

Universidade Estadual de Campinas
Instituto de Física “Gleb Wataghin”

Relatório Final de Atividades

Disciplina: F-609 – Instrumentação para Ensino

Projeto: Medidor de Níveis Sonoros



Aluno: Alex Dante (alex_dante@hotmail.com)

Orientador: Engº. Pedro Miguel Raggio Santos, chefe dos Laboratórios de Ensino Básico e Informática LEB / LEI – IFGW, UNICAMP (praggio@ifi.unicamp.br)

06 de julho de 2009

1) BREVE DESCRIÇÃO DO PROJETO PROPOSTO E TEORIA RELACIONADA

i. Descrição

Para a disciplina de F-609 (Instrumentação para Ensino) propusemos a construção de um *Medidor de Níveis Sonoros* [1], um projeto interessante do ponto de vista didático, visto que envolve conceitos físicos como acústica com limites de frequência e energia sonora comparada pelo nível de decibéis (dB) em relação a um padrão vigente, medida da potência sonora pelo ouvido humano em dB, circuitos eletrônicos amplificadores de sinais, e tensão AC e DC, o que faz dele um tema didaticamente importante tanto para o público de ensino médio como o universitário.

O medidor de níveis sonoros é um aparelho que se encontra disponível comercialmente. Este instrumento é imprescindível para a avaliação técnica pelos profissionais de segurança do trabalho na especificação e determinação dos níveis aceitáveis de ruído do ambiente. A medição de níveis sonoros é um assunto bastante complexo, que necessita de um curso exclusivo para seu completo entendimento [2]. É normalmente efetuada com aparelhos profissionais para a verificação do nível sonoro em diversos tipos de ambientes. Estes instrumentos são fabricados por firmas reconhecidas pelos órgãos regulatórios de diversos países, por exemplo B&K® e Genradio®, tendo como seu maior cliente o setor de segurança industrial. Esquemas de medidores de níveis sonoros estão disponíveis em vários *websites* de amadores de eletrônica, principalmente em *websites* de amadores de eletrônica, mas o desafio maior é obter uma resposta de frequência plana e fazer a calibração que permita uma leitura confiável em decibéis. Até o momento, este projeto ainda não foi desenvolvido nas disciplinas de instrumentação para ensino do IFGW – UNICAMP, apesar do tema ter sido parcialmente abordado no projeto *Enclausuramento de uma fonte sonora* [3], de Instrumentação para Ensino (F-609) no IFGW, e em tese de mestrado na Engenharia Civil, sobre avaliação de ruído em malharias [4].

ii. Teoria [4]

O ouvido humano tem a capacidade de audição ampla na faixa audível percebendo variação na intensidade do som de 10^{-12} W/m² a 1 W/m². Como a diferença entre esses valores é muito grande, por questões práticas usa-se então uma escala logarítmica. O decibel (dB) é definido como uma relação logarítmica entre grandezas. Quando a grandeza estudada é a pressão, denominamos de nível de pressão sonora (NPS) a relação:

$$\text{NPS} = 10 \log (P/P_{\text{ref}})^2 \quad (1)$$

onde P_{ref} é definido como a pressão sonora mínima percebida pelo ouvido humano a 1 kHz, e vale 2×10^{-5} Pa.

Sabe-se, porém, que o ouvido humano atenua os sons de baixa frequência e amplifica os de alta frequência. No sentido de tornar as medidas de NPS próximas das sensações do ouvido humano foram criadas curvas de correção (conhecidas como curvas de ponderação), ilustradas na Figura 1.

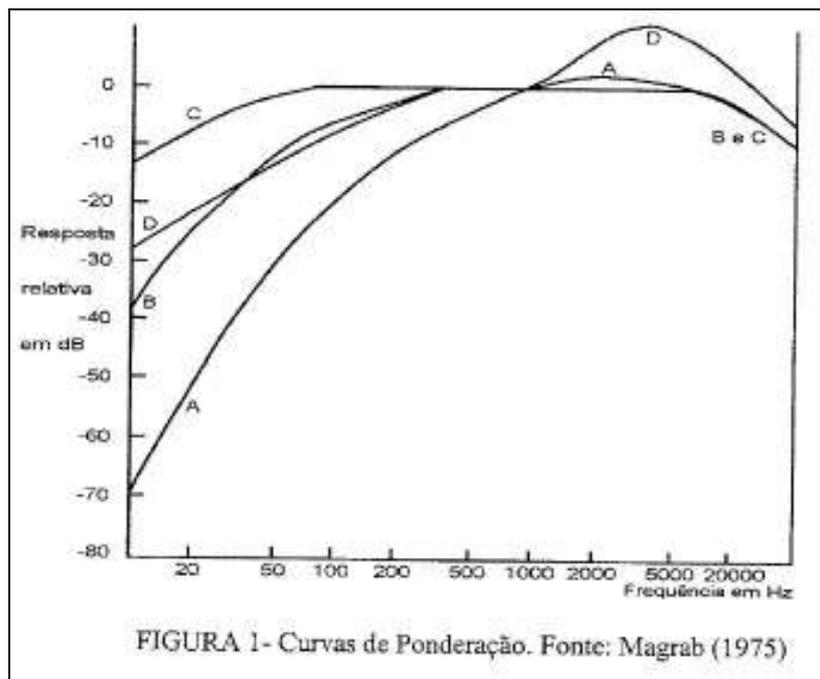


Figura 1. Curvas de compensação para medidas do nível de pressão sonora (NPS)

Quando os valores são ponderados segundo a curva A, os resultados das medidas de níveis de pressão sonora serão medidos em dB (A), e assim por diante.

Para efetuar medidas de ruído utiliza-se em geral o medidor de nível de pressão sonora. Todos os aparelhos de medição de níveis sonoros, independente de suas marcas, possuem o mesmo sistema básico. O ruído emitido é captado e convertido por um acelerômetro em um sinal elétrico. Por ser um sinal de baixa intensidade (da ordem de milivolts), esse passa por um circuito amplificador e se necessário pode passar por um circuito de compensação A, B, C ou D, conforme a curva de compensação selecionada para medir. Após a amplificação, o sinal terá um nível suficientemente alto para ser exibido por um medidor, que pode ser um voltímetro comum.

Existem vários modelos de medidores. Os de melhor tecnologia podem oferecer valores das medidas em dB (A, B, C ou D), dB pico, impulso, espectro, etc. Já os mais simples oferecem apenas as medidas em dB (A).

O acelerômetro é o sensor padrão destes instrumentos, mas considerando o custo e considerando uma finalidade didática, pode-se substituí-lo por um microfone com as devidas adaptações de projeto e alguma limitação dinâmica. A escolha depende do campo sonoro que será medido, da curva de resposta dinâmica em função da frequência e da diretividade. É importante salientar que quanto menor o diâmetro do microfone, maior a sua sensibilidade aos sons agudos.

Existem diversos tipos de microfones. Uma descrição dos principais tipos e sua descrição está no Apêndice VI. O microfone escolhido para uso neste projeto foi um microfone de eletreto, por ter uma boa qualidade, baixo ruído, e principalmente pelo seu baixo custo.

iii. Efeitos do ruído no ser humano [4]

Como o ouvido amplifica os sons de altas frequências, e atenua os de baixas frequências, com o passar dos anos, pessoas que ficam expostas a ruídos intensos, como fábricas e trânsito, sofrem a gradativa perda de audição começando pelas altas frequências. Assim, uma pessoa idosa tende a ouvir mais sons graves do que os agudos. Estudos realizados recentemente sobre os efeitos do ruído no sono e na saúde em geral determinaram que as pessoas expostas a níveis superiores a 65 dB (A) iniciam um processo de stresse degradativo no organismo desencadeando um desequilíbrio bioquímico, onde aumenta a possibilidade de infarto, derrame cerebral, ocorrência de osteoporose e infecções. É possível que a um nível de 80 dB (A), seja liberada pelo organismo morfina biológica no corpo, dando certa sensação de prazer e gerando efeitos de dependência. Ao chegar a 100 dB (A), pode ocorrer a perda imediata da audição. Além das perdas auditivas, o ruído excessivo pode causar outros efeitos no homem, como aumento da pulsação, estreitamento dos vasos sanguíneos devido à liberação de adrenalina pelas supra-renais. Com o decorrer do tempo de exposição ao ruído elevado, podem acontecer tensões musculares e alterações nas secreções hormonais, e como consequência uma sobrecarga no coração, mudanças no comportamento, nervosismo, fadiga mental e prejuízo no desempenho no trabalho, entre outros.

