

Cancelamento de Ruído nos Veículos

Elisabete Costa

*Aluna, Departamento de Engenharia Electrotécnica (DEE) do Instituto Superior de Engenharia do Porto (ISEP). Instituto Politécnico do Porto (IPP)
1930349@isep.ipp.pt*

Resumo

O mundo em que vivemos está rodeado de sons e nós confiamos na nossa audição para entender melhor o ambiente, comunicar com outras pessoas e divertirmo-nos escutando música. Porém, há sons que não são agradáveis ao ouvido humano, eles podem ser classificados como ruídos. Nas cidades, ao longo do engarrafamento do trânsito, as pessoas ficam expostas ao ruído de motores, buzinas, sirenes e até do alto volume do rádio para sobrepor o ruído externo e, nos escritórios, ruídos dos equipamentos de ar condicionado, ventiladores, etc., além de outros equipamentos domésticos e industriais. O ser humano, quando exposto a um ruído contínuo, não necessariamente de alta intensidade ou frequência, fica sujeito a um nível de stress que, entre outros efeitos nocivos à saúde, podem aumentar a taxa de acidentes e reduzir sua produtividade.

Pretende-se com este trabalho analisar quais as soluções possíveis para este problema, e tirar conclusões sobre o grau de satisfação dos resultados obtidos assim como vantagens e desvantagens.

1. Introdução

Basicamente, existem dois métodos para a redução dos níveis de ruídos em ambientes, o controlo passivo e o controlo activo de ruído.

Inicialmente, foram desenvolvidos métodos passivos para atenuação de ruído não desejado, muito utilizados ainda hoje pelos fabricantes de automóveis, como blindagens, partes feitas em aço laminado, barreiras ou silenciadores, ou seja, barreiras mecânicas à propagação sonora. Cobrindo uma larga gama de frequência, os atenuadores passivos de ruído são dispositivos muito eficazes, mas eles aumentam o peso do automóvel, requerem

mais passos na montagem, são caros e ineficazes a baixas frequências.

Uma alternativa para atenuação passiva é o controlo activo de ruído (ANC). Na figura 1 podem ser vistos os resultados da atenuação de ruídos em diferentes frequências para as duas técnicas, além da curva de redução para uma combinação dos dois controlos. O controlo activo actua na região de baixa frequência e utiliza som para cancelamento do ruído, sendo utilizados microfones como sensores e emitido seu respectivo “anti-som” por altifalantes, como será visto mais a frente.

O Controlo activo de ruídos e a supressão de um som indesejado pela acção de outro som estão em desenvolvimento durante os últimos setenta anos. Desde o início até hoje o seu desenvolvimento depende do crescimento da electrónica e do abaixamento de preço das tecnologias.

Os elementos básicos do sistema de controlo activo de ruídos são compostos por um ou mais microfones para captar o ruído em algum local de interesse e meios de produzir um som adequadamente tratado que age como um controlo. O som de controlo normalmente é criado pela acção de um sistema de altifalantes. Estes conceitos podem ser aplicados em controlo de ruído produzido por ventiladores industriais, supressão de ruídos por aquecimento, ventilação e tubos de ar condicionado, criação de zonas silenciosas no interior de veículos, redução do nível de ruído dentro de aviões, e protecção do ouvido com controlo de ruído activo - comuns em aviação e uso industrial.

O controlo de ruído activo foi inventado por Paul Lueg na Alemanha em 1932. Com três dos conceitos comuns de controlo de ruído activo: supressão de ruído em ductos (canais), cancelamento por interferência e a criação de zonas de silêncio.

Nos anos cinquenta, Harry Olsen desenvolveu o controlo de ruído activo, usando um “absorvente

electrónico de som”. Ele pretendeu criar uma zona de silêncio sobre um indivíduo, expondo-o a um local silencioso. A aplicação do conceito do sistema era reduzir o nível de ruído para passageiros de veículos. Com este sistema obteve-se sensível redução do som no local da audição do ouvinte mas se o indivíduo se movimentasse conduziria a mudanças significativas no ruído percebido pelo ouvinte. Sistemas posteriores usavam vários altifalantes e muitos microfones, para controlar o som, o que conduziu ao conceito actual de redução de ruído usados em veículos e aviões.

Em 1950 surgiram as primeiras implementações do que se tornaria o dispositivo de controlo de ruído activo mais comum. Actualmente o protector de ouvido activo é um acessório comum dentro da comunidade de aviação e é comercializado ao público para reduzir ruído nas diversas situações em que nos expomos a este.

