

FUNDAMENTOS DE ÁUDIO

Alguns conceitos básicos a não esquecer pelos profissionais de audio

por Antonio J. de Oliveira

<http://ajoliveira.org>

Acutron Electroacústica

<http://acutron.net>

Coisas a reter em todas as manipulações de áudio

- As unidades de amplitude analógica
- A dinâmica quer nos sistemas analógicos quer digitais
- Formatos de interface analógicos e digitais
- Como interfacear sistemas diferentes

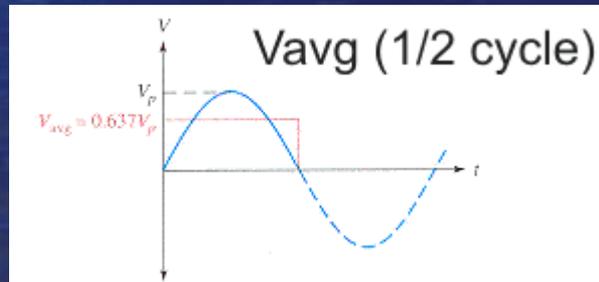
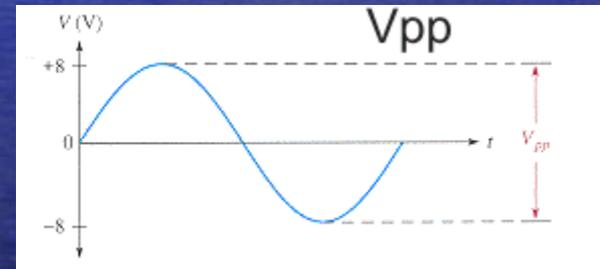
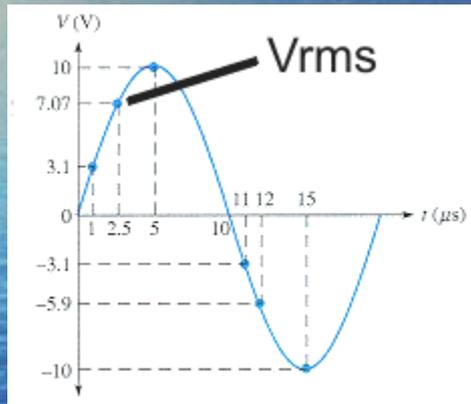
Unidades de amplitude analógica

Volts

- O Volt é a unidade mais comum para expressar a magnitude do sinal presente nas interfaces de audio.
- Muito usados são também os seus sub-múltiplos mV e uV
- V_{rms} exprime a amplitude de uma sinusóide que mediria num medidor desse tipo o mesmo que o sinal considerado
- Para uma sinusóide, é o valor que produziria o mesmo calor numa dada resistência
- V_{pp} (leia-se volts pico a pico) é definida como a máxima diferença de amplitude presente no sinal, desde o pico negativo até ao positivo
- Para uma sinusóide, a relação para o valor rms é de $V_{PP}=2*\text{raiz quadrada de } (V_{rms})$.
- Para ruído rosa ou sinal musical esta relação aumenta consideravelmente.

Unidades de amplitude analógica

V_{rms} , V_{pp} , V_{avg}



Unidades relativas de amplitude

dB, dBm

- O dB é uma unidade relativa, e sendo assim o seu uso só é possível conhecida a grandeza de referência. Não pode ser usado como unidade absoluta. Em termos de tensão ou corrente:

- $dB = 20 \cdot \log_{10}(V_{\text{measured}}/V_{\text{ref}})$

E em termos de potência

- $dB = 10 \cdot \log_{10}(P_{\text{measured}}/P_{\text{ref}})$

- Amplamente usado no tempo das válvulas foi o dBm. Por definição, 0dBm corresponde à tensão que produz 1mW sobre uma impedância conhecida, a qual costumava ser de 600Ω. Isto explica que, como $P = V^2/R$ e consequentemente $V = \sqrt{P \cdot R}$, 1mW sobre 600Ω corresponde a 0.775V, ou 775mV. Este nível de referência é ainda hoje em dia amplamente utilizado, sendo mais conhecido como dBu, pois a referência a impedâncias de 600Ω tornou-se obsoleta.

Unidades relativas de amplitude

dbu, dBV, dBr, dBFS

- dBu mede o sinal referenciado a 775mV. Assim, -6dBu é 388mV, e +6dBu será 1.55V.
- dBV mede o sinal referenciado a 1V. Assim, -6dBV é 0.5V, e +6dBV será 2V (um nível muito usado por exemplo nas saídas de leitores de discos compactos)
- 0dBV is +2.2dBu
- 0dBFS é por convenção o nível máximo de um sistema digital, em que todos os bits disponíveis foram usados.
- Quando a referência é arbitrária usamos o termo dBr $re=V_{ref}$
- Nunca esquecer que dupla tensão ou corrente corresponde a +6dB, enquanto dupla potência a +3dB

Ruído, saturação e dinâmica

Considerações aplicáveis a sistemas analógicos

- Se o nível de referência de um sistema de áudio é de 0dBu e o ruído se situar na casa dos -80dBu, a relação sinal-ruído para um sinal de 0dBu é de 80dB.
- Se o mesmo sistema conseguir processar sem saturação um nível de +22dBu, a dinâmica total será de $80+22=102$ dB. Esta representa a excursão máxima possível do sinal desde o nível de ruído até ao nível de distorção.
- Assim, se o sinal for muito fraco ouviremos o ruído, e terá de ser aumentado, mas se aumentarmos demais, sairá distorcido.
- Para evitar ambos os extremos, utiliza-se vulgarmente compressão e/ou limitação. Como este processo pode exibir efeitos indesejados, como a “bombagem”, deve ser usado com cuidado.