Existem normas que regulamentam os níveis de exposição permitidos em função do tempo de exposição, como a NBR 10151 e NBR 10152, da ABNT, que tratam da questão do ruído nas regiões habitadas e análise dos níveis de ruído visando o conforto acústico, respectivamente. Segundo as normas brasileiras, os níveis de ruído devem ser medidos em dB (A), esta audiometria deve ser feita próxima ao ouvido da pessoa exposta ao alto nível de ruído. Os níveis de exposição não devem ultrapassar os limites de tolerância fixados na Tabela 1.

Tabela 1. Limites de exposição permitidos em função do nível de ruído em dB (A) para o ser humano.

Nível de Ruído dB (A)	Máxima Exposição Diária Permissível
85	8 horas
86	7 horas
87	6 horas
88	5 horas
89	4 horas e 30 minutos
90	4 horas
91	3 horas e 30 minutos
92	3 horas
93	2 horas e 40 minutos
94	2 horas e 15 minutos
95	2 horas
96	1 hora e 45 minutos
98	1 hora e 15 minutos
100	1 hora
102	45 minutos
102	35 minutos
105	30 minutos
106	25 minutos
108	20 minutos
110	15 minutos
112	10 minutos
114	8 minutos
115	7 minutos

Nesse sentido, no presente projeto fabricamos com materiais de baixo custo um medidor de níveis sonoros que pode ser utilizado para identificação do nível de ruído em decibéis dB (A) de um ambiente com relativa precisão. As etapas do processo desde o projeto até os testes finais estão detalhadas a seguir.

2) RESULTADOS OBTIDOS

i) Modificações no projeto original

Como eu havia indicado no projeto original, o circuito utilizado poderia sofrer modificações que atendessem melhor às nossas propostas. No total quatro circuitos foram analisados, devidamente alterados e simulados com a ajuda do software CircuitMaker®, e dois deles foram efetivamente montados em *protoboard* e testados, o que gerou um gasto de tempo adicional conseguindo componentes eletrônicos, montando-os e testando as alterações destes circuitos em relação à sua resposta em função da frequência. Finalmente, o circuito utilizado foi o ilustrado na Figura 2 [1], que se mostrou satisfatório no que tange à sensibilidade aos ruídos, embora ainda seja altamente dependente da frequência, conforme veremos adiante. Na Tabela 2 estão listados os materiais correspondentes a este circuito.

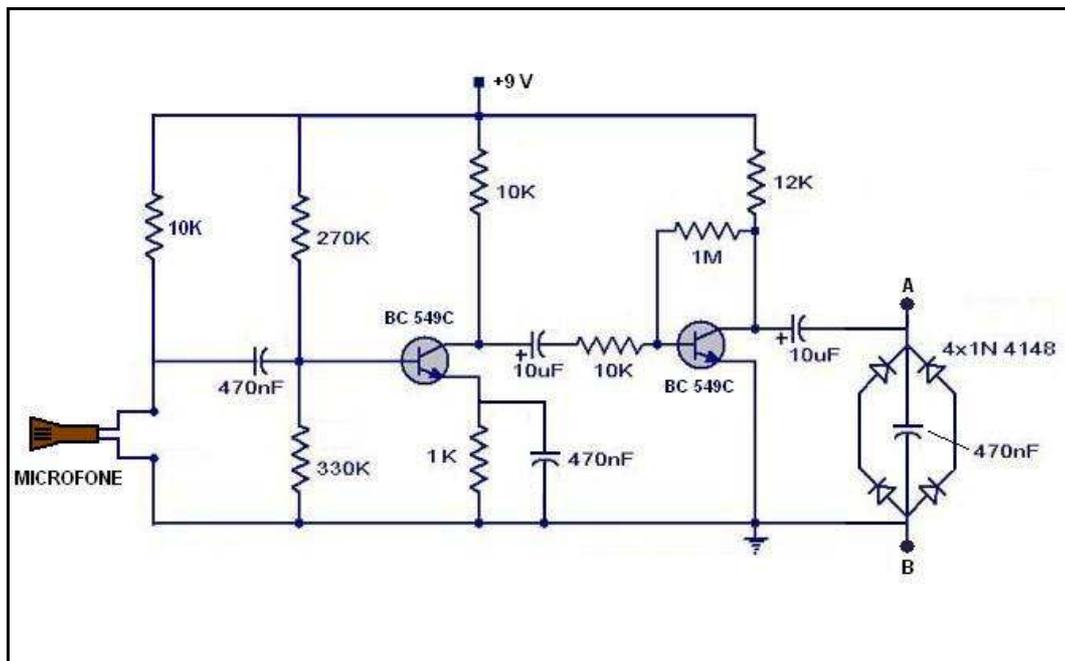


Figura 2. Esquema eletrônico modificado do medidor de níveis sonoros que foi implementado no projeto.

Tabela 2. Lista de componentes do circuito utilizado.

Componente	Quantidade
Bateria de alimentação 9 V DC	1
Microfone de computador (eletreto)	1
Capacitor eletrolítico 10 μ F	2
Capacitor de placas paralelas 0,47 μ F	3

Resistor 1 kΩ, 0,25 W	1
Resistor 10 kΩ, 0,25 W	3
Resistor 12 kΩ, 0,25 W	1
Resistor 270 kΩ, 0,25 W	1
Resistor 330 kΩ, 0,25 W	1
Resistor 1 MΩ, 0,25 W	1
Diodo de silício 1N4148	4
Transistor NPN BC549 C	2

Esse circuito foi aperfeiçoado em relação ao original para alimentar um microfone de eletreto, e usar um transistor de baixo ruído e melhorar sua resposta DC, isto é, introduzimos um capacitor de 0,47 μF no emissor do primeiro transistor e outro na ponte de diodos, para “segurar” o sinal por mais tempo para que o multímetro analógico, usado em conjunto com o medidor na leitura dos sinais, mantenha o sinal por tempo suficiente para que o usuário possa efetuar as medições com relativa precisão.

ii) Montagem e testes preliminares do medidor experimental

Primeiramente reuni os componentes constantes na Tabela 2 e montei o circuito da Figura 2 numa *protoboard* a fim de testá-lo. Os componentes foram fornecidos pelo técnico Claudemir, da Oficina Eletrônica do IFGW, e o microfone pelo César, da LEI. A Figura 3 mostra uma foto dessa montagem.

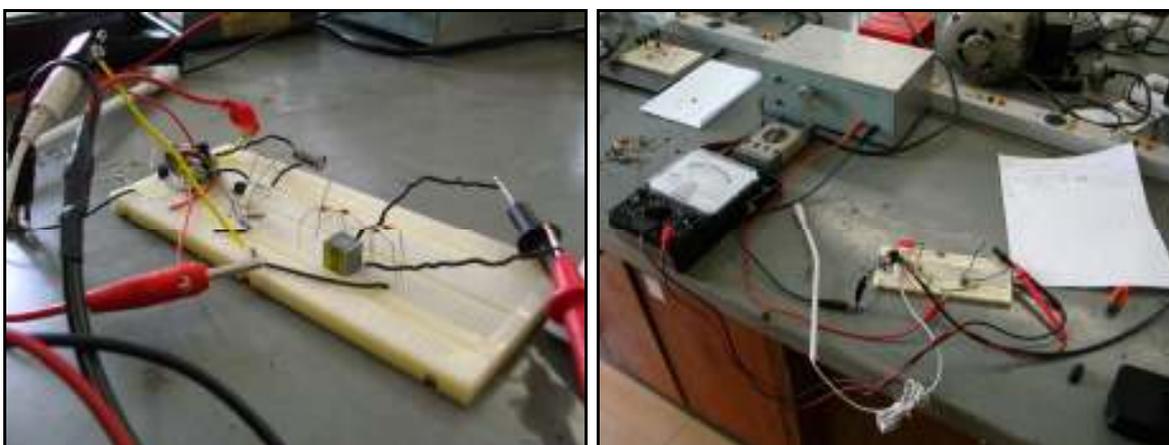


Figura 3. Esquerda: foto no circuito eletrônico montado na protoboard. Direita: Bancada de trabalho mostrando a protoboard ligada a uma fonte DC regulável de 0 V a 15 V e multímetros digital e analógico usados nas medidas diversas durante a montagem.

Ligando o circuito a uma fonte DC regulável de 0 V a 15 V e com um microfone de eletreto proveniente de kit multimídia de um PC, foi possível obter boa resposta a ruídos com esse microfone, isto é, o circuito estava amplificando o sinal e retornando uma tensão DC máxima de aproximadamente 4 V. Nesta etapa de testes, verifiquei também que o medidor era pouco sensível a ruídos mais baixos, principalmente quando o microfone não estava direcionado para a fonte desses ruídos. Uma alternativa foi então adicionar ao medidor uma espécie de “concha acústica”, feita de uma garrafa PET de 2 litros de refrigerante, cortada pouco acima da metade. Acoplada ao microfone do medidor, essa concha acústica deu maior sensibilidade ao aparelho, como será mostrado mais adiante.

