



## 1. Escopo

Esta prática é recomendada para uso no teste e medição das características de operação das unidades ou componentes eletrônicos de emissão acústica, EA, (ver Apêndice X1 para a descrição de componentes e unidades). Não é intenção desta prática que ela seja usada para verificações de rotina da instrumentação de EA, mas para calibração periódica ou no caso de um mal funcionamento. Os sensores não estão contemplados neste documento a menos aqueles sugeridos em métodos de padronização dos sistemas de ganho (equalizando-os canal por canal) quando estão presentes.

Quando o fabricante fornece detalhes de testes e medições no manual de operação e manutenção, o método do fabricante deve ser usado em conjunto com os métodos descritos nesta prática.

Dificuldades ou medições da instrumentação questionáveis devem ser relatados ao pessoal especializado.

Os métodos apontados nesta prática não pretendem ser exclusivos ou exaustivos.

Os métodos (técnicas) usadas para teste e medições de componentes ou unidades da instrumentação de EA, e os resultados de tais medidas e testes devem ser documentados. A documentação consiste de fotografias, cartas ou gráficos, cálculos, e tabelas quando aplicável.

Sistemas de EA que usem mini ou microcomputadores para controlar a aquisição, armazenamento, apresentação, e análise dos dados são de uso comum. Características de sistemas baseados em computadores incluem uma seleção extensa dos parâmetros de medição relacionados ao evento de EA. Essa seleção, contudo, é usualmente feita após os dados terem sido adquiridos. Isso implica que os sinais de EA são registrados individualmente para análise posterior, ou que todos os parâmetros disponíveis são medidos em cada sinal de EA que exceda o limite selecionado. A análise posterior é o caso mais usual. O fabricante fornece uma especificação para cada sistema que especifica a faixa de operação e condições para o sistema. Toda a calibração e teste de aceitação de sistemas de EA baseado em computador deve usar a especificação do fabricante como guia. Esta prática não cobre o teste do computador ou periféricos.

*Esta norma não pretende atender todos problemas de segurança, caso existam, associado com o uso. É da responsabilidade do usuário desta norma estabelecer práticas seguras e saudáveis e determinar a aplicabilidade de limitações regulatórias prioritárias ao uso.*

## 2. Documentos de Referência

### 2.1 Normas ABENDE

PR-048 – Ensaio de Emissão Acústica – Terminologia

### 2.2 Outros documentos

Manual de manutenção e operação de fabricante pertinente ao componente ou instrumentação específica.

## 3. Terminologia

### 3.1 Definições

Para definições de termos adicionais relacionados com EA, ver PR-048.

### 3.2 Descrição dos termos específicos para esta norma

*Capacidade de processamento* - o número de sinais que podem ser processados na velocidade de processamento antes do sistema interromper a aquisição de dados para limpar os *buffers* ou para outro dispositivo aceitar dados adicionais.

*Duração do sinal de EA* - o tempo entre o sinal de EA iniciar e terminar.



*Faixa dinâmica* - a diferença em decibéis, entre o nível máximo e o mínimo do sinal, usualmente fixado por um ou mais níveis de ruído, distorção de baixo nível, interferência ou resolução em um sistema sensor.

*Fim do sinal de EA* - o término conhecido de um sinal é usualmente definido como a última vez que o sinal corta o limite de referência.

*Início do sinal de EA* - o início do sinal de EA como reconhecido pelo processador do sistema, usualmente definido pela amplitude que excede o limite de referência.

*Limite de voltagem* - nível de voltagem em um comparador eletrônico tal que sinais com grandes amplitudes maiores que este serão reconhecidos. O limite de voltagem pode ser ajustável, fixo ou flutuação automática.

*Limite flutuante* - qualquer limite com amplitude estabilizada por uma medida média no tempo do sinal de entrada.

*Nível de sobrecarga de sinal* - nível acima do qual a operação deixa de ser satisfatória como resultado da distorção do sinal, super aquecimento ou dano.

*Ponto de sobrecarga de sinal* - a máxima amplitude de sinal de entrada no qual a relação da saída para a entrada é observada para permanecer dentro de uma faixa de operação linear prescrita.

*Tempo de recobrimento de sobrecarga* - um intervalo de operação não linear de um instrumento causado por um sinal com amplitude excedendo a faixa de operação linear do instrumento.

*Tempo de subida do sinal de EA* - o tempo entre o sinal de EA inicial e o pico de amplitude deste sinal.

*Tempo morto* - qualquer intervalo durante a aquisição quando a instrumentação ou sistema estiver incapaz para aceitar novos dados por qualquer razão.

*Velocidade de processamento* - a taxa mantida (sinais/segundo), como uma função do parâmetro ajustado e o número de canais ativos, os quais os sinais de EA podem ser continuamente processados por um sistema sem interrupção para transferência de dados.

#### **4. Aparato**

Os instrumentos básicos de teste requeridos para medição das características de operação da instrumentação de EA incluem:

- *gerador de onda senoidal variável;*
- *voltímetro RMS verdadeiro;*
- *osciloscópio;*
- *atenuador variável, graduado em decibéis, e*
- *gerador de envelope harmônico.*

Instrumentos adicionais de teste devem ser usados para medições mais especializadas da instrumentação de EA ou componentes. Eles são os seguintes:

- *gerador de função variável;*
- *medidor de intervalo de tempo;*
- *medidor ou contador de frequência;*
- *gerador randômico de ruído;*
- *analisador de espectro;*
- *voltímetro DC;*
- *gerador de pulso de sinal modulado;*
- *gerador de pulso variável;*
- *medidor de fase;*
- *simulador eletrônico de EA.*

Um simulador eletrônico de EA é necessário para avaliar a operação dos instrumentos de EA baseados em computadores. Um exemplo detalhado do uso de simulador eletrônico de EA está dado em 5.5 em medições de tempo morto. O manual de instrução para o simulador eletrônico de EA fornece detalhes para o ajuste do simulador. Controle da frequência do pulso, tempo de subida, decaimento, taxa de repetição, e pico de amplitude no simulador torna possível uma extensa faixa de condições de sinal de EA.