Ruído, saturação e dinâmica

Considerações aplicáveis a sistemas digitais

- Enquanto a saturação num sistema análogo pode ser tolerada até certo ponto, num sistema digital não é de modo algum aceitável, devido ao carácter agressivo dos seus sintomas (por exemplo a inversão de bits).
- O ruído num sistema digital incorpora por vezes componentes não gaussianos, tais como tons embebidos como nos primeiros conversores sigma-delta.
- As duas considerações anteriores ditam que temos de evitar em absoluto os dois extremos.
- O processamento, particularmente o efectuado por processadores baratos de vírgula fixa pode deteriorar a resolução do sinal de audio através do escalamento de coeficientes, degradando o nível de ruído e introduzindo artefactos tais como heterodinagem (*aliasing, imaging*) e pré-ecos.

Ruído, saturação e dinâmica

Digital ou analógico?

- Um sistema com um patamar de ruído de -98dBu e um ponto de saturação de +22dBu é não só muito bom em termos analógicos (dinâmica de 120dB) como relativamente fácil de obter utilizando tecnologia contemporânea.
- A dinâmica de um sistema digital, tirando for a um bit de incerteza, é de $20 \cdot \log(2^{\text{numero_de_bits}-1})$.
- Para igualar as prestações do sistema analógico anteriormente mencionado, necessitamos pelo menos de um sistema de 24 bits.
- O chamado *dither*, que de facto é ruído intencionalmente adicionado para dispersar estatisticamente os componentes do espectro de ruído existente, pode ser usado para melhorar o comportamento a níveis de sinal baixos.

Ruído, saturação e dinâmica

A dinâmica dos sistemas digitais

Como cada bit se relaciona com o próximo por uma potência de 2, cada vez que retiramos um bit estamos a perder 6dB, quer seja na zona de ruído quer na de saturação.

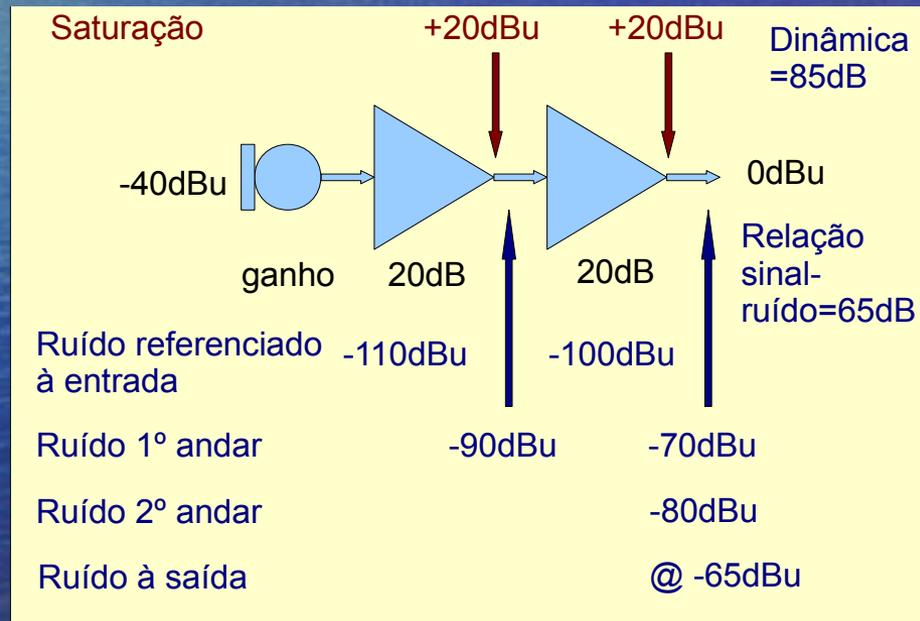
| Número bit | Dinâmica (dB) |
|------------|---------------|
| 16 | 91 |
| 18 | 103 |
| 20 | 115 |
| 24 | 139 |

Níveis de sinal comuns nos sistemas de áudio

- Normalmente, pode dizer-se que os níveis de linha oscilam entre -20dBu e +20dBu, +4dBu sendo talvez o mais comum.
- Os níveis de microfone situam-se tipicamente entre -60dBu e -20dBu
- De notar que o nível de referência de um sistema digital nunca é 0dBFS, de modo a evitar que o sinal atinja a máxima excursão e sature, exibindo forte distorção.
- Se escolhermos ter uma margem de saturação de 18dB, pondo o nível de referência de um sistema digital a -18dBFS far-nos-á perder 3 bits. Tendo em conta que tipicamente perdemos 1 do lado do ruído, há que descontar 4 bits no total em relação à resolução anunciada.
- Se dispõe de um sistema digital de resolução limitada, há que comprimir e aumentar o nível para fugir do ruído, utilizando um bom processador analógico/digital com uma resolução (leia-se dinâmica) claramente superior à do suporte final.