Nas medidas mais gerais de tensão, corrente e resistência eu usei um multímetro digital Minipa[®] modelo ET-2002. Já para as medidas preliminares de tensão de saída do circuito amplificador usei um multímetro analógico ICEL-KAISE[®] modelo SK-100.

Visto que o circuito amplificador funcionou satisfatoriamente, parti então para a soldagem dos componentes numa placa padrão de fenolite, material mais comum de que são feitas as placas de circuito impresso de produtos eletrônicos. Paralelamente, pedi ao Jorge da Oficina Mecânica Central do IFGW que produzisse o corpo do medidor de níveis sonoros, a caixa onde a placa de circuito impresso, a bateria, o microfone e demais itens seriam conectados e acomodados de forma compacta. O desenho mecânico desta caixa, que foi fabricada em polietileno de alto impacto, está disponível no Apêndice VII. Foi colocada também uma chave liga/desliga no medidor para evitar o desperdício de energia da bateria. Na Figura 4 podemos ver o medidor experimental já montado, pronto para a calibração.

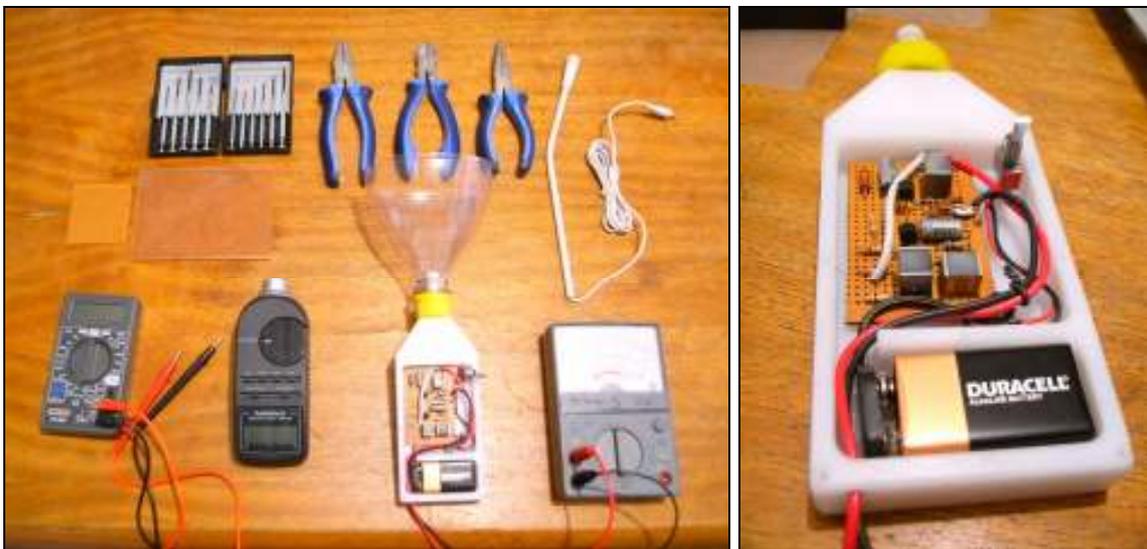


Figura 4. Esquerda: bancada de trabalho para montagem do medidor de níveis sonoros experimental. Direita: Medidor experimental montado sem a tampa superior e sem a concha acústica.

iii) Calibração do medidor experimental

Com o circuito montado e devidamente acomodado na caixa de polietileno de alto impacto, já com a bateria de 9 V substituindo a fonte regulável, o microfone soldado no circuito e com a concha acústica encaixada, iniciei a fase de calibração do meu medidor de níveis sonoros, utilizando para isso o software livre [5] gerador de áudio *Audio SweepGen* versão 3.5.2.24, cujo painel principal está reproduzido na Figura 5, juntamente com um medidor de níveis sonoros comercial da RadioShack[®] modelo 33-2055 A, que pode ser visto na Figura 6, junto ao medidor experimental. Este medidor comercial vem pré-calibrado para dois modos de medidas, em relação à resposta do aparelho à frequência: ponderado pela curva A ou pela curva C (Figura 2). Pode-se alternar entre o modo ponderado pela curva A e pela curva C com um toque do botão *weighting*. Além disso, sua faixa de medida de ruídos vai de 50 dB a 126 dB, com erro de ± 2 dB a 114 dB.

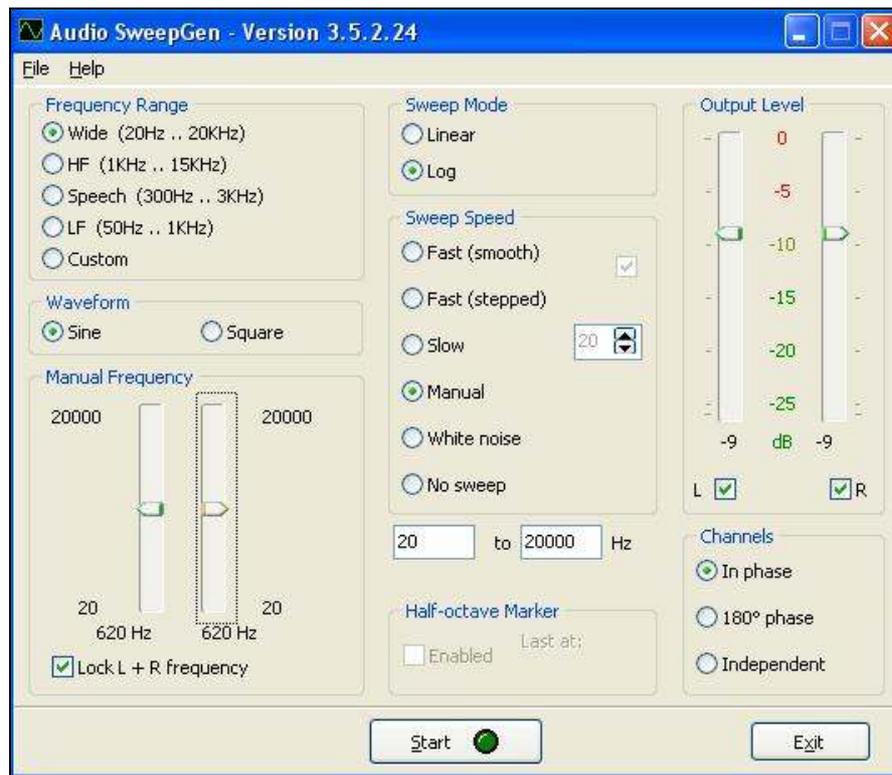


Figura 5. Painel do software livre Audio SweepGen v. 3.5.2.24 utilizado nos testes e calibração do medidor de níveis sonoros.

A calibração foi feita da seguinte forma: com o meu medidor experimental, ligado a um multímetro analógico Minipa[®] modelo ET-3021 configurado para medir tensões contínuas, posicionado a uma determinada distância da fonte sonora, que nesse caso eram duas caixas de som do PC, e com o medidor comercial posicionado à mesma distância, foi ligado o software variando a intensidade do som nas caixas para uma quantidade significativa de frequências, desde 20 Hz até 20 kHz, que é a faixa audível para o ouvido humano [4]. O procedimento, então, foi gerar o som numa frequência conhecida, verificar a leitura em Volts do medidor experimental, e anotar a leitura do mesmo som no medidor comercial, aumentando sucessivamente a intensidade do som, até observar a saturação do medidor experimental, o que ocorreu sempre entre 3,5 V e 4,0 V. A Figura 6 mostra fotos do momento da calibração.



Figura 6. Fotos da calibração do medidor experimental de níveis sonoros. No detalhe à direita podemos ver o medidor de níveis sonoros da RadioShack[®].

Os dados resultantes dessa calibração estão reunidos no Apêndice II. Com base nesses dados, podemos concluir que a faixa de intensidade sonora que o medidor experimental opera é de 70 dB(A) a 100 dB(A), e que ele é altamente dependente da frequência, o que sugere a divisão da sua tabela de conversão Volts x dB em quatro regiões principais: de 100 Hz a 500 Hz: sons graves; 500 Hz a 1 kHz: sons graves-médios; 1 kHz a 5 kHz: sons médios; acima de 5 kHz: sons agudos.

Com o medidor calibrado, a montagem foi concluída, aparafusando a tampa superior de plástico para proteger os componentes internos (circuito eletrônico e bateria). A Figura 7 mostra fotos do medidor experimental de níveis sonoros pronto para uso.