## 5. Testes e Medições

### 5.1 Medições requeridas

Testes e medições devem ser realizados para determinar o comprimento de banda da instrumentação, resposta em frequência, ganho, nível de ruído, nível do limite de voltagem, faixa dinâmica, ponto de sobrecarga do sinal, tempo morto, e exatidão do contador.

Onde os resultados dos testes de EA dependem da reproduzida exatidão da história temporal, espacial ou espectral, medição adicional dos parâmetros da instrumentação devem ser realizados para determinar os limites específicos de desempenho da instrumentação. Exemplos destas medições podem incluir taxa de amplificação, comprimento e posição da janela de medição e análise espectral.

Testes e medições devem ser realizadas para determinar a perda na sensibilidade efetiva do sensor, resultante do carregamento capacitivo do cabo entre o pré-amplificador e o sensor. O cabo e o pré-amplificador devem ser o mesmo que foi usado nos testes de emissão acústica, sem substituição (ver também Apêndice X2).

Testes importantes de sistemas de EA baseados em computadores incluem a avaliação dos limites e linearidade dos parâmetros disponíveis, tais como:

- amplitude;
- duração;
- tempo de subida;
- energia, e
- localização da fonte.

A velocidade de processamento destes dados deve ser medida como descrito em 5.5 para operação com único e múltiplo canal.

A capacidade de armazenamento de dados deve ser testada contra a especificação, para operação com único e múltiplo canal. A velocidade de processamento é uma função do número de canais, parâmetros sendo medidos, duração do evento, filtragem anterior-posterior, armazenamento e apresentação (RAM, disco, gráficos) e requisitos de impressão.

### 5.2 Resposta de frequência e comprimento de banda

A instrumentação, mostrada na fig. 1, inclui o pré-amplificador, filtros de onda, amplificador secundário e cabos de interconexão. Todas as medidas e testes devem ser documentados. O pré-amplificador deve ser conectado com a carga de trabalho normal.

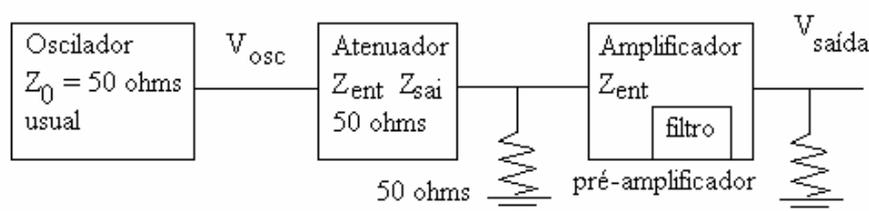


Fig. 1 - Configuração do componente usado para teste e medição da frequência de resposta, amplificação, ruído, sobrecarga de sinal, tempo de recobrimento, e limite da instrumentação de EA.

Uma resposta de frequência aceitável entre as frequências de corte está dentro de 3 dB da frequência de referência. A frequência de referência é a média geométrica do comprimento de banda nominal da instrumentação. A frequência média é calculada como:

$$f_M = (f_L \cdot f_H)^{1/2}$$

onde:

$f_M$  = frequência média;

$f_L$  = corte inferior nominal;

$f_H$  = corte superior nominal.

O comprimento de banda deve incluir todas as frequências contíguas com variações de amplitude como especificadas pelo fabricante. Instrumentos que incluem processamento de sinal de amplitude como função da frequência devem ter comprimento de banda de amplitude como especificado pelo fabricante.

Com a instrumentação conectada como mostrado na fig. 1 e o oscilador de onda senoidal bem ajustado dentro da faixa dinâmica especificada da instrumentação, a resposta de frequência deve ser medida entre os limites de frequência especificados. O oscilador é mantido em uma amplitude fixa e a frequência é alterada através dos limites de frequência. A saída do amplificador secundário, ou filtro final, é monitorada com o voltímetro RMS. Valores de amplitude são registrados para cada frequência dentro e nas vizinhanças das frequências nominais de corte. Os valores registrados são colocados em um gráfico no papel. A escala de amplitude pode ser convertida em decibéis. A escala de frequência pode ser colocada linear ou logaritmicamente. O Apêndice X2 fornece maiores discussões das componentes das formas de onda.

O analisador de espectro pode ser usado em conjunto com a "fonte branca de ruído", ou um osciloscópio pode ser usado em conjunto com o oscilador de grandes frequências para determinar o comprimento de banda. Com a "fonte branca" de ruído conectada na entrada, o analisador de espectro na saída irá registrar a resposta em frequência.

A medida do comprimento de onda é a diferença entre as frequências nas quais a resposta é 3 dB menor que a resposta na frequência de referência.

### 5.3 Ganho

A amplificação eletrônica é composta do ganho do amplificador secundário, e do ganho ou perda da inserção de filtros de onda (ver Apêndice X2 para explanação das medidas de ganho).

A amplificação eletrônica pode ser medida com a instrumentação mostrada na figura 1. O oscilador de onda senoidal é ajustado para a frequência de referência. A amplitude do oscilador é bem ajustada dentro da faixa dinâmica da instrumentação para eliminar distorção devido a sobrecarga. Com o voltímetro em  $V_{OSC}$ , a amplitude do oscilador é ajustada para 1 V. O atenuador é ajustado para um valor maior que a amplificação eletrônica pré-ajustada, então, o voltímetro é mudado para  $V_{saída}$ . O atenuador é agora ajustado até o voltímetro novamente indicar 1 V. A amplificação eletrônica é igual ao novo ajuste para o atenuador. O "gerador branco" de ruído ou gerador externo, e o analisador de espectro podem ser usados no local do oscilador e voltímetro RMS.

Nota - Se a impedância de entrada do pré-amplificador não é resistiva e igual para carga de impedância requerida do atenuador, compensação própria deve ser feita.

### 5.4 Faixa dinâmica

O critério usado para estabelecimento da faixa dinâmica deve ser documentado como o ponto de sobrecarga de sinal, referenciados na amplitude de ruído da instrumentação. Alternativamente, a amplitude de referência pode ser um nível limite se a instrumentação inclui um comparador de voltagem para detecção de sinal. Em adição, a faixa dinâmica relativa a dano na instrumentação também pode ser documentada. O critério de distorção harmônica total deve ser usado para processamento de sinal envolvendo análise

espectral. Todos outros processamentos de sinal podem ser realizados com o critério do ponto de sobrecarga do sinal.

