

Tópicos sobre Circuitos de Áudio

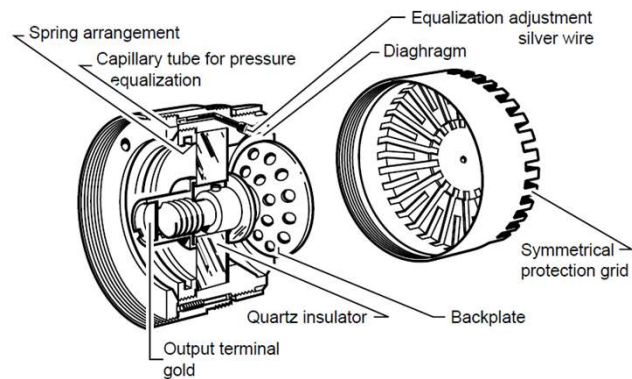
PTC3547

Prof. Guido Stolfi – 05/2025

- Microfones
- Produção de Áudio
- Interligação de Equipamentos de Áudio
- Interferência de Malha de Terra
- Interfaces Diferenciais e Balanceadas
- Amplificadores de baixo ruído
- Digitalização de Áudio
- Medição de Nível
- Amplificadores de Potência
- Distorção
- Formatos de Registro de Áudio

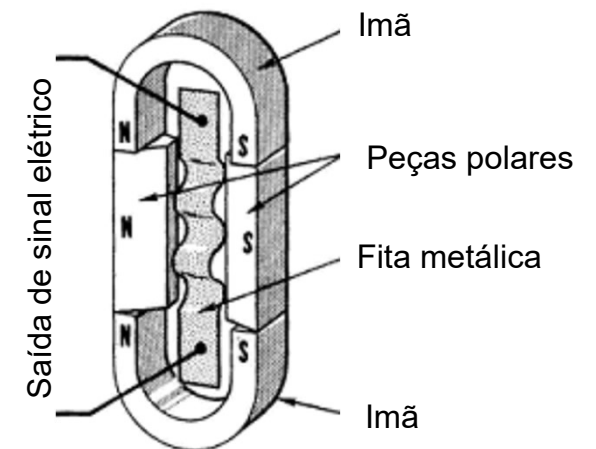
- Pressão

- Omnidirecional (Cardióide, com cavidade semi-aberta)
- Resposta em frequência depende da direção
- Ex.: Capacitivo, dinâmico

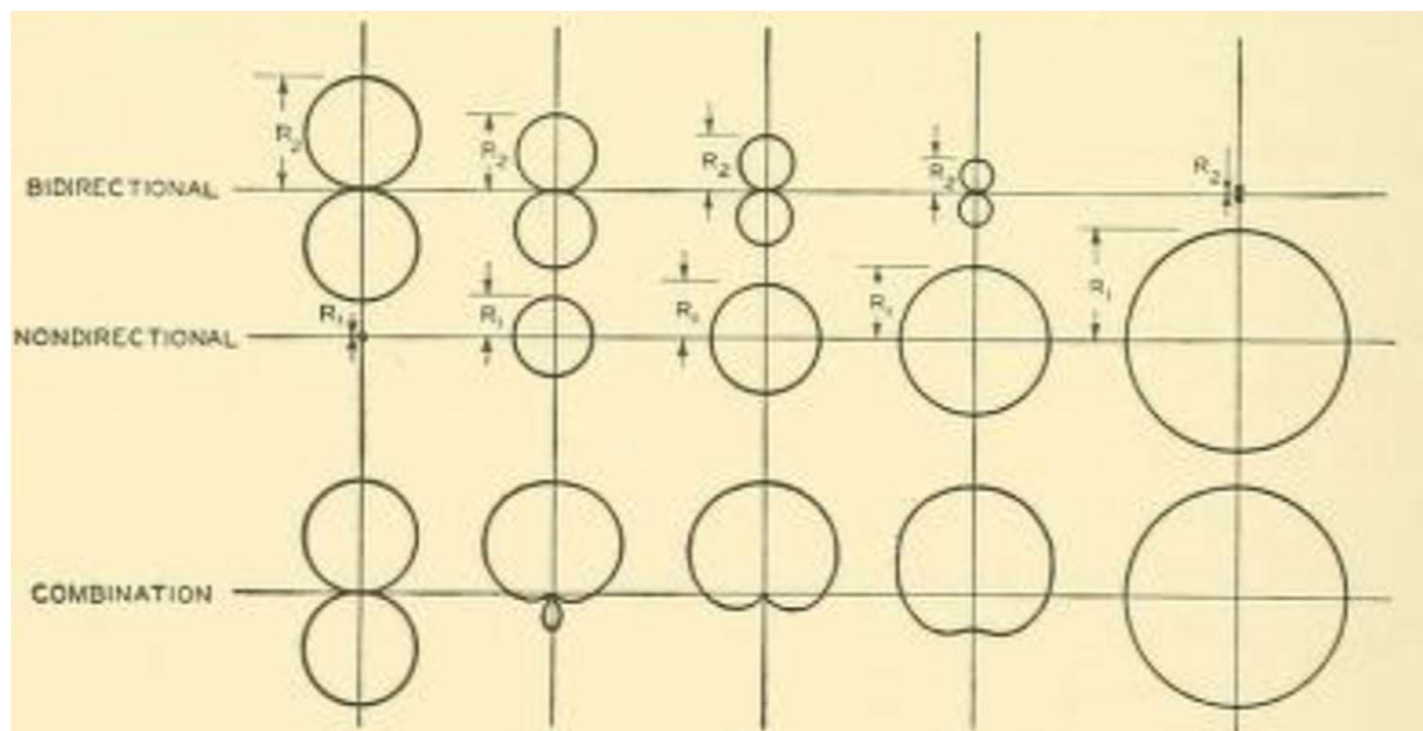


- Velocidade

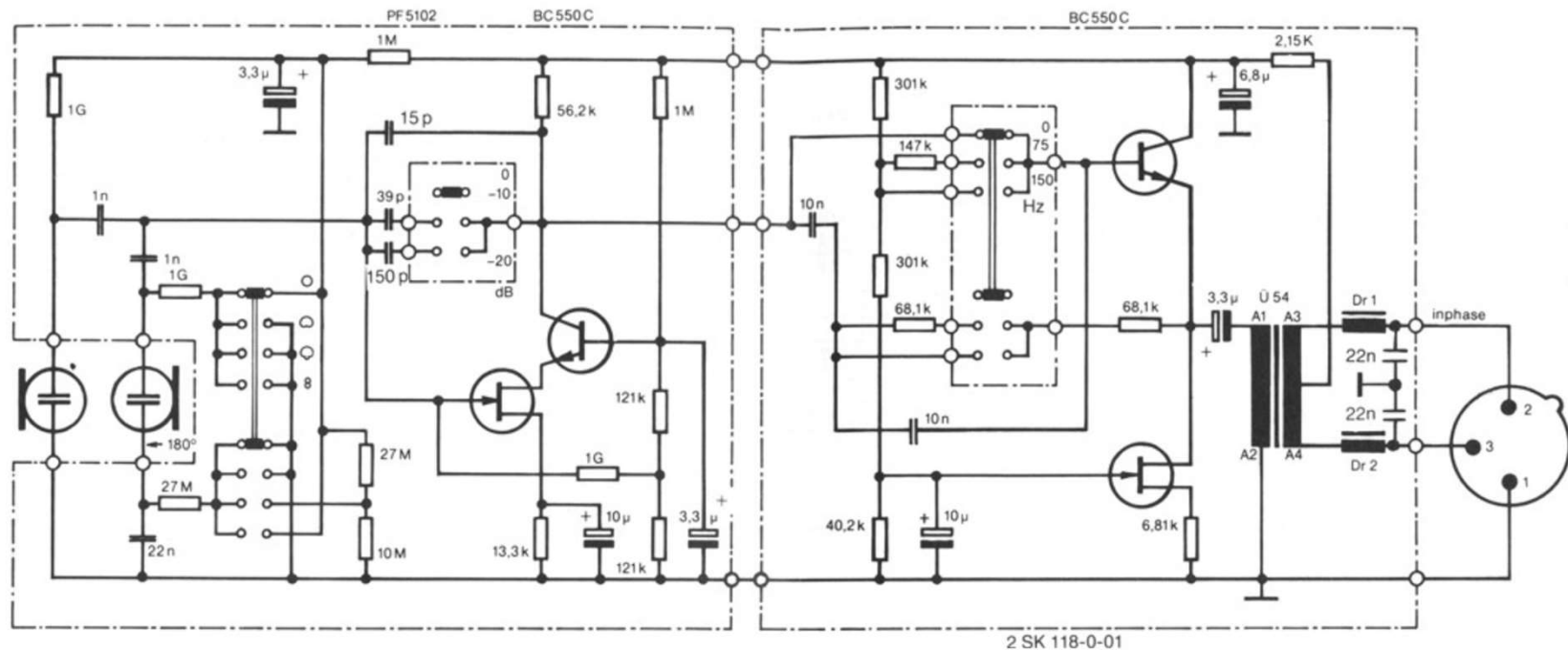
- Bidirecional
- Resposta em frequência não depende da direção
- Ex.: Fita, ou pressão diferencial



Síntese da Diretividade do Microfone



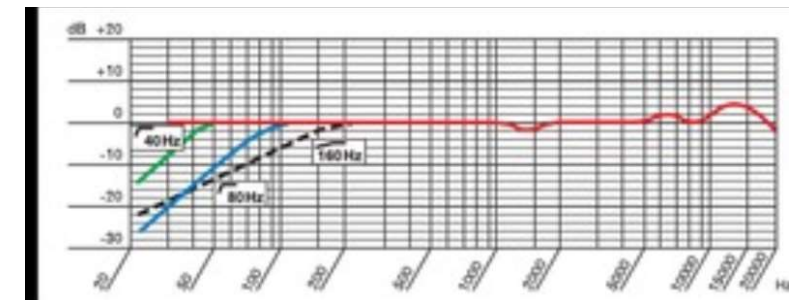
Microfone Capacitivo Profissional



AKG C-414

LCS
EPUSP

Type:	1-inch large-diaphragm pressure gradient microphone
Polar Pattern:	Omnidirectional, wide cardioid, cardioid, hypercardioid, figure eight
Sensitivity:	20 mV/Pa +/- 0.5 dB (-34 dBV)
Frequency range:	20 to 20,000 Hz (see frequency response traces)
Electrical impedance:	≤ 200 ohms
Recommended load impedance:	≥ 2.200 ohms
Bass cut filter slope:	12 dB/Octave at 40 and 80 Hz, 6 dB/Octave at 160 Hz, switchable
Preattenuation pads:	-6 dB, -12 dB, -18 dB, switchable
Equivalent noise level (CCIR 468-2):	20 dB (0 dB preattenuation)
Equivalent noise level IEC 60268-4 (A-weighted):	6 dB-A (0 dB preattenuation)
Signal-to-noise ratio re 1 Pa (A-weighted):	88 dB
Maximum SPL for 0.5 % THD:	140/146/152/158 dB SPL (0/6/12/18 dB Pad)
Dynamic range (A-weighted):	134/140/148/156 dB (0/-6/-12/-18 dB)
Environment:	Temperature range: -10° C to +60° C
Relative humidity:	95% (+20° C), 85% (+60° C)
Powering:	48 V Phantom power (IEC 61938)
Current Drain:	ca. 4.5 mA
Connector:	3-pin XLR to IEC
Dimensions:	50 x 38 x 160 mm (2.0 x 1.5 x 6.3 in.)
Net weight:	300 g (10.6 oz.)



Panorama de uma Produção de Áudio

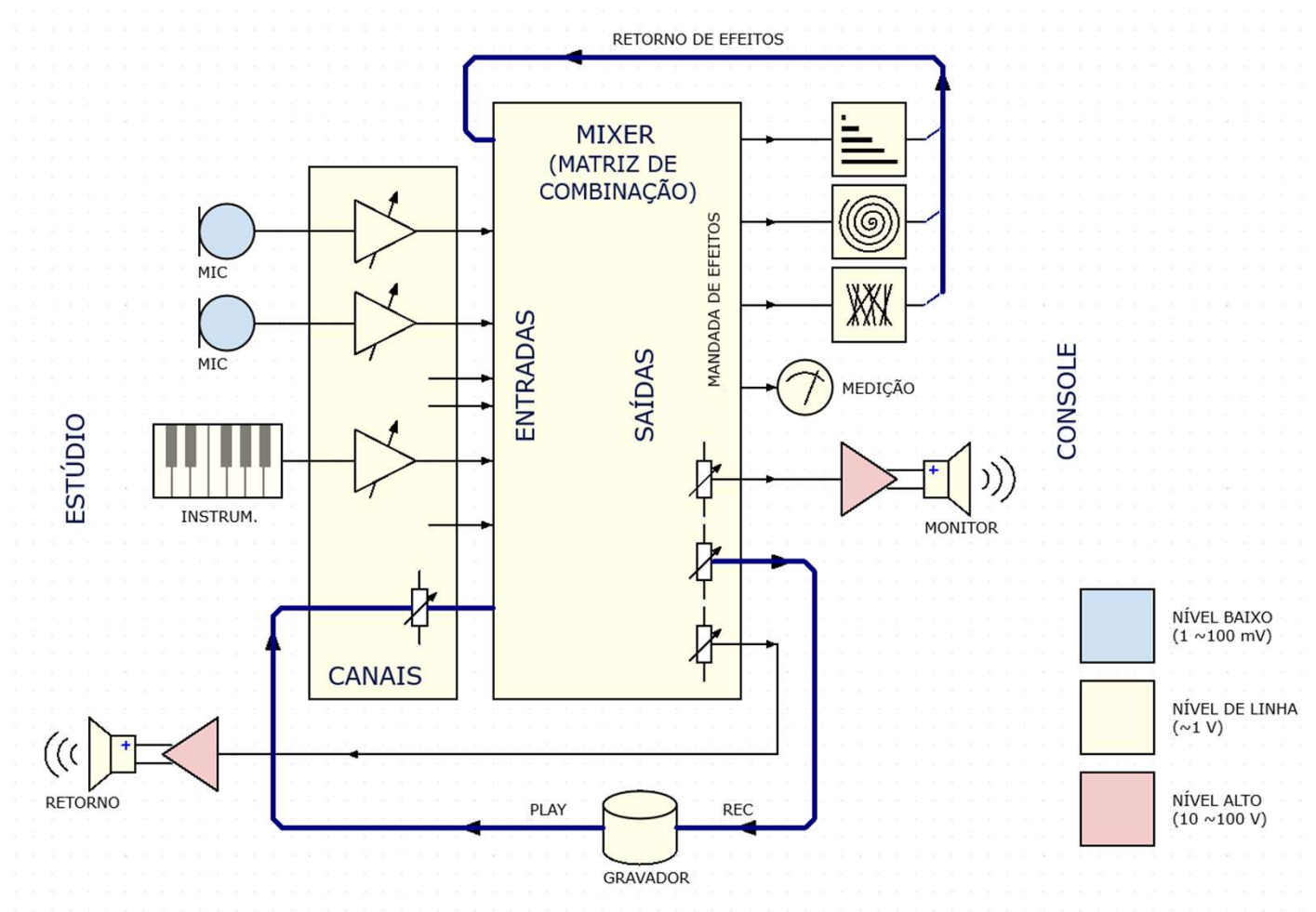
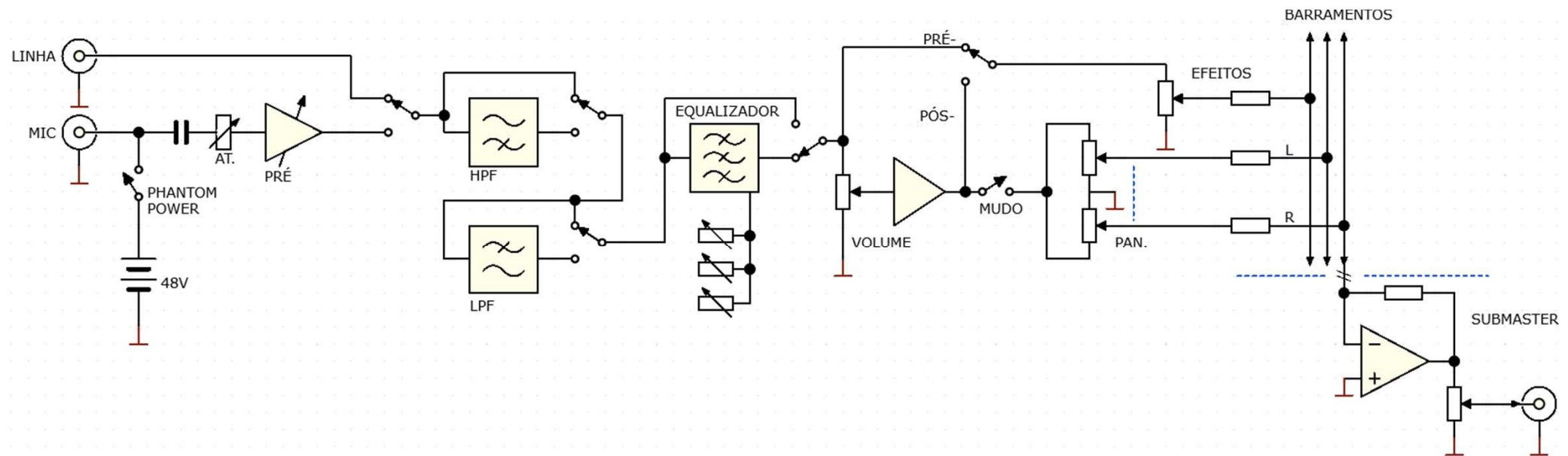


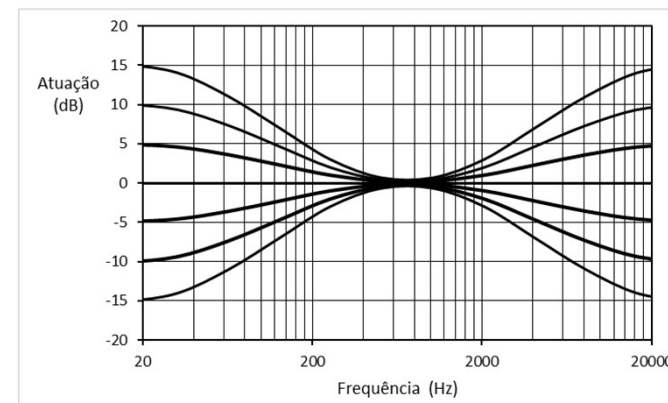
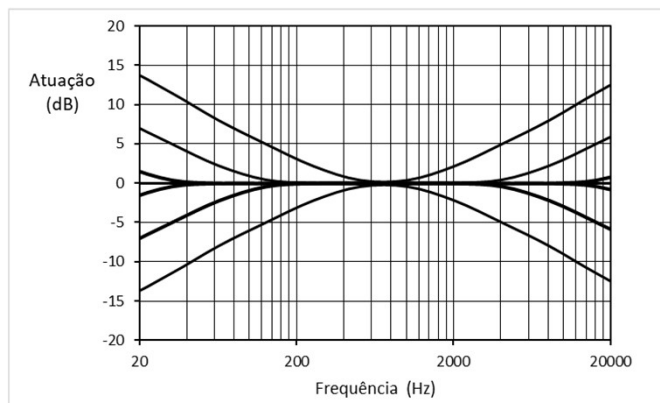
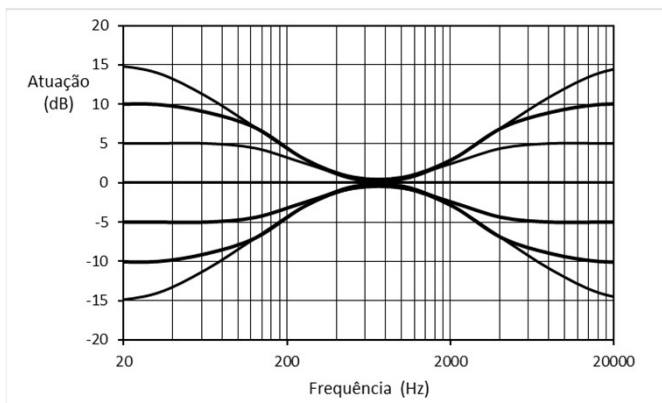


Diagrama Simplificado de um Canal de Mesa de Som

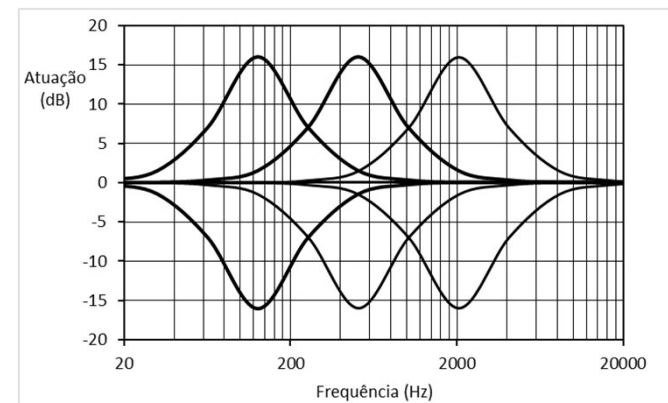
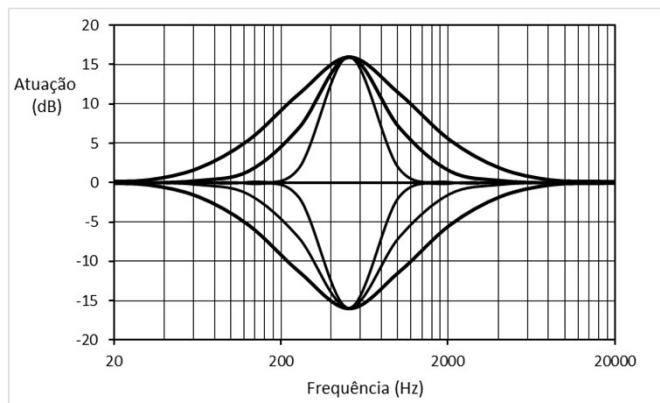
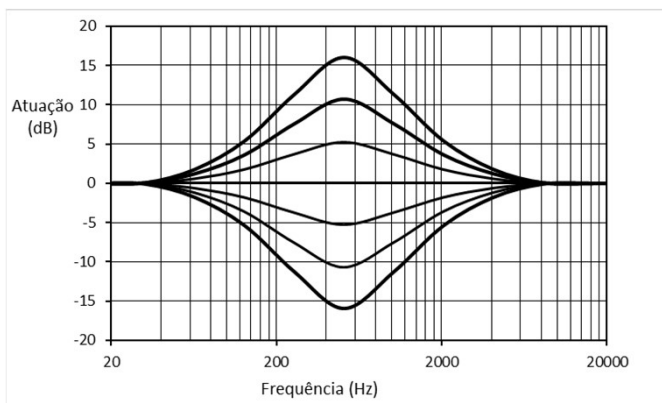


Controle de Tonalidade

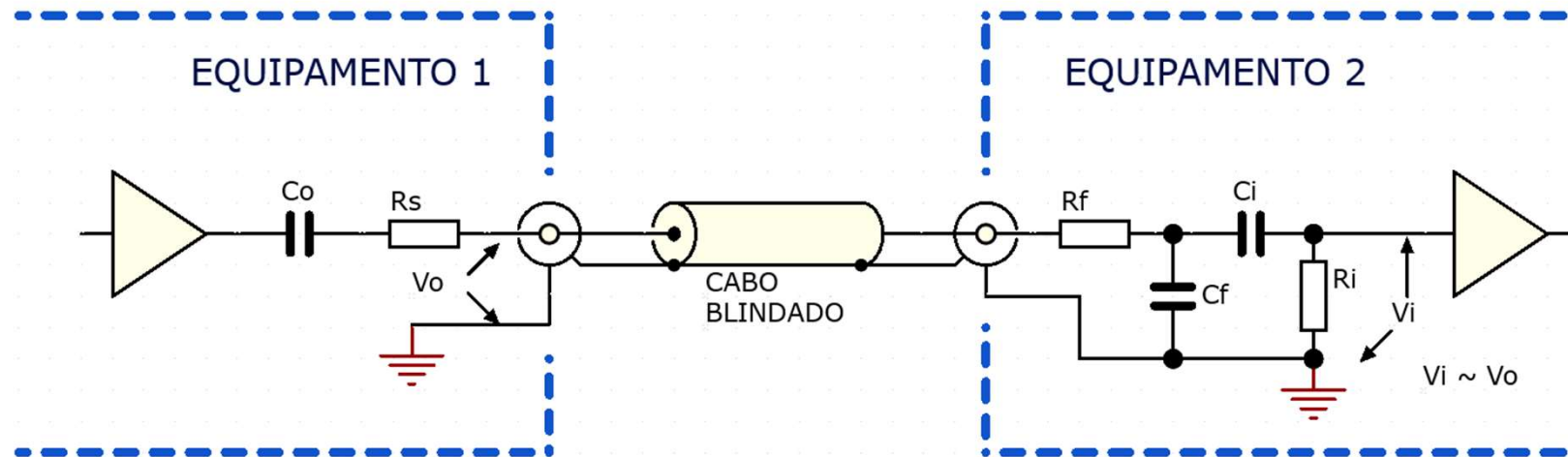
- *Graves / Agudos*



- *Paramétrico*



Interligação de Equipamentos



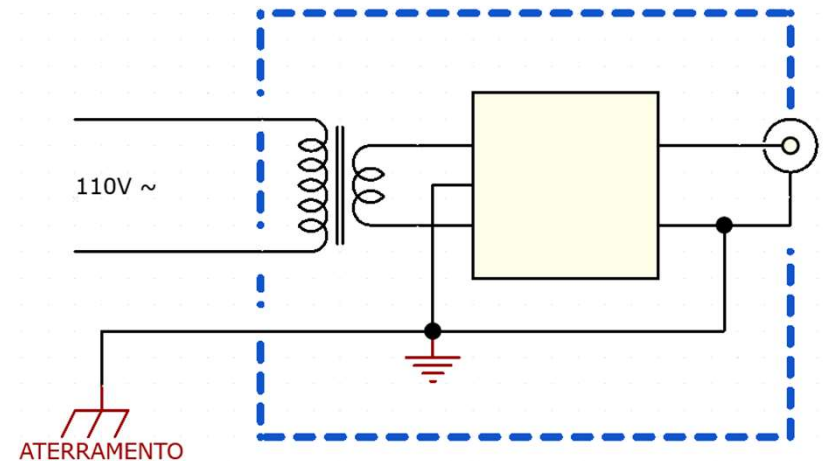
- Sinal de Áudio em nível médio (“Linha”): ~ 1 V rms (0 dBV)
- Sem casamento de impedância
- Componente CC nula
- Cabo sem impedância controlada
- Cabo blindado para evitar ruído capacitivo
- Conectores: “RCA” ou “Fono”

Conectores RCA e Fono



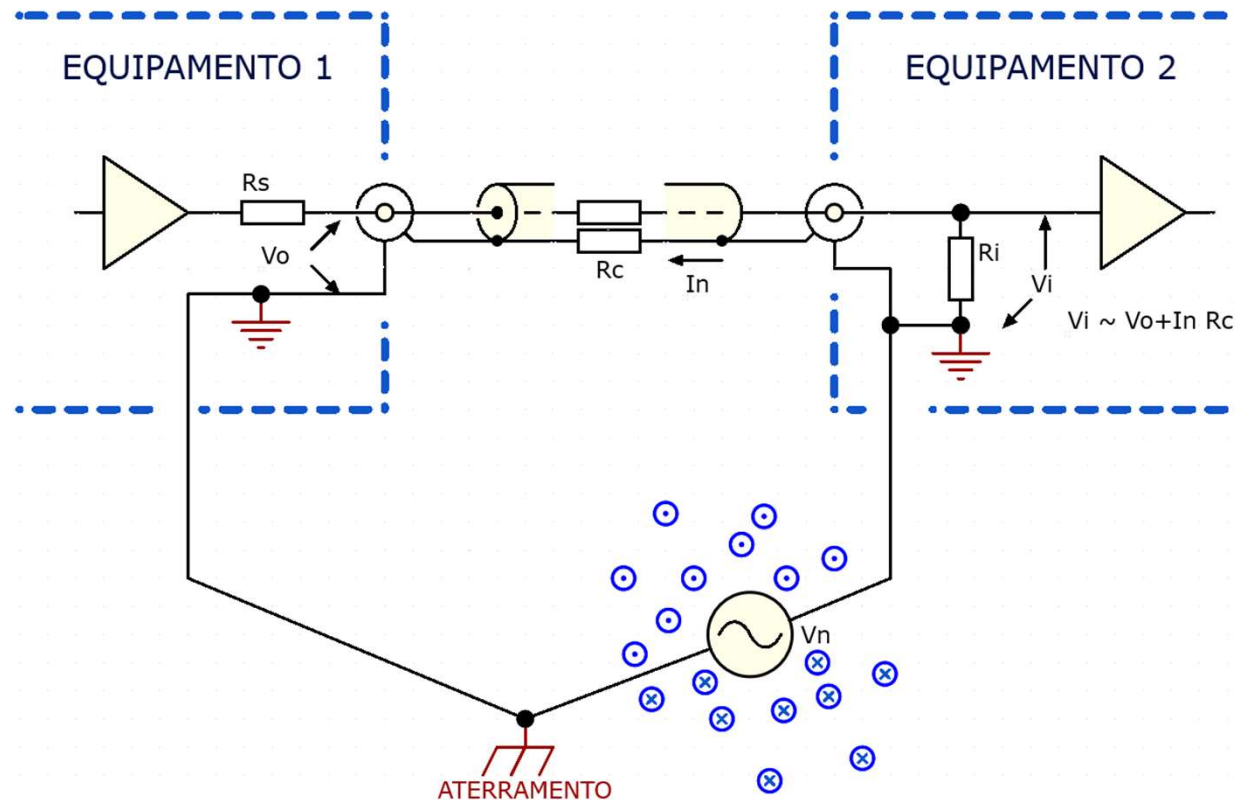
- Toda parte metálica exposta, em um equipamento ligado à rede elétrica, deve ser **aterrada** por questões de segurança elétrica.