Figura 7. Medidor experimental de níveis sonoros pronto para ser usado.

iv) Resultados experimentais

Ainda durante a calibração foi notado que a faixa de trabalho do meu medidor experimental é de 100 Hz a 13 kHz, que é grande parte da faixa audível do ouvido humano, e corresponde à faixa de frequência dos sons mais comuns do dia-a-dia. É importante salientar, porém, que a calibração foi feita utilizando caixas acústicas de baixo custo, cuja resposta de frequência não foi analisada porque não havia manual do fabricante na ocasião, nem um analisador de espectro de fonte sonoras, o que seria interessante para se obter a faixa de resposta do medidor experimental com maior precisão. No entanto, ainda que dependente da frequência, esse medidor pode ser usado no dia-a-dia como parâmetro para indicação de ambientes com ruído excessivo, portanto prejudicial à saúde.

De posse dos dados obtidos na calibração do medidor experimental, elaborei uma tabela de conversão Volts ↔ dB, mostrada na Tabela 3, que permite a rápida conversão da leitura em Volts feita num multímetro analógico ou digital conectado ao medidor de níveis sonoros, diretamente para a faixa de

decibéis correspondente, com um erro de ± 5 dB, na faixa de 70 dB(A) at 90 dB(A). Esta tabela pode ser impressa e colada na tampa do medidor, aumentando ainda mais a sua portabilidade, podendo ser levado para qualquer lugar sem complicações, por ser leve e compacto.

Tabela 3. Tabela de conversão prática de Volts \leftrightarrow dB (A) do medidor experimental.

dB (A)	Tensão no multímetro (V)							
70					Sons médios (1 kHz a 5 kHz)	0,1		
72						0,2		
74	Sons Graves (100 Hz a 500 Hz)		Sons graves-médios (500 Hz a 1 kHz)	0,1		0,3		
76		0,1		0,2		0,4		
78		0,2		0,3		1,0		
80		0,3		0,5		2,0		
82		0,5		1,1		2,7		
84		1,0		1,6		3,5		
86		1,6		2,4			Sons agudos (acima de 5 kHz)	0,1
88		2,5		3,5				0,2
90		3,3				0,3		
92						0,4		
94				0,6				
96				1,3				
98				2,0				
100				3,3				

Além disso o nosso medidor experimental tem as seguintes especificações:

Alimentação: Bateria comum de 9,0 V DC (incluso)

Consumo: $1,6 \pm 0,1$ mA

Potência dissipada: $14,4 \pm 1,8$ mW

Faixa de medidas: 70 dB(A) a 100 dB(A)

Precisão: ± 5 dB entre 70 dB(A) e 90 dB(A)

Medidor: multímetro digital ou analógico comum (não-incluso)

Como parte da proposta inicial era calibrar o medidor experimental também com um aparelho profissional de medida de níveis sonoros, entrei em contato com a Dra. Stelamaris Rolla Bertoli, professora da Faculdade de Engenharia Civil da UNICAMP, que trabalha com o assunto e possui um medidor modelo 2232 Mediator, da Brüel & Kær®, líder mundial neste segmento. Este é um medidor de níveis sonoros profissional, além de ser também um analisador de espectro acústico. A fim de calibrar o medidor experimental, colocamos ambos sobre uma mesa, a 0,5 m de distância de uma fonte sonora bastante ruidosa, no caso uma furadeira elétrica portátil, que ficou montada num suporte. A Figura 8 mostra uma foto dos medidores experimental e profissional no momento da calibração.



Figura 8. Esquerda: Calibração do medidor experimental de níveis sonoros com o medidor profissional 2238 Mediator da Brüel & Kær® utilizando uma furadeira elétrica como fonte sonora. Direita: Detalhe do medidor profissional usado.

Antes de realizar a medida do nível de ruído da furadeira, entretanto, fizemos a análise do espectro do seu ruído com o medidor profissional, o que é de grande utilidade quando não se tem certeza da frequência emitida pela fonte, visto que a consulta à tabela de conversão Volts \leftrightarrow dB do medidor experimental pressupõe que o usuário saiba em qual faixa de frequência o ruído a ser medido se encontra aproximadamente. Além disso, esse medidor também mede os níveis em dB(A) e em dB, o que significa uma medida direta do nível de ruído da fonte sonora sem a ponderação pelas curvas A, B, C ou D, usadas para corrigir o efeito de atenuação/amplificação do ouvido humano em relação às frequências. Fizemos, então, a medida do espectro de frequências do som emitido pela furadeira, o que resultou numa média de 480 Hz. Em seguida, fizemos as medidas em dB e dB(A), e os resultados foram os seguintes:

- *Medidor profissional:*

Medida em dB: $[90,9 \pm 0,5]$ dB

Medida em dB(A): $[89,6 \pm 0,5]$ dB

- *Medidor experimental:*

Medida em dB(A): $[87 \pm 5]$ dB

Finalmente, foram feitas algumas medidas de ruídos ambientais com o medidor experimental, comparando os resultados com o medidor comercial. Os resultados obtidos encontram-se na Tabela 4.

Tabela 4. Níveis de ruído coletados com o medidor experimental de níveis sonoros.

Fonte sonora	Distância até a fonte sonora (m)	Tensão (V)	dB (medidor experimental)	dB (medidor comercial)
Descarga vaso sanitário	0,5	0,5	80	84
Barbeador elétrico	0,1	0,8	78	82
Porta batendo	2,0	3,0	90	93
Televisão (volume alto)	0,5	0,2	78	80
Estouro de saco plástico	0,5	4,0	> 90	91
Máquinas atrás do DEQ (IFGW)	3,0	1,8	87	90
Máquinas Criogenia (IFGW)	2,0	2,0	87	89

Com base nesses resultados, podemos concluir que o medidor de níveis sonoros experimental construído tem bom desempenho e apresenta certa confiabilidade para um instrumento didático, que responde a ruídos acima de 70 dB(A), podendo ser usado na prática como indicativo de ruído ambiente excessivo, até mesmo em substituição a um medidor comercial em alguns casos, pois estes chegam a custar mais de R\$100,00 ^(a), enquanto que um modelo profissional como o Brüel & Kær[®] 2232 Mediator, que é o módulo mais econômico do fabricante, pode chegar a mais R\$ 6.000,00 ^(b).

Além disso, é um projeto simples e de baixo custo, que pode ser usado em salas de aula e feiras de ciências.

3) DIFICULDADES ENCONTRADAS

Ao longo do desenvolvimento desse projeto, várias dificuldades foram encontradas, as principais foram:

- Dificuldade em encontrar um circuito eletrônico satisfatório que fosse ao mesmo tempo de montagem simples, de baixo custo e com resposta o mais plana possível em relação às frequências. Durante a pesquisa inicial encontrei muitas referências e muitos circuitos disponíveis na internet, mas nenhum deles era exatamente o que queríamos.

- Dificuldades inerentes à eletrônica, principalmente quando fui soldar os componentes eletrônicos na placa de fenolite, pois o ferro de solda que eu possui é de baixa potência e não permitia uma boa solda. Tive que fazer uma placa nova com componentes novos porque a anterior não funcionou;

^(a) US\$ 49,99 no *website* da RadioShack[®], em 26/06/2009.

^(b) Segundo informações da Profa. Dra. Stelamaris R. Bertoli, da Faculdade de Engenharia Civil da UNICAMP.

4) PESQUISA REALIZADA, SUA DESCRIÇÃO E IMPORTÂNCIA DOS ÍTENS NO TRABALHO SENDO DESENVOLVIDO

Como este trabalho foi fundamentado em eletrônica e circuitos, minha pesquisa se deu em parte em referências encontradas na internet, visto que existem muitos *websites*, principalmente de amadores, que fornecem circuitos eletrônicos para muitos fins, e em parte livros, inclusive em teses de doutorado sobre esse assunto específico [6], de alunos da Unicamp. As seguintes palavras-chave foram intensamente utilizadas:

- a) “audio level meter” – a pesquisa com essas palavras-chave retornou muitos resultados interessantes, incluindo *links* para vários *websites* de amadores de eletrônica, os quais têm muitos circuitos para diversas aplicações, inclusive o que foi usado como base para este projeto. O *website* correspondente ao circuito que utilizamos está no Apêndice I [1].
- b) “decibel” – a pesquisa com esta palavra-chave foi feita procurando mais conhecimentos sobre decibéis, a unidade de medida base utilizada neste projeto, que retornou muitas referências interessantes, inclusive de *websites* de universidades, como o apresentado nos Apêndices III e IV, que foram de grande utilidade no entendimento do assunto.
- c) “pc microphone signal level” – estas palavras-chave foram utilizadas na pesquisa do nível de saída de um microfone comum de computador (microfone de eletreto), dado que era necessário para simular um microfone com o gerador de áudio. Além disso, era necessário também conhecer os requisitos e especificações do plugue de entrada do microfone dos atuais computadores pessoais. Esta e outras informações importantes podem ser encontradas no *website* anexo e referenciado no Apêndice V.
- d) “tipos microfones” – a pesquisa com estas palavras-chave foi feita porque era necessário escolher um tipo de microfone que fosse bastante sensível e de baixo custo para fazer o projeto. Com base nas informações do *website* anexo no Apêndice VI, pude escolher o microfone de eletreto, que é o mais comum por ser usado na maioria dos computadores pessoais atualmente, mais barato e bastante sensível.