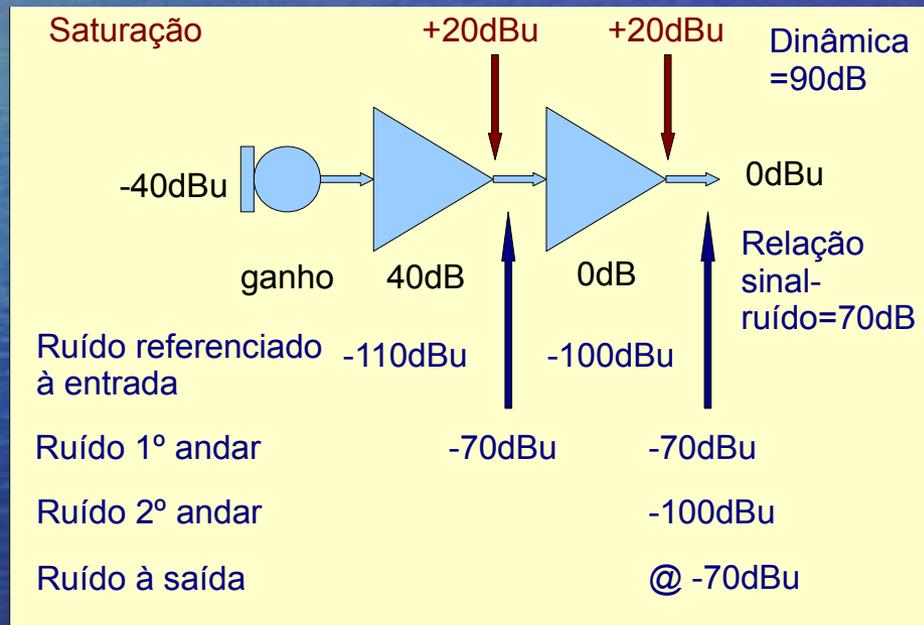
Um exemplo prático

Um pré-amplificador seguido por um andar de saída, com o ganho distribuído entre andares, uma má prática...



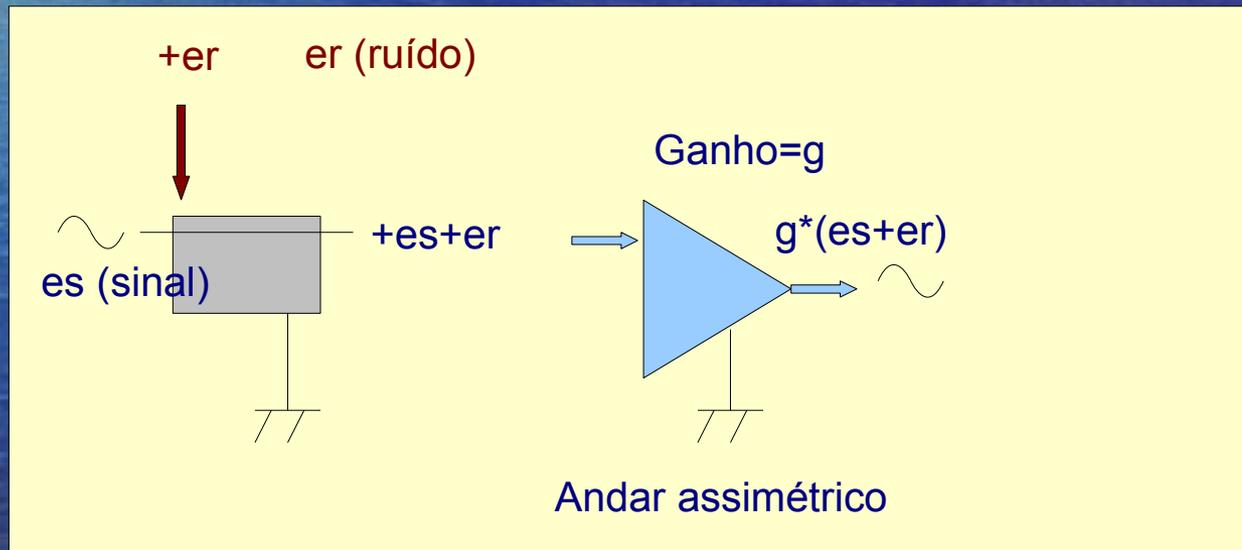
Um exemplo prático

Um pré-amplificador de microfone seguido por um andar de saída, em que o ganho se encontra concentrado no andar preparado para o mais baixo ruído à entrada, uma boa prática...