(NBR/IEC 60065)



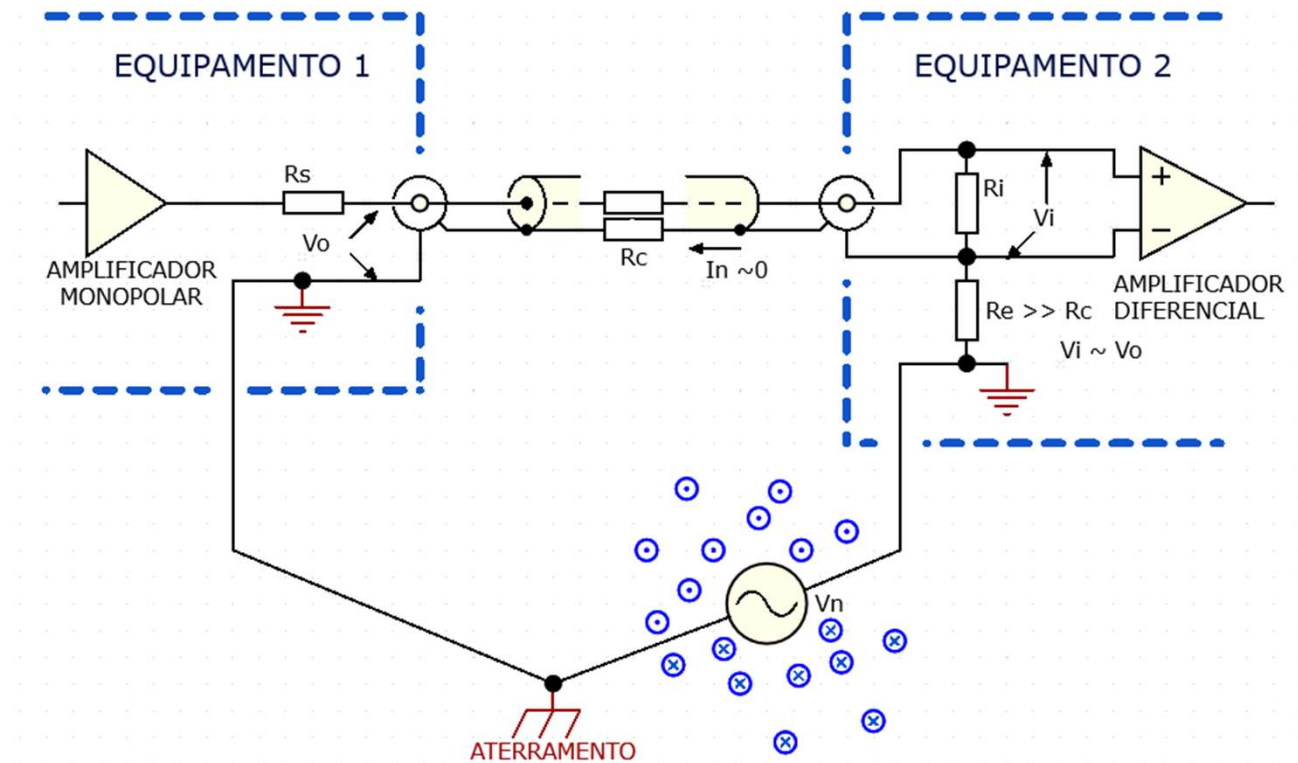
Interferência por Malha de Terra (*Ground Loop*)

- *Interligações de sinal e aterramentos formam circuitos fechados*
- *Campos magnéticos CA externos induzem tensões nesses circuitos*
- *Correntes resultantes provocam queda de tensão nas blindagens dos cabos*
- *Resultado: “zumbido” (“hum”) superposto ao sinal*

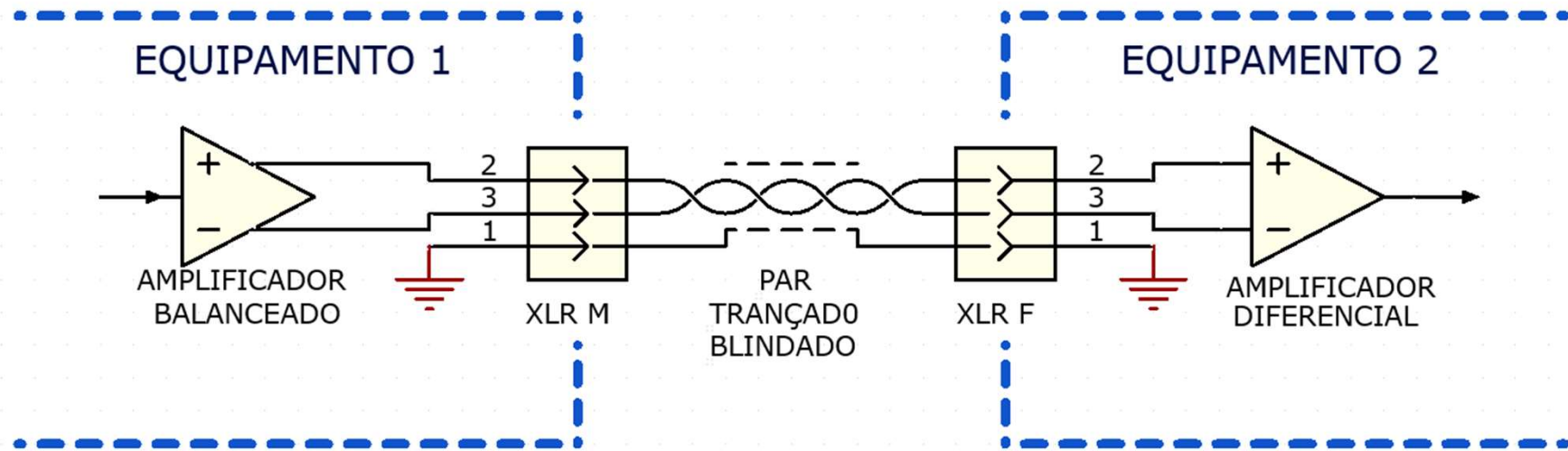


Solução 1: Entrada Diferencial Flutuante

- *Desacoplamento do terra nas entradas reduz a corrente induzida*
- *Amplificador diferencial na entrada*
- *Problema: a parte exposta não está aterrada !*



Solução 2: Sinal Diferencial e Conector XLR



- Conector XLR (AES14) permite aterramento da blindagem
- Sinal balanceado / diferencial transmitido por par trançado blindado é imune a interferências magnéticas, eletrostáticas e resistivas em modo comum

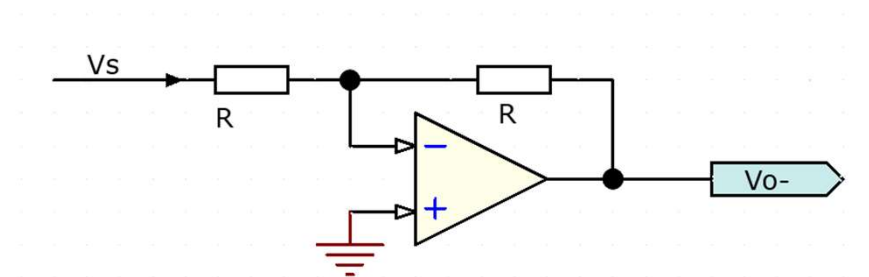
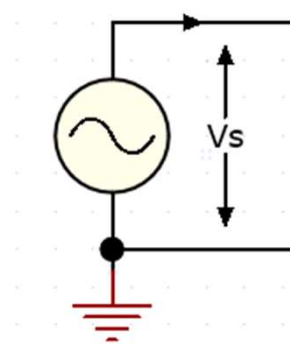
Conectores XLR



Opções para Tráfego de Sinais Elétricos

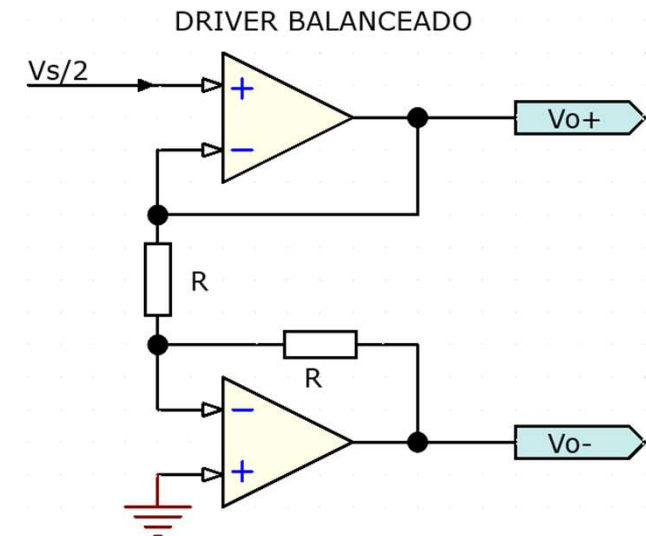
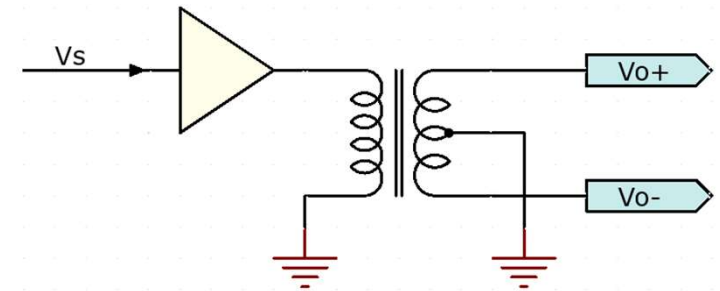
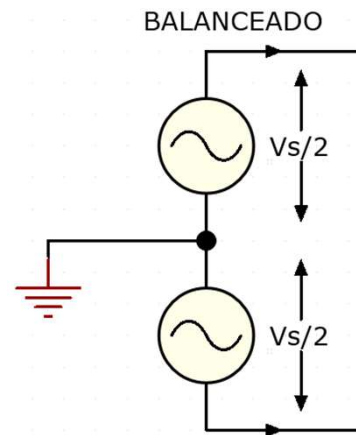
- *Monopolar: Sinal referenciado ao Terra*
- *Ex. : saída de um Amplificador Operacional*
- *Maior simplicidade, menor custo*

MONOPOLAR



Opções para Tráfego de Sinais Elétricos

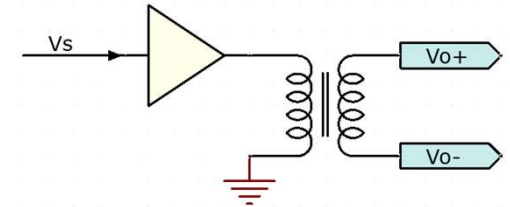
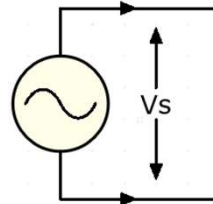
- *Balanceado: Sinal simétrico, centralizado no Terra*
- *Ex. : saída de um transformador com tomada central aterrada, ou amplificador balanceado*
- *Cancelamento de interferência emitida*



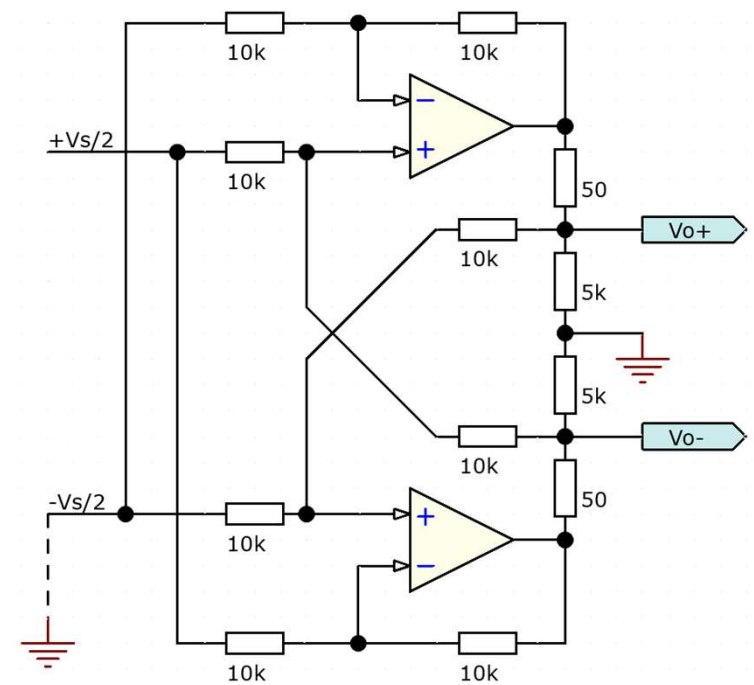
Opções para Tráfego de Sinais Elétricos

- *Diferencial: Sinal isolado do Terra*
- *Ex. : saída de um transformador, ou driver diferencial flutuante*
- *Cancelamento de interferência emitida e isolação completa de interferência de malha de terra*
- *Compatibilidade com entradas ou saídas monopolares*

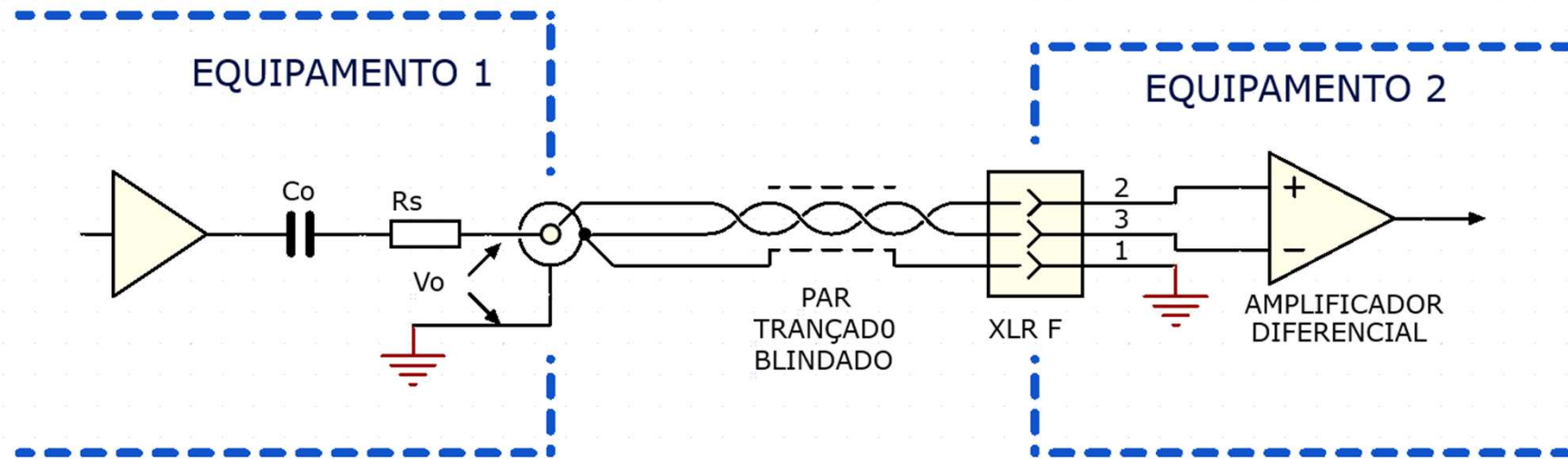
DIFERENCIAL



DRIVER DIFERENCIAL

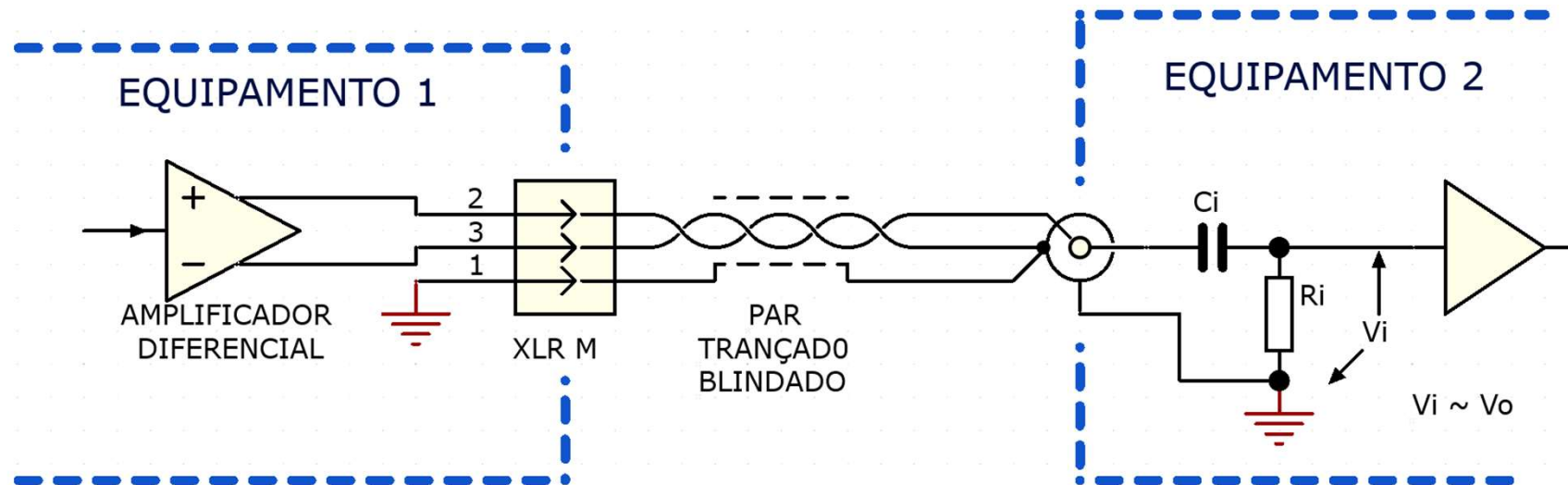


Fonte Monopolar Ligada em Receptor Diferencial



- Condutor negativo do par é ligado ao terra na origem do sinal
- Mantém imunidade à interferência de malha de terra

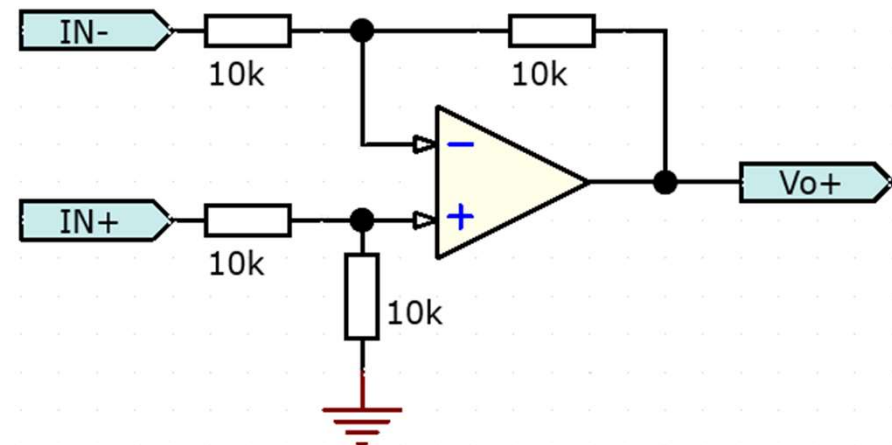
Fonte Diferencial Ligada em receptor Monopolar



- *Condutor negativo do par é ligado ao terra no destino do sinal*
- *Mantém imunidade à interferência de malha de terra*
- *Não funciona com driver balanceado pois vai aterrar saída negativa*

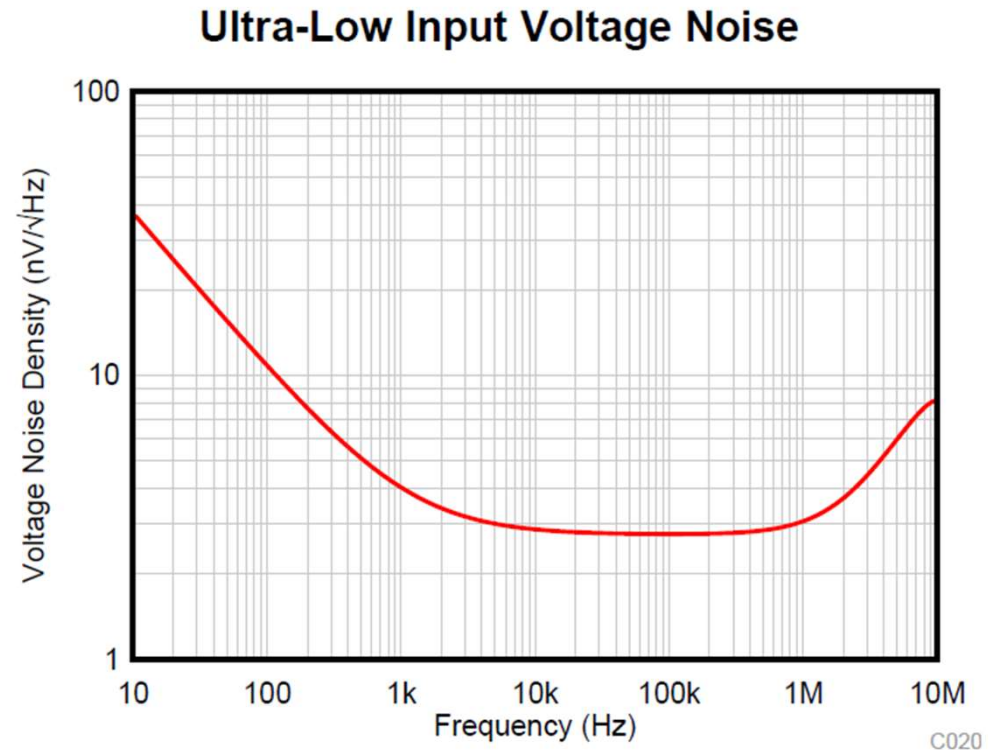
Amplificador Diferencial para Entrada de Sinal

- *Opção 1: Amplificador Operacional em configuração de entrada diferencial*
- *Ruído relativamente baixo, impedância de entrada média ($\sim 10\text{ k}\Omega$)*
- *Necessidade de casamento perfeito dos resistores para rejeição de modo comum*
- *Adequado para sinal de Linha ($\sim 1\text{ V rms}$)*



1 Features

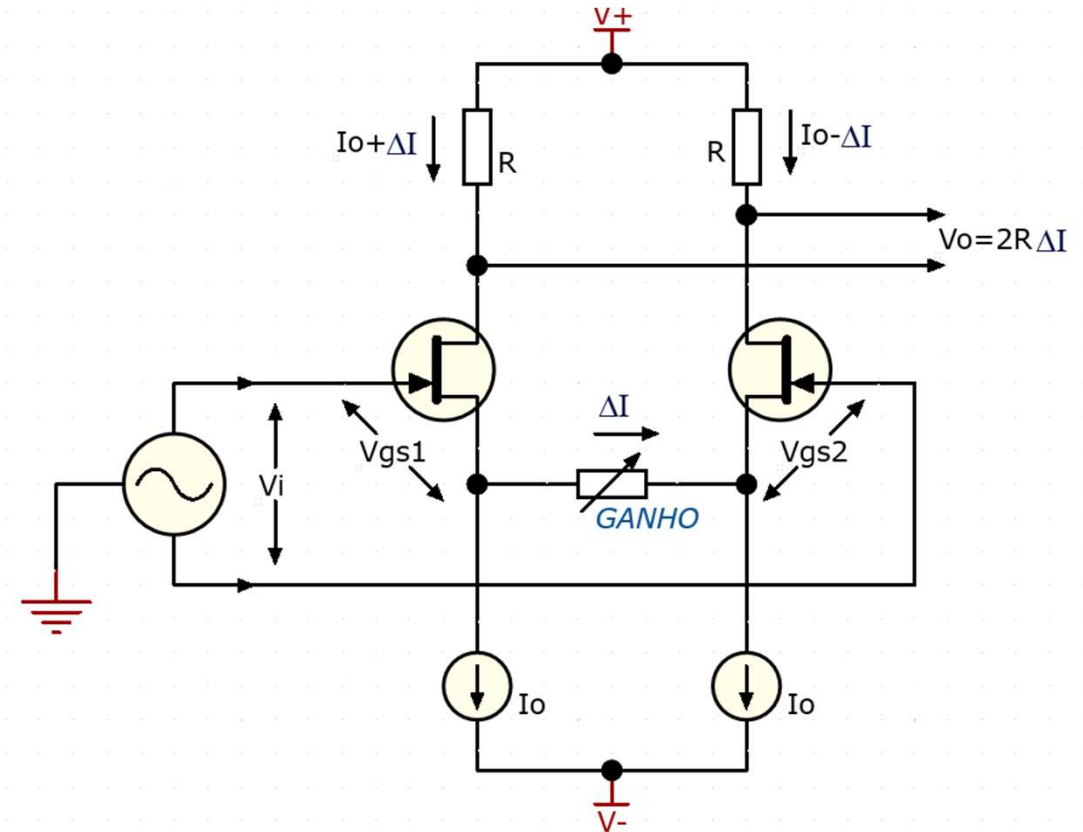
- Ultra-low noise:
 - Voltage noise: $2.9 \text{ nV}/\sqrt{\text{Hz}}$ at 10 kHz
 - Current noise: $6 \text{ fA}/\sqrt{\text{Hz}}$ at 1 kHz
- Low distortion:
 - 0.000029% (–131 dB) at 1 kHz
 - 0.000035% (–129 dB) at 20 kHz
- High open-loop gain: 150 dB
- High output current: 100 mA
- Low input bias current: 10 pA
- Slew rate: 24 V/ μs
- Gain bandwidth product: 53 MHz
- Rail-to-rail output
- Wide supply range:
 $\pm 2.25 \text{ V}$ to $\pm 18 \text{ V}$ or 4.5 V to 36 V
- Quiescent current: 3.9 mA per channel



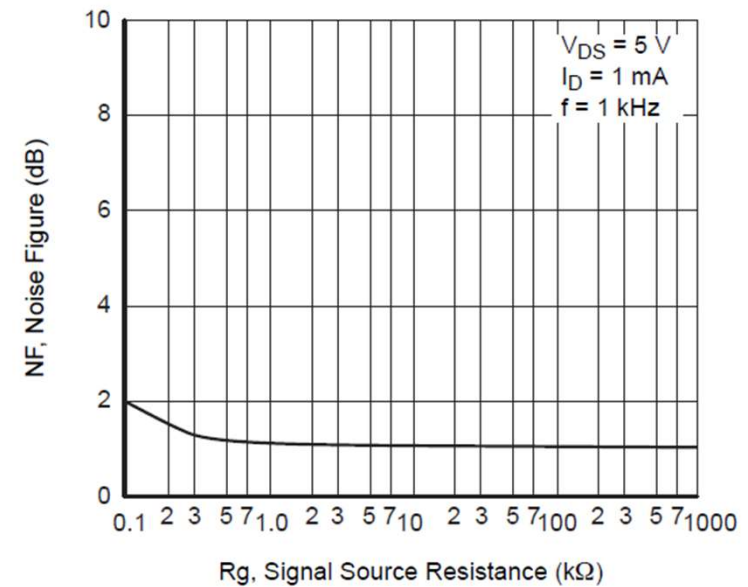
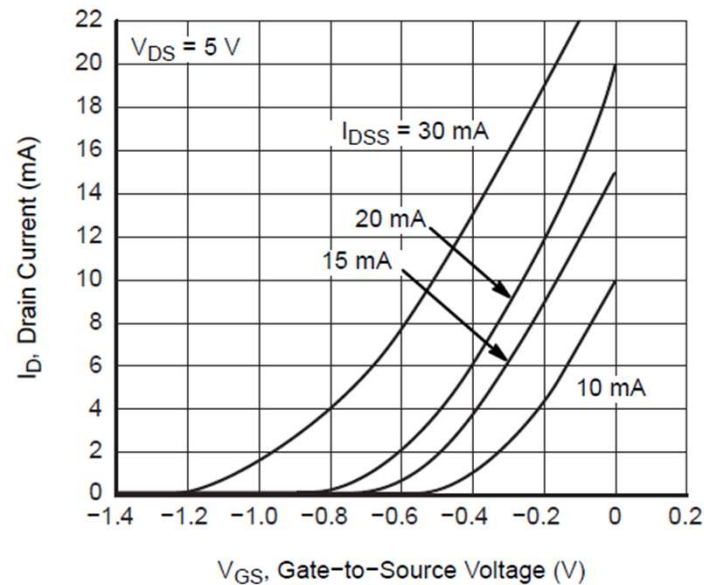
- *Resistor de 10 k Ω produz $\sim 10 \text{ nV} / \sqrt{\text{Hz}}$...*