5) COMENTÁRIOS DO ORIENTADOR

O meu orientador fez os seguintes comentários:

Este assunto é de grande complexidade e dentro do tempo de 3 meses o aluno atingiu o objetivo de desenvolver e montar um instrumento didático e portátil para medição de níveis sonoros, tendo como público alvo os alunos de segundo grau e de terceiro grau direcionados para a área de Exatas / Física. A medição

obtida por este instrumento requer o conhecimento ou estimativa da faixa de frequência do ruído sendo medido, que com mais algum tempo de desenvolvimento pode ser aperfeiçoado, simplificando e dando maior precisão na medição.

6) AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer principalmente ao Eng^o. Pedro Miguel Raggio Santos, meu orientador, pela dedicação a mim e ao projeto; à Prof^a. Stelamaris Rolla Bertoli, da Faculdade de Engenharia Civil, pela paciência nas explicações e fundamental ajuda na calibração com o medidor profissional; ao Claudemir da Oficina Eletrônica do IFGW, que forneceu os componentes eletrônicos necessários; aos funcionários Góes, Gilmar e Lúcia, do LEB (Laboratórios de Ensino de Básico), que me emprestaram os multímetros e demais ferramentas; ao César, do LEI (Laboratório de Ensino de Informática), que me forneceu os microfones de eletreto; ao Jorge e demais funcionários da Oficina Mecânica Central do IFGW pelo bom atendimento e pronta confecção da caixa do medidor; ao aluno de pós-graduação do IFGW Rafael Borges Merlo pela doação da placa padrão para soldagem dos componentes eletrônicos e pelo empréstimo da furadeira; e finalmente a atenção de visitantes da apresentação, pelos elogios e votos de incentivo a este trabalho.

7) REFERÊNCIAS

- [1] *Audio Level Meter*, disponível em “<http://www.circuitstoday.com/audio-level-meter-circuit>” (último acesso em 15/06/2009). Anexo no Apêndice I.
- [2] Fahy, F. J. *Sound Intensity*. 2 ed. London: Spon, 1995.
- [3] *Enclausuramento de uma fonte sonora*, Thomazelli, R., Relatório Parcial da disciplina “Instrumentação para Ensino” (F-609). Orientadora: Stelamaris Rolla Bertoli, Faculdade de Engenharia Civil, apresentado em junho de 2008 (disponível em www.ifi.unicamp.br/~lunazzi/F530_F590_F690_F809_F895/F809/F809_sem1_2008/RodolfoT_Stelamaris_RP.pdf). Último acesso em 15/06/2009.
- [4] Bertucci, Wagner. *Níveis Sonoros e exposição ao ruído em malharias, estudo de caso: Jacutinga, MG*. Dissertação de mestrado – Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, 1999 (disponível em <http://libdigi.unicamp.br/document/?code=vtls000188783>). Último acesso em 15/06/2009.
- [5] *Audio SweepGen v. 3.5.2.24*, disponível para download em <http://www.satsignal.eu/software/sweepgen.3.5.2.zip> . Último acesso em 15/06/2009.

[6] de Brito, Luiz Antonio Perrone Ferreira. *Correções na determinação do nível de potência sonora obtida através da técnica da intensimetria*. Tese de doutorado – Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, 2006 (disponível em <http://libdigi.unicamp.br/document/?code=vtls000393134>). Último acesso em 15/06/2009.

APÊNDICE I

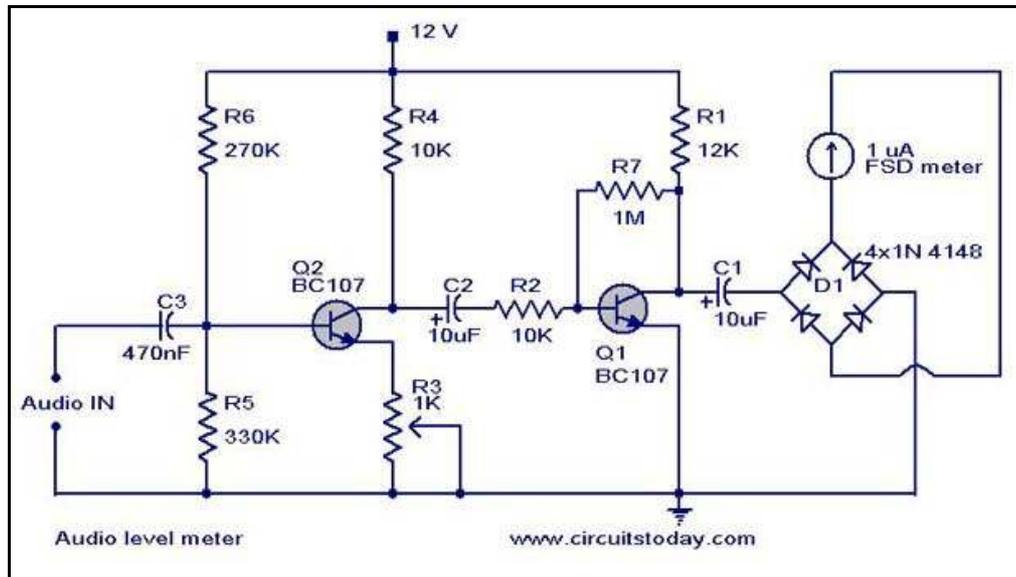
Audio level meter circuit

Description

A simple and low cost audio level meter circuit that can be used to measure the audio level of your sound source. This circuit is a valuable tool for those who are interested in audio circuits.

The circuit is designed with a flat frequency response in the range of 20Hz to 50Khz. Input sensitivity is 100mV for a FSD on a 100uA ammeter. The circuit is build based on on two common emitter amplifiers, the first stage has a preset resistor R3 (1K) which may be adjusted for a FSD. The last stage is biased to operate at about 1/2 the supply voltage for maximum AC voltage deflection. C2&C2 (10 uF) acts as a filter through which audio frequencies are passed . The full wave bridge rectifier converts the signal to a varying dc voltage. The meter will show this voltage as the output reading which is proportional to the input voltage level.

Circuit diagram with parts list



Notes

- The meter reading is instantaneous and it will not provide you with a peak to peak reading.
- To calibrate the meter, provide a 1 kHz 100mV sine wave at the input and adjust R3 to get a full scale reading on the meter.
- Use a well regulated & filtered 12 V supply for powering the circuit.

APÊNDICE II

dB	White noise	V (V)																			
		101 Hz	203 Hz	310 Hz	406 Hz	512 Hz	620 Hz	724 Hz	813 Hz	913 Hz	1025 Hz	2052 Hz	3019 Hz	4110 Hz	5181 Hz	6046 Hz	7333 Hz	8557 Hz	11211 Hz	13082 Hz	
70																					
71																					
72																					
73																					
74		0,15																			
75		0,4																			
76		0,15																			
77		0,45																			
78		0,15																			
79		0,3																			
80		0,6																			
81		1,25																			
82		0,3																			
83		0,6																			
84		1,25																			
85		3,4																			
86		3,5																			
87																					
88																					
89																					
90																					
91																					
92																					
93																					
94																					
95																					
96																					
97																					
98																					
99																					
100																					
101																					

APÊNDICE III

O conteúdo do Apêndice III foi retirado do *website*:
<http://www.mat.ufrgs.br/~portosil/passa1e.html> (último acesso em 15/06/2009).

O decibel, ou melhor: os decibéis

1. Motivação e advertência inicial

O decibel é, provavelmente, a medida mais mal entendida que existe. **Existem vários tipos de decibéis em uso** e, talvez, um número ainda maior de confusas tentativas de explicá-los. Outra coisa que precisa ser enfatizada é que, enquanto que podemos materializar a unidade 1 kg, a unidade 1 metro, etc., **não podemos materializar 1 decibel**. A razão? O decibel é uma **ordem de grandeza**. Com efeito: em muitas áreas da tecnologia precisamos comparar duas instâncias de uma **mesma grandeza** (como por exemplo: uma potência na entrada e na saída de um sistema de áudio, a voltagem na entrada e na saída de uma antena de microondas, etc). Precisamos calcular quanto a saída **S** (ou output) é maior ou menor do que a entrada **E** (input).