Foram feitas várias publicações relacionadas com o controlo de ruído activo pelos anos setenta e anos oitenta. O desenvolvimento de controlo de ruído activo continua hoje de maneira acelerada, com muitas das mesmas aplicações iguais ao comprovado no trabalho original de Paul Leug. Mas o que verdadeiramente possibilitou o avanço rápido e a comercialização de conceitos de controlo de ruído activos foi o desenvolvimento de aparelhos compactos, leves e mais acessíveis financeiramente. A eletrônica necessária para um protector de ouvido de controlo activo é frequentemente implementada dentro do próprio protector de ouvido. Para sistemas de controlo activos de alta complexidade, o avanço rápido em poder computacional e processadores compactos tem possibilitado uma maior aplicação.

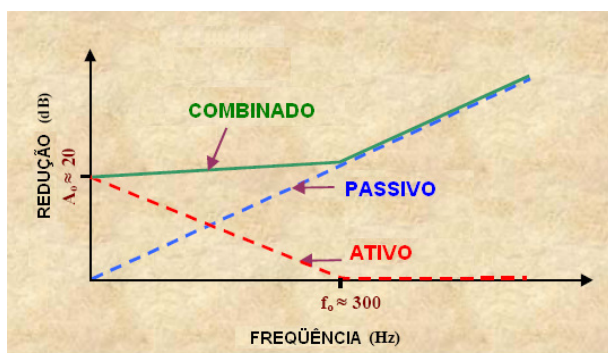


Figura 1 – Eficiência dos controles passivo e activo em frequência

2. Som e Ruído

Som pode ser visto como a propagação de regiões de compressão e descompressão de ar sem transporte de matéria. Ou seja, uma onda criada por um objecto vibratório, que se move através de um meio compressível como por exemplo o ar, a água, um metal, etc.

Uma descrição simplificada deste processo é mostrada na figura 2, as áreas escuras indicam a posição onde as moléculas são comprimidas (áreas de alta pressão), as áreas mais claras indicam áreas onde as moléculas são relativamente descomprimidas (áreas de baixa pressão).

No contexto do ambiente humano, ruídos são normalmente sons que causam aborrecimentos ou perturbam actividades.

Frequência da onda de som – uma frequência de onda de som mais alta significa que a pressão do ar flutua mais rapidamente. Quanto mais rapidamente girar um motor, mais agudo será o som que ouvimos. Sons com flutuações mais baixas são menos agudos.

Nível de pressão do ar - a amplitude da onda determina o volume do som. As ondas sonoras com maiores amplitudes movem mais o nosso tímpano e registamos essa sensação como um volume mais alto.

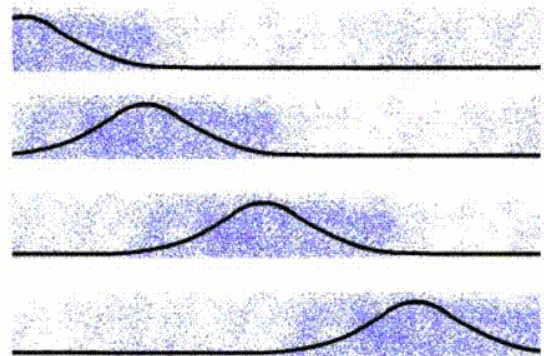


Figura 2 – Onda de pressão em movimento

Fontes de ruído existem ao longo do ambiente. Existe um tipo de ruído que ocorre devido à desordem, que é totalmente aleatório e impossível de prever. Estes ruídos turbulentos tendem a distribuir a energia deles uniformemente pelas faixas de frequência e é então chamado de "Ruído de banda larga" (figura 3). Exemplos de ruído de banda larga,

são o baixo ruído de frequência de aviões a jacto e o ruído de impulso de uma explosão.

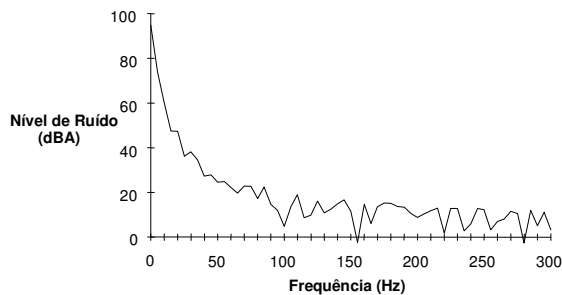


Figura 3 – Banda Larga

Existe uma grande variedade de ruídos caracterizados por Ruídos de Banda Estreita, eles concentram a maior parte da energia de ruído em frequências específicas. Quando a fonte do ruído for uma máquina giratória ou repetitiva, as frequências de ruído são todos os múltiplos de uma frequência fundamental e o som é aproximadamente periódico. (figura 4)