Amplificador Diferencial para Entrada de Sinal

- *Opção 2: Amplificador diferencial com transistores JFET discretos*
- *Ruído extremamente baixo, impedância de entrada alta*
- *Ajuste de ganho não afeta ruído*
- *Adequado para microfone (desde 100 μV) até $> 1\text{ V rms}$*
- *Distorção para sinais altos*

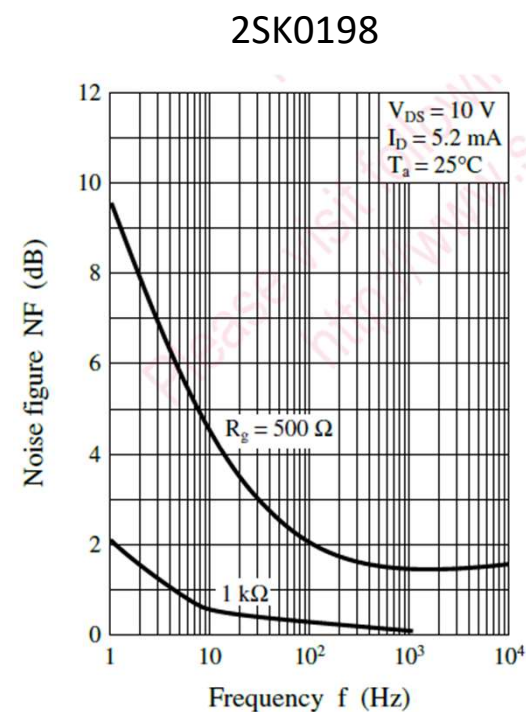
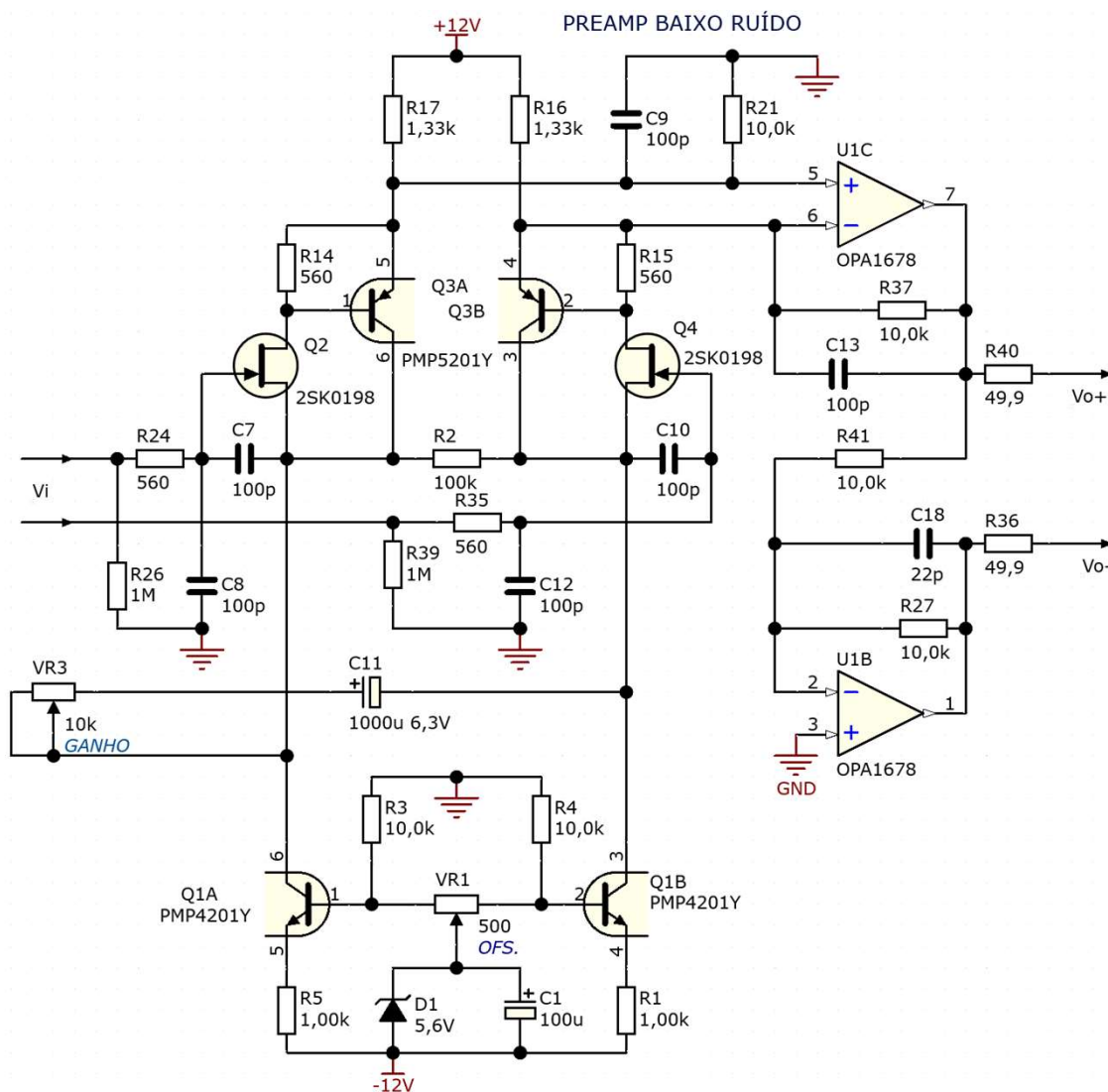


Amplificador Diferencial para Entrada de Sinal



- Ex.: 2SK3557
- Figura de ruído baixíssima para impedâncias de entrada de $300\text{ }\Omega$ a $1\text{ M}\Omega$

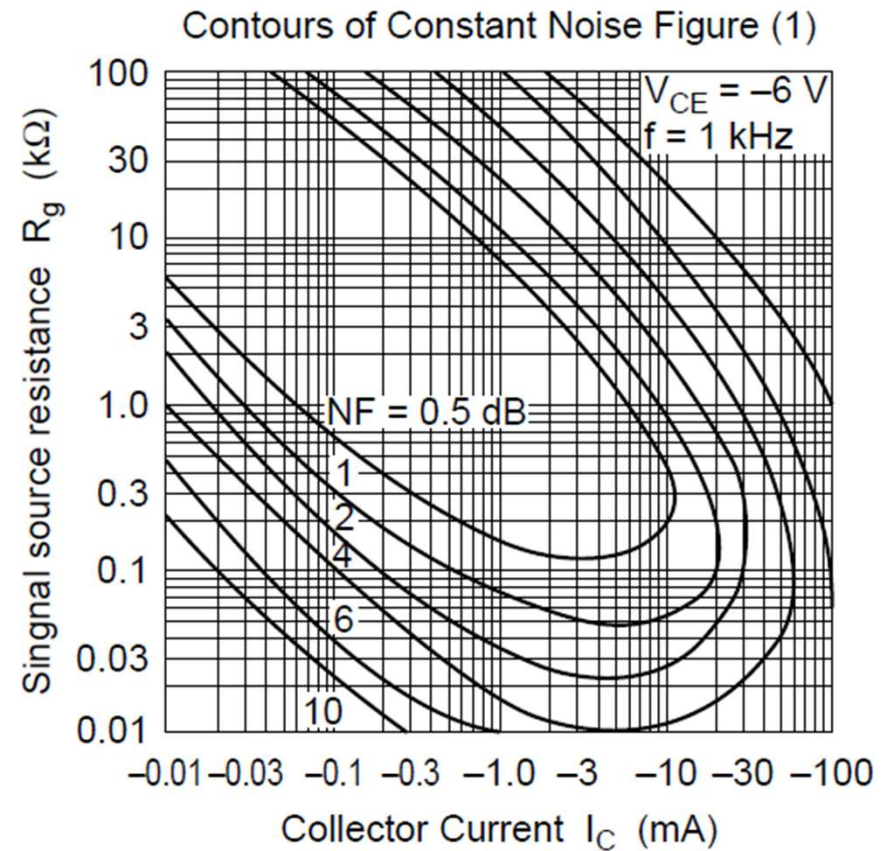
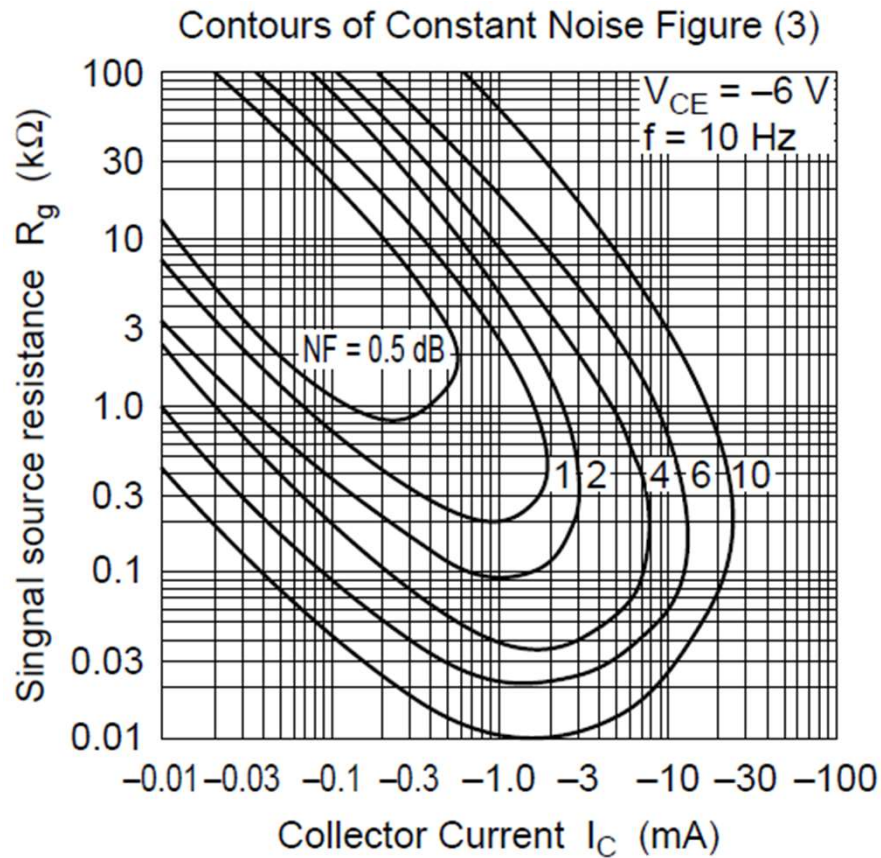
Circuito Completo – Entrada Diferencial e Saída Balanceada



LCS
EPUSP

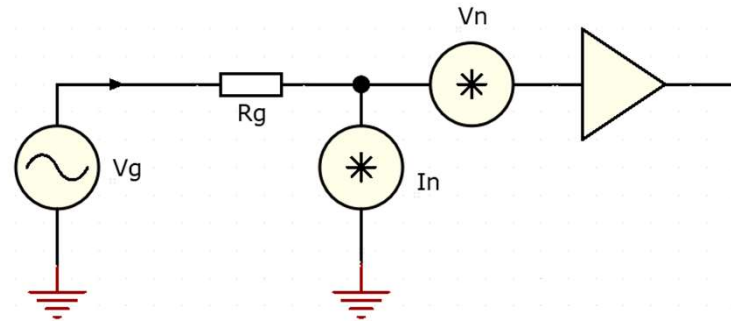
-

Figura de Ruído – 2SA1083



Modelo de Amplificador com Ruído

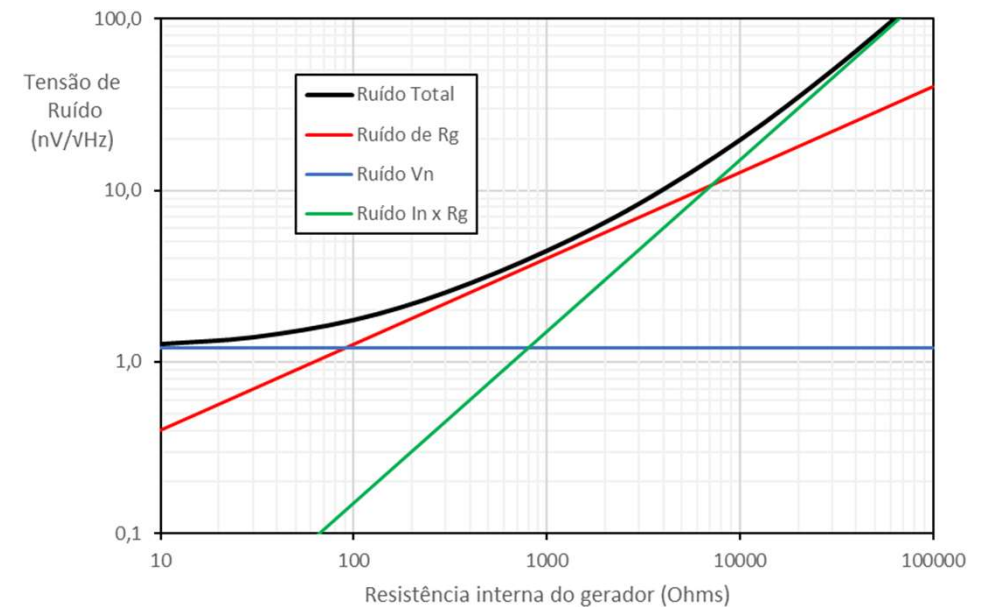
- É modelado como um amplificador ideal, com uma tensão de ruído V_n em série e uma corrente de ruído I_n em paralelo com a entrada
- A resistência interna R_g do gerador influi na combinação das duas fontes de ruído
- **Figura de Ruído** é a diferença entre o ruído total na saída e o ruído devido apenas à resistência do gerador.



Exemplo:

$$V_n = 1,2 \text{ nV} / \sqrt{\text{Hz}}$$

$$I_n = 1,5 \text{ pA} / \sqrt{\text{Hz}}$$



- Um resistor de 600 Ohms gera ruído térmico com densidade espectral de potência de $\sqrt{4kTR} = 3,14 \text{ nV} / \sqrt{\text{Hz}}$
- Na banda de 20 a 20.000 Hz, o ruído total é de 440 nV rms.
- Em relação a um sinal de 1 Vrms, a relação Sinal/Ruído é 127 dB.
- 600 Ω é uma boa impedância para trabalhar com sinais de 1 V.
- 0 dBm = 0,774 Vrms em 600 Ω = -2,22 dBV

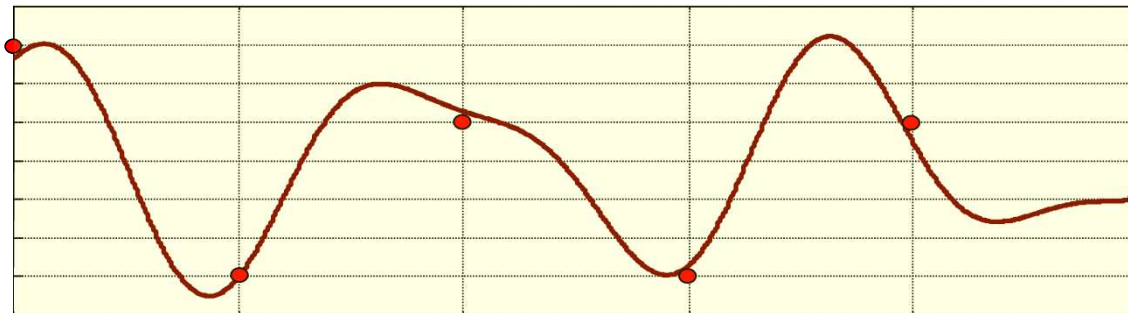
- Frequências de Amostragem
- Eliminação do Rebatimento Espectral
- Quantização
- Cadeia de Sinal
- Interfaces AES3, S/PDIF e I2S

Frequências de Amostragem para Áudio

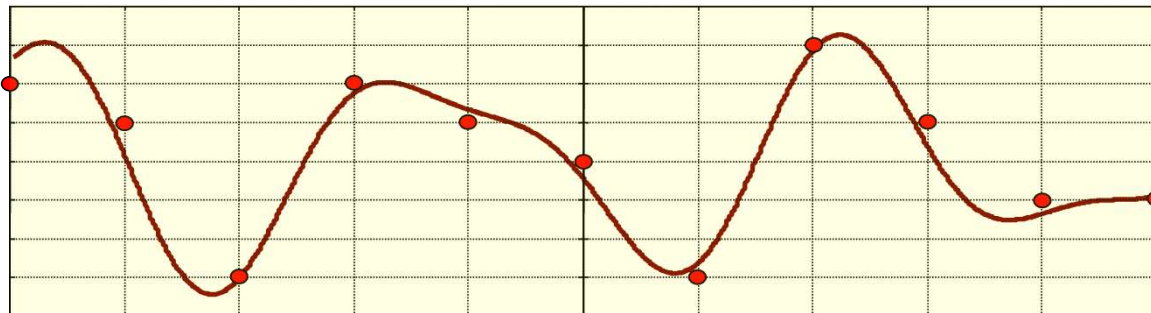
Tecnologia	Época	Fa (kHz)	Bits	Banda
Telefonia Digital	~1960	8	8	300 ~ 3400 Hz
Celular Digital	~1990	16	8	100 ~ 7000 Hz
CD	~1980	44,1	16	20 ~ 20000 Hz
DAT	~1990	48	20	20 ~ 20000 Hz
Produção Digital	~2000	96	24	5 ~ 24000 Hz
DVD-Audio	~2000	192	24	5 ~ 50000 Hz
SACD	~2000	2822,4	1	0 ~ 100 kHz

É Necessário Amostrar em 96 kHz?

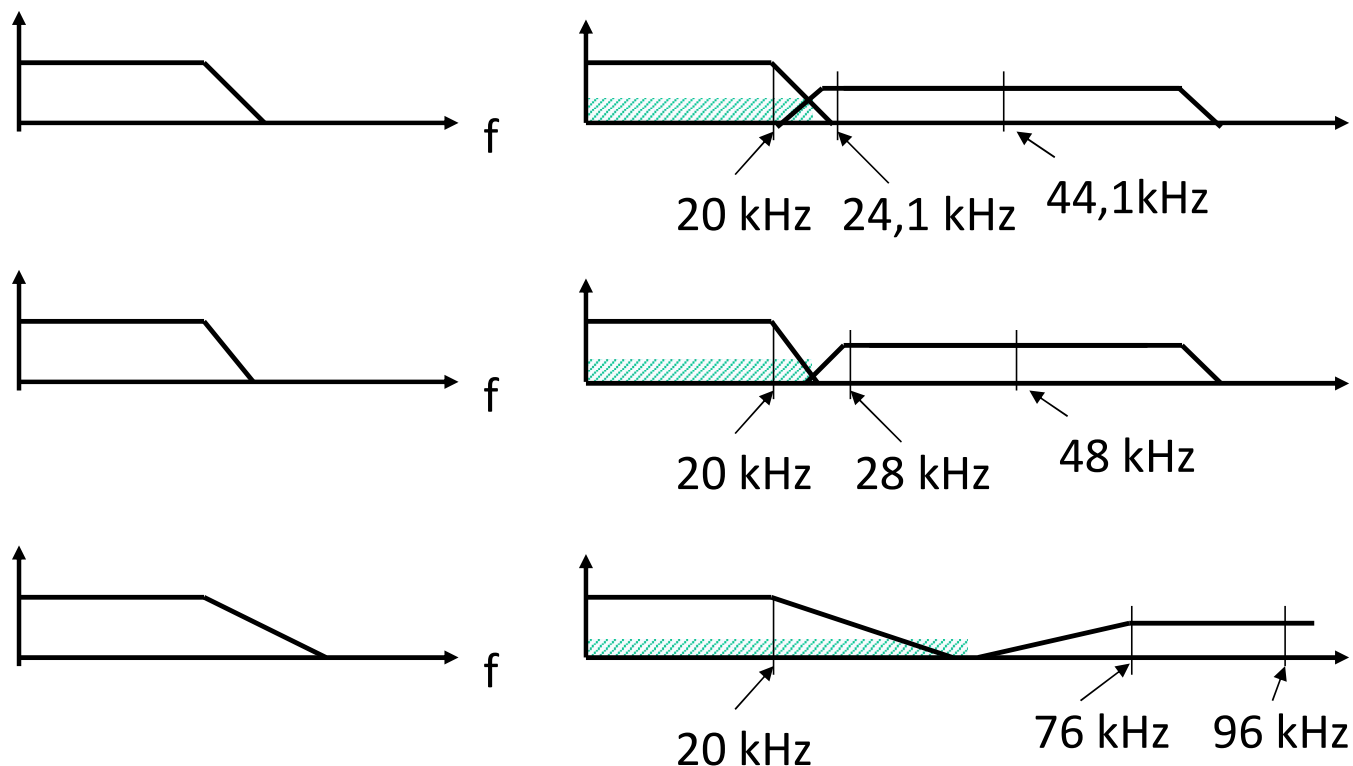
$f_a = 48 \text{ kHz}$



$f_a = 96 \text{ kHz}$

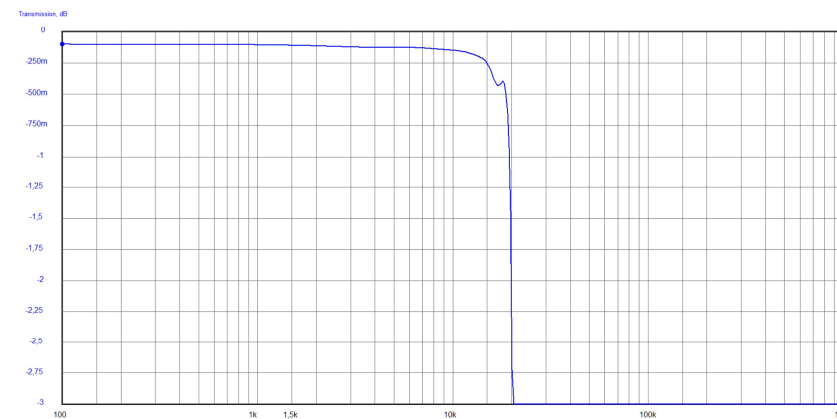
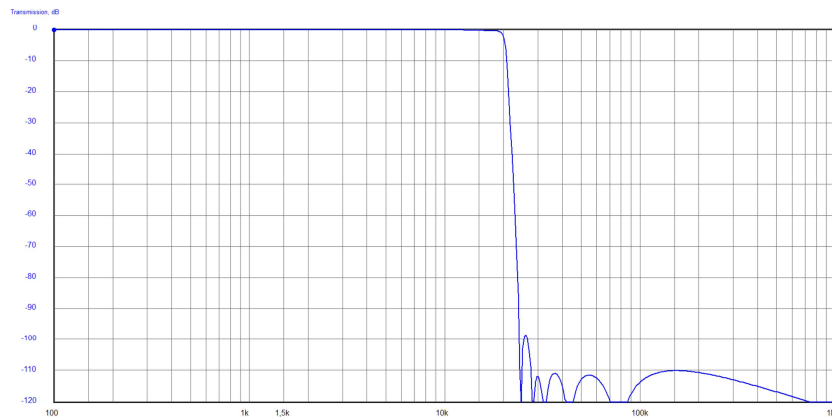
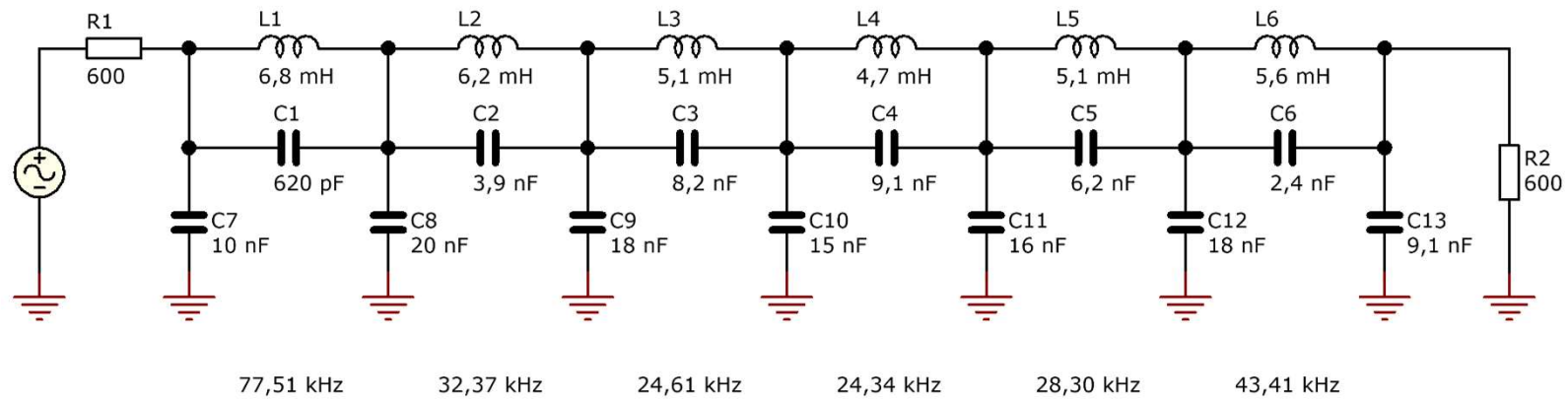


Vantagens da Amostragem em Alta Frequência

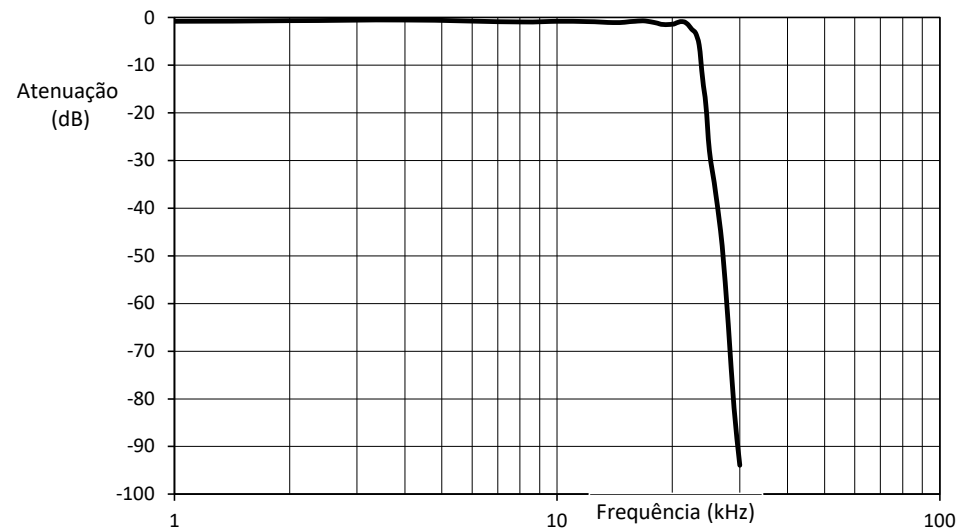
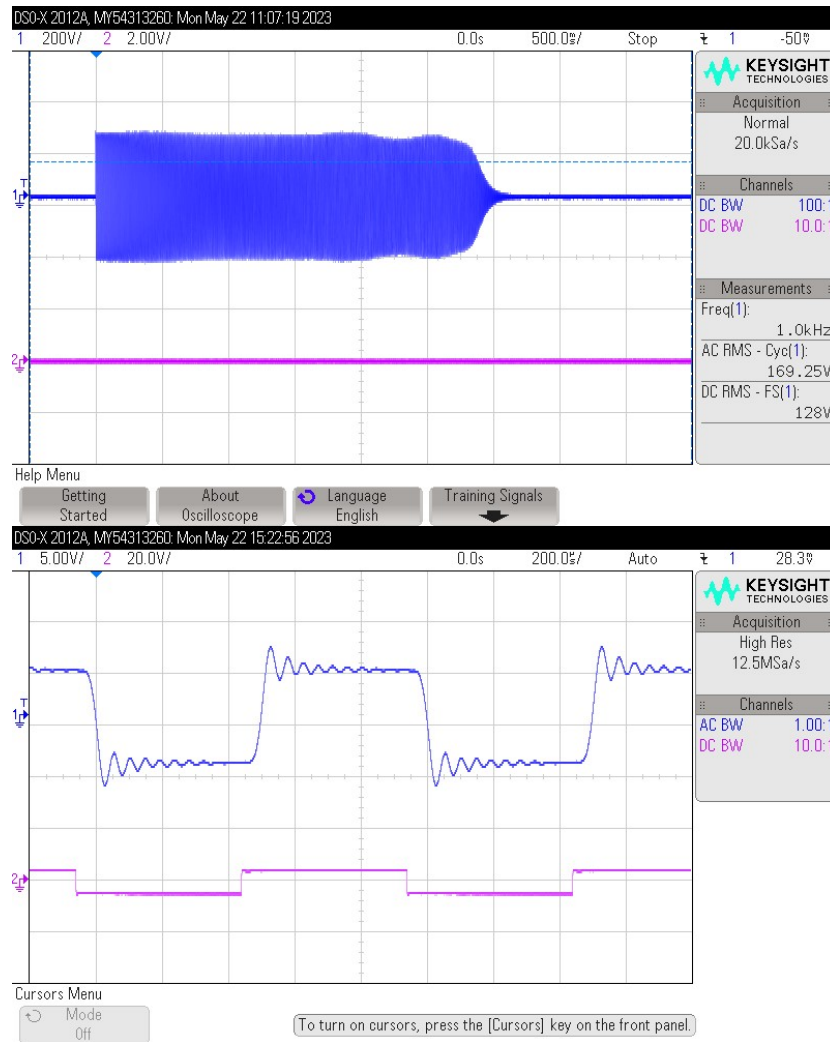