Obviamente, a primeira coisa a pensar seria usar a razão **S / E** para expressarmos esse **ganho** (= aumento) ou **atenuação** (= diminuição). Contudo, é muito comum -- em áreas tecnológicas como Eletrônica e outras -- que **S** seja muitíssimo maior ou menor do que **E**, o que daria a razão acima valores tão grandes ou tão pequenos que ficaria difícil atribuir significado prático e intuitivo para tais valores. A saída para o impasse é bastante natural para quem realmente entendeu o significado do logaritmo. Com efeito, bastará usar como medida da **amplificação** (ou seja: o ganho ou atenuação) a ordem de grandeza da razão **S / E**, ou seja: usar o **log (S / E)**.

Um último detalhe: na prática bastará ir até a primeira casa decimal dessa ordem de grandeza e *para procurar evitar o uso da vírgula* será conveniente usar no lugar do **log (S / E)** (que alguns chamam de bell ou bel, em honra a Alexandre G. Bell) o **10 log (S / E)** (o deci - bell)

Vale a pena resumir:

2. O decibel comum

a amplificação de um sistema que tem entrada E e saída S é dada (em decibéis, ou dB) por:

$$\text{amplificação} = 10 \log (S / E)$$

Entende-se, acima, que a entrada e a saída são grandezas de mesmo tipo (por exemplo duas potências, ou duas voltagens, ou etc) e expressas na mesma unidade de medida (por exemplo: ambas em watts, ou ambas em volts, etc).

exemplo

Ao girarmos o controle de volume de um toca-discos, o output aumentou de 0.5 w para 10 w. Qual o ganho em dB ? Interprete.

Solução: $\text{ganho} = 10 \log (10 / 0.5) = 13 \text{ dB}$, ou seja a nova saída = $10^{1.3} = 20$ vezes maior do que a inicial.

exemplo

Os sinais de radio de um avião tinham 1 mw de potência e chegaram à antena do aeroporto enfraquecidos de 58 dB. Sendo que o sistema de radio-recepção do aeroporto amplificou esses sinais para 2 w, pede-se o ganho do sistema antena do aeroporto + amplificador do aeroporto .

Solucao: o leitor deve ter cuidado ! A perda de 58 dB é uma valor **negativo**, ou seja (indicando por *ant* o sinal captado pela antena):

$$- 58 = 10 \log (\text{ant} / 0.001) , \text{ e daí: } \text{ant} = 0.001 * 10^{-5.8} = 1.58 * 10^{-9}$$

de modo que:

$$\text{ganho no aeroporto} = 10 \log (2 / \text{ant}) = 91 \text{ dB}$$

ou seja, o aeroporto foi capaz de amplificar cerca de um bilhão de vezes o sinal que captou do avião.

exemplo

No sistema eletrônico abaixo, temos: perda do microfone = -3.5 dB, ganho do pre-amplificador = 12.5 dB, perda do cabo = -6.5 dB e ganho do (amplificador + alto-falante) = 37.5 dB:



Calcular a amplificação total do sistema.

Resposta: explique o que tem a ver o cálculo abaixo com a propriedade do log de transformar produtos em somas:

$$\text{amplificação total} = -3.5 + 12.5 - 6.5 + 37.5 = 40 \text{ dB}$$

3. Outros decibéis

Em muitas áreas tecnológicas prefere-se particularizar a comparação genérica acima para o

caso de um sinal padrão (referencial) com o sinal efetivamente medido. Isso, entre outras vantagens, permite a construção de instrumentos e de painéis registradores de medidas. A desvantagem é que cada escolha de sinal padrão leva a um tipo de decibel. O quadro abaixo mostra alguns exemplos usados na área da Eletrônica:

símbolo	sinal padrão	fórmula
dBm	sinal de potência = 1 miliwatt	$10 \log [(\text{saída em mw}) / (1 \text{ mw})]$
dBu	tensão elétrica de 0.775 volts	$20 \log [(\text{tensão em volts}) / (0.775 \text{ volts})]$
dBVU	campo magnético de 250 nano webers/m	$10 \log [(\text{campo em nw/m}) / (250 \text{ nw/m})]$

exemplo

Num certo ponto da fita de um tape recorder a intensidade do campo foi medida como 9.5 dBVU. Calcule a intensidade em nw/m.

Solução: $9.5 = 10 \log (E/250)$, daí $E = 250 * 10^{0.95} = 2228 \text{ nw/m}$

exemplo

Explique a lógica do seguinte cálculo de um engenheiro de telefonia:

$44 \text{ dBm} - 6 \text{ dBm} = 25 \text{ 118} - 3.98 = 25 \text{ 114.02 mw} = 43.99 \text{ dBm}$

APÊNDICE IV

O conteúdo do Apêndice IV foi retirado do *website*:
<http://www.jimprice.com/prosound/db.htm> (último acesso em 15/06/2009).

Understanding dB

dB is an abbreviation for "decibel". One decibel is one tenth of a Bel, named for Alexander Graham Bell. The measurement quoted in dB describes the ratio (10 log power difference, 20 log voltage difference, etc.) between the quantity of two levels, the level being measured and a reference. To describe an absolute value, the reference point must be known. There are a number of different reference points defined. Here are a few:

- **dBV** represents the level compared to 1 Volt RMS. 0dBV = 1V. There is no reference to impedance.
- **dBu** represents the level compared to 0.775 Volts RMS with an unloaded, open

circuit, source (u = unloaded).

- **dBm** represents the power level compared to 1 mWatt. This is a level compared to 0.775 Volts RMS across a 600 Ohm load impedance. Note that this is a measurement of *power*, **not** a measurement of *voltage*.
- **dbFS** - relative to digital [full-scale](#).
- **dB SPL** - A measure of [sound pressure level](#).

A few easy-to-remember facts that may help:

- If you're dealing with voltage measurements, convert from dBV to dBu: **1dBV equals +2.2dBu**.
- +4dBu equals 1.23 Volts RMS.
- The reference level of -10dBV is the equivalent to a level of -7.8dBu.
- +4dBu and -10dBV systems have a level difference of 11.8 dB and not 14 dB. This is almost a voltage ratio of 4:1 (Don't forget the difference between dBu and dBV !!)

dBFS - dB Full Scale

0 dBFS represents the highest possible level in digital gear. All other measurements expressed in terms of dBFS will always be less than 0 dB (negative numbers).

0 dBFS indicates the digital number with all digits ="1", the highest possible sample.

The lowest possible sample is (for instance for 16 bit audio):

0000 0000 0000 0001, which equals -96 dBFS. Therefore the dynamic range for 16-bit systems is 96 dB. For 20-bit digital audio it is 120 dB. For 24 bit digital audio it is 144 dB.

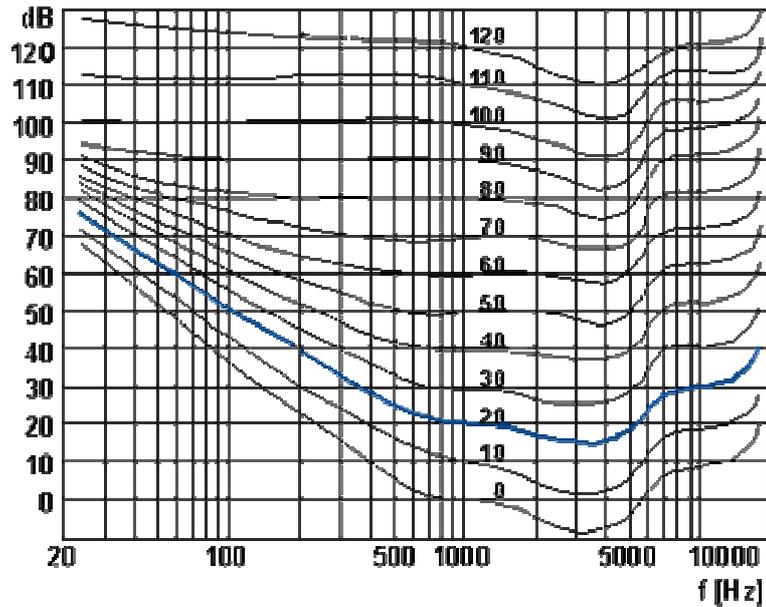
Full-scale input level is the analog input voltage level that will cause the A/D converter to just equal full scale with no clipping on either positive or negative peaks.

Output full scale is defined as the analog output voltage produced while playing a 997 Hz digital full-scale sine wave, assuming the THD+N is less than -40 dB relative to the signal level.

The dynamic range of a digital system is the ratio of the full scale signal level to the RMS noise floor.

Sound Pressure Level

The definition of dB SPL is the 20 log of the ratio between the measured sound pressure level and the reference point. This reference point is defined as 0.000002 Newtons per square meter, the threshold of hearing. However, the threshold of hearing (and sensitivity to level) changes by frequency and for soft and loud sounds, as discovered by Fletcher and Munson in 1933, shown in the graph below:



Note that human hearing is relatively insensitive to low bass (below 100 Hz), and also compresses at higher sound levels.