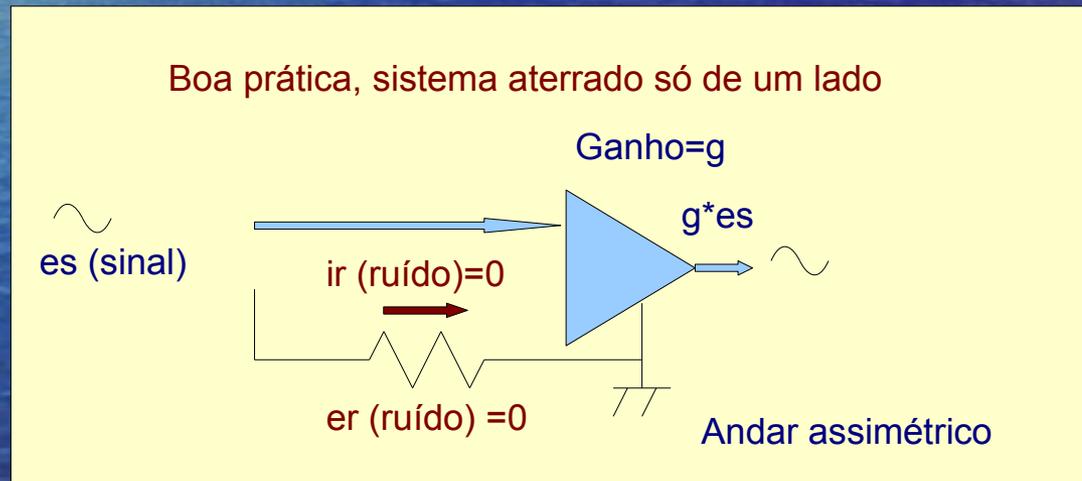
Interfaces analógicas assimétricas

- As interfaces analógicas assimétricas utilizam apenas um cabo de sinal e a malha.
- Se algum ruído for apanhado pelo cabo de sinal, aparecerá na saída, amplificado pelo ganho do circuito.



Interfaces analógicas assimétricas

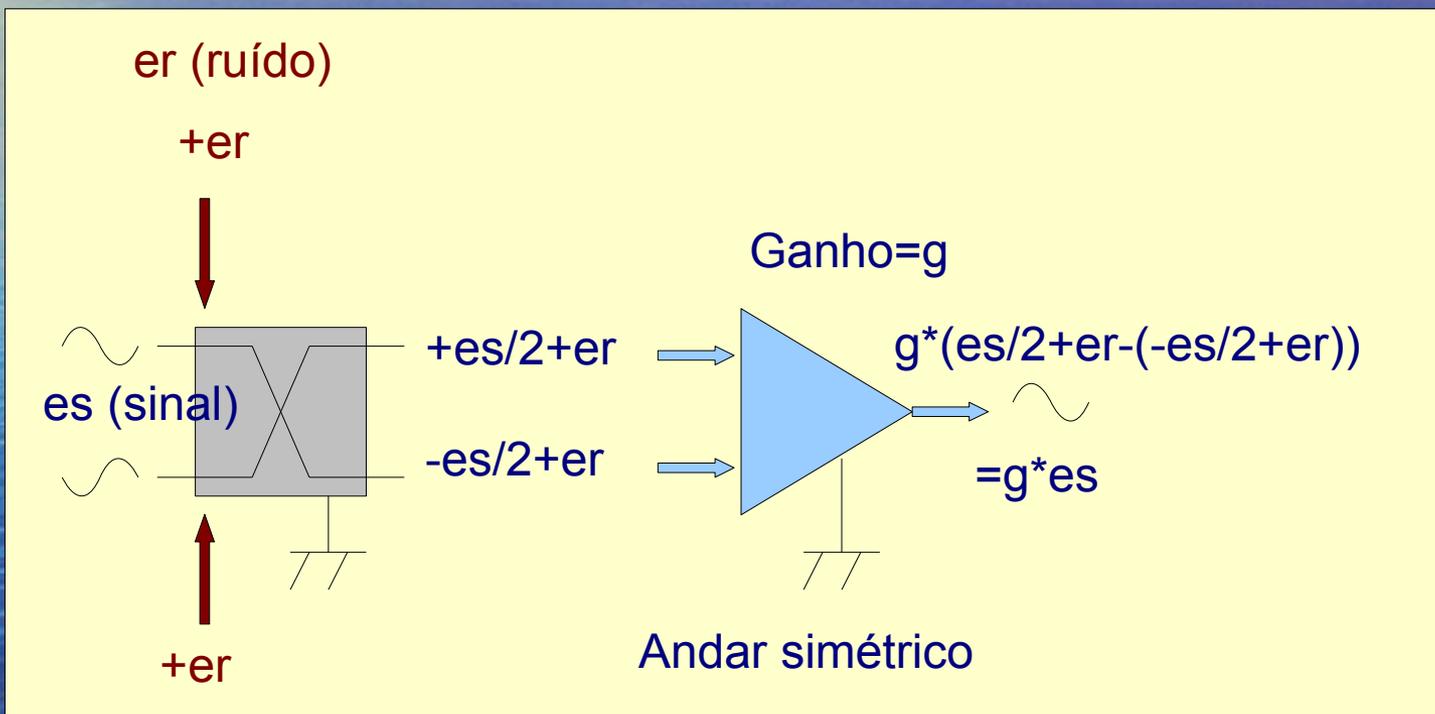
- Se um sistema for aterrado só de um dos lados, parte dos problemas de terra são evitados
- Num sistema composto de vários andares, só um deles deve ser aterrado.