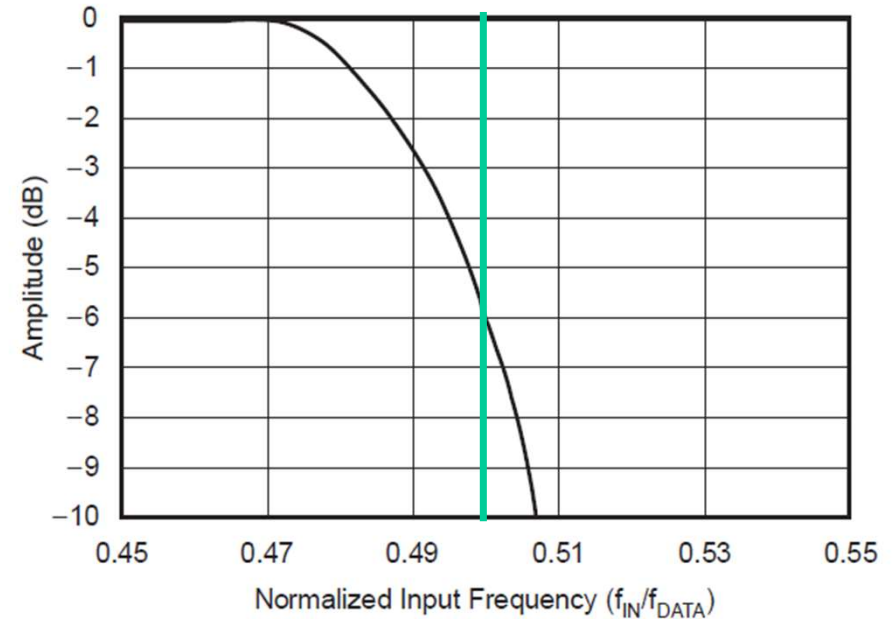
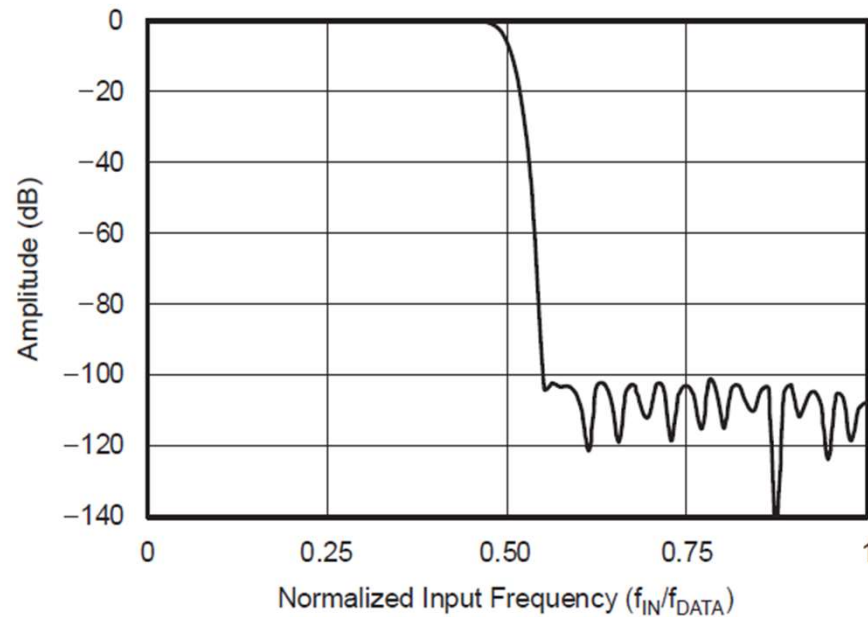
- Redução de ruído (sobreamostragem)
- Alívio das características do filtro anti-aliasing

Filtro para 44,1 kHz (Digitalização para CD)



Filtro para 44,1 kHz





Filtro de meia-banda: Burr-Brown ADS1271

Quantos Bits?

$$\frac{S}{R} = 6,02 \times n + 4,77\text{dB}$$

Número de Bits	Relação S/R	Passo de Quantização *
8	52,9	19 mV
12	77	1,2 mV
16	101	76 µV
20	125	4,7 µV
24	149	0,3 µV
28	173	18 nV
32	197	1,1 nV

(*) Fundo
de Escala
5 Vpp

ADS127L01

SBAS607A – APRIL 2016 – REVISED MAY 2016

www.ti.com

Electrical Characteristics (continued)

Minimum and maximum specifications apply from $T_A = -40^\circ\text{C}$ to $+125^\circ\text{C}$. Typical specifications at $T_A = 25^\circ\text{C}$.

All specifications at $AVDD = 3\text{ V}$, $LVDD = 1.8\text{ V}$ (external), $DVDD = 1.8\text{ V}$, $V_{REF} = 2.5\text{ V}$, $\overline{\text{INTLDO}} = 1$, $\text{FILTER}[1:0] = 01$ (WB2), and $f_{CLK} = 16.384\text{ MHz}$ for HR mode, 8.192 MHz for LP mode, or 4.096 MHz for VLP mode (unless otherwise noted)

PARAMETER		TEST CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNIT
AC PERFORMANCE						
SNR	Signal-to-noise ratio ⁽²⁾⁽³⁾	WB2, OSR 32		104.4		dB
		WB2, OSR 64	104.9	107.8		
		WB2, OSR 128	107.9	110.9		
		WB2, OSR 256	110.6	113.9		
		WB2, OSR 256, $V_{REF} = 3.0\text{ V}$		115.5		
THD	Total harmonic distortion ⁽⁴⁾	HR mode, $f_{IN} = 4\text{ kHz}$, $V_{IN} = -0.5\text{ dBFS}$		-113		dB
		LP mode, $f_{IN} = 4\text{ kHz}$, $V_{IN} = -0.5\text{ dBFS}$		-126		
		VLP mode, $f_{IN} = 4\text{ kHz}$, $V_{IN} = -0.5\text{ dBFS}$		-129		
SFDR	Spurious-free dynamic range	HR mode		-115		dB
		LP mode		-130		
		VLP mode		-130		

MODE	DATA RATE (SPS)	OSR	TRANSITION BAND	PASSBAND (kHz)	SNR (dB)	V_{RMS_noise} (μV_{RMS})	ENOB	I_{DVDD} (mA)
High-resolution (HR)	512,000	32	Wideband 1 filter	230.4	103.7	11.61	17.22	7.50
			Wideband 2 filter	204.8	104.1	10.64	17.34	
	256,000	64	Wideband 1 filter	115.2	107.3	7.61	17.83	4.35
			Wideband 2 filter	102.4	107.7	7.25	17.90	
	128,000	128	Wideband 1 filter	57.6	110.4	5.35	18.33	2.80
			Wideband 2 filter	51.2	110.9	5.06	18.41	
	64,000	256	Wideband 1 filter	28.8	113.4	3.79	18.83	2.00
			Wideband 2 filter	25.6	113.9	3.58	18.91	
Low-power (LP)	256,000	32	Wideband 1 filter	115.2	103.9	11.27	17.26	3.80
			Wideband 2 filter	102.4	104.7	10.31	17.39	
	128,000	64	Wideband 1 filter	57.6	107.6	7.38	17.87	2.25
			Wideband 2 filter	51.2	108.1	6.96	17.95	
	64,000	128	Wideband 1 filter	28.8	110.7	5.18	18.38	1.50
			Wideband 2 filter	25.6	111.1	4.95	18.45	
	32,000	256	Wideband 1 filter	14.4	113.7	3.67	18.88	1.10
			Wideband 2 filter	12.8	114.1	3.47	18.96	

ENOB: Effective Number Of Bits

Histograma de Amostras – Entrada em Curto

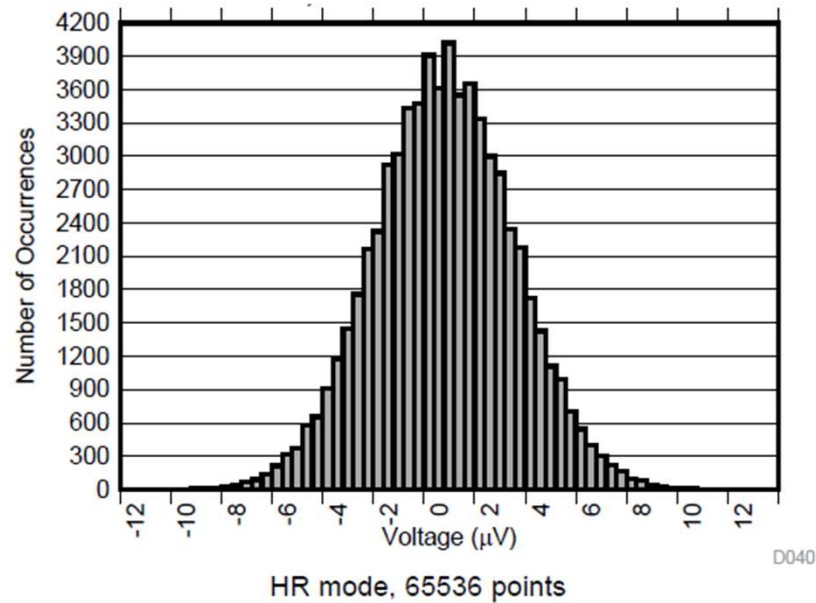


Figure 18. Noise Histogram

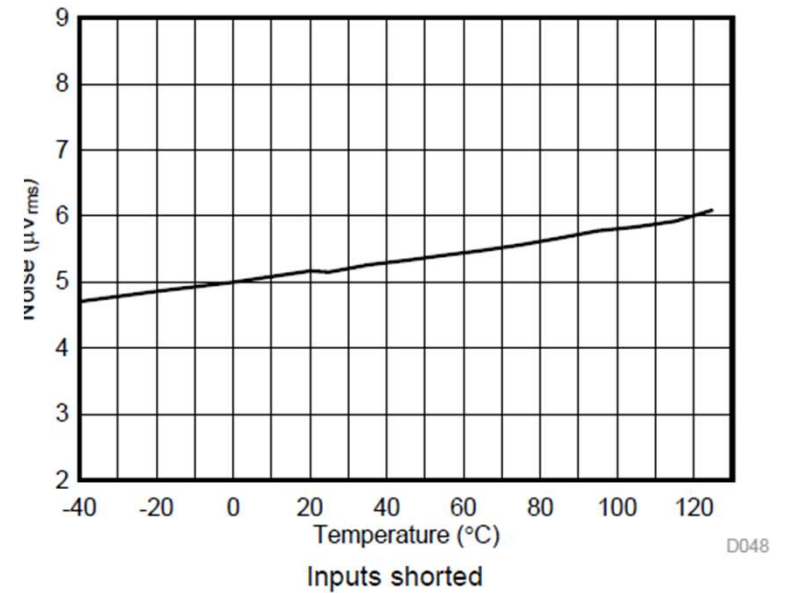


Figure 20. Noise vs Temperature

Fundo de escala: 5 Vpp (diferencial)

$$1 \text{ LSB} = 5 \div 2^{24} = 0,3\mu\text{V}$$

Ruído: $\approx 10 \mu\text{V} \rightarrow 32 \text{ LSB} \rightarrow 5 \text{ bits}$

$\rightarrow$ Dos 24 bits de resolução, 5 são ruído, sobram 19

O problema do Processamento Digital

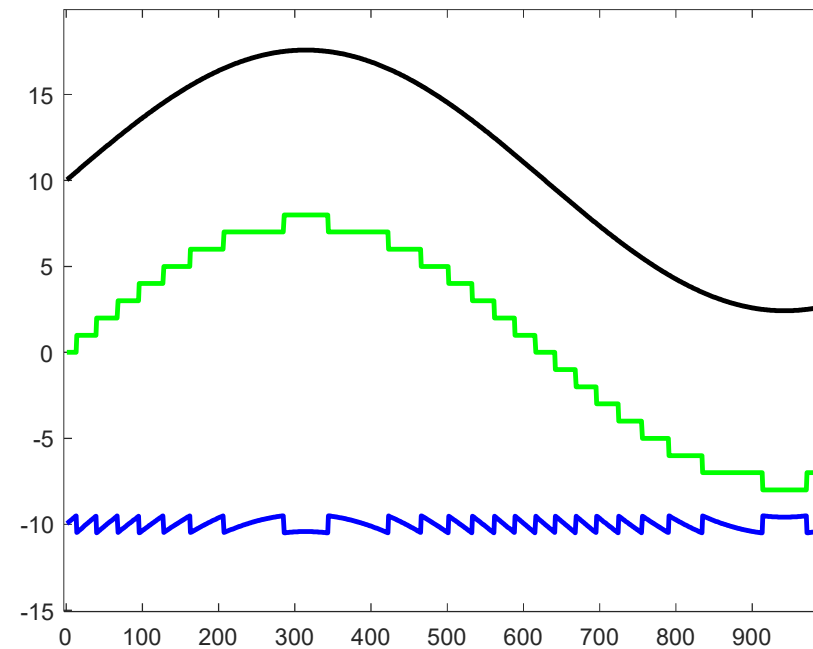
Exemplo: Quantização com 16 bits

— Sinal com amplitude $\approx 16 \times \text{LSB}$
(≈ -73 dB abaixo do fundo de escala)

— Sinal quantizado

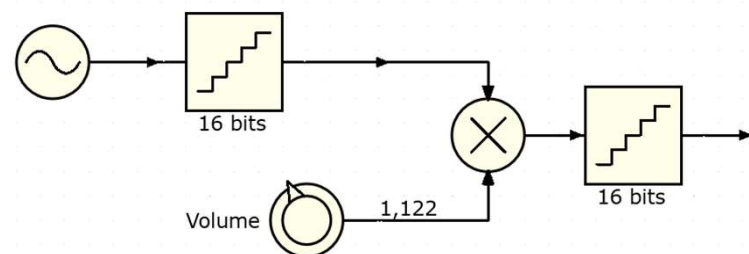
— Ruído de quantização

Amplitude RMS do ruído de quantização:
0,0101

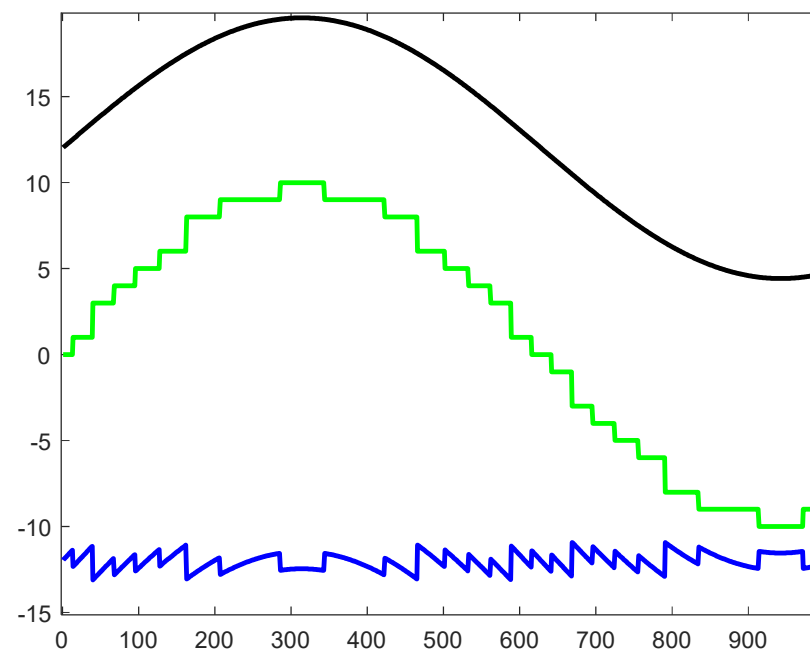


O problema do Processamento Digital

Aumentando o volume digitalmente em 1 dB:



- Sinal Original
- Sinal com ganho, requantizado
- Ruído de requantização



Amplitude RMS do ruído de requantização: 0,0137
→ Relação S/R piorou 1,6 dB

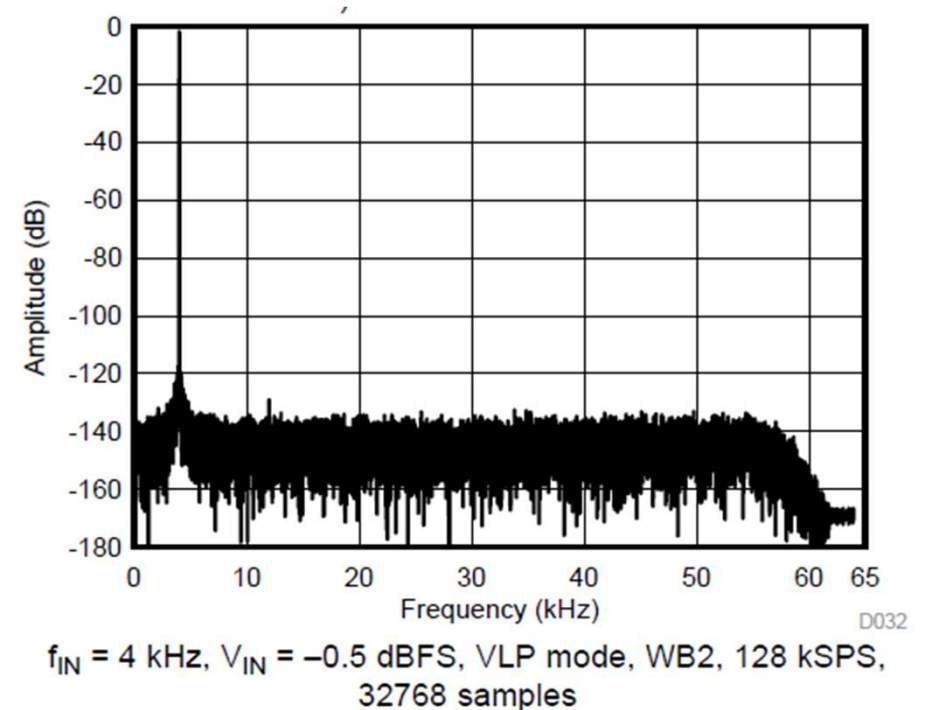
Vantagens da Quantização com 24 Bits

O ruído de processamento é muito menor do que o ruído intrínseco do conversor A/D, que age como um “dithering”

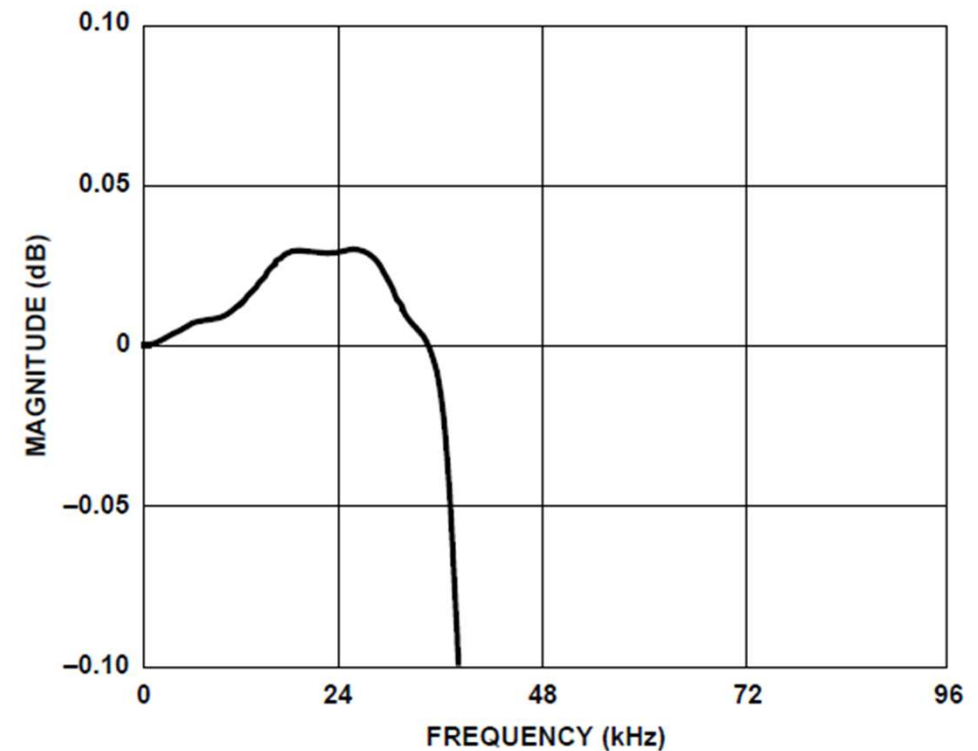
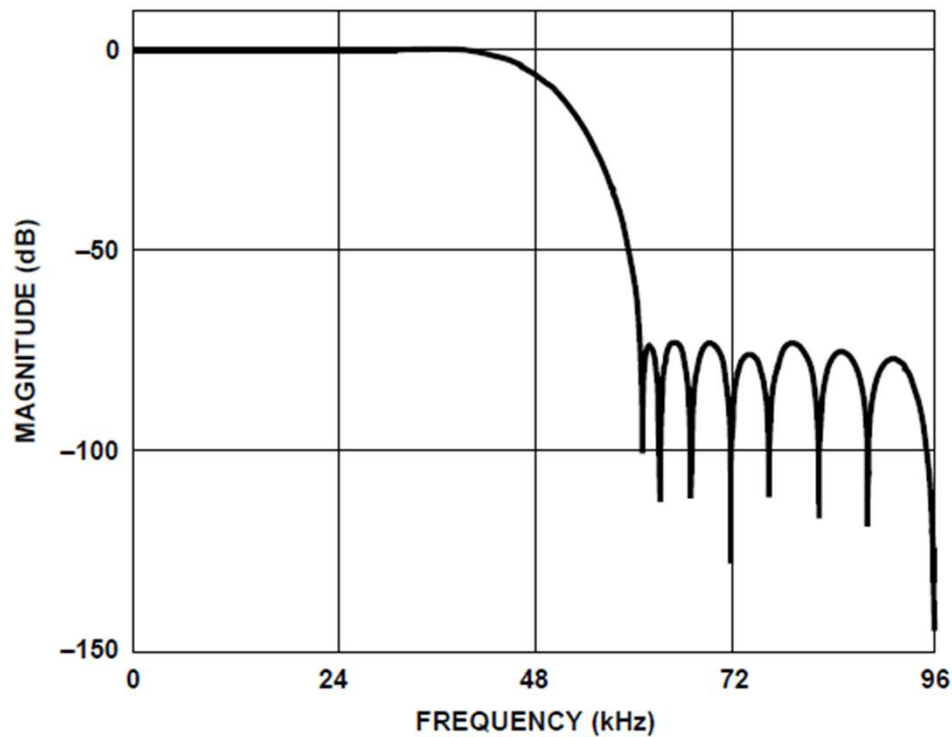
A relação S/R se mantém praticamente igual ao aplicar ganho digital.

→ SFDR é melhor do que a Relação S/R.

Reduz a audibilidade do ruído de quantização.

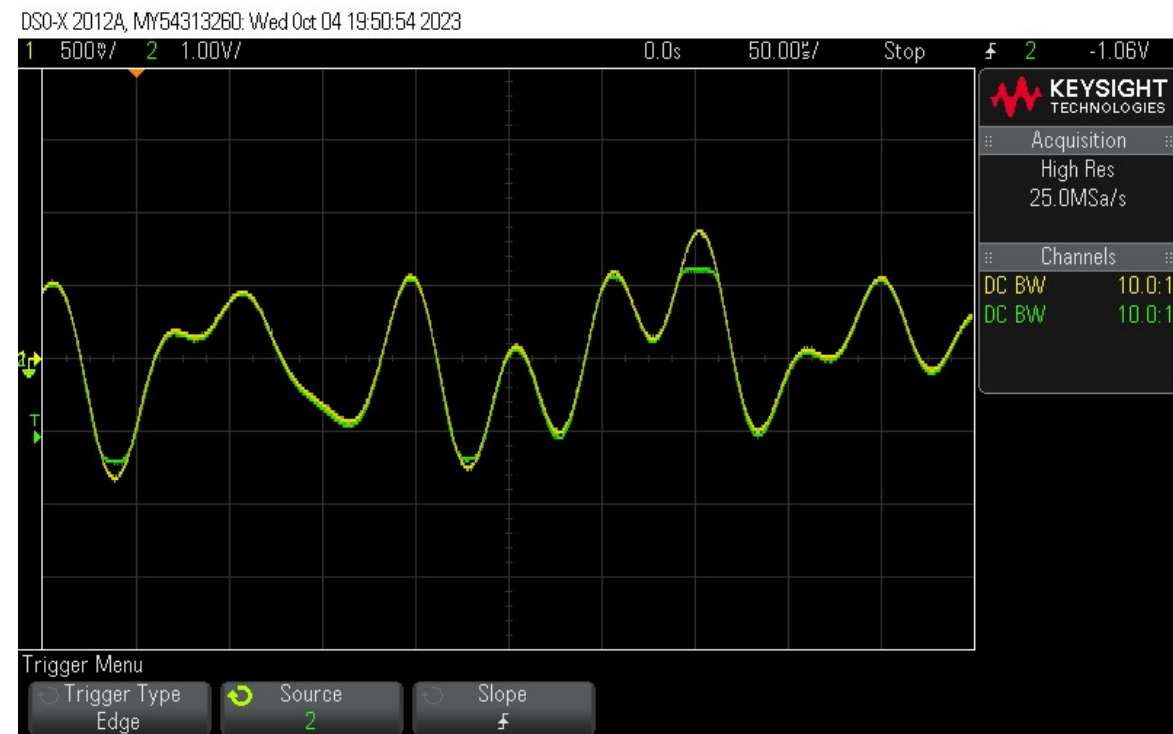
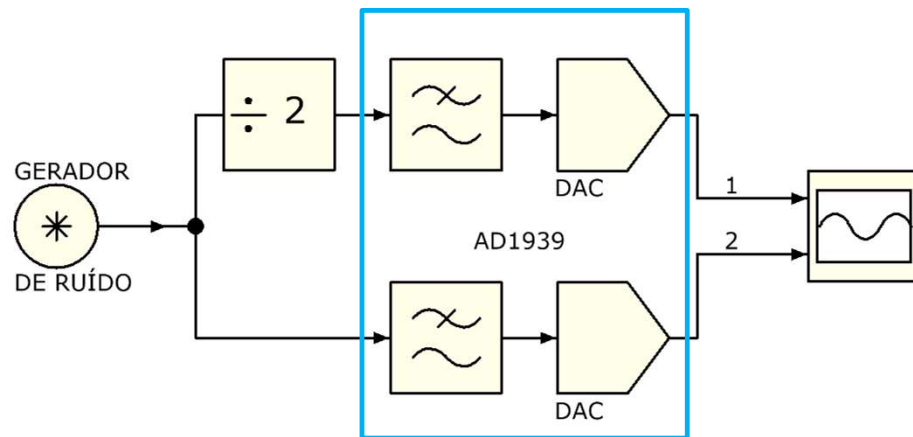


SFDR: Spurious-Free Dynamic Range



Filtro de Interpolação: Analog Devices AD1939 ($f_A = 96$ kHz, $f_S = 384$ kHz)

Distorção do Filtro de Interpolação

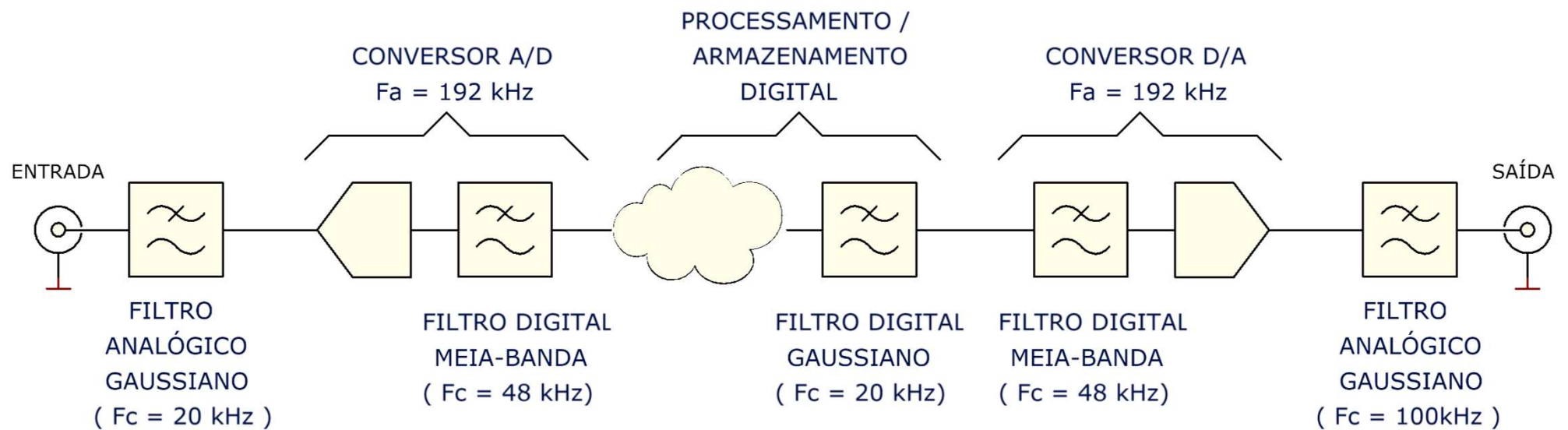


Distorção do Filtro de Interpolação ($x - y$)

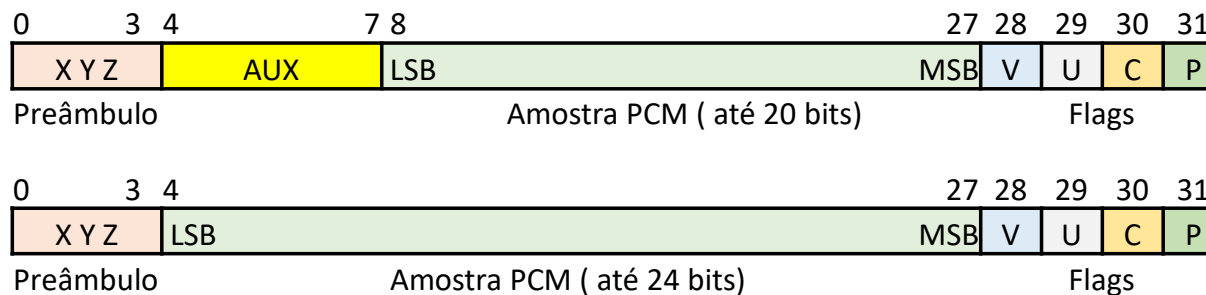


Filtro de reconstrução exige back-off de 6 dB !!