Here are some typical sounds, and their levels.

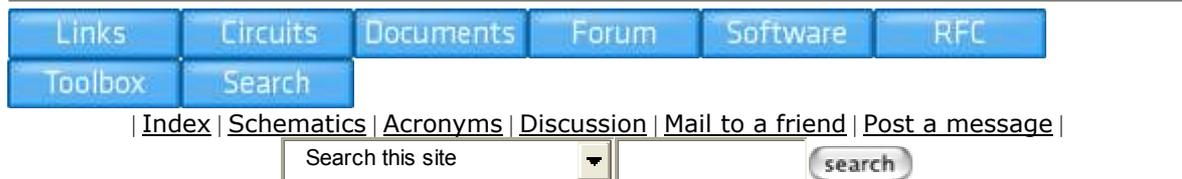
Sounds	dB SPL
Rocket Launching	180
Jet Engine	140
Thunderclap, Air Raid Siren 1 Meter	130
Jet takeoff (200 ft)	120
Rock Concert, Discotheque	110
Firecrackers, Subway Train	100
Heavy Truck (15 Meter), City Traffic	90
Alarm Clock (1 Meter), Hair Dryer	80
Noisy Restaurant, Business Office	70
Air Conditioning Unit, Conversational Speech	60
Light Traffic (50 Meter), Average Home	50
Living Room, Quiet Office	40
Library, Soft Whisper (5 Meter)	30
Broadcasting Studio, Rustling Leaves	20
Hearing Threshold	0

APÊNDICE V

O conteúdo do Apêndice V foi retirado do *website*:

http://www.epanorama.net/circuits/microphone_powering.html (último acesso em 15/06/2009).

ePanorama.net



Powering microphones

Copyright Tomi Engdahl 1997-2000

This document is a collection of information and circuits for powering electret microphone capsules. This document is written for people who understand the basics of microphone circuits.

Index

- [Introduction](#)
- [Introduction to electret microphones](#)
- [Basic electret microphone powering circuits](#)
- [Soundcards and electret microphones](#)
- [Plug-in power](#)
- [Phantom powering in professional audio](#)
- [T-powering](#)
- [Other related microphone wiring information](#)

Introduction

Many types of microphones require power to operate, as a general rule these types are described as condenser microphones. The power is used for internal pre-amplifiers and polarizing microphone capsules. If internal batteries are to be avoided then the only solution is to supply the power via the microphone signal cable.

In some cases microphones might be claimed to be "dead" not realising that they require a battery or in other cases phantom power.

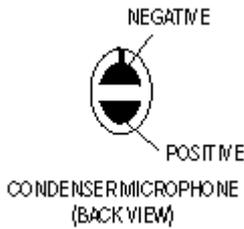
Introduction to electret microphones

An electret MIC is the best value for money [omnidirectional](#) microphone you can buy. Electret microphone can be very sensitive, very durable, extremely compact in size and has low power requirements. Electret microphones are used in very many applications where small and inexpensive microphones with good performance characteristics are used. Electret microphone occupies (at a rough guess) the lower 90% of applications, quality wise. Most lavalier (tie-clip) microphones, consumer video camera microphones and microphones used with computer soundcards are electret microphones.

The electret is a modified version of the classic capacitor (or condenser) microphone, which exploits changes in capacitance due to mechanical vibrations to produce voltage variations proportional to sound waves. Whereas the condenser MIC needs an applied (phantom) voltage,

the electret has a built in charge, and the few volts needed are to power the built-in FET buffer, not to create an electric field.

Typical electret condenser microphone capsule is a 2 terminal device (there are also 3 pin capsules) which approximates to a current source when biased with around 1-9 volt and routinely consumes less than half a milliamp. This power is consumed by a very small preamplifier built into the microphone capsule which makes the conversion of very high impedance source of the electret element itself and the cable which needs to be driven. Be aware that this impedance is swamped at signal frequencies by cable capacitance so that at 1kHz the assembly will exhibit an impedance of a few 10's of K.



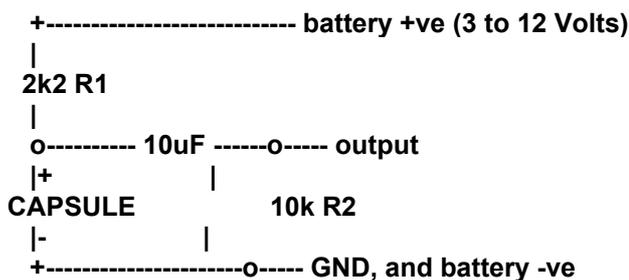
The load resistor defines the impedance and can be matched to the low noise amplifier intended. This is usually 1-10kOhm. The lower limit is defined by amplifier voltage noise and the upper limit by interference pickup (and amplifier current noise). Suitable resistance values are typically in the range of 1-10 kohm. In many cases the microphone is powered from 1.5V-5V power source through a resistor which has resistance of few kilo-ohms.

Because the electret itself contains a small buffer amplifier which adds noise, it is common to specify a signal to noise ratio (usually at 94dB SPL) or self noise figure, which is the equivalent acoustic noise level, commonly around 20-30dB SPL.

Electrets need biasing because of the built-in FET amplifier inside the microphone capsule. Bias voltages should be kept clean, because the noise in this will get to the microphone output.

Basic electret microphone powering circuits

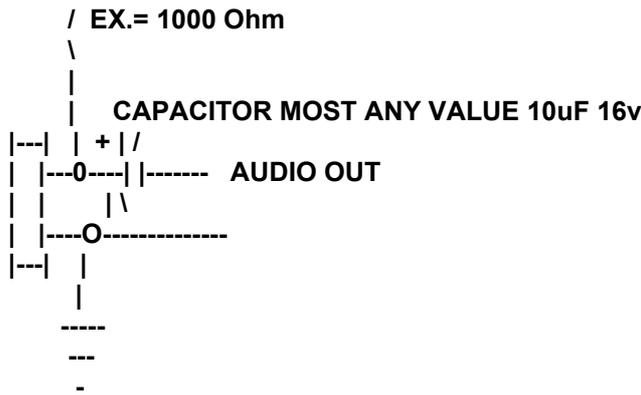
Basic circuit



This is the basic electret microphone powering circuit which you can use as generic reference when receiving circuits which use electret microphones. The output impedance is determined by R1 and R2. If you leave out R2 the output impedance is roughly the resistance of R2.

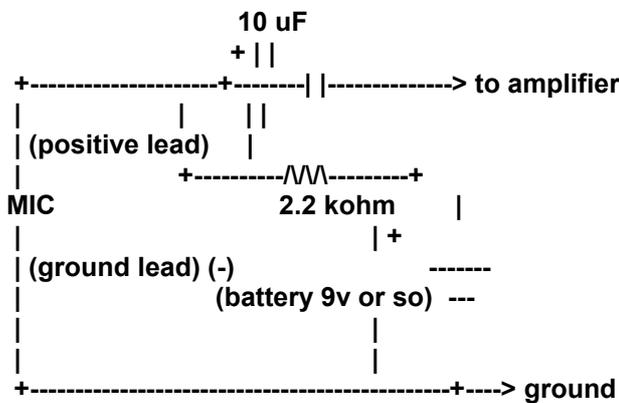
Here is another drawing of the same circuit:





Battery powered electret microphone

This circuit can be used with normal tape recorders and sound cards which usually are designed for dynamic microphones. When you build this circuit inside the microphone case (or to small external box) you can make yourself an universal microphone out of an electret capsule.



If you are building this circuit it would be a good idea to add a switch to switch off the battery when you do not use the microphone. You should note that the output signal level of this microphone is noticeable higher than the signal available from typical dynamic microphones so you have to turn down the gain in your microphone input (if there are no suitable adjustments then this higher level can cause distortion in microphone preamplifier more easily). The output impedance of this circuit is around 2 kohm so I don't recommend very long microphone cables to be used or you will lose some high frequency definition (few meters are o problem).

Super-simple powering circuit

In many cases it is possible to use one or two 1.5 V batteries (depends on microphone type) as a power supply for the mic. Battery is directly in series with the microphone.



This circuit works if the microphone preamplifier passes through some small DC current and is not bothered by it. This quite often the case but not always. Normally direct current from the battery has no influence on the preamp, as the preamp is only amplifying alternating currents.