Interfaces analógicas simétricas

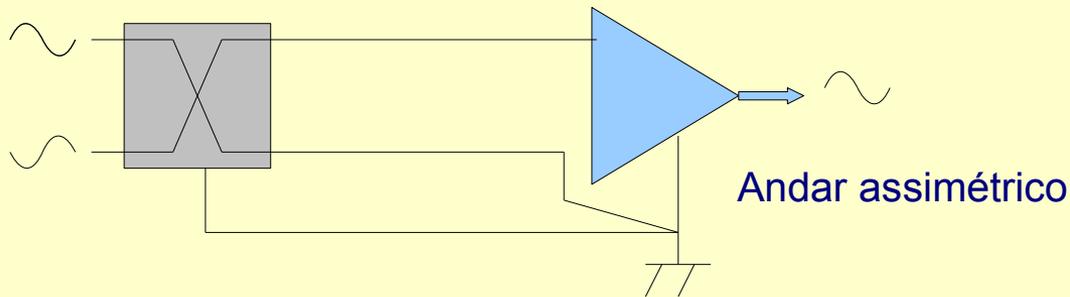
- As interfaces analógicas simétricas utilizam um par de fios cada transportando sinais teoricamente idênticos e em oposição de fase.
- Se o ruído e interferência afectar igualmente os dois fios do par, será teoricamente anulado.
- Essa supressão não é perfeita, os sinais chamados de modo comum são sempre amplificados, porque nem cabos nem amplificadores diferenciais são perfeitos. A relação entre o sinal diferencial (útil) e o de modo-comum (ruído) chama-se rejeição de modo comum (CMRR) e quanto maior melhor.
- A CMRR tende a variar com a frequência, degradando-se nos extremos. Para evitar problemas de terra, é importante assegurar que a baixas frequências a CMRR é alta (>60dB)

A interface simétrica

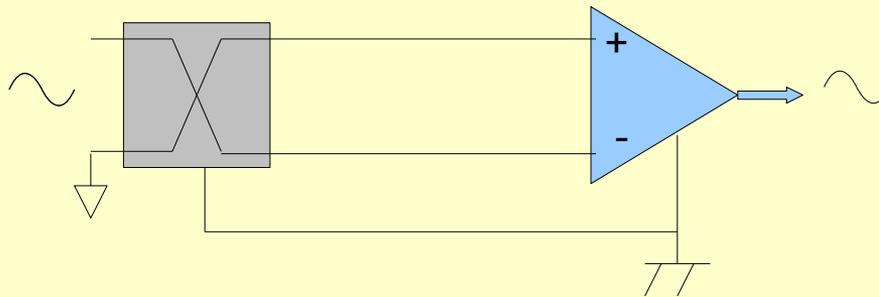


Converter simétrico/assimétrico e o inverso

Como ligar um sinal simétrico a uma entrada assimétrica



Como ligar um sinal assimétrico a uma entrada simétrica

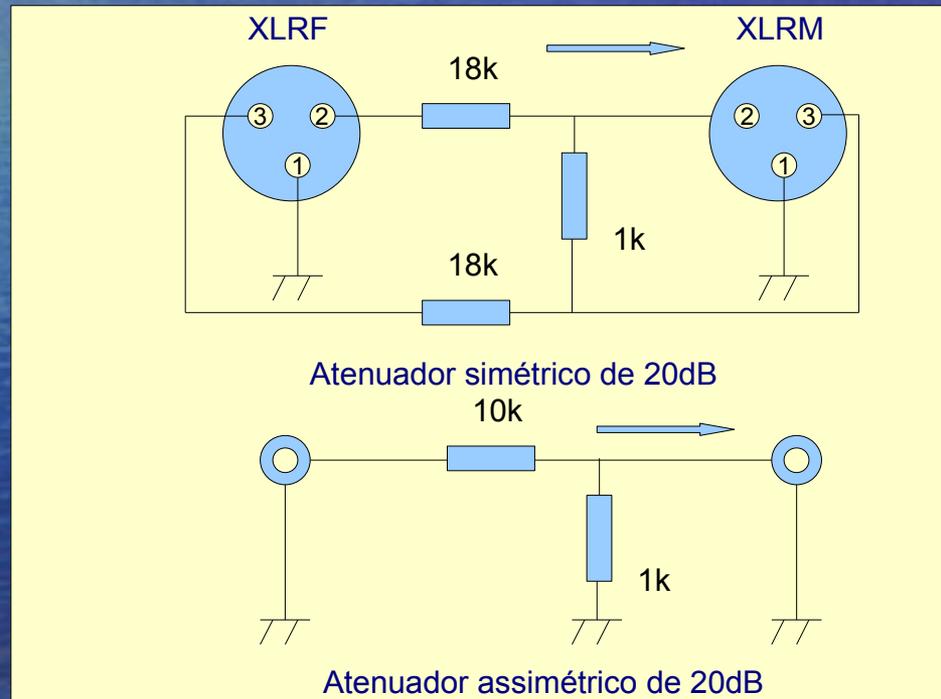


Um problema complicado (ou não?)