A faixa dinâmica (FD) em decibéis deve ser determinada como abaixo:

$$FD = 20 \cdot \log_{10} \frac{\text{saída}}{\text{saída}} \frac{\text{rms}}{\text{ruído}} \frac{\text{máxima}}{\text{rms}}$$

A faixa dinâmica da instrumentação exclusiva do limite, ou circuitos comparadores de voltagem, é a relação do nível de sobrecarga do sinal rms para a amplitude de ruído rms (uma rápida descrição das fontes de ruído aparece no Apêndice X4). Um osciloscópio é usualmente requerido como um adjunto para determinar as características do ruído e para monitorar o ponto de sobrecarga do sinal.

A medição de campo da faixa dinâmica pode produzir resultados diferentes substancialmente quando comparados com a medição laboratorial. Esta diferença é causada pelo incremento na saída da voltagem de referência, e pode resultar de impulsos de ruído de origem eletrônica, ou falhas de aterramento.

Para um amplificador que tenha um limite comparador como dispositivo de saída, a faixa dinâmica é a relação do nível de limite máximo para o nível de ruído de entrada. Faixa de amplitude em excesso no amplificador contribui para imunidade da sobrecarga mas não para a faixa dinâmica. A seguinte medida irá fornecer a faixa dinâmica efetiva:

$$F_e D = 20 \cdot \log_{10} (MaxLR / MinLR)$$

onde:

$F_e D$  = faixa dinâmica efetiva do sistema,

$MaxLR$  = limite passa alta para pico de sinal de entrada não distorcido,

$MinLR$  = limite passa baixa para 1 contagem/segundo sem sinal de entrada.

Esta faixa dinâmica é a diferença entre a maior e menor entrada de EA que pode ser contada pelo sistema.

A medição do ruído eletrônico do instrumento é acompanhada pela recolocação do atenuador/oscilador da figura 1, com o sensor que irá ser usado, incluindo seu cabo (ou com parte da capacitância). A parte da capacitância representa a característica elétrica do sensor e combinação de cabos sem adicionar interferência de ruído mecânico. A voltagem rms é medida na saída da instrumentação ( $V_{saída}$ ).

O nível de sobrecarga do sinal é medido pela recolocação do sensor com o oscilador de onda senoidal mostrado na figura 1. A frequência é ajustada para a frequência do meio da banda da instrumentação. A amplitude do oscilador é fixada em 1 V pico a pico monitorada em  $V_{osc}$ . O atenuador é ajustado para incrementar o nível de sinal para o pré-amplificador até a saída da instrumentação ( $V_{saída}$ ) ser 3 dB menor que a saída computada.

Se o pico de amplitude de eventos de EA exceder a faixa dinâmica, vários efeitos deletérios podem ser produzidos, estes incluem "recorte", *clipping*, saturação, e sobrecarga de recobrimento em fenômenos relacionados com o tempo (ver Apêndice X2 para uma discussão de sobrecarga de recobrimento). O ganho da instrumentação deve ser ajustado para limitar estes efeitos ao mínimo absoluto na ordem de incrementar a confiabilidade dos dados.

## 5.5 Tempo morto

O tempo morto da instrumentação pode incluir componentes variáveis e fixos dependendo do projeto da instrumentação para manuseio de rotina da entrada e saída do processamento de dado. Os componentes incluídos no tempo morto são tempo de processo e tempo bloqueado. Tempo de processo varia de sistema para sistema e usualmente depende do número de parâmetros processados para cada evento. Tempo bloqueado, o qual pode ser controlado pelo operador, é usado para forçar um tempo de retardo antes de aceitar novos sinais.

A medição do tempo morto é um contador do instrumento de EA e deve ser conduzida como segue: ajuste o instrumento para o modo de taxa de contagem, ajuste a frequência do oscilador para o meio da banda da frequência do instrumento, ajuste a amplitude do oscilador para obter a taxa de contagem igual para a frequência do oscilador, aumente a frequência do oscilador até o contador atingir frequência de oscilação igual, registre a frequência como taxa de contagem máxima, (se a frequência é igual ou maior que o limite superior de frequência especificado do instrumento, o tempo morto do contador é zero). O tempo morto ( $T_m$ ) é dado por:

$$T_m = 1/F_m - 1/F_s$$

onde:

$F_m$  = frequência medida, e

$F_s$  = limite superior do comprimento da banda de frequência do instrumento.

Quando o tempo morto em questão está relacionado com o processamento do sinal de EA como a medição de localização de fonte, energia, duração, ou amplitude, a medição é melhor acompanhada pelo uso de simulador eletrônico de EA como abaixo:

- selecionar um parâmetro do sinal para avaliar o tempo morto,
- ajustar a frequência do simulador eletrônico de EA, rampa, decaimento, duração, e taxa de repetição do simulador,
- aumentar a taxa de repetição do simulador até a taxa do evento cair abaixo da taxa do simulador,
- registrar este valor como taxa máxima do evento (velocidade de processamento) para o parâmetro selecionado.

O tempo morto ( $T_m$ ) será dado por:

$$T_m = 1/R_p - DP$$

onde:

$DP$  = duração do pulso selecionado, e

$R_p$  = taxa de repetição do simulador onde o limite foi determinado.

Este procedimento de medição de tempo morto deve ser realizado para cada parâmetro de evento baseado no sistema de EA.

#### 5.6 Nível limite (limite de detecção)

Vários instrumentos de processamento de sinal de EA aguardam até o sinal exceder um nível do comparador de voltagem para registrar o sinal. Este nível pode ser fixo, ajustável, flutuante e fixo, ou flutuante e ajustável. O limite flutuante pode ser chamado limite automático. Reconhecimento de sinal não ocorre até o limite ser excedido.