Cadeia de Sinal Digital Segura para Áudio



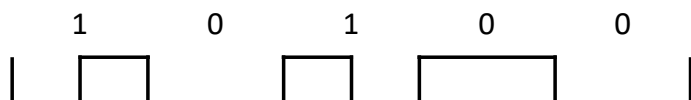
- Interface digital para áudio
- 2 canais, até 20 ou 24 bits por canal
- Codificação em PCM linear, em complemento de 2
- Frequências de amostragem preferenciais: 22,05 a 384 kHz
- Sub-quadros (“*Subframes*”) de 32 bits
- 2 *Subframes* compõem 1 Quadro (par de amostras L e R)
- 192 Quadros compõem um Bloco
- Codificação de linha “Manchester” (“*Biphase Mark*”)
- Interface balanceada, 1 Vpp (AES3) ou Fibra Óptica 1mm (S/PDIF)



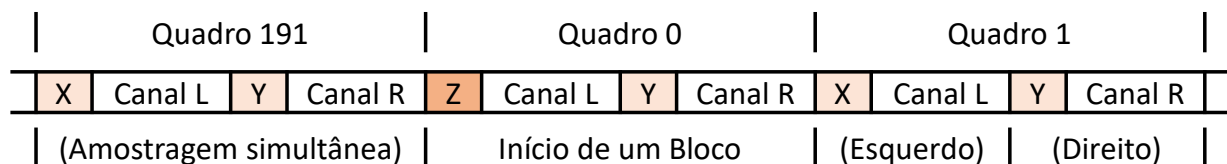
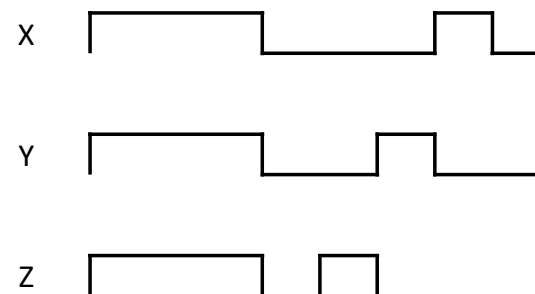
AES: Audio Engineering Society

S/PDIF: Sony / Philips Digital Interface

- “*Biphase Mark*”
- Transição de nível no início e no fim de cada bit
- Transição intermediária nos bits ‘1’
- Insensíveis a inversões de polaridade

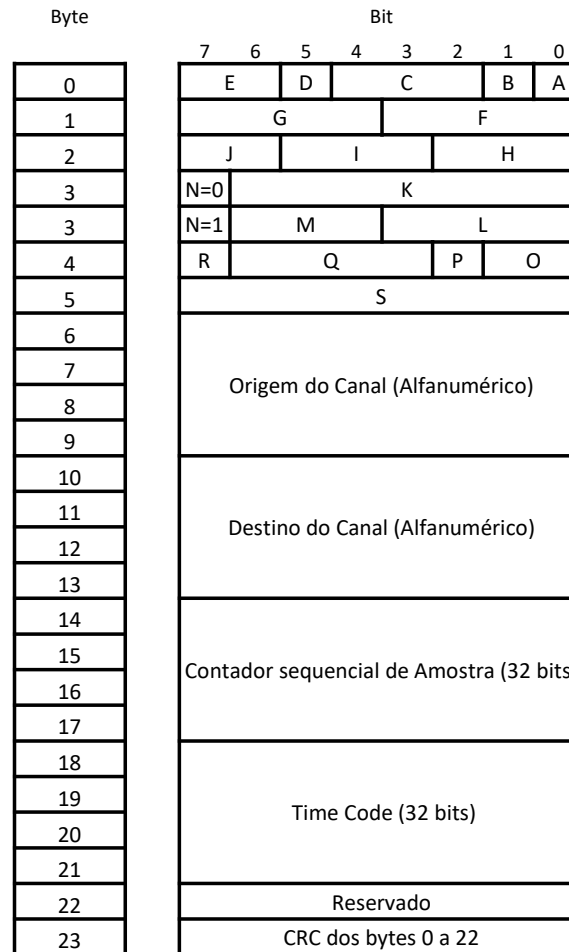


- Preâmbulos X, Y e Z:
- Violam a regra do *Biphase Mark*
- Detectáveis instantaneamente
- Identificam canais L e R e Blocos



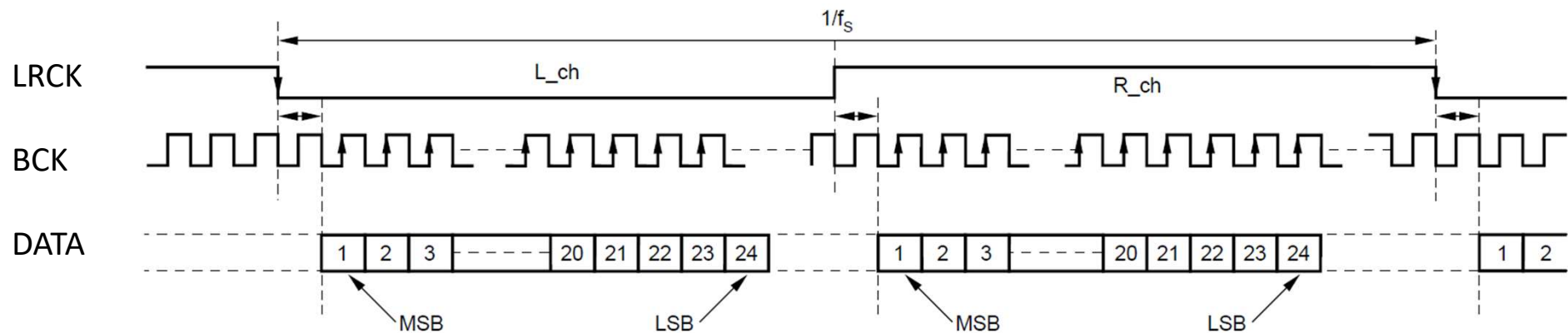
Codificação AES3 – Flags e Status do Canal

- *Flags:*
- V= Validade da amostra ('0' = amostra PCM válida)
- U= "User Bit" do canal – uso livre, não especificado
- C= "Status Bit" do canal – monta o Bloco de Status (192 bits, 24 bytes a cada Bloco)
- P= Bit de paridade (par)



- A- Uso profissional ou Consumidor
- B- Identifica PCM Linear
- C- Pré- ênfase no áudio
- D- Frequência de amostragem não sincronizada
- E- Freq. de Amostragem (48 / 44.1 / 32 kHz)
- F- Modo dos canais (estéreo, mono, etc.)
- G- Função dos *User Bits*
- H- Função dos bits AUX
- I- Número de bits da amostra (16 a 24 bits)
- J- Nível de referência (-20 ou -18 dB)
- K- Número do canal -1 (quando N=0)
- L- Número do canal -1 (quando N=1)
- M- Mapeamento do modo Multicanal
- N- Indica modo Multicanal
- O- Sinal de Referência Digital
- P- Flag informação oculta
- Q- Freq. Amostragem (22,05 a 384 kHz)
- R- Flag de ajuste de frequência (NTSC-1/1,001)
- S- Reservado, não definido

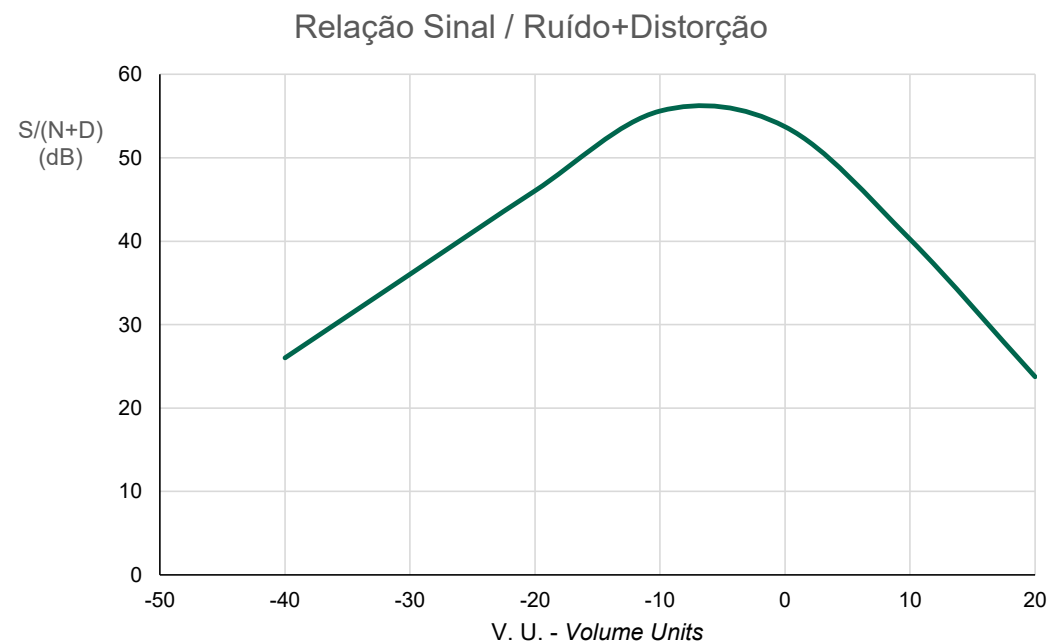
- “*Inter-Integrated circuit Sound*”
- Philips, 1986
- Interface serial síncrona com conversores A/D e D/A



- VU – “*Volume Units*”
- PPM – “*Peak Program Meter*”
- LKFS – “*Loudness k-Filtered Full Scale*”

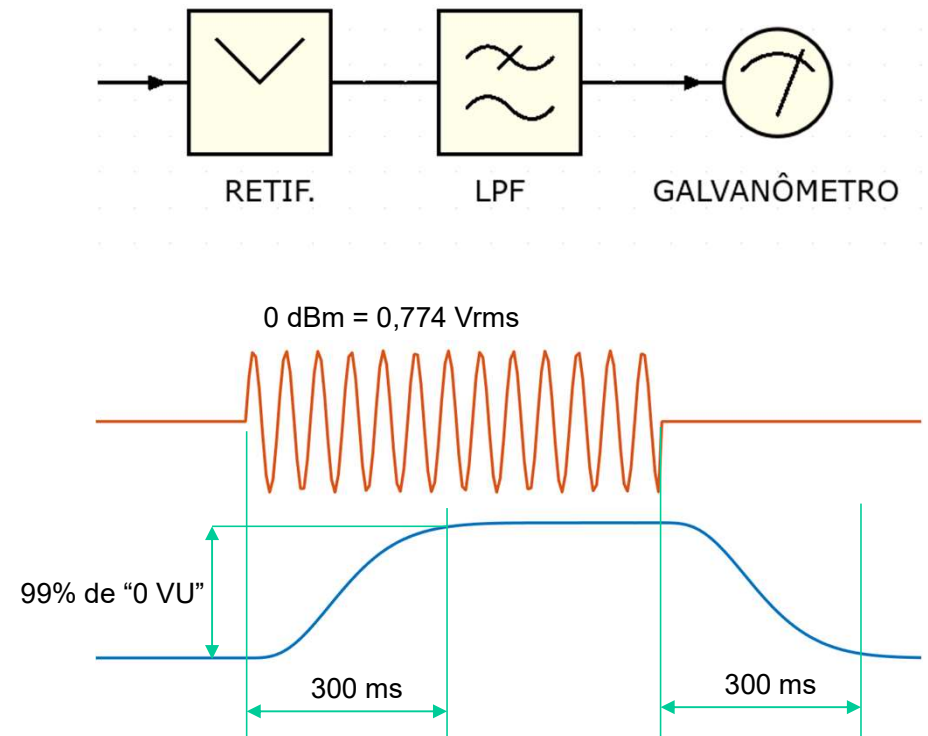


Gravação Analógica:
Ruído alto
Distorção harmônica suave

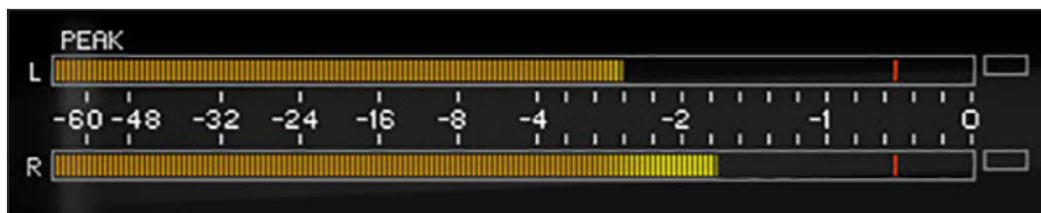


Balística do Medidor de “VU”

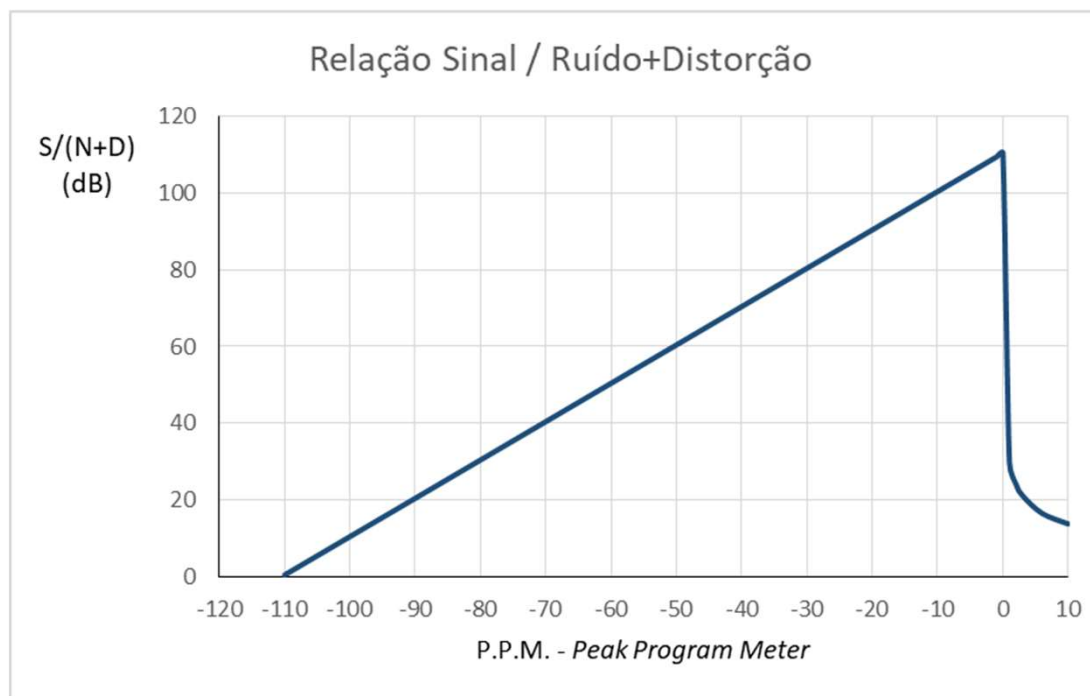
- Zero VU = 0 dBm (0,774 Vrms em 600 Ohms), ou qualquer valor arbitrário correspondente ao ponto ótimo de operação
- “Balística” (inércia do galvanômetro) é especificada para atingir 99% da leitura correta em 300 ms
- É uma medida do valor médio (não RMS) do sinal, com uma escala logarítmica em decibéis
- A inércia do medidor equivale aproximadamente à percepção auditiva de volume para impulsos de curta duração



Digital x Analógico – *Peak Program Meter*

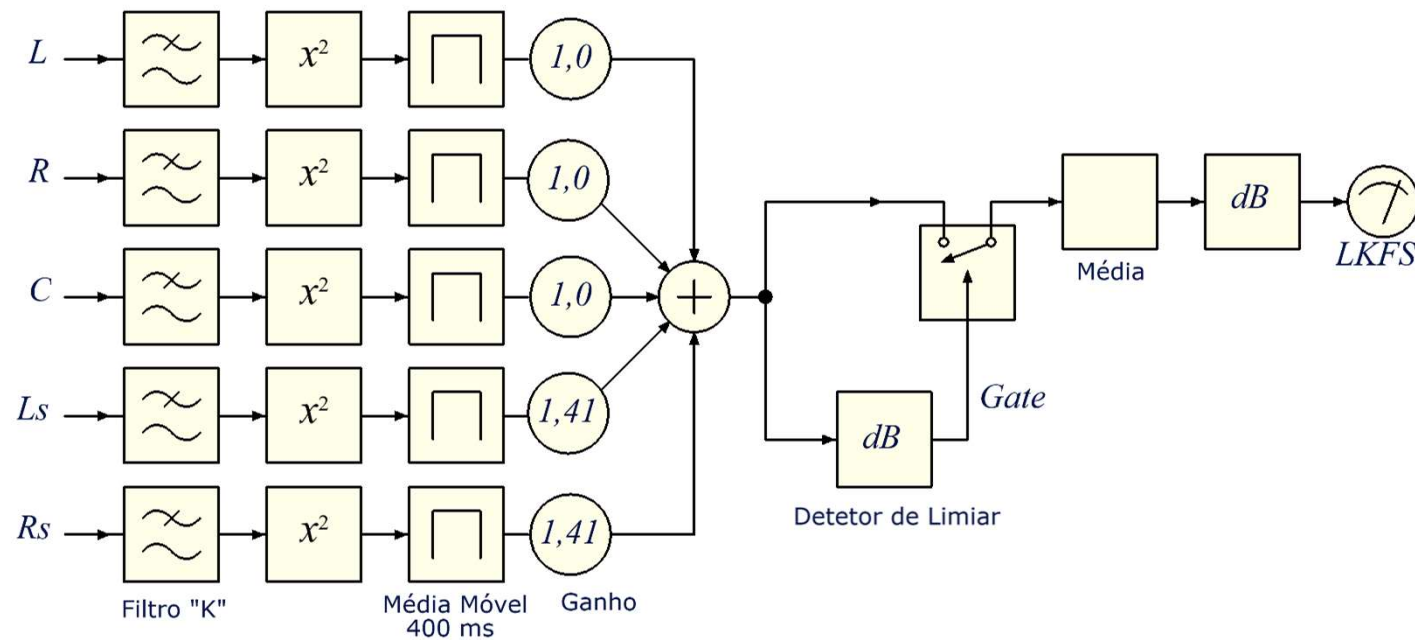


Gravação Digital:
Ruído baixo
Distorção dura (“clipping”)



- Recomendação ITU-R BS.1770-4 (2015)
 - “True Peak” de um sinal digital
 - Volume (“Loudness”) de uma sequência ou programa
 - Unidades: LKFS (Loudness K-filtered Full Scale)
- Recomendação AES 1006.1.17-10 para distribuição de conteúdo
 - Volume Integrado total: $-23 \pm 0,5$ LKFS
 - Volume Máximo Momentâneo: -16 ± 1 LKFS
 - Máximo “True Peak”: -1 dB TP

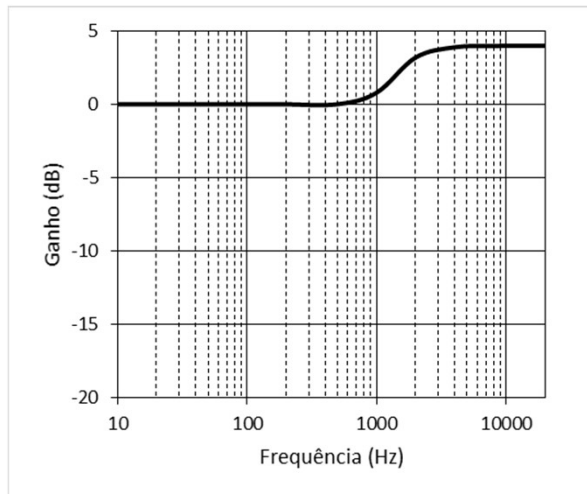
Medição Objetiva de Volume de um Programa



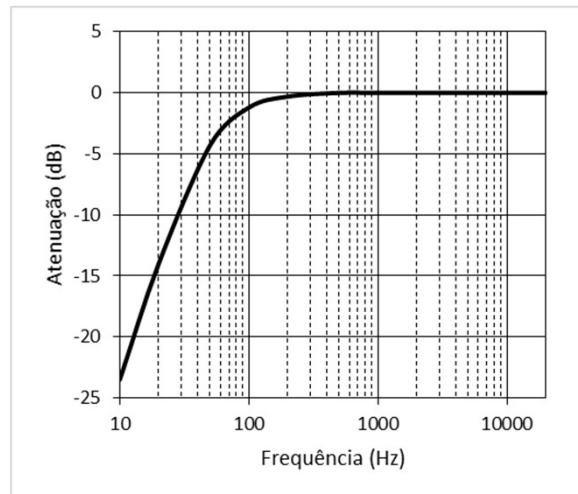
Medição Objetiva de Volume de um Programa

- Filtro “K” (auricular e perceptual)

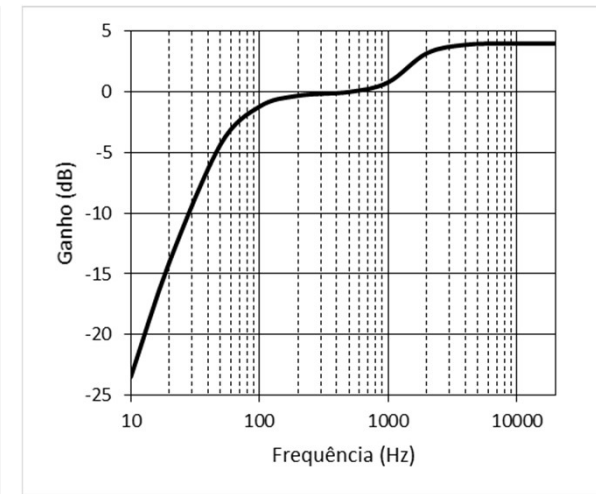
Primeiro estágio



Segundo estágio

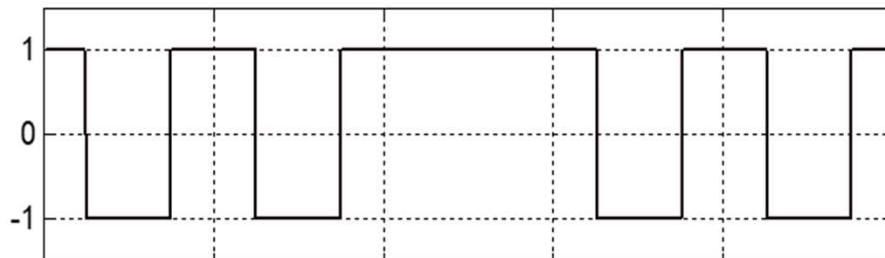
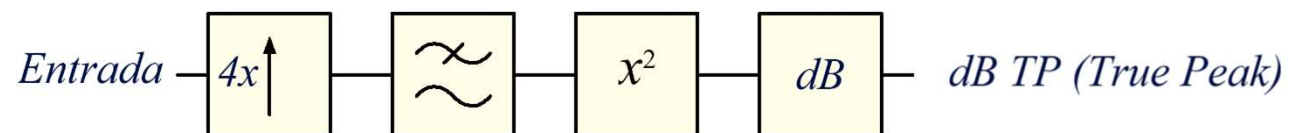


Total

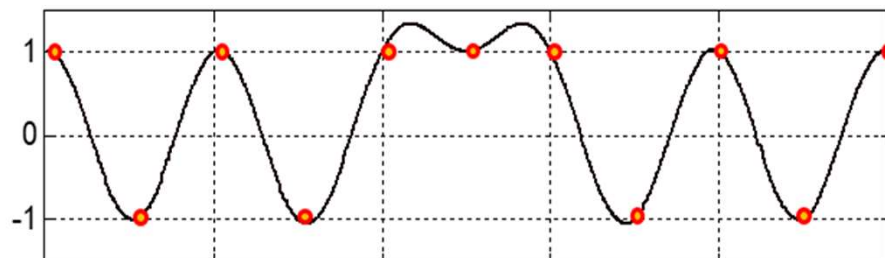


Medição Objetiva de Volume de um Programa

- “True Peak” de um sinal digitalizado



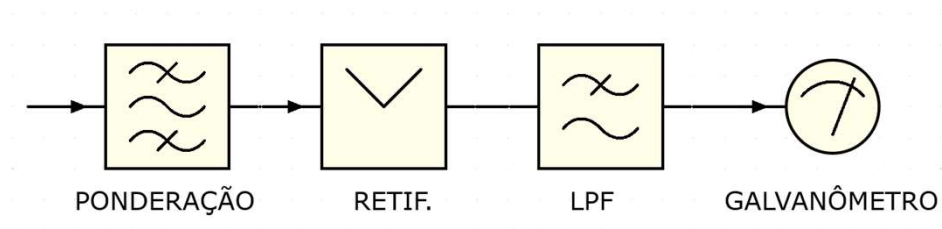
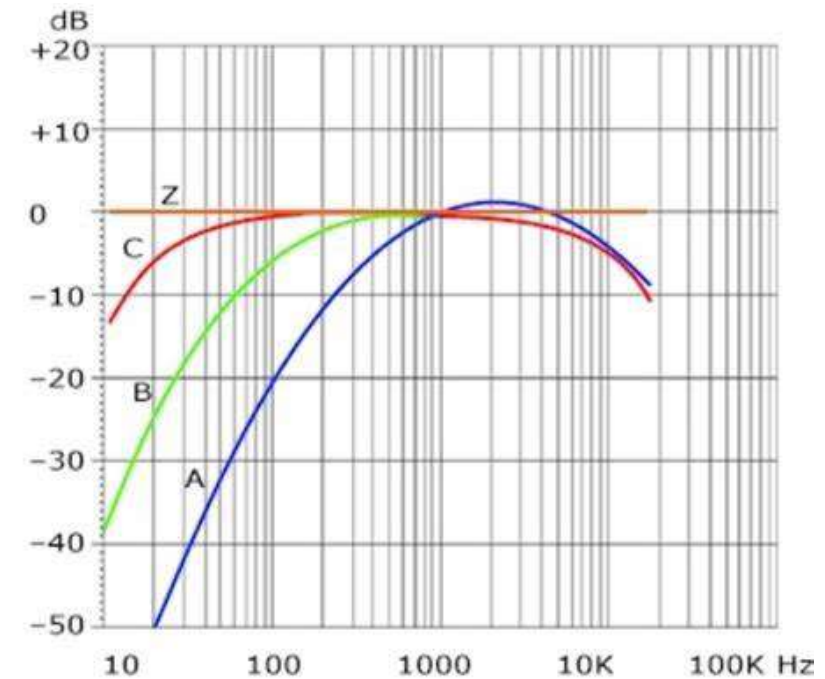
Sinal
Digital