- Suponham dispor de um amplificador ao qual pretendem ligar um sinal de -20dBu. O amplificador tem duas entradas comutáveis:
- Entrada de microfone (-50dBu, satura a -30dBu)
- Entrada de linha (-10dBu, satura at +20dBu)
- A impedância de entrada do amplificador é de 100k Ω
- Se aplicar o sinal à enrada de microfone, satura, e a única coisa que sai mesmo com o volume baixo é distorção. Em contrapartida, se o sinal for aplicado à entrada de linha, nunca se conseguirá extrair o máximo volume do amplificador...

A resposta, um atenuador de 20dB

- Um atenuador de 20dB reduzirá o sinal para -40dBu, o qual está dentro dos limites permissíveis da entrada de microfone, e 10dB estarão ainda disponíveis até à saturação.



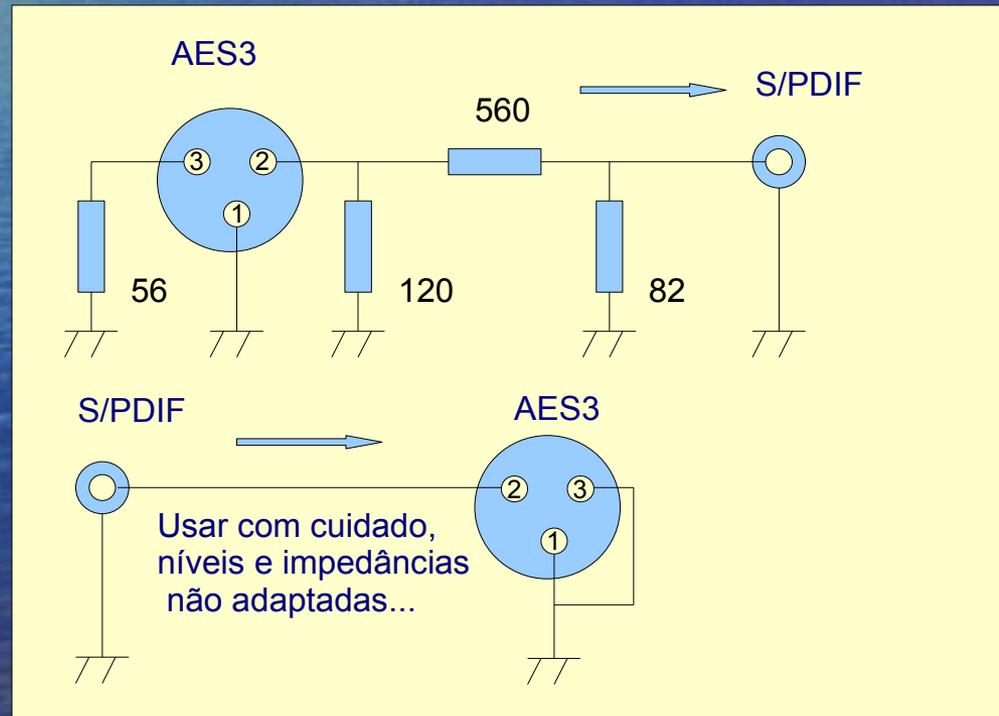
Formatos de interface digital

- As interfaces digitais mais comuns são as AES3 e S/PDIF.
- A interface AES3 é electricamente uma interface simétrica enquanto a S/PDIF é uma interface assimétrica. Todas as considerações anteriores respeitantes às interfaces analógicas aplicam-se às digitais. O ruído pode deteriorar a transmissão dos sinais digitais e causar flutuações (*jitter*).
- Os sinais S/PDIF podem ser directamente ligados a uma interface AES3, o contrário já necessita de um atenuador.

| | AES3 | S/PDIF |
|----------------|-----------|-------------|
| Configuração | Simétrica | Assimétrica |
| Ficha | XLR-3 | RCA |
| Impedância | 110Ω | 75Ω |
| Nível saída | 2-7 Vp-p | 0.5 Vp-p |
| Nível máx. | 7 Vp-p | 0.6 Vp-p |
| Corrente máx. | 64 mA | 8 mA |
| Entrada min. | 0.2 V | 0.2 V |
| Cabo | STP | Coaxial |
| Distância máx. | 100 m | 10 m |