O nível do limite não automático deve ser medido com o conjunto da instrumentação como mostrado na figura 1 e os processadores de sinal conectados para o ponto  $V_{saída}$ . Os processadores de sinal são freqüentemente contadores eletrônicos digitais que podem seguir o amplificador secundário. Aumentando a amplitude do oscilador irá resultar em um aumento do nível do sinal em  $V_{saída}$ . Os contadores irão iniciar a contagem quando o sinal comparador alcançar o nível pré-ajustado do limite. Este nível medido com o osciloscópio conectado em  $V_{saída}$  multiplicado pelo ganho do amplificador secundário é igual ao limite de voltagem. Alguns contadores e outros processadores de sinal utilizando limite de detecção são sensitivos a frequência. Entretanto, o nível limite deve ser medido sobre o comprimento de banda da instrumentação.

O limite automático não pode ser medido com o gerador de onda contínua porque o nível de limite automático é usualmente derivado do sinal de entrada retificado e médio. O gerador de envelope harmônico fornece um envelope de duração e amplitude ajustável e taxa de repetição que pode ser usado para estabelecer o nível limite usando a mesma técnica que foi usada no parágrafo anterior. O nível limite automático é afetado pela amplitude, duração e taxa de repetição do envelope harmônico.

### 5.7 Exatidão do contador

Contadores são de dois tipos: somatório e taxa. Contadores que marcam sinais por períodos repetitivos e fixos de tempo durante um teste de EA são conhecidos como contadores de taxa. Os sinais marcados podem ser uma contagem de sinais de EA, ciclos de carregamento, ou níveis de amplitude.

A exatidão da função contagem da instrumentação deve ser medida usando um gerador de envelope harmônico ajustado como segue: (1) a amplitude deve ser bem acima do nível limite, mas dentro da faixa dinâmica da instrumentação; (2) a frequência do envelope harmônico deve estar dentro da comprimento de banda nominal da instrumentação; (3) a duração do envelope harmônico deve ser no mínimo um ciclo, mas alguns ciclos iguais que causem efeitos no limite automático; (4) a taxa de repetição do envelope harmônico deve ser ajustado por um período que não cause ao limite automático interferência com a função contagem. A exatidão da contagem é garantida pela comparação da contagem de emissão com a contagem do envelope harmônico.

### 5.8 Parâmetros medidos por computador

Os limites e linearidade dos parâmetros de EA registrados por sistemas baseados em computador podem ser medidos por meio de um simulador eletrônico de EA. O simulador eletrônico de EA fornece individualmente amplitude, duração e tempo de subida ajustável e relativo ao tempo de chegada. O envelope de energia do simulador de EA pode ser calculado dos parâmetros dados.

Os limites ou faixa dinâmica e linearidade de cada parâmetro devem ser medidos como abaixo para amplitude, duração e tempo de subida:

- conectar o simulador de EA para entrada do pré-amplificador do canal a ser testado;
- ajuste o sistema de EA para registrar e apresentar o parâmetro a ser testado;
- ajuste o sistema de EA para produzir sinal de EA simulado no meio da faixa onde a amplitude, duração e tempo de subida apresentados são 10% de seu máximo valor especificado pelo fabricante do sistema de EA;
- registrar o valor de cada parâmetro na saída do simulador eletrônico de EA e no monitor do sistema de EA;
- para medir os limites superiores para cada parâmetro, aumente a entrada medida em incrementos iguais (por exemplo, 10% do máximo) e registrar o valor apresentado para o parâmetro até a saída diferir da entrada por 10% ou o valor mínimo especificado pelo fabricante do sistema de EA ser alcançado;
- para medir limites inferiores de cada parâmetro, ajuste as condições de entrada-saída para 10% do valor máximo, então decresça a entrada em incrementos iguais (por exemplo, 10% do valor inicial) e registre o valor apresentado até a saída diferir da entrada por 10% ou o mínimo valor especificado pelo fabricante do sistema de EA ser alcançado;
- para testar o parâmetro energia por sinal, é necessário calcular a energia de entrada do simulador eletrônico de EA em acordo com o método usado pelo sistema de EA. Por exemplo, um método usado em alguns sistemas de EA computam aproximadamente a energia de EA ( $E$ ) como segue:

$$E \cong D.V^2 / 2$$

onde:

$D$  = duração do envelope, e

$V$  = pico de amplitude.

Ajuste as condições para 10% do valor máximo. Incremente a entrada de amplitude para obter aproximadamente 10% da escala total mudada na entrada da energia. Registrar a energia apresentada por valor do evento em cada incremento até que a saída difira da entrada por 10% ou o máximo valor especificado pelo fabricante do sistema de EA ser excedido. Repetir este processo com amplitude fixada no valor inicial enquanto incrementando a duração do pulso.



Repita novamente o processo para diminuir cada parâmetro, exceto com amplitude e duração do pulso, até o mínimo valor especificado pelo fabricante ser atingido ou sem mudanças maiores na saída serem produzidas.

O algoritmo computacional de localização de fonte é um processo computacional complexo não coberto por este documento. Contudo, um simulador eletrônico multicanal de EA pode ser usado para verificar a exatidão locacional do sistema que necessita da velocidade do som para cálculo de localização. Para materiais anisotrópicos onde a velocidade não é constante, outros algoritmos de localização de fonte existem como a localização de área baseada no primeiro sensor atingido pelo evento.

Ajuste o sistema de EA para localização de fonte em acordo com o manual de operação.

Ajuste o simulador eletrônico multicanal de EA para fornecer entradas simuladas de EA para o número apropriado de canais.

Usando a velocidade de som apropriada para estrutura simulada, computar os tempos de vôo da posição da fonte simulada de EA para cada sensor do arranjo de localização da fonte, a diferença entre os tempos de vôo dado os tempos relativos de chegada ( $\Delta T$ ), para as posições do sensor simulado de EA.

Registrar as coordenadas de localização apresentadas por esta entrada simulada inicial. Computar e entrar um novo  $\Delta T$  ajustado por um ponto próximo. Registrar a diferença entre posição de entrada e apresentada. Continuar este movimento de incremento da fonte simulada de EA do centro do arranjo de sensor até a posição de saída diferir da posição de entrada por 10% ou da faixa especificada da localização de fonte pelo fabricante do sistema de EA ser excedido. Avaliar qualquer erro com respeito a especificação do fabricante do sistema de EA para localização de fonte linearizada.