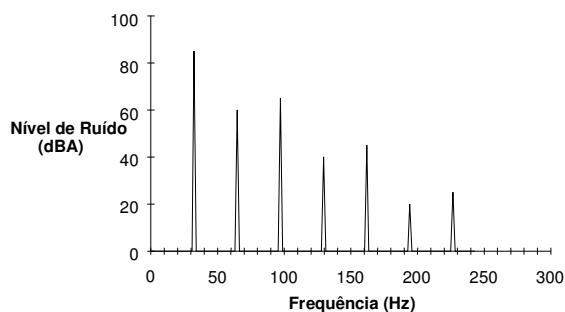


Figura 4 – Banda Estreita

Os exemplos de fontes de ruído de banda estreita incluem: máquinas de combustão, em transporte e como fontes de energia auxiliar, compressores como fontes de energia auxiliar e em unidades de refrigeração, máquinas giratórias, os desequilíbrios causam vibração e ruído acústico secundário, transformadores de potência: Campos magnéticos fortes causam vibração e harmônicos da frequência no fio de alta tensão e ruído acústico secundário.

Se um sistema de cancelamento de ruído emite

uma onda sonora com a mesma amplitude e a polaridade oposta ao som original, as ondas combinam para formar uma nova onda, num processo chamado interferência, causando o cancelamento das duas ondas, ver figura 5. O efeito é chamado cancelamento de fase, o resultado desejado é que não haja nenhum som, entretanto ainda não foi obtida tal eficiência. Dependendo das circunstâncias e o método utilizado, a onda sonora resultante pode ser tão atenuada que se torne inaudível.

Um altifalante de cancelamento de ruído pode ser localizado junto da fonte de som a atenuar, neste caso, tem que ter o mesmo nível de potência que a fonte do som não desejado, alternativamente, pode ser localizado no local onde a atenuação é necessária, por exemplo, ouvido do utilizador. Isto requer um nível de potência muito inferior para o funcionamento, mas só é eficaz para um único indivíduo. O cancelamento de ruído em outros locais é mais difícil, mesmo utilizando vários altifalantes, os sinais de cancelamento podem-se desordenar e criar zonas revezadas de interferência construtiva e destrutiva (se as duas ondas estiverem em fase, elas somam-se para se tornarem uma onda com a mesma frequência, mas com o dobro da amplitude, chama-se interferência construtiva, mas se elas estiverem exactamente em oposição de fase, somam zero, chama-se interferência destrutiva. Em espaços restritos pequenos, como o compartimento do passageiro de um carro, o cancelamento pode ser alcançado por altifalantes múltiplos, microfones de avaliação e medidas de feedback. As vantagens em relação aos sistemas passivos como isolamento e absorção, é a maior eficácia em frequências baixas, menor espaço utilizado e a possibilidade de bloquear ruídos selectivamente.

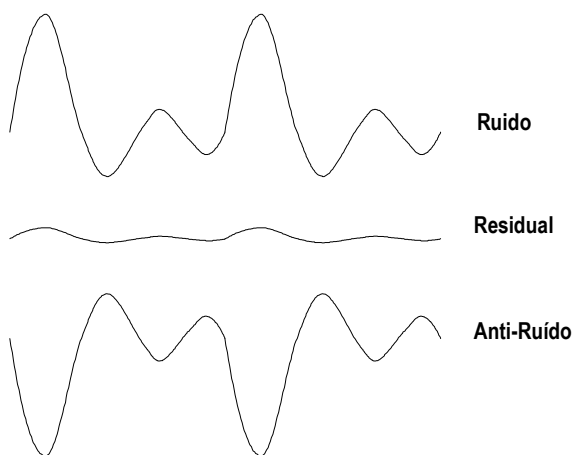


Figura 5 – Cancelamento de Ruído

3. Aplicações

As aplicações podem ser unidimensionais ou tridimensionais, dependendo do tipo de área a proteger. Sons cíclicos são mais fáceis de cancelar que sons aleatórios, devido à repetição na forma de onda e a possibilidade de se dividir o som em ondas harmónicas.

A protecção de uma área unidimensional é mais fácil e exige somente um par de microfones e altifalantes anti-ruído. Várias aplicações comerciais tiveram êxito: fones activos, silenciadores activos e o controlo de ruído em tubos de ar condicionado.

A protecção de uma zona tridimensional requer muitos microfones e altifalantes. Aplicações comerciais incluem a protecção de cabines de aeronave e interiores de carros, mas nestas situações, a protecção é limitada principalmente ao cancelamento de ruído repetitivo (ou periódico) como motores, hélices ou ruído de máquinas.