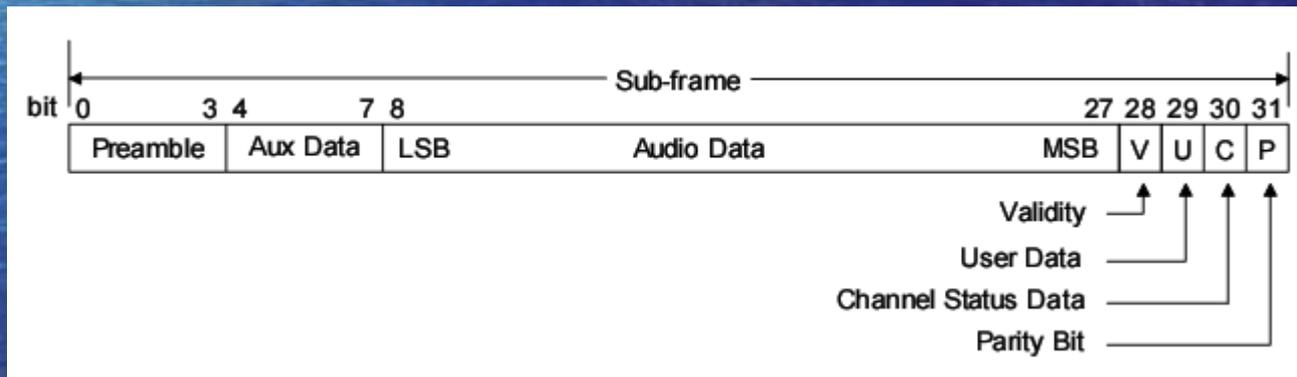
Conversão de formatos digitais

- Um adaptador por transformador é sempre a melhor escolha. Mas se nenhum estiver disponível...



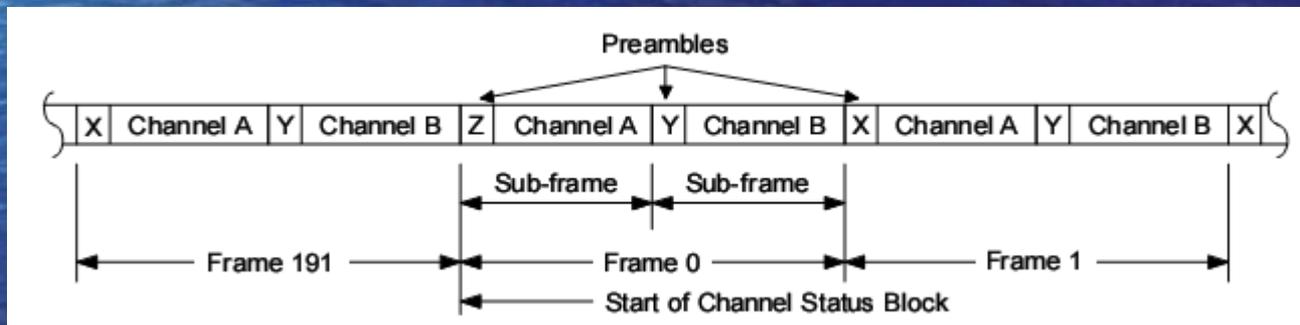
O que está dentro das tramas AES3

- Os dados são transmitidos em formato bi-fase, de modo a poder passar através de transformadores de isolamento.
- É transmitido um preâmbulo unívoco de modo a identificar o início de cada trama
- São então transmitidos 4 bits de dados auxiliares, 20 de audio e alguns bits de estado