O procedimento de teste de localização de fonte deve ser repetido para dois raios adicionais extendendo em direções diferentes do centro de arranjo.

O procedimento de localização de fonte deve ser repetido por cada arranjo multicanal do sistema.

## APÊNDICES NÃO MANDATÓRIOS

### X1. DESCRIÇÃO DOS COMPONENTES DO INSTRUMENTO DE EA

#### X1.1 Instrumentação de EA

Componentes ou unidades eletrônicas de EA devem incluir os sensores, pré-amplificadores, filtros, amplificadores de energia, amplificadores de linha, limite e instrumentação de contagem e cabos de sinal. A calibração da sensibilidade e as características de transferência de sensores foram excluídos desta norma.

#### X1.2 Sensor de EA

Um sensor de EA é um transdutor eletroacústico que converte energia de onda mecânica em energia elétrica.

Um transformador ou amplificador ou guia de onda acústica, se combinado com o sensor de tal forma que terminais prontamente acessíveis incluindo estes componentes devem ser consideradas parte do sensor e o termo sensor deve ser aplicado para a combinação.

Sensores podem ser designados com elementos ativos diferentes incluindo dispositivos magneto-estrictivos, eletromagnéticos, correntes parasitas, capacitivos, piezoresistivos, piezoelétricos, foto acústico ou acustoelétrico. Este pode estar em conjunto nas configurações terminal único ou diferencial com propriedades direcionais.

O sensor mais freqüentemente usado é o tipo piezoelétrico contido dentro de uma carcaça condutiva. A face ativa é geralmente protegida com sapata ou placa de material não condutivo. Um conector elétrico montado na carcaça completa o sensor.

#### X1.3 Pré-amplificador de EA

O pré-amplificador de EA é o primeiro amplificador após o sensor. A energia para o pré-amplificador pode ser fornecida pelo amplificador secundário ou diretamente da força principal. O pré-amplificador é definido como o primeiro estágio da amplificação com a função principal da conversão da impedância do sensor para uma impedância aplicável para grandes comprimentos de cabos e componentes ou unidades eletrônicas adicionais.

A impedância da entrada do pré-amplificador direciona a carga para o sensor. A própria magnitude e ângulo de fase da impedância de entrada é governada pela necessidade do sensor. Sensores indutivos podem necessitar cargas de impedância relativamente baixas. Sensores capacitivos geralmente necessitam cargas de impedância altas. As baixas cargas de impedância dependem da voltagem (ou carga). Por causa do sensor mais comumente usado ser um dispositivo piezoelétrico, a impedância de entrada do pré-amplificador é moderadamente alta.

A impedância de saída do pré-amplificador de EA é baixa, usualmente em torno de 50 ohms. Esta baixa impedância é necessária para cabos longos e reduz a susceptibilidade para ruídos acoplados a correntes.

O pré-amplificador de EA pode incluir filtros e transformadores em linha de entrada/saída. Filtros são geralmente empregados para rejeitar sinais indesejáveis e eliminar potenciais estágios de condução dentro dos pré-amplificadores e componentes ou unidades posteriores. Transformadores são também usados para balancear linhas de transmissão desbalanceadas.

#### X1.4 Processador de sinal de EA

O processador de sinal fornece a amplificação final requerida pela instrumentação. Este amplificador deve fornecer energia ao sinal suficiente para suprir uma combinação de componentes ou unidade adicionais tais como osciloscópios, voltímetros, contadores e registradores. Por esta razão, o amplificador secundário é geralmente chamado de amplificador de energia. Filtros passa-banda adicionais, são geralmente empregados neste amplificador.



A impedância de entrada do amplificador secundário deve fornecer a carga de impedância requerida para o componente anterior. O pré-amplificador geralmente é o componente anterior, mas pode ser um filtro passa-banda.

O amplificador secundário deve ser usado dentro da faixa de aplicação de estado nominal. O amplificador deve complementar as características de operações do componente anterior.

O amplificador secundário pode também incluir circuitos de processamento de sinal, tais como conversor de voltagem rms e circuitos de contagem de sinal.

#### X1.5 Filtro

Um filtro separa sinais na base da frequência. Introduce pequenas perdas relativas para ondas em uma ou mais frequências da banda e perdas relativamente grandes para ondas de outras frequências.

Filtros podem ser ativos ou passivos. Filtros ativos requerem energia elétrica. Filtros passivos não requerem energia elétrica.

O filtro frequentemente mais usado é o filtro passa banda. Um filtro passa banda é um filtro que tem uma única banda de transmissão estendida da menor frequência de corte maior que zero para a frequência finita de corte superior. Os ganhos nas frequências de corte devem ser menores que 3 dB na frequência da média geométrica do passa banda definida em 5.2. A rampa das características do filtro externo passa banda são muito importantes para rejeição de sinais estranhos. Rampas de 30 dB por oitava são típicas para instrumentos de EA.

O filtro não deve limitar o ponto de sobrecarga de sinal especificado no componente ou unidade.

Amplificadores C-A acoplados e pré-amplificadores limitam o comprimento de banda pelo projeto do circuito. Comprimento de banda típicos podem estender de baixos 1 kHz para altos 2 MHz

#### X1.6 Amplificadores de linha

Onde cabos coaxiais extremamente longos devem ser usados, amplificadores de linha são normalmente usados. O amplificador de linha é primariamente um dispositivo de conversão de impedância. Amplificadores de linha são usados para fornecer corrente de sinal suficiente para o cabo coaxial de várias centenas de metros.

A impedância de saída do amplificador de linha deve ser a mesma que a impedância dos cabos coaxiais, e o cabo deve terminar com características de impedância para mínima reflexão no conector para máxima energia de transferência.

A faixa dinâmica, ponto de sobrecarga do sinal, e espectro de resposta do amplificador de linha devem ser iguais ou maiores que todos os componentes ou unidades anteriores a menos que outra especificação na documentação.

#### X1.7 Instrumentação de contagem de cruzamento do limite

Contagem de cruzamento do limite é uma das técnicas de processamento de sinal mais frequentemente utilizadas para EA. Esta técnica requer que a amplitude do sinal exceda um limite de voltagem ou nível de comparação para ser reconhecido e registrado. A contagem é geralmente realizada em duas maneiras: taxa e somatório de contagem. A exatidão da taxa de contagem depende da exatidão da frequência do marcador de tempo. A exatidão da taxa e somatório da contagem depende da estabilidade do nível limite.