Sistemas de cancelamento de ruído maiores são usados para máquinas de navios ou túneis. A natureza cíclica das máquinas possibilita o cancelamento do ruído. Esta tecnologia não mascara o ruído. O ruído será utilizado para gerar um sinal anti-ruído que lhe será somado, mas desfasado de 180 graus. Este anti-ruído é introduzido no ambiente de interesse, os dois sinais cancelam um ao outro removendo uma porção significativa da energia sonora.

Existem muitas aplicações para esta tecnologia:

Silenciadores activos – Reduzem o ruído de motores, compressores, e bombas.

Amortecedores activos – Anulam a vibração de máquinas giratórias, melhorando durabilidade, uso de energia e reduzindo ruído acústico secundário.

Zonas silenciosas – Gerando assentos silenciosos e cabines silenciosas para automóveis, aviões, camiões e locomotivas.

Protector de ouvido activo – Estende a protecção da audição além da protecção passiva. Protectores de ouvido activos também podem ser selectivos, permitindo a comunicação e melhorando a segurança no local de trabalho.

4. Controlo activo de ruído

O conceito de controlo activo de ruído, ou ANC (*Active Noise Control*), foi patenteado pelo cientista alemão Paul Lueg nos anos trinta, servindo como base para as pesquisas de hoje. Porém, o controlo activo do ruído requeria medidas muito mais precisas daquelas que ele obteve com os tubos a vácuo. Assim, a ideia não foi levada adiante naquele momento. Com a evolução dos *chips* de computador e processadores digitais de sinais (DSP's), o controlo de ruído activo renasceu nos anos 80.

O estudo de ANC só foi utilizado recentemente em aplicações práticas, e até há pouco tempo o estudo concentrava-se em redução de ruído dentro de espaços limitados. Os dispositivos de ANC existem para atenuação de ruídos em cabines de avião e veículos, fones de ouvido e aparelhos de ar condicionado, mas há muito pouca aplicação de cancelamento em “espaço livre”.

O controlo activo de ruído é uma técnica na qual o sinal ruidoso é adquirido por um microfone, processado e emitido por um altifalante em oposição de fase ao sinal original, conforme mostrado na figura 6. O sinal gerado para atenuar o ruído estará com as regiões de pressão coincidindo com as regiões de depressão do ruído e vice-versa, reduzindo as amplitudes e a sensação auditiva. No caso das frequências, fases e amplitudes terem um determinado valor específico, poderá haver uma interferência destrutiva, e assim, aniquilando o sinal ruidoso.

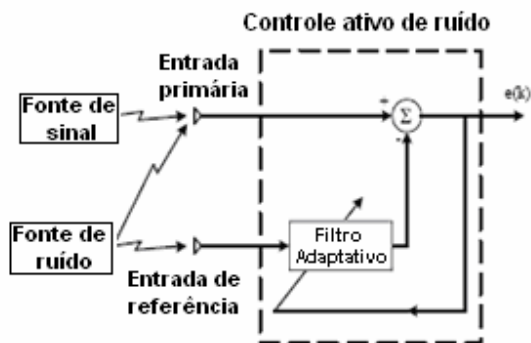


Figura 6 – Diagrama do controle activo de ruído

O controlo deve ser executado em tempo real, com o uso de algoritmos com convergência rápida, com necessidade de adaptação, com a utilização de filtros adaptativos, às variações do ruído no tempo e das condições acústicas devido a flutuações de temperatura e pressão.

5. Cancelamento de ruído

As técnicas mais recentes de cancelamento de ruído têm por base filtragem adaptativa, juntamente com a modelagem e estudo dos vários percursos que o sinal/ruído percorre, quer até à entrada, quer dentro do sistema de cancelamento acústico. A capacidade de determinar e inverter as funções de transferência destes percursos influi determinantemente no desempenho do sistema de cancelamento ruído.

Num sistema de controlo acústico activo, os filtros adaptativos podem ser aplicados de um modo simples usando um microfone de detecção para se obter o sinal de entrada, o filtro adaptativo gera o sinal de saída para o altifalante e um segundo microfone para captar o sinal resultante (sinal de erro). Durante a operação do sistema, o filtro é continuamente ajustado para fazer a saída do altifalante cancelar o ruído acústico, de forma a minimizar o sinal do microfone de erro. Se as características acústicas do sistema mudarem, os parâmetros do filtro vão-se alterar para manter o sinal de erro o mais baixo possível, ou seja, há uma adaptação de modo a maximizar o desempenho de acordo com o sinal de erro recebido.

Para isso, todas as ferramentas usadas no controlo precisam de ser capazes de executar muitas operações numéricas como convolução, correlação,

filtragem e modulação em períodos muito curtos de tempo.