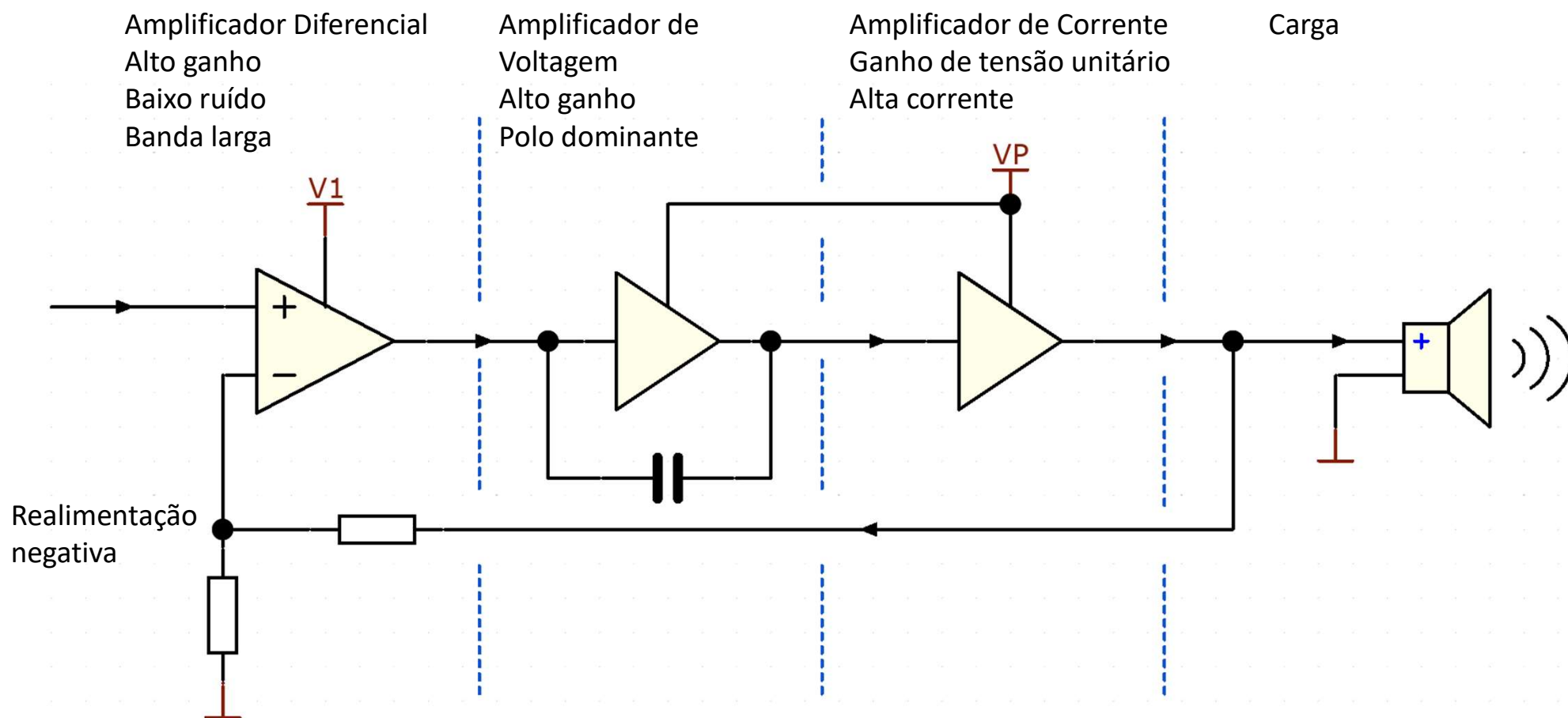
Reconstrução

Medição de Nível Sonoro (Sonômetro)

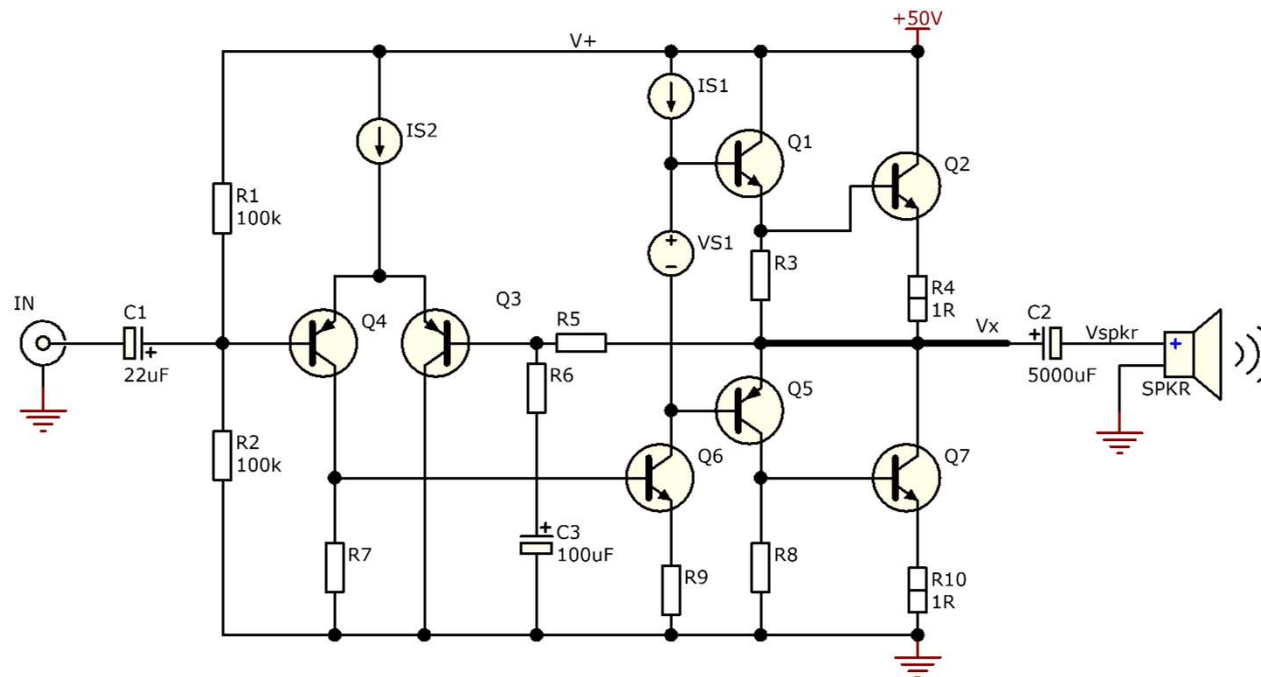
- Medidores de nível sonoro de uso geral (sonômetros)
- Curvas de resposta em frequência:
 - Z (resposta plana, medição física)
 - A (ruído ambiente, até 40 dB)
 - C (genérico)
 - B (obsoleto, ruído até 80 dB)



Amplificadores de Potência



Exemplo Básico

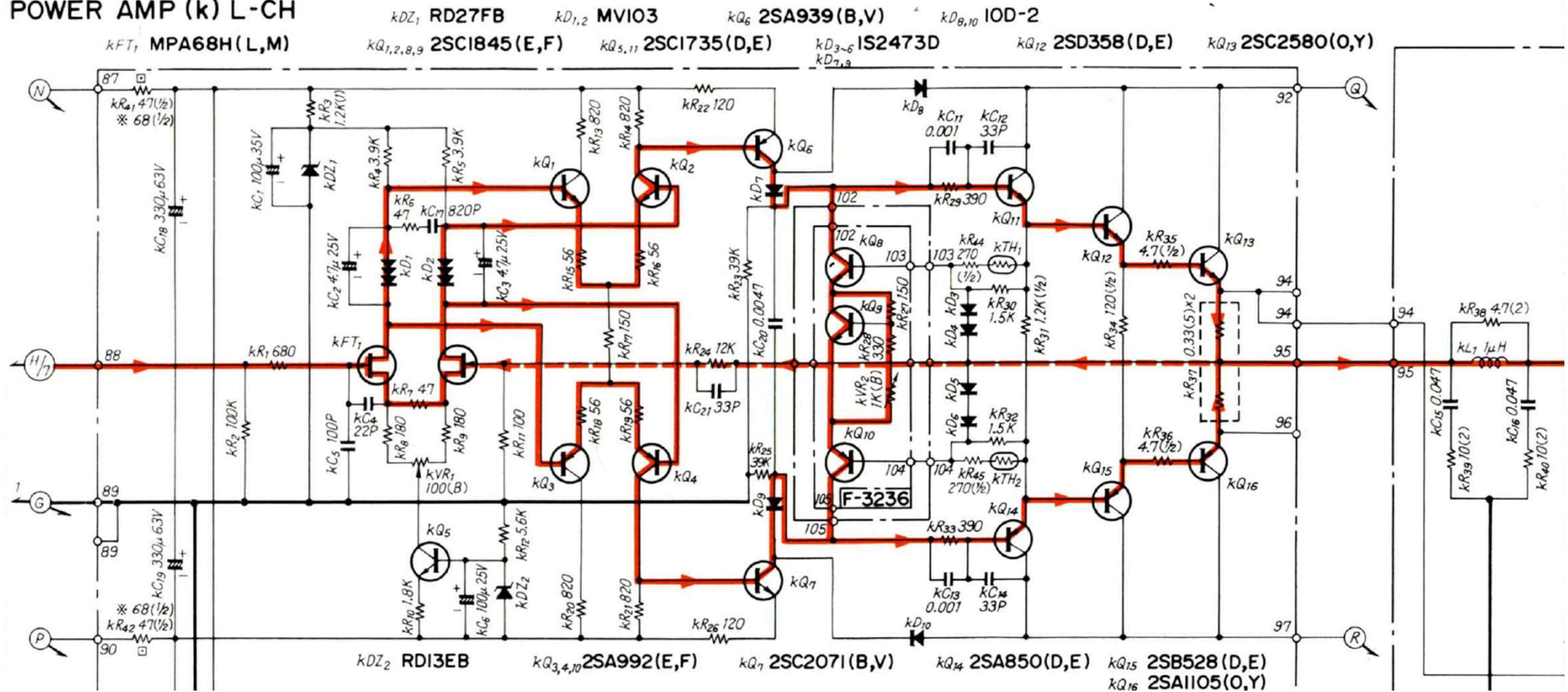


Potência: 50 Watts @ 4 Ω
Resposta em Frequência:
20 Hz a 30 kHz +0/-1 dB
Distorção: < 0,01% @ 30W
Ruído: < -95 dB
Hum: < -80 dB
Amortecimento: > 20x

Amplificador OTL (Output TransformerLess)

Exemplo mais Complexo (Sansui AU-D7)

POWER AMP (k) L-CH



R1 / C5: 2,3 MHz

R4+R5 / C17: 25 kHz

R24 / R11: G = 120x (41,6 dB)

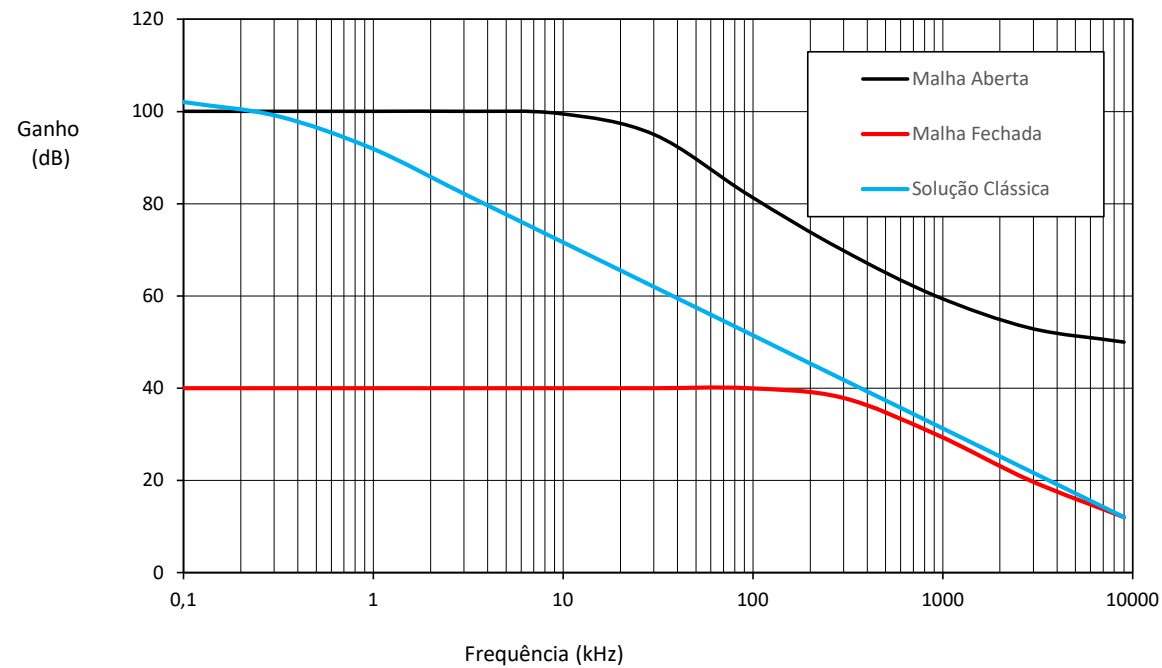
R39 / C15: 340 kHz

R6 / C17: 4 MHz

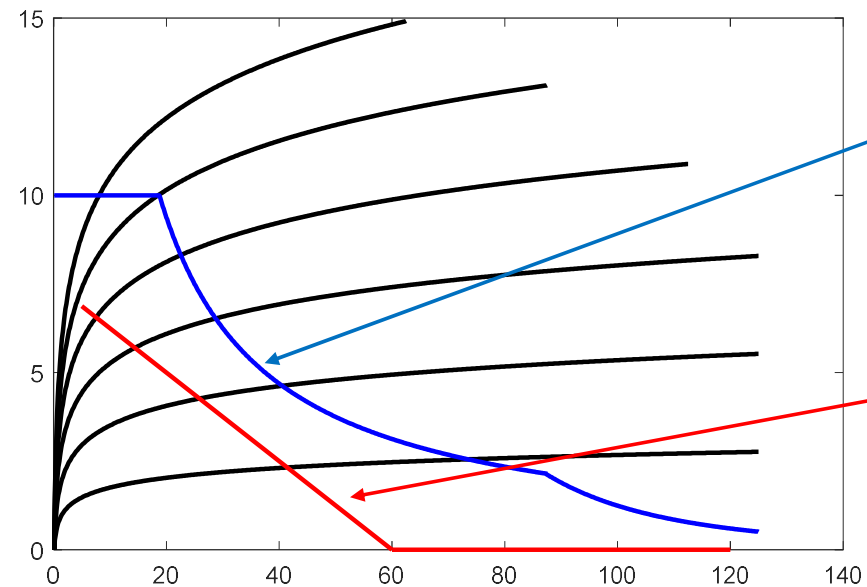
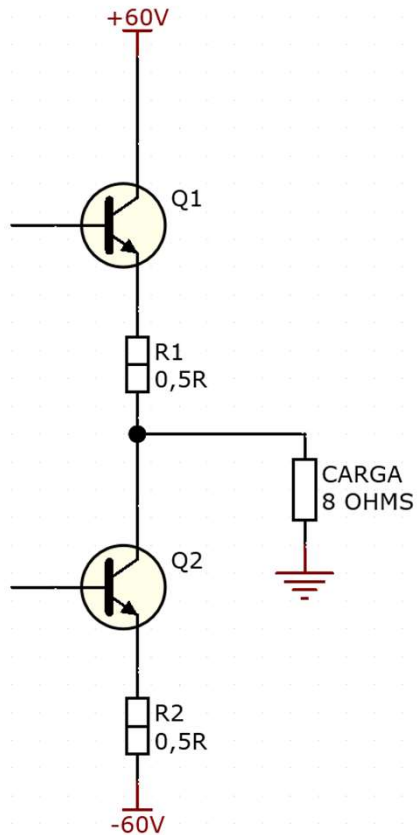
R24 / C21: 400 kHz

L1 / C16: 700 kHz

Diagrama de Bode AU-D7



Reta de Carga – um Semiciclo



Limites de Potência,
Corrente, Ruptura
Secundária e Tensão

Reta de Carga para
transistor Q1 no semiciclo
positivo

Ex.: Região de Operação Segura de um Transistor

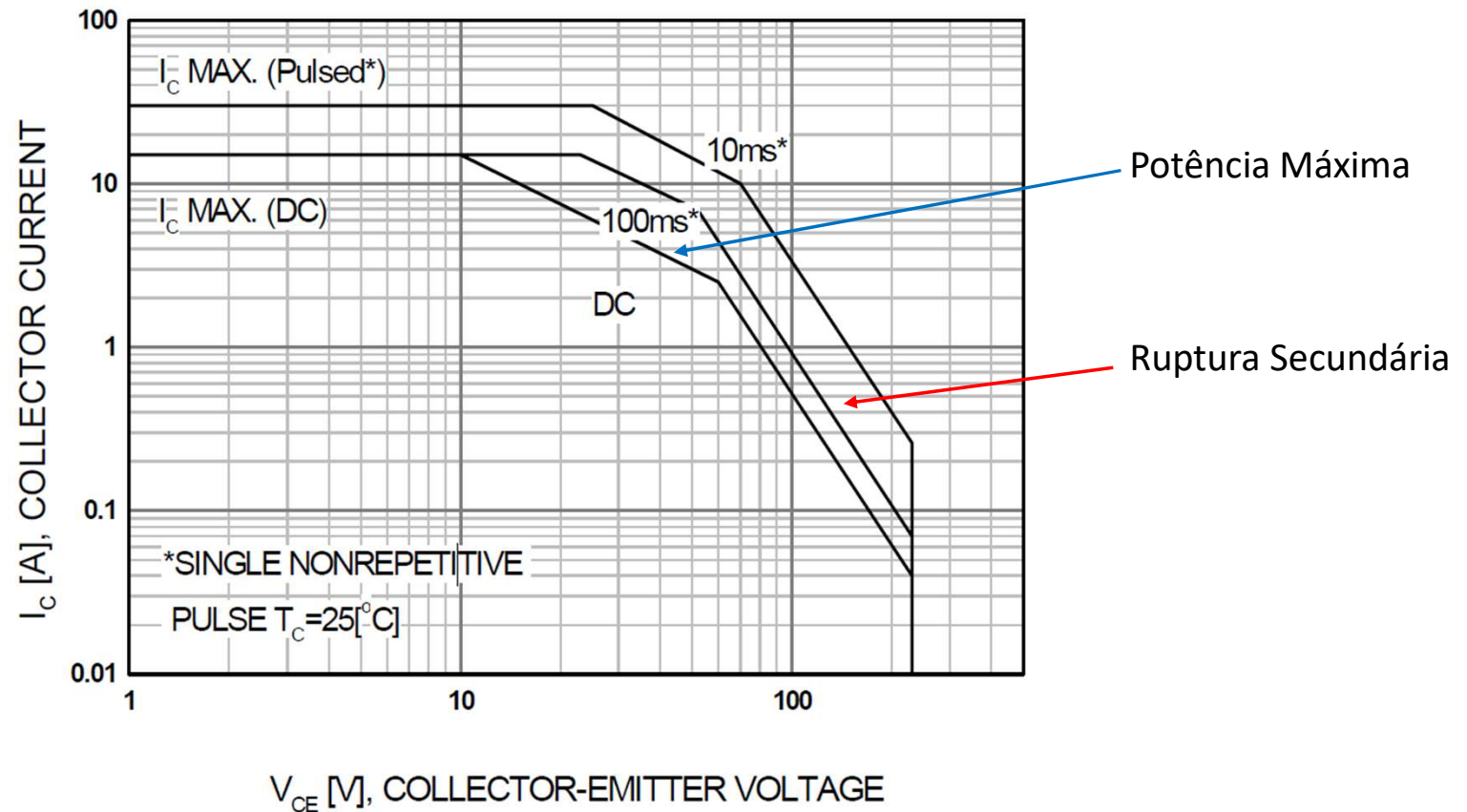
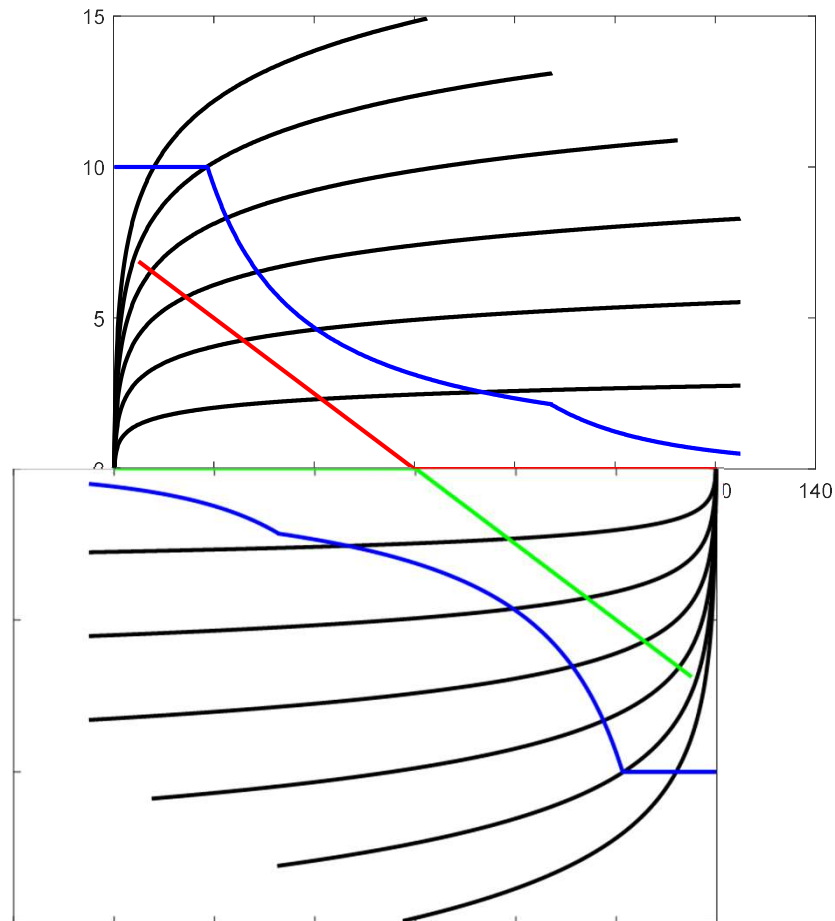
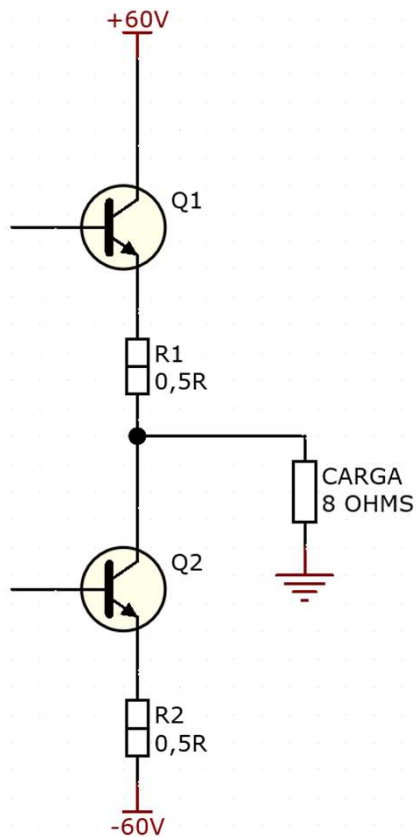


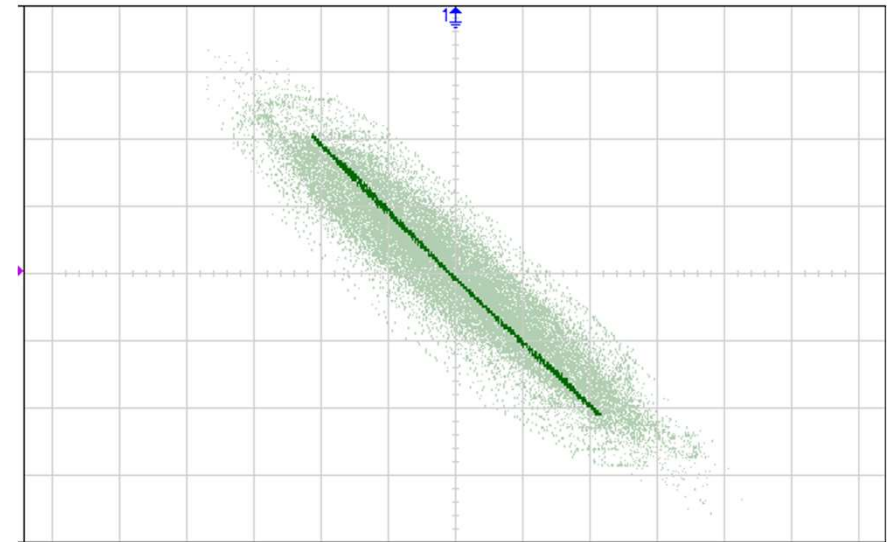
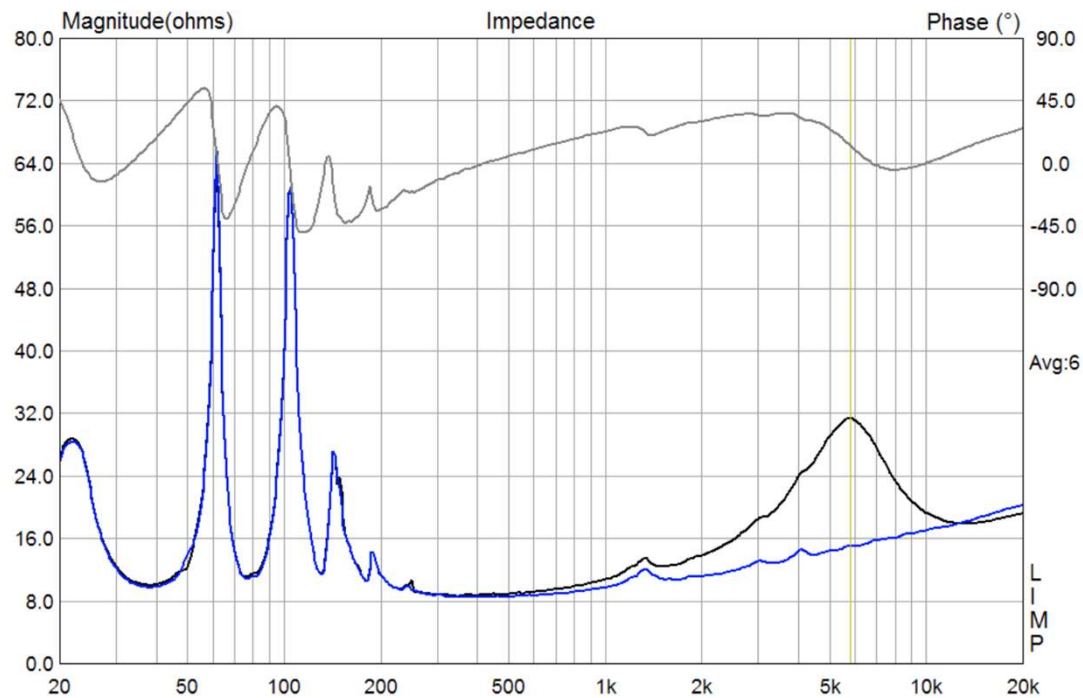
Figure 8. Safe Operating Area