O nível limite deve ser fixo, variável manualmente, flutuante automático (ver 3.2), ou uma combinação, dependendo do projeto e aplicação do usuário.

Contadores são projetados para aceitar sinais que excedam algum limite de voltagem ou nível de comparação. Quando a contagem atingir algum valor máximo de contagem, alguns contadores irão se ajustar para zero e iniciar novamente, enquanto outros irão permanecer no valor máximo. O contador pode

ser manualmente reajustado, e pode incluir circuito elétrico permitindo ao contador ser reajustado por um sinal periódico elétrico ou temporal.

## **X2. EXPLANAÇÃO DAS MEDIÇÕES SUGERIDAS**

### **X2.1 Impedância de entrada do pré-amplificador**

A impedância de entrada do pré-amplificador deve ser documentada como impedância de entrada nominal. A expressão preferida da impedância de entrada deve ser o valor estático da resistência derivado para o valor estático da capacitância (ver Apêndice X3).

Quando acoplamento indutivo é usado, a impedância de entrada deve ser documentada na forma retangular ou polar e suas impedâncias equivalentes como função da frequência sobre o comprimento de banda projetado do pré-amplificador.

Quando amplificadores de carga são usados para amplificação de EA, a especificação do fabricante deve descrever a impedância de entrada para geradores piezoelétricos de contato direto. Qualquer modificação da impedância de entrada e a precisa mudança da impedância deve ser documentada.

### **X2.2 Cabos coaxiais de entrada**

O cabo coaxial, acoplamento do sensor piezoelétrico/capacitivo para o pré-amplificador, junto com o acoplamento de cabo devem ser medidos com uma ponte (1,0 kHz) para determinar a capacitância da linha. Exame visual do cabo deve garantir que não existem danos na linha e no conector. É usual saber em alguns casos, com a mesma precisão, a capacitância do elemento sensor e o cabo de conexão com seus conectores, a capacitância desviada da entrada do pré-amplificador no sentido de ajustar a sensibilidade para incrementar ou decréscimos apropriados na capacitância desviada. Esforços para desviar a baixa capacitância do sensor serão recompensados pelo aumento da relação sinal ruído.

A capacitância da linha deve ser documentada e adicionada a capacitância do pré-amplificador. O somatório da capacitância da linha e a capacitância de entrada do pré-amplificador deve ser documentada como a carga de capacitância do sensor para sensores piezoelétricos e capacitivos.

Quando o cabo do pré-amplificador do sistema é usado também para fornecer voltagem para o pré-amplificador, o acoplamento cruzado entre as linhas de sinal e linhas de fornecimento de energia afetam a detecção de EA.

A influência do cabo coaxial e impedância do pré-amplificador na sensibilidade do circuito aberto do sensor deve ser entendida indiferentemente do sensor, cabo e tipo de pré-amplificador ou projeto.

### **X2.3 Forma da onda**

Instrumentação de EA geralmente contém circuitos elétricos que modificam a forma de onda aplicada através de um processo pré-estabelecido. Alguns circuitos são definidos como circuitos forma de onda. Circuitos formas de onda incluem circuitos de seção retardada, integradores, diferenciadores e circuitos envelope. Estes circuitos são geralmente encontrados em instrumentação com limite de flutuante (ver 3.2) e contadores de eventos. O número e função dos circuitos forma de onda comumente encontrados em instrumentação de EA são numerosos para serem listados dentro desta prática.

As características dos circuitos formas de onda de interesse devem incluir tempo de subida, duração, e tempo de decaimento. A medição destas características dependem do projeto do circuito. O fabricante deve fornecer o dado temporal e os métodos de teste e medição destes dados no manual de operação e manutenção fornecido com o componente ou unidade.

Existem numerosas fontes de erros na medição das características da instrumentação. Estas incluem casamento de impedância de fontes de sinal para entrada do instrumento, assimetria da frequência do passa banda, e problemas de janelamento na análise espectral. Os exemplos de fontes de erro são

mencionados para alertar o usuário do fato que o sistema multicanal de EA deve ser caracterizado pela comparação de parâmetros canal para canal no sentido de minimizar diferenças.

#### X2.4 Medição de ganho

Um sensor sendo acionado por uma tensão que gera um sinal elétrico pode ser modelado como uma "caixa preta" com terminal duplo contendo uma impedância em série com o gerador de EMF. A impedância é primariamente capacitiva e, na ausência de excitação física, a substituição do sinal de oscilação estável fornece uma representação apropriada para o transdutor EMF.

Sensibilidade ou ganho canal para canal pode ser, medida e ajustada facilmente usando a técnica conhecida como calibração pela inserção de voltagem que leva vantagem neste modelo. Uma simples caixa de inserção de voltagem é mostrada esquematicamente na fig. X2.1. A fig. X2.2 mostra o circuito equivalente de medição inserção de voltagem.

Fig. X2.1 - Esquema de caixa de inserção de voltagem simples.