6. Métodos de cancelamento de ruído

Um sistema de cancelamento constituído por uma coluna e um sensor de erro é apenas capaz de cancelar o ruído acústico num ponto do espaço. Para aumentar a dimensão de tal zona são utilizados sistemas com vários canais, com vários sensores de erro e fontes de anti-ruído. Será possível obter redução de ruído numa zona que rodeia esse ponto, designada por zona calma, ilustrado na figura 7, na qual as fontes primárias são as geradoras de ruídos, recebidas pelos microfones, as fontes secundárias são controladas por um DSP e são criados os “anti-ruídos”. O resultado, no plano observador, é a atenuação do ruído.

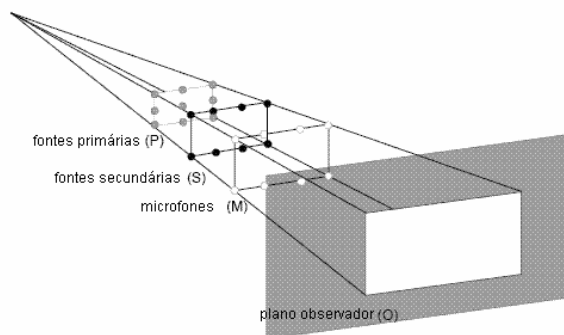


Figura 7 – Exemplo de um sistema de sombras acústicas através de sistemas multi-canal

6.1. Forma Clássica

Esta forma de cancelamento de ruído activo é mostrada na figura 8, usado para reduzir o ruído num tubo de ar. Esta é a aplicação clássica de Paul Lueg para cancelamento de ruído activo e é discutido amplamente em literaturas técnicas.

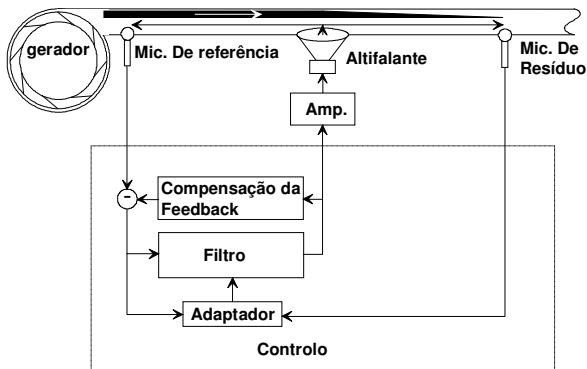


Figura 8 – Forma clássica

Um microfone é colocado próximo à fonte de ruído no tubo para adquirir uma amostra de referência. Depois é modelada uma forma de onda de anti-ruído para ser somada através do som vindo do amplificador. Um microfone residual é colocado no final do tubo para determinar como o sistema está a funcionar e o modelo de tubo é ajustado para manter o cancelamento otimizado. A compensação de feedback é necessária para que o sinal de anti-ruído que se propaga para trás no tubo ao microfone de referência seja cancelado na medição.

Estes sistemas podem cancelar ruído de banda larga. Ruídos que correspondam com a referência são anulados. O sistema é estável de -6 a -10 dB (50% a 70%) em baixas frequências.

6.2. Feedback Síncrono

Desenvolvida por G. B. B. Chaplin em meados de 1970, é muito eficiente em ruído repetitivo. Aqui, em vez do microfone de referência, um sinal de tacómetro (instrumento de medição do número de rotações) é usado para fornecer informação sobre a frequência do ruído. Considerando que toda a energia de ruído repetitivo está em múltiplos da rotação básica da máquina, o microprocessador de DSP pode dedicar os seus recursos a anular estas frequências de ruído conhecidas.

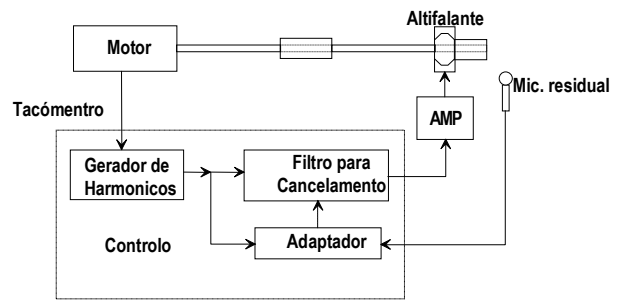


Figura 9 – Cancelamento de banda estreita

A aplicação do cancelamento de ruído em escapes é muito útil para melhorar até mesmo o rendimento do motor, tendo em vista que os actuadores passivos utilizam a pressão de escape passando por um caminho tortuoso para a descarga, enquanto dissipa a energia de ruído distribuindo-a por frequências no fluxo turbulento, como podemos ver na figura 11 e na explicação a seguir.