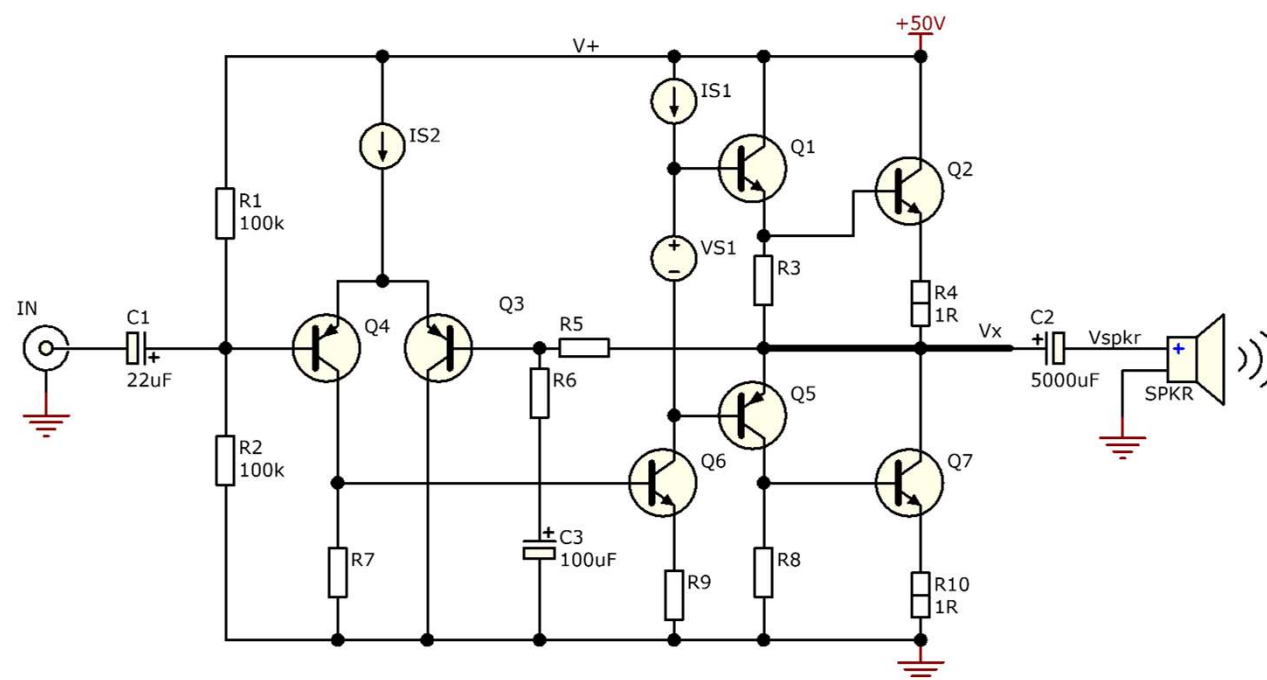
Reta de Carga Completa



Operação de Q1 e Q2 nos dois semiciclos

Impedância de uma Caixa de Som





Potência: 50 Watts @ 4 Ω

Resposta em Frequência:

20 Hz a 30 kHz +0/-1 dB

Distorção: < 0,01% @ 30W

Ruído: < -95 dB

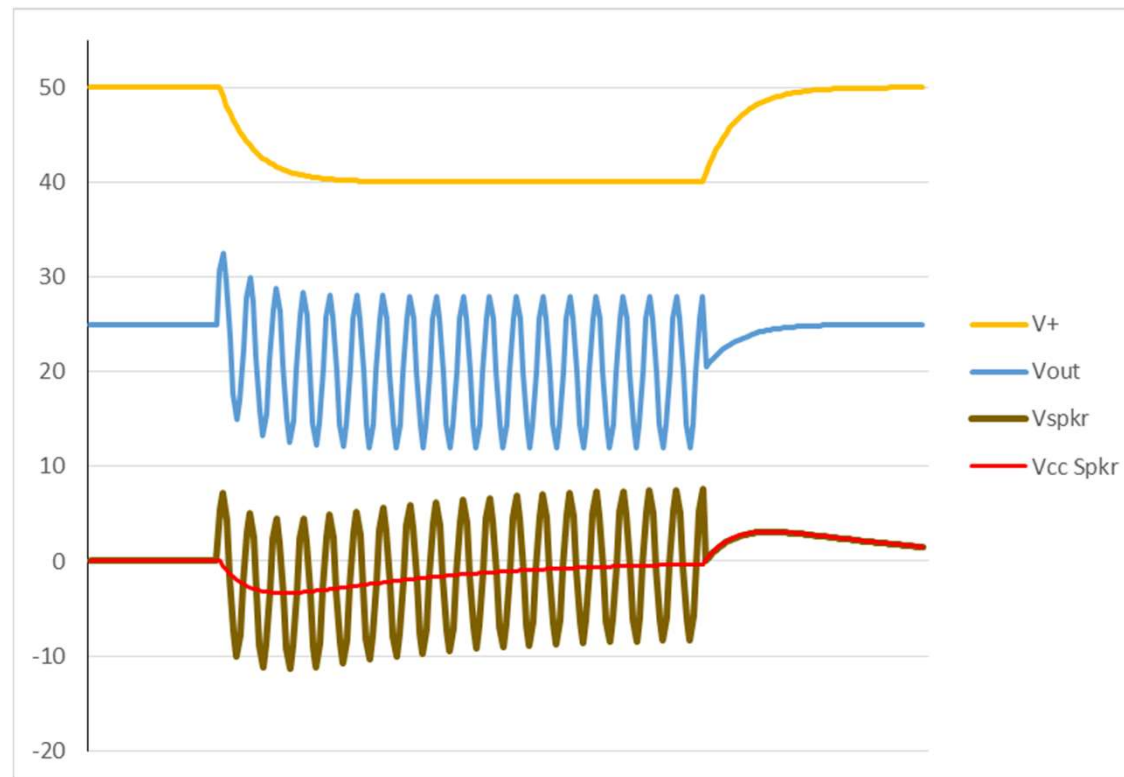
Hum: < -80 dB

Amortecimento: > 20x

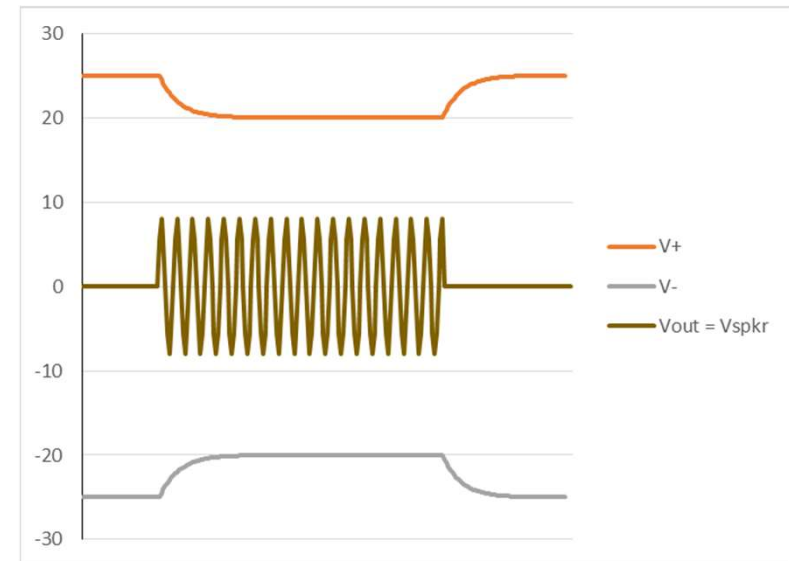
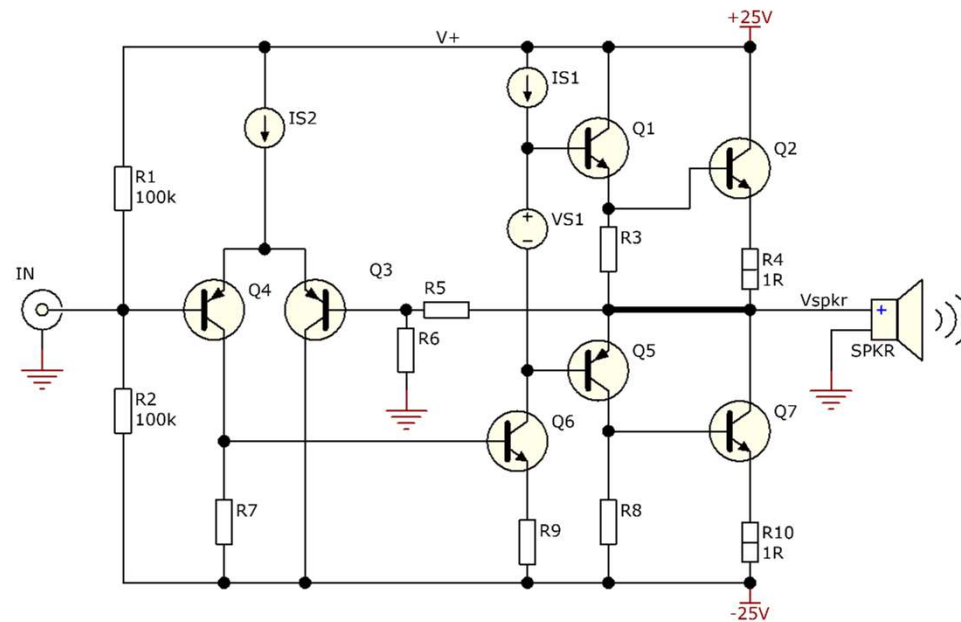
(v. norma NBR/IEC60268-3)

Som: Ruim.

Amplificador OTL (Output TransformerLess)



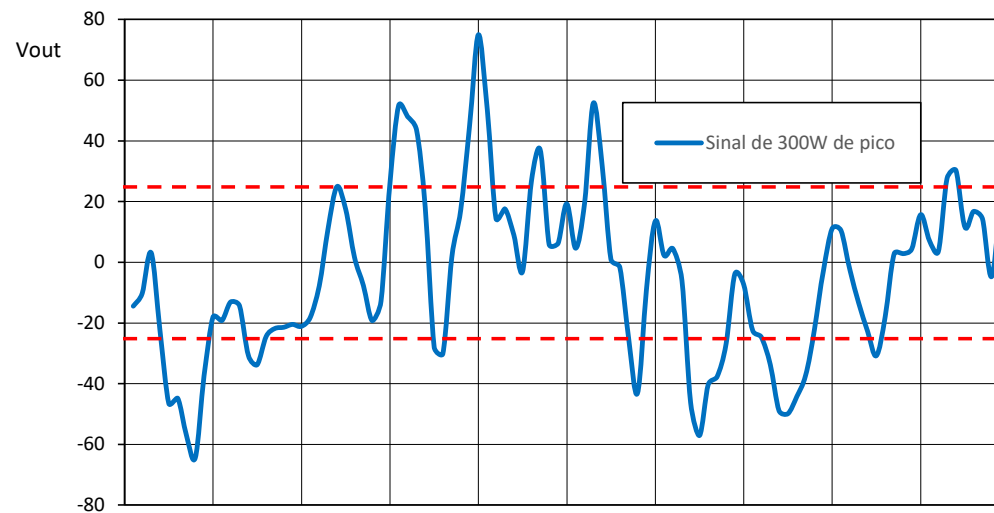
Comportamento em um transiente



Amplificador OCL (Output CondenserLess)

- Paradoxo:
 - “Um amplificador a válvula de 100 W dá mais volume do que um transistorizado de 300 W”
- Ex.: $300\text{W @ } 8\Omega \rightarrow V = \sqrt{300 \times 8} = 49,0 \text{ Vrms} = 138 \text{ Vpp}$
 $100\text{W @ } 8\Omega \rightarrow V = \sqrt{100 \times 8} = 28,3 \text{ Vrms} = 80 \text{ Vpp}$
- Música não é onda senoidal, fator de crista $\cong 10 \text{ dB}$
 $30\text{W @ } 8\Omega \rightarrow V = \sqrt{30 \times 8} = 15,5 \text{ Vrms} = 44 \text{ Vpp}$

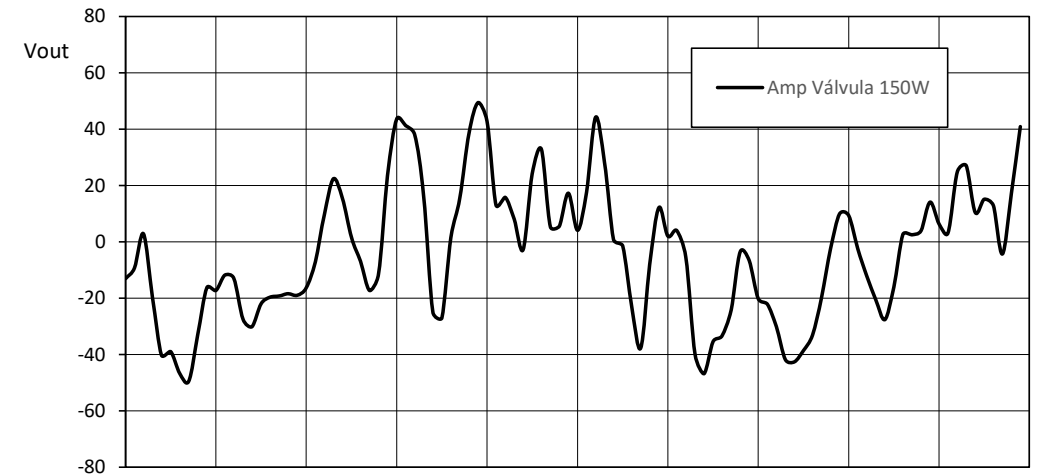
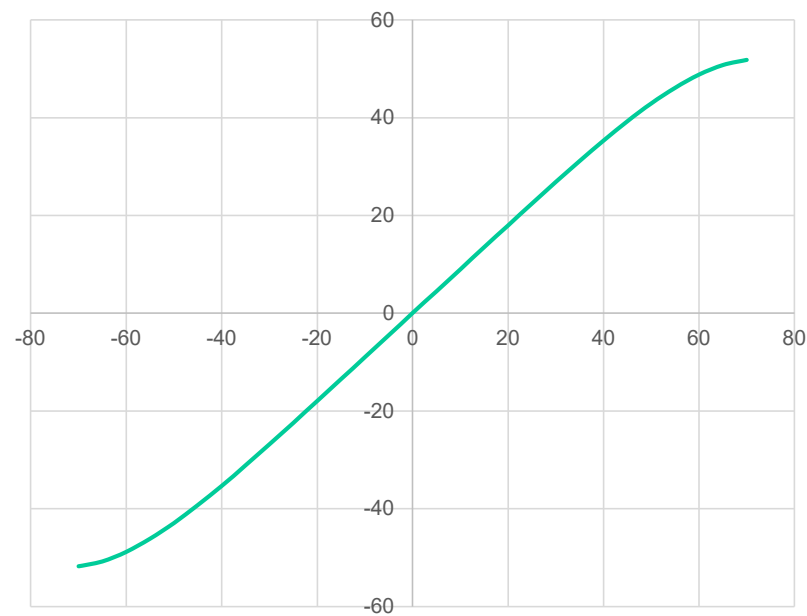
Distorção é Benéfica?



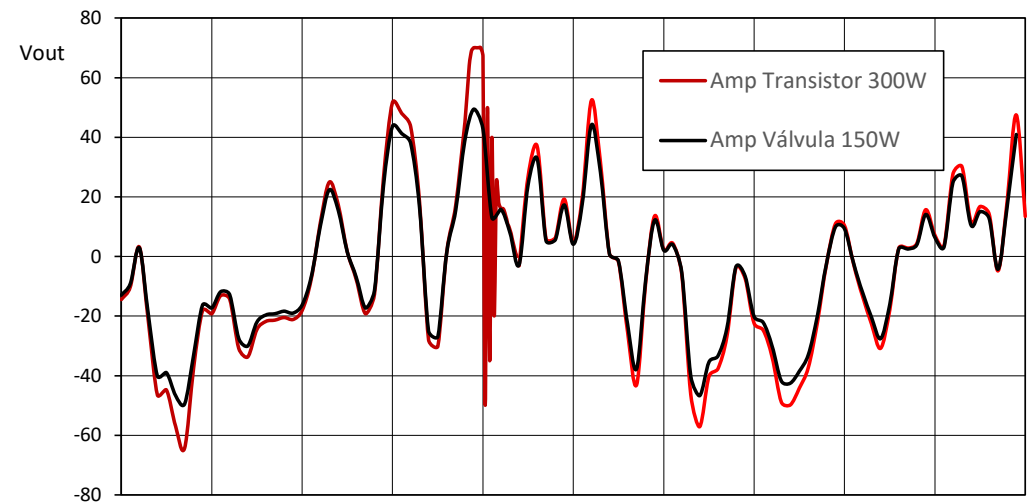
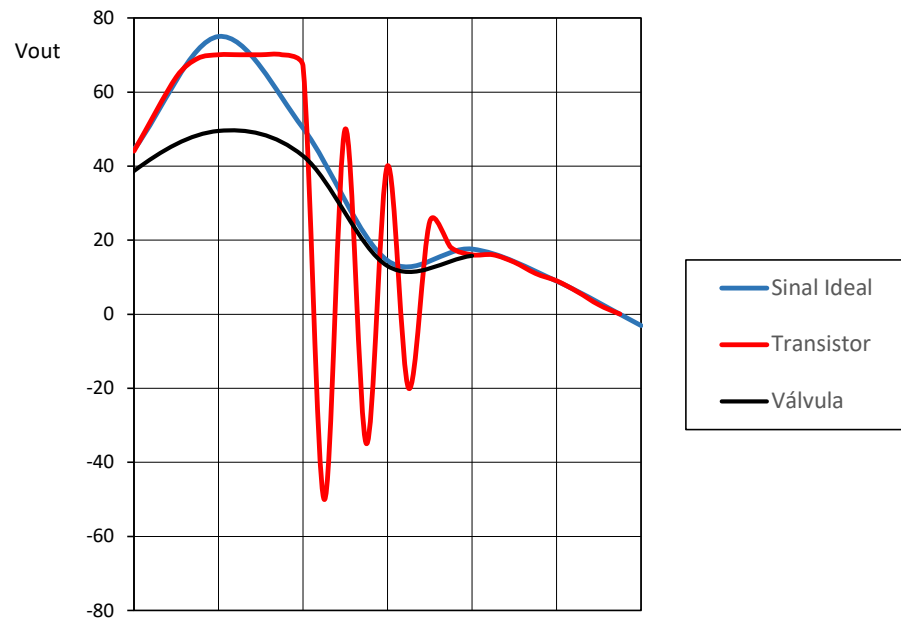
Música com 300 W de pico tem potência média de ≈ 30 W (-10 dB)

Distorção de Amplificador a Válvula sem Realimentação

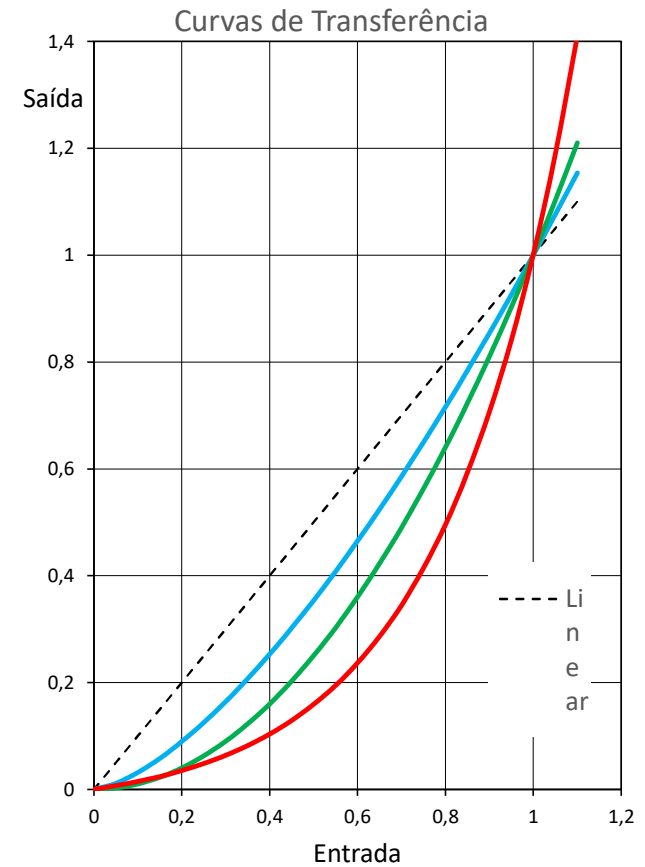
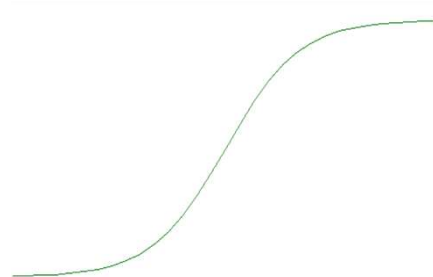
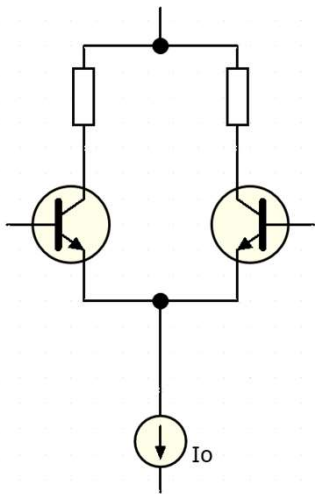
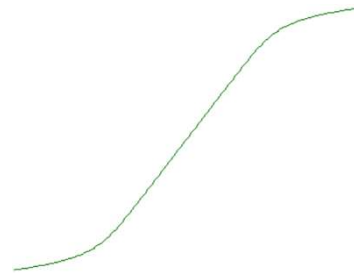
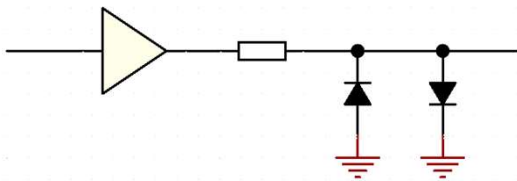
Distorção de um Amplificador Valvulado Push-pull



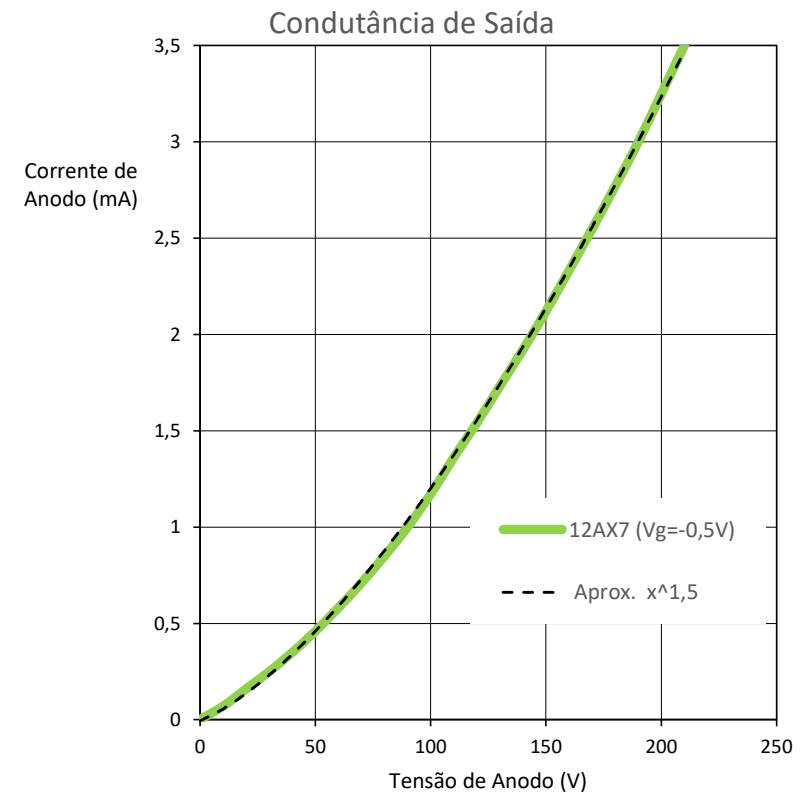
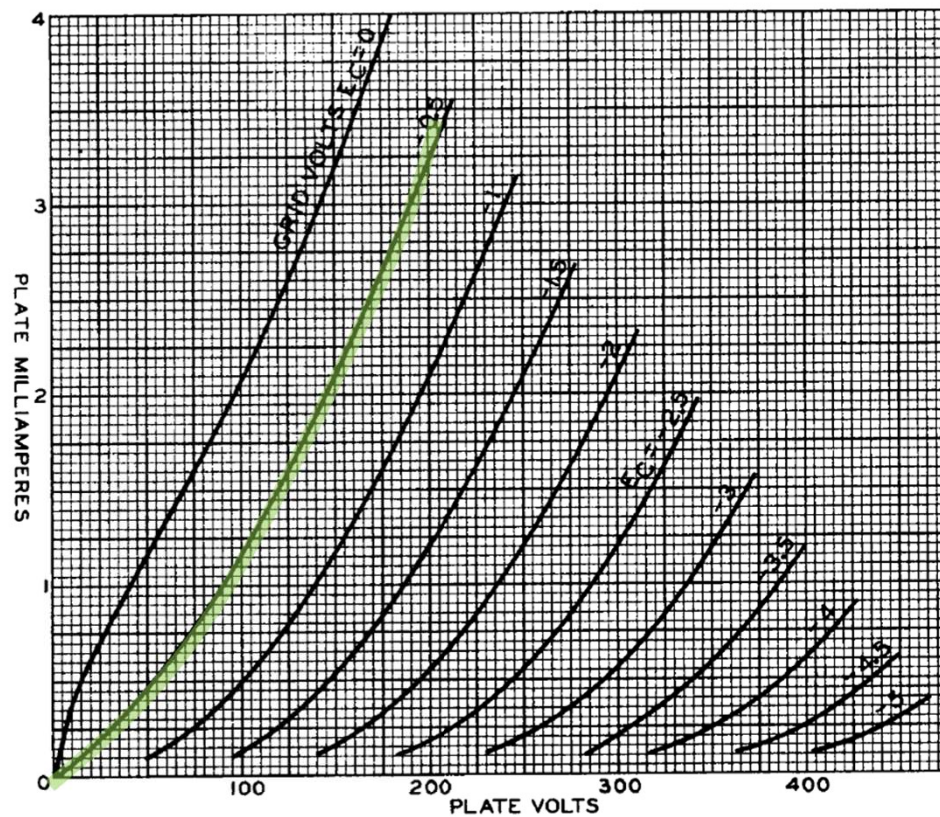
Distorção “Dura” x “Suave”



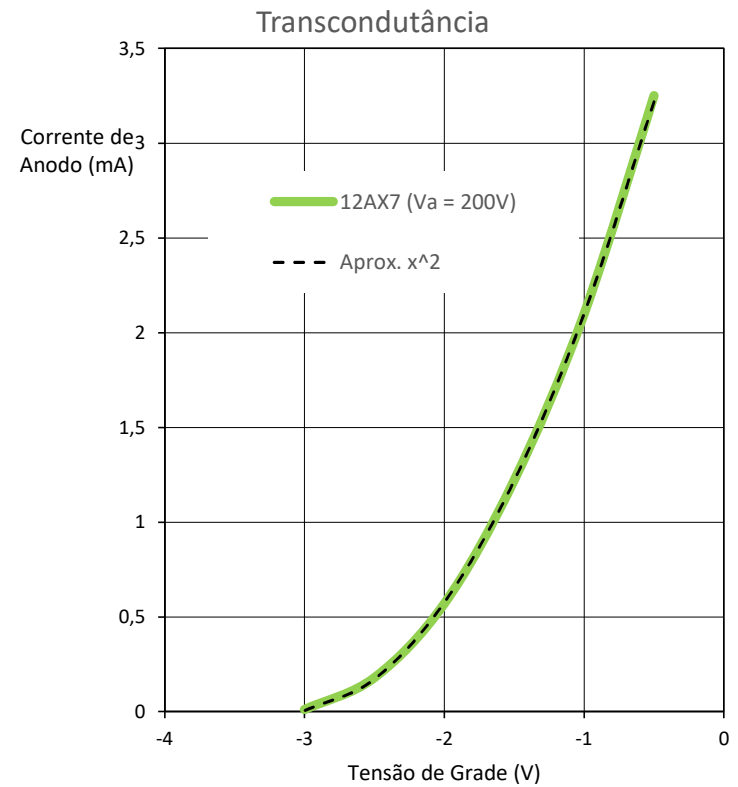
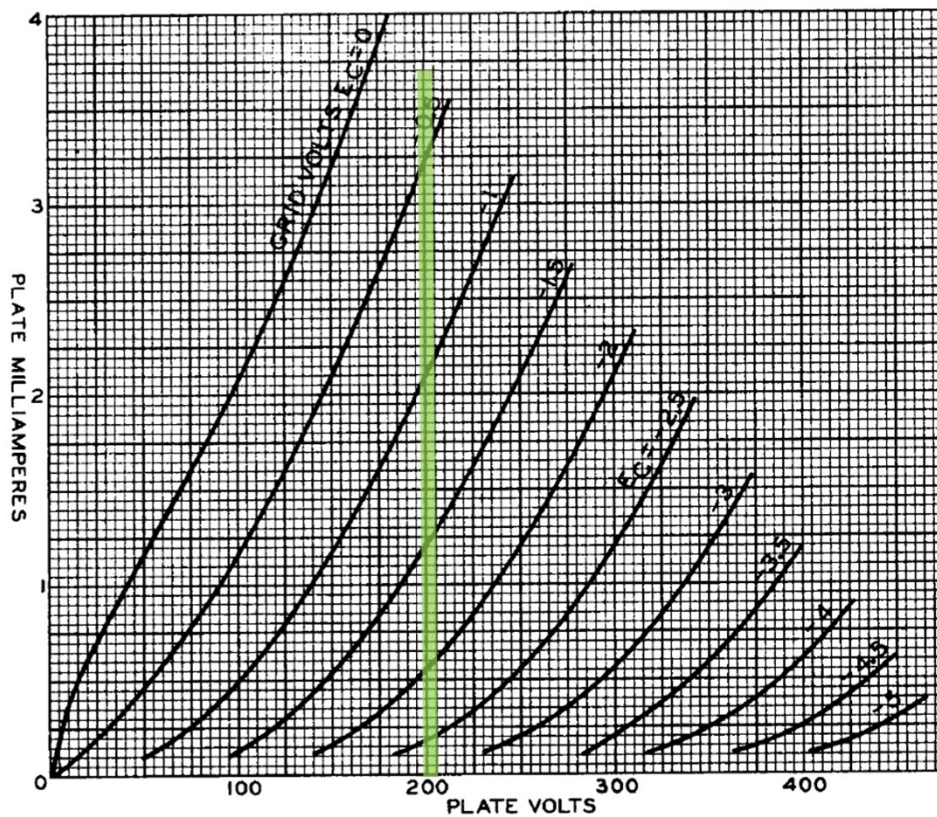
“Válvula” Artificial