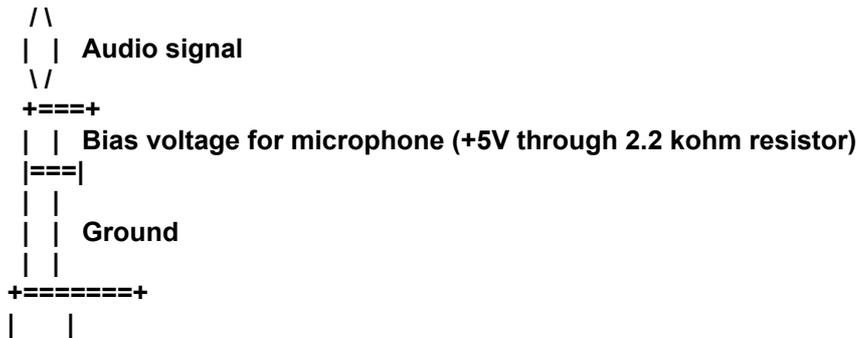
If you do not know the right polarity of the battery, try it in both ways. In most cases wrong polarity at those low voltage should not cause any damage to microphone element.

Soundcards and electret microphones

Different powering methods used in soundcards

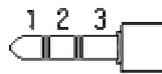
Sound Blaster way

Sound Blaster soundcards (SB16,AWE32,SB32,AWE64) from [Creative Labs](http://www.creative.com) use 3.5 mm stereo jack for the electret microphones. The microphone connector uses the following wiring pinout:



[Creative Labs](http://www.creative.com) has given the following specs for the Sound Blaster microphone input in their web site:

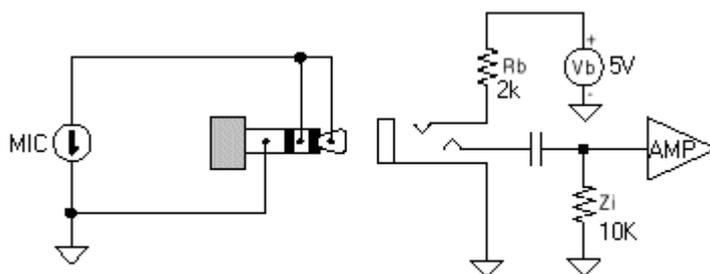
- Input Type: Unbalanced Low Impedance
- Input Sensitivity: Approx. -20dBV (100mV or 0.1Volt)
- Input Impedance: 600 to 1500. (Ohms)
- Input Connector: 3.5mm Miniplug (Stereo Jack)
- Input Wiring: Audio on Tip, Ground on Sleeve, 5Volts DC Bias on Ring



1. Signal input
2. +5v
3. 0v

3.5mm plug

The picture below shows an approximate schematic of Sound Blaster Microphone input circuitry. It shows my guess on the electronics inside the soundcard and one typical wiring for a typical Sound Blaster microphone.



Sound Blaster Microphone Input

APÊNDICE VI

Transdutores Eletroacústicos

Transdutores são equipamentos que transformam um tipo de energia em outro, principalmente sinais elétricos. **Transdutores eletroacústicos** transformam energia elétrica em acústica e vice-versa.

Os transdutores elétricos/acústicos são:

- ← *os alto-falantes* – projetados para radiar uma potência acústica no ar dentro de uma banda de frequência;
- ← *os fones de ouvido* – projetados para gerar sons num acoplamento com o ouvido;
- ← *os transmissores ultra-sônicos* – projetados para radiar ultra-sons em gases, líquidos, tecidos orgânicos, sólidos, metais, etc.

Os transdutores acústicos/elétricos são:

- ✓ *microfones* – projetados para captar as ondas sonoras no ar dentro de uma banda de frequências (inclusive ultra-sons);
- ✓ os hidrofones – projetados para captar as ondas sonoras na água ou outro líquido dentro de uma banda de frequências.

1. - Microfones

Microfone é o termo genérico que é usado para definir o elemento que transforma energia acústica em energia elétrica (sinal de áudio). A forma de transformação dessa energia pode ser feita de várias formas, atribuindo características diferentes aos microfones.

1.1. – Métodos de Transdução

1.1.1. – Microfones dinâmicos

É o tipo mais comum de microfones, funcionando como um pequeno alto-falante. O diafragma é montado numa bobina que se move livremente num campo magnético. Quando o som chega ao diafragma, este vibra, fazendo vibrar a bobina e produzindo nos fios uma pequena corrente elétrica. A magnitude e a direção da corrente elétrica é diretamente proporcional ao movimento da bobina e do diafragma, sendo uma perfeita representação da onda sonora incidente.

Os microfones dinâmicos são altamente confiáveis, resistentes e fidedignos. Por estas razões, e por serem insensíveis a fatores ambientais (pressão atmosférica, umidade, temperatura), é muito comum seu uso em shows ao vivo, onde a resistência física é muito importante. Atualmente já se fabrica microfones dinâmicos muito sensíveis, sendo largamente usados em estúdios de gravação.

A Figura 5.1 mostra um esquema do microfone dinâmico.

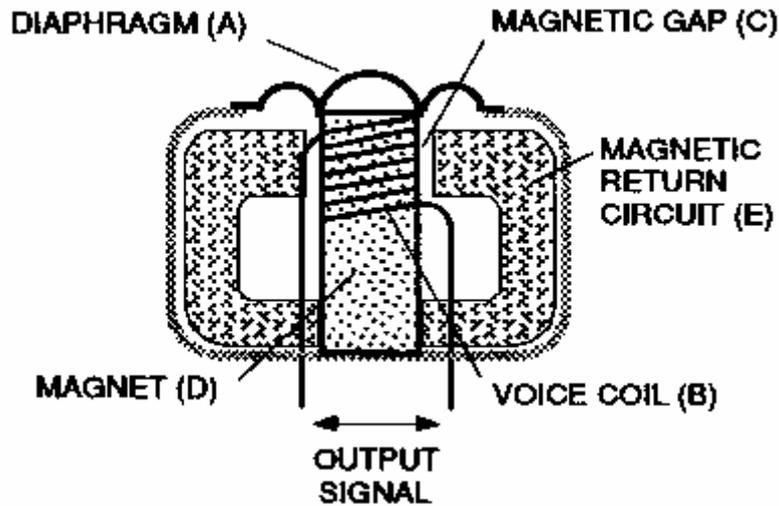


Figura 5.1 – Esquema de um microfone dinâmico

1.1.2. – Microfones a condensador

Depois do microfone dinâmico, o microfone a condensador é o mais usado. É construído por um diafragma de plástico banhado a ouro que é montado sobre uma placa condutiva, normalmente construída de cerâmica banhada a ouro. O diafragma e a placa são separados por um pequeno volume de ar, formando um capacitor elétrico. Uma diferença de potencial (tensão) entre 9 e 48 volts é aplicado nas placas por uma bateria externa. Quando o diafragma recebe uma onda sonora, ele vibra, se aproximando e se afastando da placa, fazendo mudar a carga elétrica nas placas proporcionalmente ao movimento, gerando uma diferença de potencial nas placas que é uma representação elétrica do movimento do diafragma (e da onda sonora).

Os microfones a condensador geram um sinal elétrico muito pequeno, com uma alta impedância. Por essa razão, é incorporado a este microfone um amplificador para elevar o sinal elétrico de saída. Por terem uma baixíssima massa vibrante (apenas o diafragma), este tipo de microfone consegue responder a uma larga banda de frequência, produzindo um som de excelente qualidade. São bastantes sensíveis a choques e fatores ambientais (principalmente a umidade), sendo mais usados em locais fechados (estúdios). A Figura 5.2 mostra um esquema deste microfone.

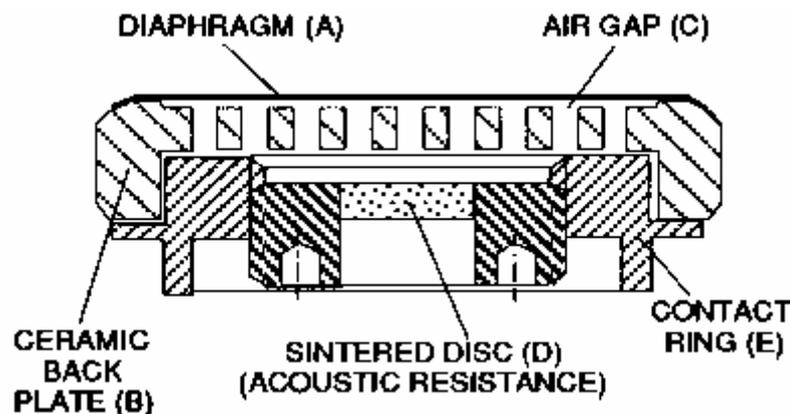


Figura 5.2 – Esquema de um microfone a condensador

1.1.3. – Microfones a eletreto

Eletreto é uma classe especial dos microfones a condensador. Os microfones a eletreto têm seu diafragma construído de um material plástico que retém uma carga estática