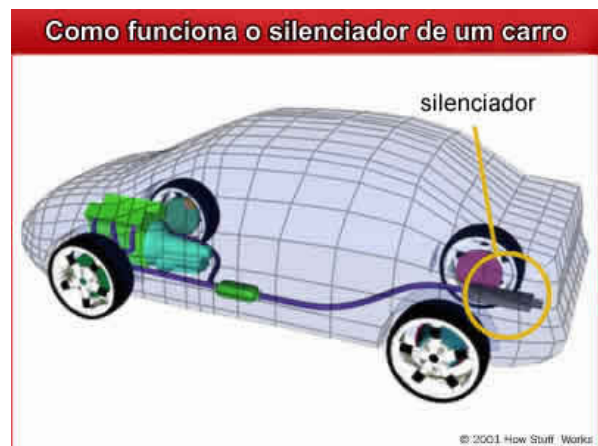


Figura 10 – Localização de um silenciador automóvel

Dentro do silenciador há um conjunto de tubos. Esses tubos são projectados para criar ondas reflectidas que interferem ou se anulam mutuamente. Vejamos um silenciador por dentro:



Figura 11 – Por dentro de um silenciador

Os gases do escape e as ondas sonoras entram através do tubo central. Elas batem na parede traseira do silenciador e são reflectidas através de um furo no corpo principal do silenciador. Eles passam por um conjunto de furos dentro de outra câmara, onde dão a volta e saem pelo último tubo, deixando o silenciador.

Uma câmara chamada ressonador é conectada à primeira câmara por um furo. O ressonador contém um volume específico de ar e tem um comprimento específico que é calculado para produzir uma onda que anula uma determinada frequência de som.

Quando uma onda bate no furo, parte dela continua dentro da câmara e outra parte é reflectida. A onda segue através da câmara, bate na parede do silenciador e volta para fora do furo. O comprimento dessa câmara é calculado de forma que essa onda deixe a câmara ressonante logo depois que a próxima onda reflecte fora da câmara. Preferencialmente, a parte da alta pressão da onda que veio da câmara será alinhada com a parte da pressão baixa da onda que foi reflectida fora da parede da câmara, anulando-se assim as duas ondas.

O silenciador activo é um altifalante concêntrico ao cano de escape que produz o anti-ruído num anel ao redor do fim da descarga. A simetria do ruído e fontes de anti-ruído, neste caso, prevêm o cancelamento global do ruído de baixa frequência (500 Hz e abaixo). O tacómetro actua como um gerador harmónico para obter a frequência fundamental da máquina. O sistema inteiro é configurado para concentrar seus esforços no ruído do motor.

6.3. Zonas Silenciosas

Este sistema de cancelamento de ruído é o utilizado em cabines de carros e aviões, os quais produzem zonas com alta atenuação de ruído externo.

Uma maneira de se criar uma zona silenciosa pessoal é posicionando um conjunto de altifalantes e microfones numa região e instalar uma versão multi-canal do sistema de cancelamento síncrono. Isto pode reduzir a baixa frequência de ruído naquela região e criar uma zona silenciosa.

Uma zona silenciosa pode ser produzida colocando dois microfones, um de cada lado do condutor, para a captura do ruído. E utilizando altifalantes estéreos, é conseguida uma zona livre de ruído ao redor da cabeça do indivíduo.

A figura 12 mostra um assento silencioso com dois altifalantes de anti-ruído e microfones de feedback colocados para criar uma zona silenciosa ao redor da cabeça do indivíduo sentado.

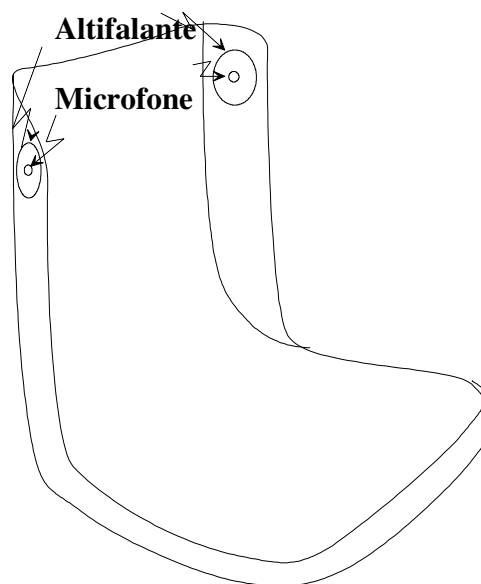


Figura 12 – Zona silenciosa

7. Caso prático na marca Lotus

A exigência dos clientes e um mercado competitivo, têm levado os fabricantes a lutar por cada vez maiores níveis de sofisticação em seus veículos. Aumentar o uso de estruturas leves e de tecnologias "verdes", juntamente com um maior

ênfase na dinâmica do veículo significa que, muitas vezes, eliminar NVH (noise - ruído, vibration - vibração, harshness – aspereza, rudeza) são metas difíceis de alcançar utilizando apenas as técnicas convencionais passivas. Além disso, a legislação rigorosa sobre o ruído exterior e o aumento da utilização partilhada de plataformas tem diluído o carácter de marca distintiva de muitos veículos.