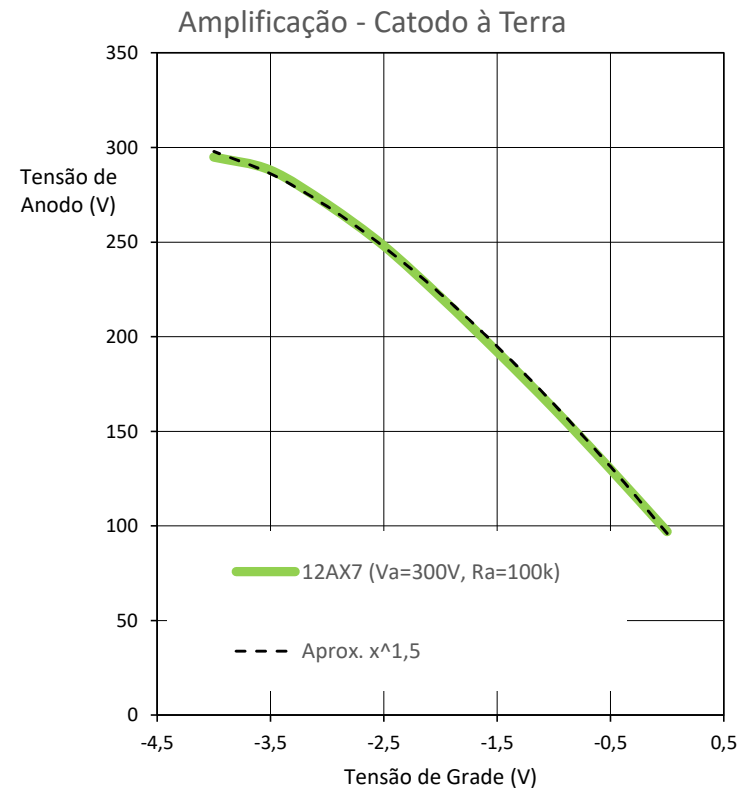
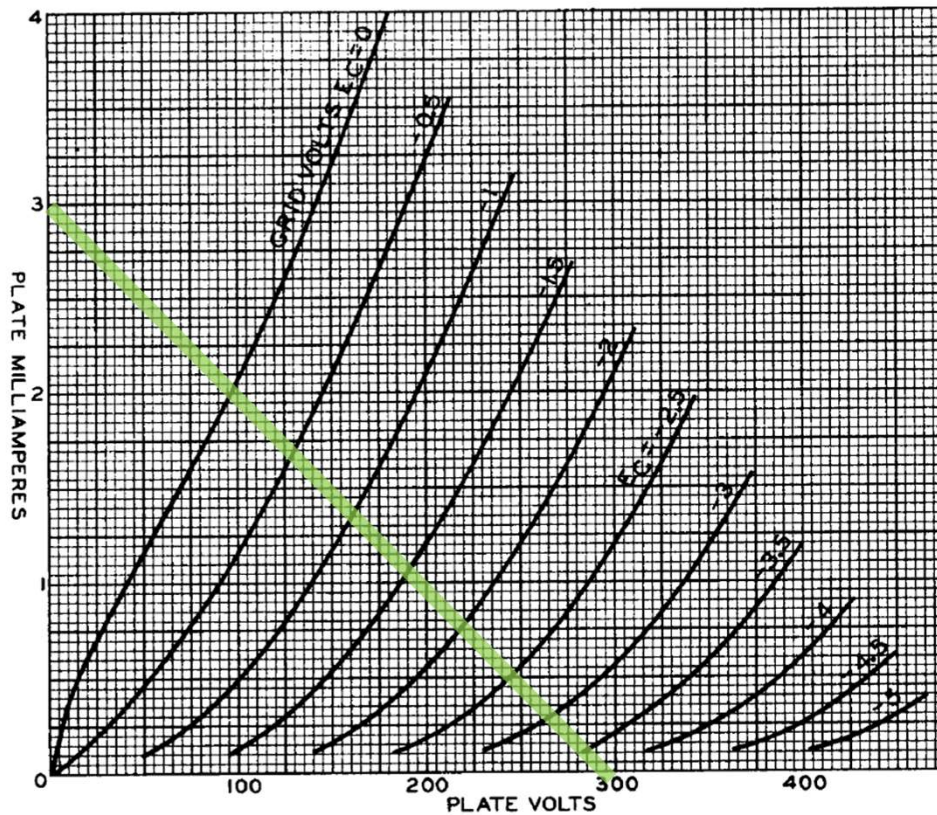
O Som da Válvula: 12AX7 / ECC83



O Som da Válvula: 12AX7 / ECC83



O Som da Válvula: 12AX7 / ECC83



- Monofônico
- Estereofônico
- Binaural
- Ambisônico

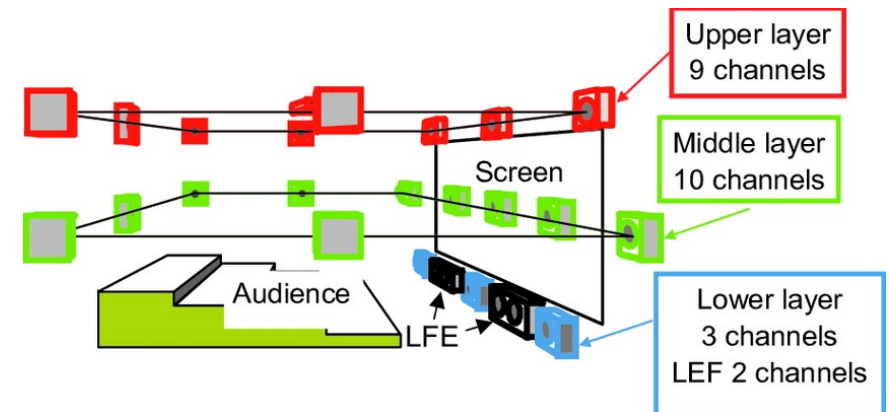
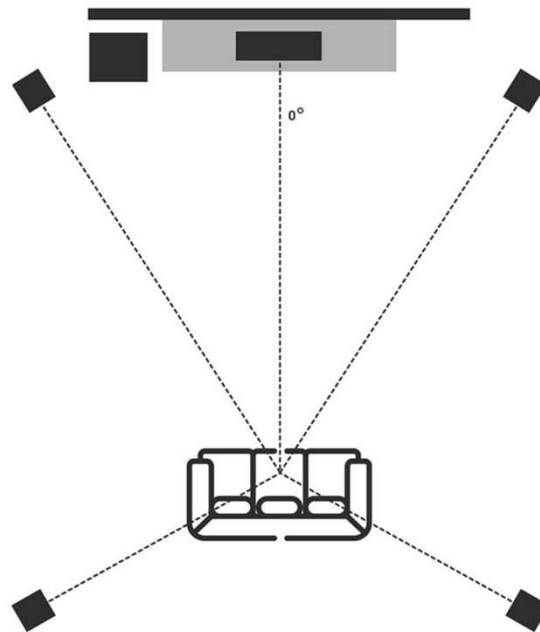
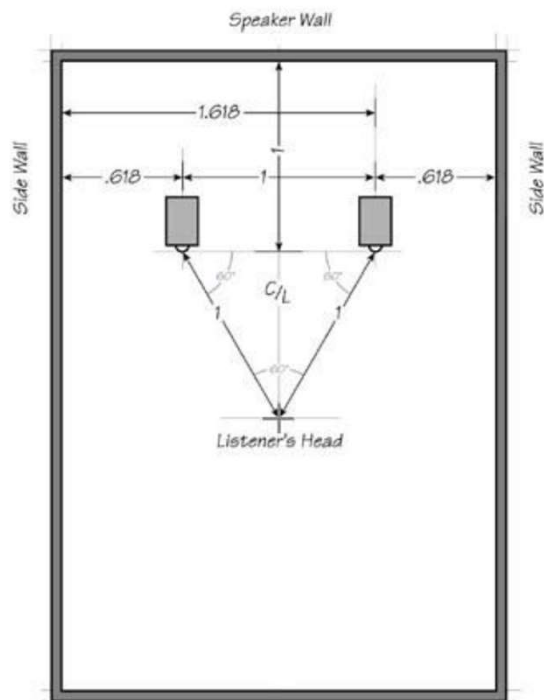
- Um sinal de áudio
- Uma fonte sonora no ambiente
- Audição geral
- Sem localização espacial



- Dois ou mais sinais de áudio:
 - Estéreo
 - Quadrafônico
 - Surround (5.1 Canais)
 - 22.2 Canais
- Duas ou mais fontes sonoras no ambiente
- Audição em uma área restrita do ambiente
- Localização espacial aproximada das fontes sonoras



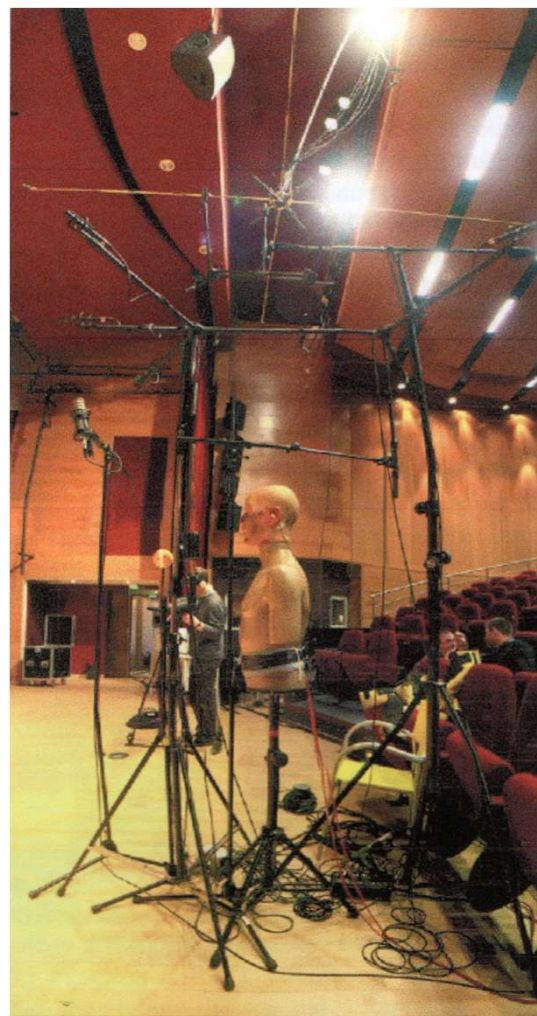
Colocação de Alto-falantes



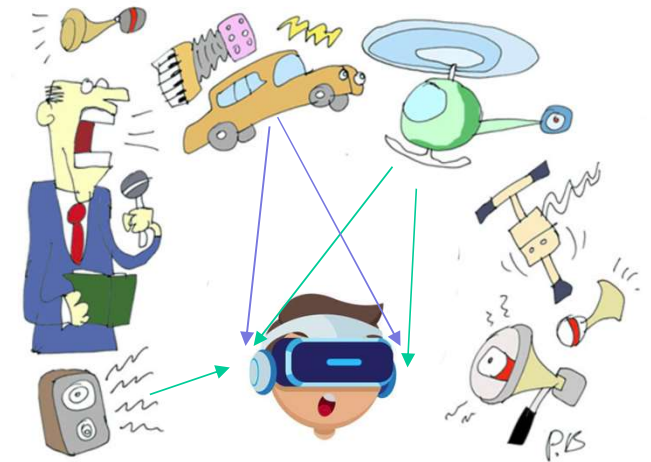
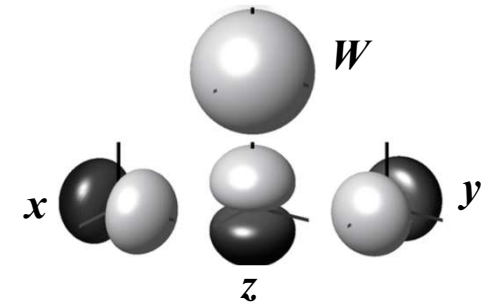
- Dois sinais de áudio
- Uso com fones de ouvido
- Audição individual
- Localização das fontes sonoras amarrada ao ouvinte
- Incompatível com estereofonia nas baixas frequências



Gravação Binaural com Cabeça Artificial

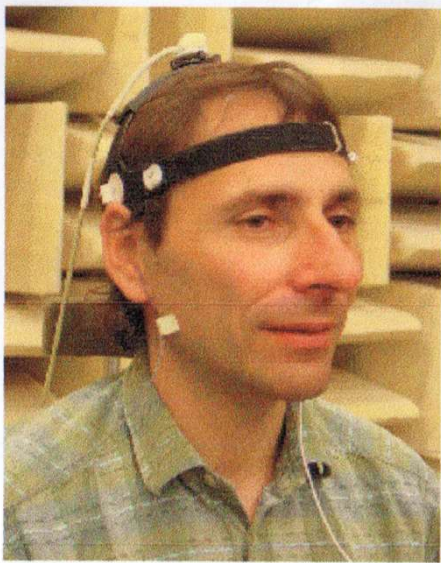


- N sinais de áudio direcionais para cada fonte sonora
- Localização e orientação espacial independente para cada fonte
- Localização e orientação do ouvinte em tempo real
- Audição individual por fones VR
- Cálculo em tempo real das funções de transferência de cada fonte sonora para cada ouvido, considerando HRTF
- Uso em realidade virtual, jogos, visualização 3D

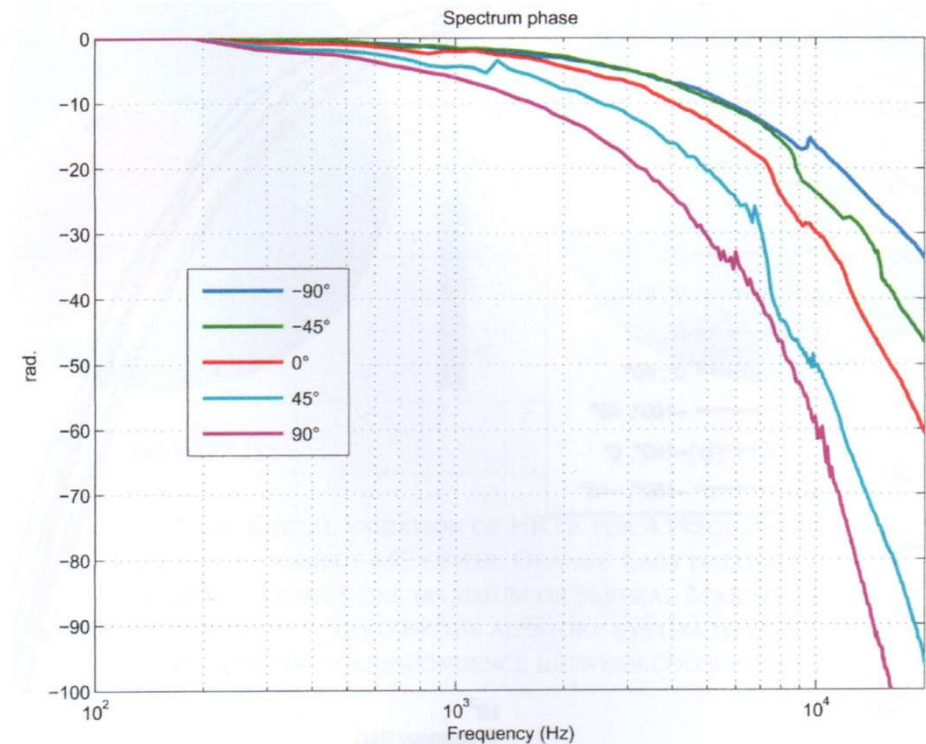
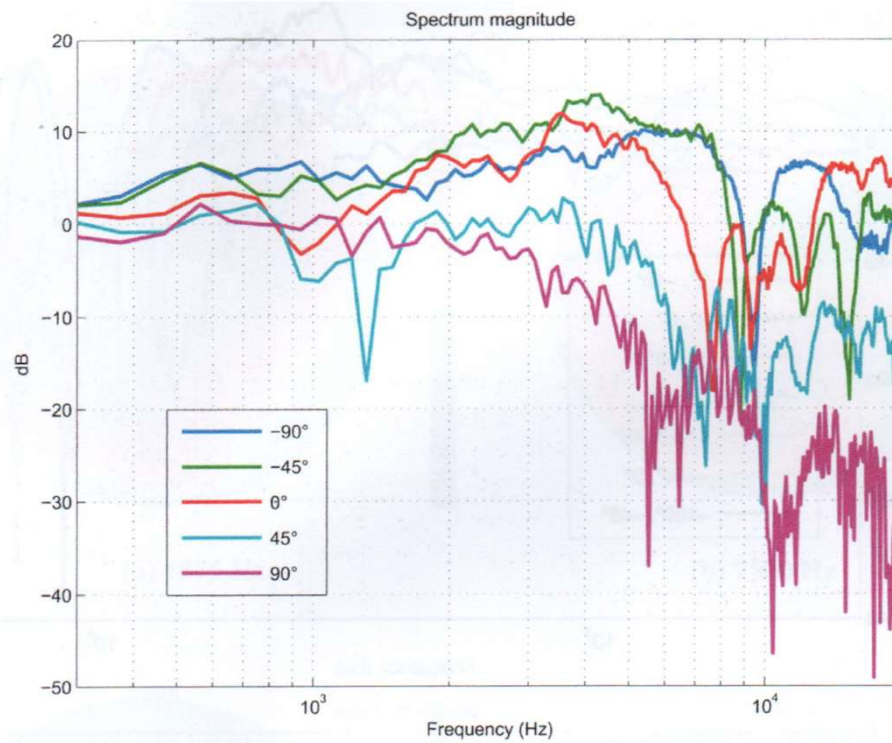


HRTF: Head Related Transfer Function

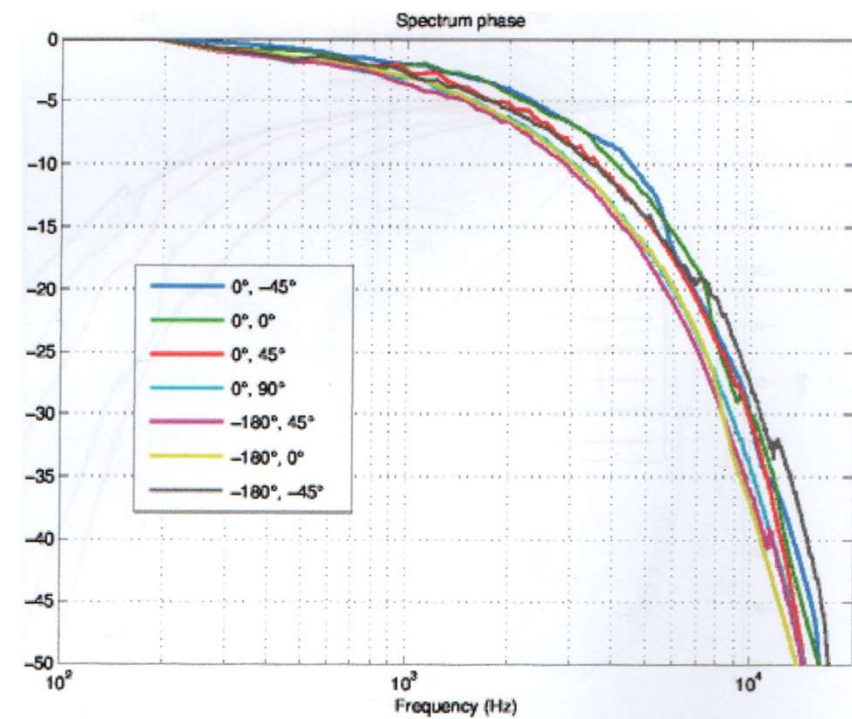
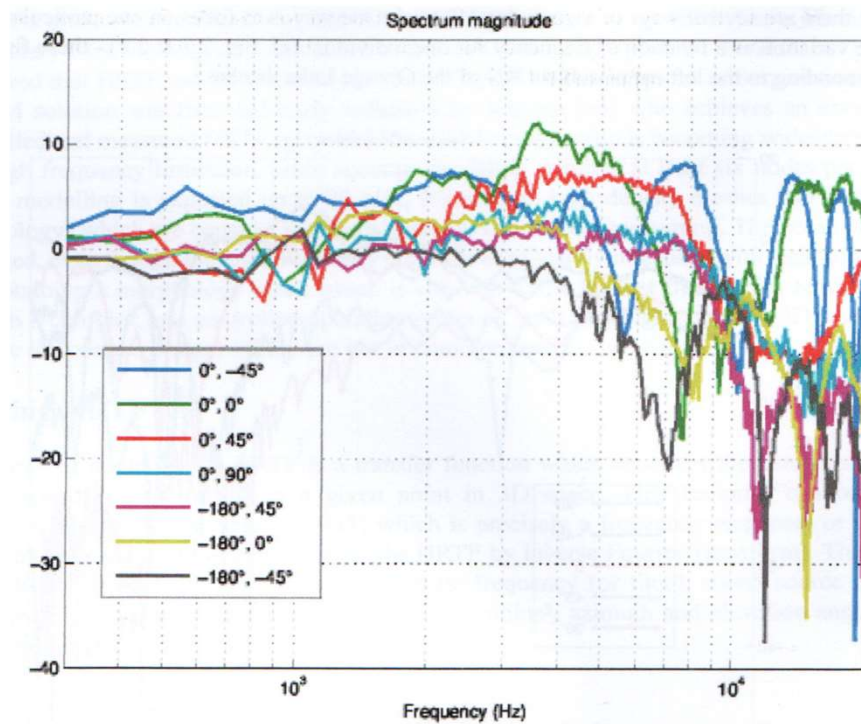
Medida da HRTF



Resposta em Frequência – Plano Horizontal



Resposta em Frequência – Plano Mediano



Problema: Falta de Padronização



M. N. Kunchur, "Cable Pathways Between
Audio Components Can Affect Perceived Sound Quality"
J. Audio Eng. Soc., vol. 69, no. 6, pp. 398–409, (2021 June).
DOI: <https://doi.org/10.17743/jaes.2021.0012>

PAPERS

Cable Pathways Between Audio Components Can Affect Perceived Sound Quality

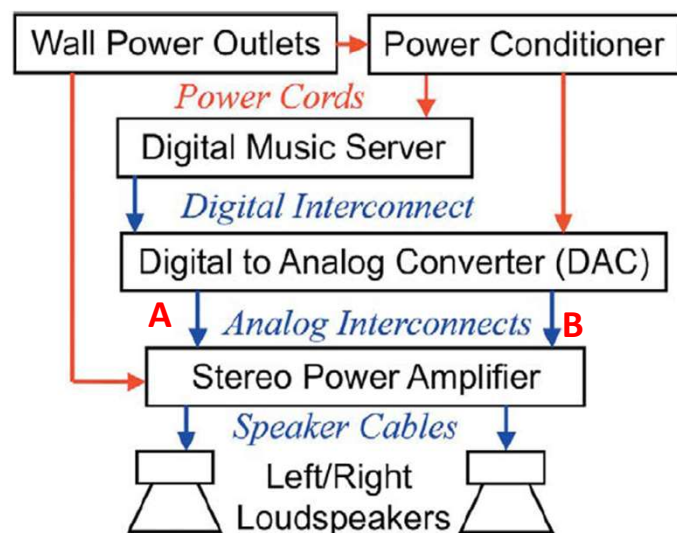


MILIND N. KUNCHUR

(kunchur@gmail.com, kunchur@sc.edu)

University of South Carolina, Columbia, SC 29208, U.S.A.

Audibilidade da Qualidade de Conexões



- A. "Virtuoso Straight-Wire", 50 cm, Balanceado, XLR, isol. Teflon, US\$ 500,00
- B. "Monster Cable Interlink 400", 2 m, desbalanceado, RCA, isol. PE, US\$ 50,00

Table 1. Results of blind listening tests. Column headings refer to: S = subject label; M = 1 for musicians; T1–T5 are trial numbers; F = fraction of correct responses; D = F-0.5; SR = signed rank for non-zero values. (F for subject P combines both sessions.)

S	M	T1	T2	T3	T4	T5	F	D	SR
A	1	1	1	1			1	0.5	14.5
B	0	1	0	1			0.67	0.17	5.5
C	0	1	0	1			0.67	0.17	5.5
D	0	1	1	1			1	0.5	14.5
E	1	1	1	0			0.67	0.17	5.5
F	1	1	0	1			0.67	0.17	5.5
G	0	1	0	1			0.67	0.17	5.5
H	0	1	0	1			0.67	0.17	5.5
I	0	1	1	1			1	0.5	14.5
J	0	0	0	1			0.33	-0.17	-5.5
K	0	0	1	1			0.67	0.17	5.5
L	0	1	0	1			0.67	0.17	5.5
M	1	0	1	1			0.67	0.17	5.5
N	0	1	0	1	1		0.75	0.25	11.5
O	0	1	1	1	1		1	0.5	14.5
P	1	1	1	0			0.75	0.25	11.5
P	1	0	1	1	1	1			
Q	1	0	1				0.5	0	
R	1	0	1				0.5	0	

Audibilidade da Qualidade de Conexões (??)

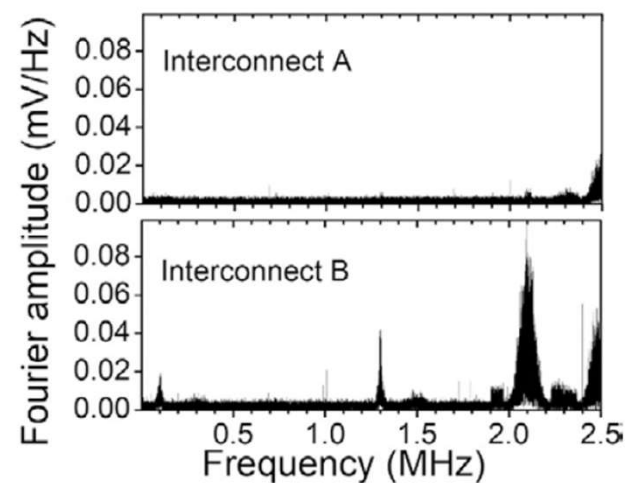
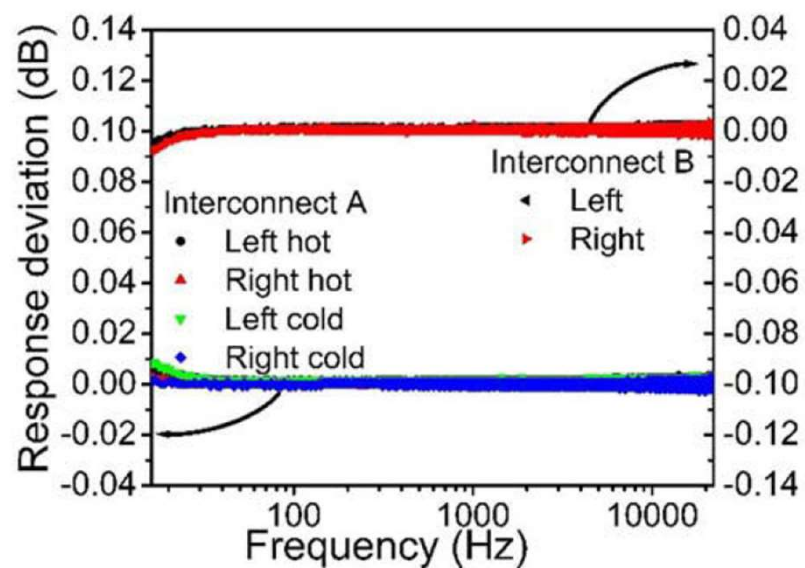


Fig. 5. Noise spectra for interconnect cables A and B. Interconnect B shows significantly more RFI pickup.

Audibilidade da Qualidade de Conexões