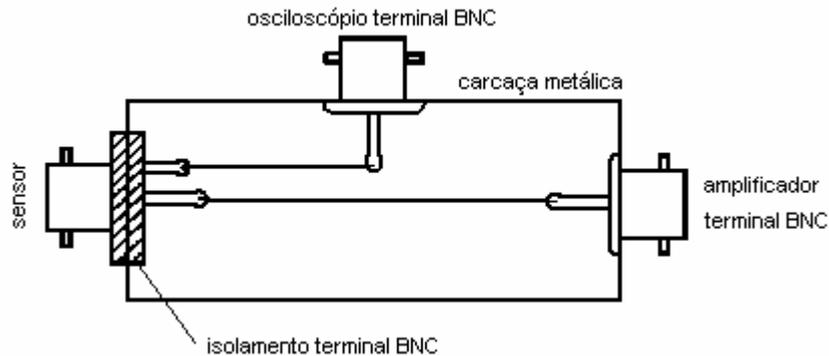
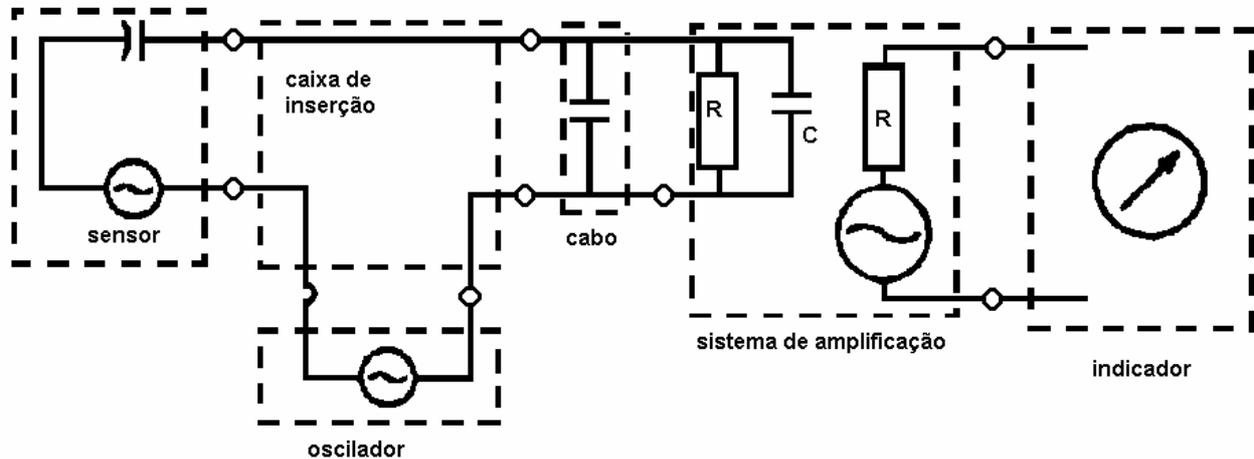


Fig. X2.2 - Circuito equivalente de medição de inserção de voltagem.



Nesta técnica a voltagem de calibração é inserida em série com o sensor e o ganho do canal é ajustado tal que todos os canais no sistema levem o mesmo nível de saída para a mesma entrada do oscilador. Isto irá garantir que todos os canais irão produzir a mesma saída para a mesma excitação física, se for repetir a mesma excitação física para cada canal.

A voltagem de calibração é escolhida para ser qualquer valor convenientemente próxima do esperado do evento de interesse em EA, levando em conta a faixa dinâmica esperada do dado.

A frequência da voltagem de calibração deve ser selecionada para bem abaixo da ressonância dos sensores de EA, os quais são presumidos para ser do tipo ressonante (não amortecido), mas dentro do passa banda do sistema de EA. Isto irá prevenir ressonâncias individuais, que podem ser diferentes de canal para canal, de influência dos ajustes de ganho.

Se o oscilador é calibrado e conectado, um sinal conhecido pode ser aplicado e o ganho efetivo do sistema com cabos e sensores pode ser medido com um indicador da saída do canal com um voltímetro RMS.

#### X2.5 Tempo de recobrimento da sobrecarga

Tempo de recobrimento da sobrecarga resulta de excesso na faixa dinâmica em um número limitado de instrumentos antigos. O tempo necessário para recobrir um evento de emissão acústica no qual a amplitude excede a faixa dinâmica dependem do projeto do amplificador e instrumentação e instrumentos correntes devem ter tempos de recobrimento de sobrecarga menores que um microsegundo.

O tempo de recobrimento deve ser medido com um osciloscópio e um gerador de envelope harmônico. O gerador de envelope harmônico reloca o oscilador mostrado na fig. X2.1 e o osciloscópio é conectado para  $V_{saída}$ . O gerador de envelope harmônico é ajustado entre o meio geométrico da frequência e a frequência nominal mínima de corte. O envelope harmônico deve ser um envelope retangular na frequência selecionada. A duração do envelope harmônico é ajustada para a duração esperada do evento de EA. A menos de outra coisa restrita e estabelecida, a amplitude deve ser ajustada para 2 V pico a pico. O envelope harmônico deve ter tempo de repetição em excesso do tempo de recobrimento da instrumentação tal que recobrimento da instrumentação deve ocorrer em tempo menor que o próximo envelope harmônico iria ocorrer. O osciloscópio deve registrar o sinal em  $V_{saída}$  tal que a alimentação residual através do gerador de envelope harmônico possa ser observada após o envelope da sobrecarga da instrumentação, isto é, o tempo do fim de envelope harmônico para o qual o resíduo tenha retornado para um valor inativo (usualmente 1 % da amplitude do envelope harmônico). Um sintetizador de forma de onda pode ser

substituído pelo gerador do envelope harmônico, mas deve ser feita previsão para obter medições da amplitude residual entre envelopes.

### X3. MEDIÇÃO DA IMPEDÂNCIA DE ENTRADA

A configuração do circuito elétrico e seu circuito equivalente usado para medir a impedância de entrada são mostrados na fig. X3.1. O atenuador é necessário para aplicar pequenas voltagens na entrada dos sistemas de ganhos altos. Muitos osciladores tem função de atenuadores. É importante que as saídas destes instrumentos seja terminada com a resistência de carga própria no sentido do atenuador manter-se calibrado sobre a faixa completa. Se um atenuador separado é usado com um oscilador, e se a impedância do atenuador não casa com a impedância de saída do oscilador, é importante que eles sejam casados com um dispositivo que apresente a carga própria para o oscilador e a fonte de impedância própria para o atenuador. A figura X3.1 ilustra o circuito do dispositivo. Os valores de resistência requeridos do dispositivo R1 e R2 são calculados de:

$$R_1 = \sqrt{R_{osc} (R_{osc} - R_S)} \text{ e } R_2 = R_{osc} R_S / R_1$$

onde:

$R_{osc}$  = impedância de saída do oscilador, e

$R_S$  = as características de impedância do atenuador.