Para resolver estas questões, a Lotus desenvolveu um conjunto de tecnologias que, juntas alcançam os 3 principais NVH atributos do veículo – ruído do motor, o ruído da estrada e a qualidade do som.

7.1. Cancelamento do ruído do motor

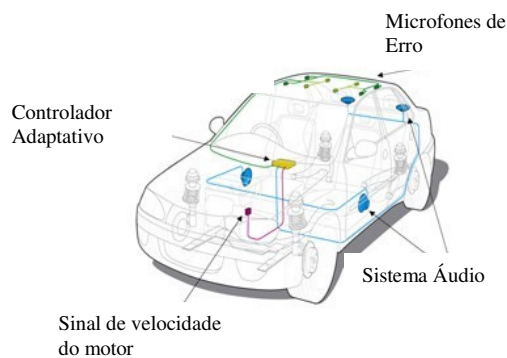


Figura 13 – Sistema de cancelamento do ruído no motor pela Lotus

O sistema Lotus EOC (Engine Order Cancellation) tem como objectivo eliminar o ruído da baixa frequência tonal associado aos harmónicos da rotação do motor. O sistema emprega um controlador adaptativo para cancelar o ruído relacionado com o motor recorrendo às colunas de entretenimento do veículo. Um sinal do motor é usado para fornecer ao controlador uma frequência de referência, enquanto microfones de erro são usados continuamente para otimizar o cancelamento.

Principais benefícios do EOC:

- Reduções típicas de 10dB ou mais no ruído em todos os lugares (cancelamento global)
- Cancelamento simultâneo de várias ordens dentro de limites de frequência do motor
- Anulação sonora de admissão e escape também é possível

- Não há restrições ao tipo de motor (gasolina/diesel) ou configuração
- O sistema pode ser integrado com o sistema de áudio actual do veículo
- Diminuição de custo e peso através de materiais de supressão passiva
- Reduções no peso do motor, custo e consumo de energia através da supressão de veios

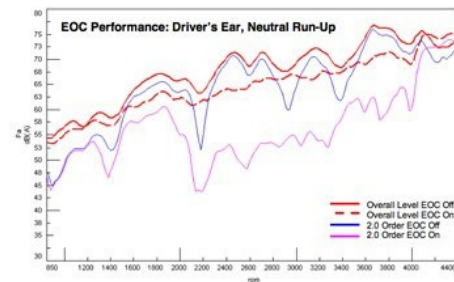


Figura 14 – Performance do cancelamento adaptativo do ruído de estrada pela Lotus

7.2. Cancelamento do ruído de estrada

O Lotus ARNC (Adaptive Road Noise Cancellation) trabalha também a baixa frequência da banda larga associada ao ruído da estrada. O sistema utiliza acelerómetros sobre o veículo para fornecer uma referência para um controlador adaptativo, que anula a componente ruído da estrutura da estrada, usando as colunas do sistema de áudio do automóvel. Microfones de erro são utilizados para adaptar continuamente o cancelamento.

Principais vantagens do ANRC:

- Reduções típicas de 8 -12dB na baixa frequência do ruído rodoviário em todos os lugares
- O sistema é totalmente adaptável e o cancelamento é continuamente otimizado
- O sistema pode reagir a uma mudança de piso, em menos de 0.25s
- O sistema pode ser integrado com o actual sistema de áudio do automóvel
- Reduções de fadiga no motorista associada á exposição ao ruído de baixa frequência
- Menor consumo de combustível devido ao menor peso veículo

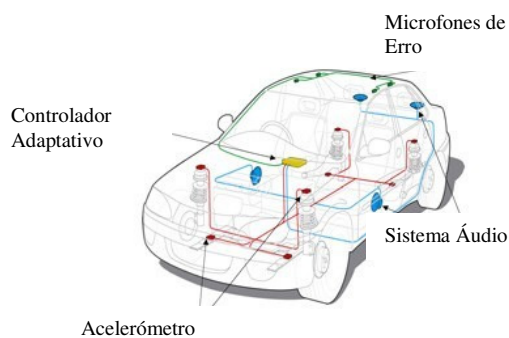


Figura 15 – Sistema de cancelamento do ruído da estrada pela Lotus

7.3. Sistema de som

A qualidade de som é um factor importante na divulgação da qualidade da marca. Os clientes esperam que a qualidade do som corresponda á imagem de marca, porém a rigorosa legislação de ruído exterior limita as potencialidades para valores característicos. O sistema de som da Lotus aumenta a sua qualidade sonora através da introdução de solicitações adicionais ao motor utilizando as colunas de entretenimento do automóvel. A saída do sistema é uma função tanto da posição do motor como da borboleta.

