatro, podendo a amplitude variar até 60 dB (factor de 1.000!). As avarias usuais a que me refiro são: desequilíbrio, desalinhamento, desapertos, desacoplamentos, avarias em rolamentos, problemas em engrenagens, problemas de lubrificação, cavitação, problemas eléctricos, etc.

São estas avarias que têm de ser precocemente detectadas e posteriormente diagnosticadas, através da medição de vibrações, no sentido de realizar apenas as estritamente necessárias intervenções nas máquinas.

5 - ESPECTRO PBC – TÉCNICA DE DETECÇÃO POR EXCELÊNCIA!

Conclui-se pelas características do espectro PBC, que o mesmo permite a detecção das mais comuns avarias em máquinas rotativas de um modo eficiente, rápido e económico.

A resolução relativa do espectro PBC, permite a detecção de variadas avarias através de um único espectro. Possuindo uma alta resolução nas baixas frequências, detectam-se avarias do tipo: desequilíbrio, desalinhamento, desapertos, desacoplamentos, etc., que se manifestam por vibrações harmónicas nas baixas frequências; ao mesmo tempo que, e por possuir uma resolução optimizada nas altas frequências, permite a detecção de defeitos do tipo: avarias em rolamentos, problemas de lubrificação, problemas em engrenagens, problemas nas pás de turbinas, etc., que se manifestam por sinais impulsivos periódicos ou por ruído aleatório. Estes fenómenos, por não se manifestarem como vibrações harmónicas, não surgem no espectro de frequência como picos individualizados, pelo contrário, o aumento de energia por eles causado “espalha-se” ao longo de um determinado número de componentes espectrais, podendo ser observado no espectro PBC pela sua adequada resolução nestas frequências. Quando existem fenómenos de natureza harmónica nas altas frequências, como problemas em engrenagens ou em turbinas a gás, as bandas de frequência devem ser suficientemente largas para “absorver” as alterações aleatórias do sinal e ao mesmo tempo, suficientemente estreitas para detectar as componentes harmónicas do sinal. Neste último caso, deverá aplicar-se um espectro 6% PBC.

Consegue-se assim, com uma única medição, despistar uma grande variedade de potenciais avarias na máquina, tornando o espectro PBC numa óptima ferramenta de detecção inicial de falhas em máquinas.

Do mesmo modo se conclui que o espectro FFT, apesar de não ser a melhor solução para detecção de avarias, é a ferramenta ideal para diagnóstico das mesmas. Após detecção de uma avaria, poderá averiguar-se o seu estágio de desenvolvimento através do espectro FFT, ajustando-se a sua gama de frequência e o seu número de linhas, ao fenómeno em causa.

6 - OUTRAS VANTAGENS DO ESPECTRO PBC

Além da vantagem já referida do espectro PBC como ferramenta de detecção de avarias em máquinas rotativas, existem outras que reforçam a sua escolha.

Ao permitir a detecção das mais usuais falhas em máquinas, diminui o tempo de recolha de dados, permite uma redução na quantidade dos dados recolhidos e um aumento na capacidade de armazenamento de dados, diminuindo os custos operacionais; permite uma mais rápida análise dos dados recolhidos, possibilitando uma monitorização mais económica das diversas máquinas contempladas; é imune a pequenas variações da velocidade de rotação da máquina a monitorizar, aumentando a reprodutibilidade das medições e diminuindo a possibilidade de falsos alarmes.

6.1 - REPRODUTIBILIDADE DAS MEDIÇÕES

É regra geral que a análise em frequência de alta resolução requer mais tempo que a análise em frequência de baixa resolução. Consegue-se provar que esta regra está relacionada com a largura de banda utilizada e com o tempo de resposta do filtro usado na análise. O produto BT é o valor que é normalmente utilizado para definir a precisão estatística da medição de um sinal aleatório, sendo B a largura de banda e T o tempo efectivo de medida. Quanto maior o produto BT , maior a precisão da medição. Consegue-se estimar que, para uma medição com $BT = 30$ existe 68% de probabilidade do valor medido ser $\pm 10\%$ do valor real. Um BT de 100, é o mínimo aconselhado para a medição de sinais aleatórios.

A análise PBC pode ser facilmente configurada para conseguir BT aceitáveis, quando comparada com o número de médias necessárias na análise FFT, para obter o mesmo valor do BT . É por esta razão que as medições PBC reproduzem com grande fiabilidade todo tipo de sinais, incluindo os de natureza aleatória.

6.2 – IMUNIDADE A PEQUENAS VARIAÇÕES DA VELOCIDADE DE ROTAÇÃO

Quando a velocidade de rotação de uma máquina varia (variação $< 10\%$), dois problemas podem ocorrer no espectro em frequência: para variações de velocidade entre medições, as componentes em frequência do espectro deslocam-se ao longo do eixo da frequência; para variações de velocidade durante a medição, as componentes em frequência do espectro tendem a aumentar, produzindo “manchas” ao longo do espectro, que ocultam as componentes relevantes e diminuem a amplitude das mesmas.

As inerentes características da análise PBC, permitem acomodar os efeitos descritos das pequenas variações de velocidade de rotação da máquina.

6.3 - DIMINUIÇÃO DE CUSTOS OPERACIONAIS

A utilização de uma técnica, como o espectro PBC, que permite a detecção de avarias na sua fase mais incipiente, possibilita um maior tempo para planeamento e intervenção na máquina, além de diminuir ao mínimo a possibilidade de ocorrência de avarias não previstas, rentabilizando assim a manutenção efectuada.

Ao diminuir o tempo de recolha de dados e a quantidade de dados recolhidos, implicando um menor tempo para os analisar, consegue-se diminuir os custos directamente imputados à monitorização do estado das máquinas e otimizar o tempo ganho para o diagnóstico das mesmas.

A redução na quantidade de dados recolhidos, permite também, uma melhor gestão do armazenamento dos mesmos, possibilitando um sistema mais “leve” com as suas vantagens inerentes. A título de exemplo, pode-se comparar os 10 *kBytes* necessários para um espectro FFT de 6.400 linhas, com os 500 *Bytes* necessários para um espectro 6% PBC!

A relativa imunidade do espectro PBC a pequenas variações da velocidade de rotação da máquina, permite reduzir consideravelmente a ocorrência de falsos alarmes e, como consequência, os custos inerentes à geração dos mesmos.

7 - CONCLUSÕES

Apesar da existência de várias técnicas de detecção de avarias, pela medição de vibrações no âmbito da manutenção condicionada, facilmente se conclui que a análise PBC é aquela que mais vantagens traz para o seu utilizador.

Do mesmo modo, o espectro PBC não é uma técnica indicada para o diagnóstico de avarias, havendo para tal outras técnicas melhor adequadas, tais como o espectro FFT, a análise de envelope, o *cepstrum*, etc.

Uma vez que num programa de controlo de condição de máquinas, as medições para a detecção de avarias são efectuadas sistematicamente, a utilização de uma técnica bem adequada, reflectir-se-á no sucesso do programa, garantindo o objectivo essencial da manutenção – a diminuição dos custos associados à boa manutenção das máquinas e a garantia do bom funcionamento das mesmas.