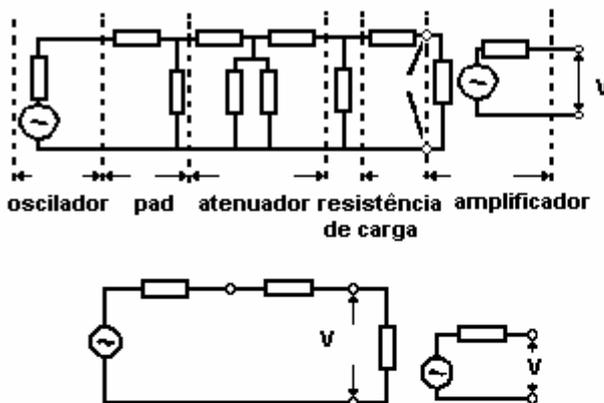


Fig. X3.1 - Configuração do circuito de medição de impedância de entrada e circuito equivalente.

Atenuadores requerem comumente fontes de 50 ohm e carga 50 ohm para trabalhar propriamente. Osciladores comumente tem saída de 50 ou 600 ohms. Não substitua um potenciometro no local de um atenuador verdadeiro. Um atenuador separado também deve ser carregado com suas características de resistência no sentido de operar como esperado.

Referenciando novamente a fig. X3.1, medições da voltagem de saída sob duas condições diferentes obtém cálculo da impedância de entrada usando:

$$Z_A = \frac{V_{O2}(R + R_S) - V_{O1}R_S}{V_{O1} - V_{O2}} \pm \angle \theta = R_A \pm jX_A$$

onde:

$V_{O1}$  = voltagem de saída medida quando  $Z_1$  é zero;

$V_{O2}$  = voltagem de saída quando  $Z_1 = R$  é algum valor maior que zero sujeito somente a condição que a mudança causada na voltagem de saída pela inserção de  $R$  e razoavelmente grande tal que é fácil de medir;

$R_S$  = impedância de saída do atenuador, e;

$\theta$  = ângulo de fase entre a voltagem medida através de  $R$  e a que foi medida através de  $Z_A$  quando  $Z_1 = R$ .

Desde que muitos instrumentos práticos de EA tem impedância de entrada não maiores que 50.000 ohms e capacidade desviada de entrada não maiores que 10.000 picofarads é possível estimar com razoável exatidão sua magnitudes pela determinação dos valores resistivos puros para  $Z_1$  que irão reduzir a voltagem de saída para metade do valor quando temos  $Z_1 = 0$  para uma freqüência de entrada em torno de 10 kHz. Então a parte resistiva da impedância de entrada é igual ao valor selecionado. Similarmente, o valor de capacitância substituída por  $Z_1$  que reduz a saída para metade  $Z_1 = 0$ , valor quando a freqüência de entrada está acima 500 kHz, irá ser igual a componente de capacitância desviada da impedância de entrada. Se componentes indutivos são usados na entrada do amplificador, o fabricante deve fornecer instruções e cuidados claros sobre o uso e resposta do seu equipamento. Um casamento exato não é necessário desde que no limite de baixa freqüência, quando  $Z_1 = R$ , a resistência possa ser estimada por:

$$R_A = [V_{O2} / (V_{O1} - V_{O2})]$$

e o limite de alta freqüência quando  $Z_1 = 1/2 f.C$ , o componente capacitivo possa ser estimado por:

$$C_A = C[V_{O1} / (V_{O1} - V_{O2})]$$

## X4. FONTES DE RUÍDO E PROBLEMAS DE MEDIÇÃO

### X4.1 Tipos de ruído

Ruído é qualquer distúrbio não desejado dentro de uma banda de freqüência usual, tais como ondas elétricas não desejáveis em um canal de transmissão ou dispositivos. Ruído pode ser errático, intermitente, ou estaticamente randômico. Ruído é definido como ruído acústico ou ruído elétrico para eliminar ambigüidade. Esta seção esta conceituada com fontes de ruído controláveis e identificáveis.

### X4.2 Fontes de ruído acústico

Ruído acústico é detectado pelo sensor como uma onda mecânica. Este pode ser ruído gerado por agentes reativos em contato com a amostra, ruído permanente de carregamento, ou ruído do fluido. Ruído do fluido pode ser gerado quando o tamanho do orifício e a velocidade de fluxo do fluido formam um efeito ressonante. Os sinais gerados por vazamentos podem ou não ser considerados ruídos artificiais, dependendo da aplicação da técnica ou instrumentação de EA.

Emissão térmica pode ser considerada ruído para algumas aplicações do exame de EA. Emissão térmica deve tornar-se relevante quando a peça ou sensor estão sujeitos a mudanças de temperatura. Emissão térmica é geralmente gerada pela mudança de fase no material, de geometria do material, e efeitos pirolétricos de alguns sensores.



#### X4.3 Fontes de ruído elétrico

Ruído elétrico é ruído acoplado a instrumentação de EA por radiação ou condução elétrica. A preponderância de ruído elétrico está sincronizada na frequência principal da fonte de energia elétrica. Ruído elétrico pode conter um grande número de harmônicos de alta amplitude de qualquer sinal detectado. Ruído elétrico também pode ser estável e contínuo, ou randômico na amplitude e taxa de repetição. Retornos de aterramento são geralmente um problema em uma área de trabalho, mas podem não ser problema em área de trabalho adjacente. Rádios transmissores podem ser outra fonte de ruído intermitente. Rádios transmissores podem incluir a tradicional unidade de transmissão de voz, ou tais fontes como motores elétricos, lâmpadas fluorescentes, e soldagem por resistência.

Ruído pode ser introduzido para o amplificador, oriundo de fonte de alimentação de fornecimento inadequado para os filtros. Este ruído é geralmente intermitente e inclui impulso randômico ou envelopes de sinais de pequena duração e tempo de subida muito rápidos comparado com sinais de emissão acústica. Uma série de filtros passa baixa na alimentação principal irão geralmente suprimir este ruído para um nível aceitável.

#### X4.4 Ruído de componente eletrônico

Existem várias fontes de ruído em circuitos eletrônicos. Na prática, a figura do ruído no amplificador é determinada usualmente pelo primeiro, ou entrada, estágio do amplificador. Isto é porque o ruído introduzido por circuitos sucedâneos da instrumentação irão levar menos amplificação e, portanto não serão importantes, na instrumentação se a amplificação no primeiro estágio for moderada.