Principais vantagens do sistema de som:

- O sistema pode ser usado para criar um som mais desportivo ou sofisticado
- Ruído externo permanece o mesmo, não são necessárias modificações para a admissão ou escape
- O sistema pode ser integrado com o actual sistema de áudio do veículo.

8. Legislação

Pode verificar-se no Diário da República, 1ª série – Nº 12 de 17 de Janeiro de 2007, Decreto-Lei nº. 9/2007 de 17 de Janeiro, a aprovação e descrição do regulamento geral do ruído, no qual podemos verificar no capítulo I artigo 3º as alíneas: v) «Zona mista» a área definida em plano municipal de ordenamento do território, cuja ocupação seja afectada a outros usos, existentes ou previstos, para além dos referidos na definição de zona sensível; x) «Zona sensível» a área definida em plano municipal de ordenamento do território como vocacionada para uso habitacional, ou para escolas, hospitais ou similares, ou espaços de lazer, existentes ou previstos, podendo conter pequenas unidades de comércio e de serviços destinadas a servir a

população local, tais como cafés e outros estabelecimentos de restauração, papelarias e outros estabelecimentos de comércio tradicional, sem funcionamento no período nocturno.

Mais afrente no capítulo III, artigo 11.º, alíneas: a) As zonas mistas não devem ficar expostas a ruído ambiente exterior superior a 65dB(A), expresso pelo indicador Lden (ruído de dia, tarde e noite), e superior a 55dB(A), expresso pelo indicador Ln (ruído noite); b) As zonas sensíveis não devem ficar expostas a ruído ambiente exterior superior a 55dB(A), expresso pelo indicador Lden (ruído de dia, tarde e noite), e superior a 45dB(A), expresso pelo indicador Ln (ruído noite);

Ainda importante também o artigo 22.º ponto 1 – É proibida, nos termos do disposto no Código da Estrada e respectivo Regulamento, a circulação de veículos com motor cujo valor do nível sonoro do ruído global de funcionamento exceda os valores fixados no livrete, considerado o limite de tolerância de 5 dB(A). E ponto 3 - A inspecção periódica de veículos inclui o controlo do valor do nível sonoro do ruído global de funcionamento.

9. Conclusão

O uso de sistemas de cancelamento de ruído não é muito difundido actualmente, pois sua área de aplicação ainda é restrita a cancelamentos de ruído em pontos específicos ou pequenas zonas delimitadas no espaço, não existindo sistemas de controle que cubram ambientes mais amplos, como hospitais, shoppings, praças, etc.

É possível construir bons sistemas de atenuação de ruídos utilizando-se combinações entre os métodos passivo e activo, para aplicações em todo o espectro audível, dependendo da viabilidade de implementação de barreiras acústicas e da complexidade e robustez do sistema de controle activo, que determinará a sua velocidade de convergência.

O controlo activo de ruídos só é eficaz em baixas frequências, para altas frequências apenas se consegue uma melhoria da ordem dos 2dB e o custo aumenta consideravelmente. Apesar de mais seguro e versátil do que os passivos, enfrenta dificuldades comerciais há muito tempo, com explicações que variam desde uma necessidade de indivíduos de se expor aos barulhos, uma certa relutância por parte de fabricantes em incluir sistemas de controlo de ruído activos em produtos devido ao aumento de custos.

10. Referências

1. <http://www.wikipedia.com>
2. Rykx Wim, Scientific report - Active Noise Cancellation, disponível online em:
www.lumumba.uhasselt.be/~wimrykx/scientificReport/report.pdf
3. Acoustic Active Noise Control System
<http://sips.inesc.pt/~pacl/Acustica98.pdf>
4. Sips - Signal Processing Systems, INESC-ID
Protótipo de sistema de demonstração de cancelamento activo de ruído
http://www.aes.org.pt/arquivoconcurso/SiteConcurso2005/propostas2005/Proposta%20-%20-%20AES_CancelamentoAcusticoActivo.pdf
5. Filtragem adaptativa
www.deetc.isel.ipl.pt/Analisedesainai/pdsII/Bibliografia/FiltragemAdaptativa-Slides.pdf
6. <http://dre.pt/pdf1s/2007/01/01200/03890398.pdf>
7. <http://www.grouplotus.com/managedcontent/vievw/>
8. Eng. Diamantino Freitas, Professor na Faculdade de Engenharia do Porto, que se disponibilizou a fazer algumas observações sobre este assunto.