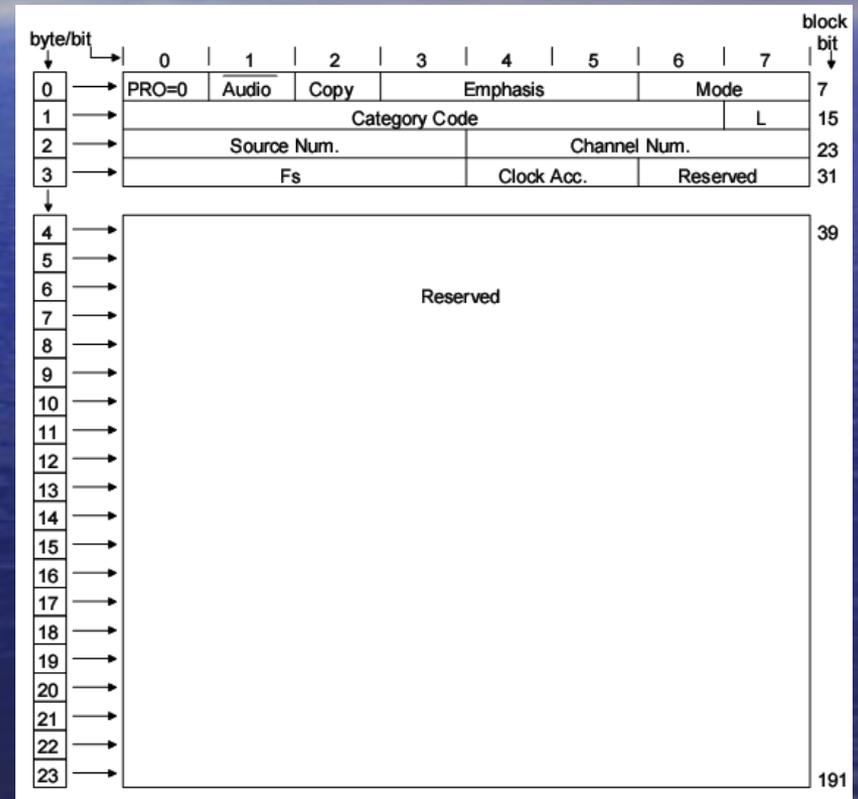
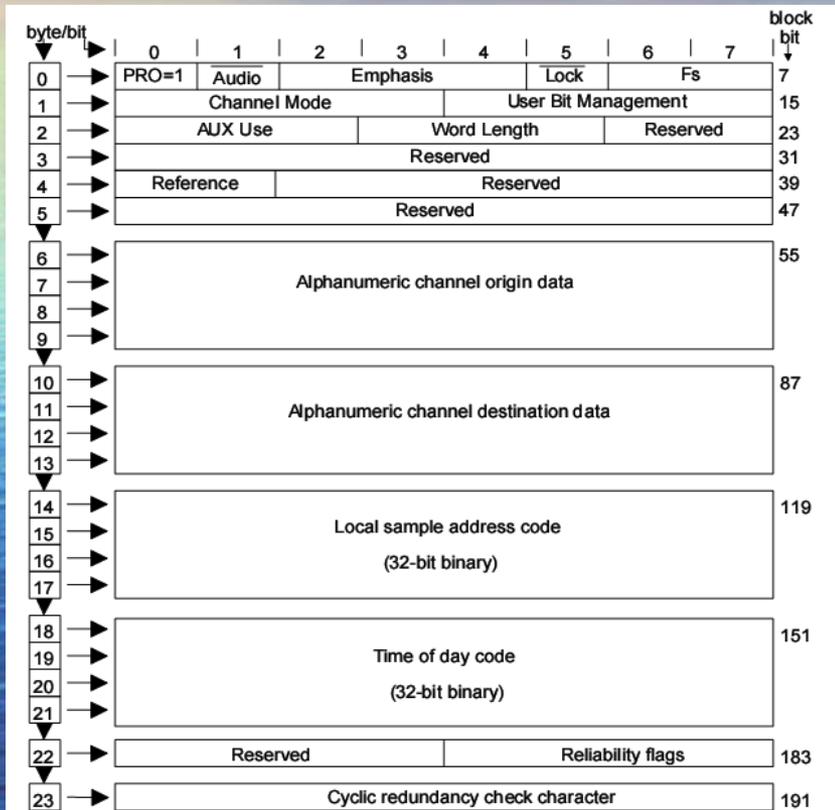


O que está dentro das tramas AES3

- As tramas direita e esquerda são transmitidas sequencialmente.
- São usados preâmbulos diferentes de modo ao receptor as distinguir.
- Os dados auxiliares, transmitidos 4 bits de cada vez, são agrupados cada 192 tramas para formar o bloco.



Blocos profissional e de consumo



O que contém o bloco profissional

| BYTE 0 | |
|-------------------|--|
| bit 0 | PRO = 0 (consumer) |
| 0 | Consumer use of channel status block |
| 1 | Professional use of channel status block |
| bit 1 | Audio |
| 0 | Digital Audio |
| 1 | Non-Audio |
| bits 2 | Copy / Copyright |
| 0 | Copy inhibited / copyright asserted |
| 1 | Copy permitted / copyright not asserted |
| bits 3 4 5 | Pre-emphasis - if bit 1 is 0 (dig. audio) |
| 0 0 0 | None - 2 channel audio |
| 1 0 0 | 50/15 µs - 2 channel audio |
| 0 1 0 | Reserved - 2 channel audio |
| 1 1 0 | Reserved - 2 channel audio |
| X X 1 | Reserved - 4 channel audio |
| bits 3 4 5 | If bit 1 is 1 (non-audio) |
| 0 0 0 | Digital data |
| X X X | All other states of bits 3-5 are reserved |
| bits 6 6 | Mode |
| 0 0 | Mode 0 (defines bytes 1-3) |
| X X | All other states of bits 6-7 are reserved |

| BYTE 1 - Category Code 001 | |
|----------------------------|---|
| bits 3 4 5 6 | Broadcast reception of digital audio |
| * 0 0 0 0 | Japan |
| * 0 0 1 1 | United States |
| * 1 0 0 0 | Europe |
| * 0 0 0 1 | Electronic software delivery |
| X X X X | All other states are reserved |

| BYTE 1 - Category Code 100 | |
|----------------------------|---|
| bits 3 4 5 6 | Laser Optical |
| 0 0 0 0 | CD - compatible with IEC-908 |
| * 1 0 0 0 | CD - not comp. with IEC-908 (magneto-optical) |
| X X X X | All other states are reserved |

| BYTE 1 | |
|---------------------------|---|
| bits 0 1 2 3 4 5 6 | Category Code |
| 0 0 0 0 | General |
| * 0 0 1 0 | Experimental |
| X X X X | Reserved |
| * 0 0 0 1 | X X X Solid state memory |
| * 0 0 1 X | X X X Broadcast recep. of digital audio |
| * 0 1 0 X | X X X Digital/digital converters |
| * 0 1 1 0 | 0 X X A/D converters w/o copyright |
| X X X | A/D converters w/ copyright (using Copy and L bits) |
| * 0 1 1 1 | X X X Broadcast recep. of digital audio |
| 1 0 0 X | X X X Laser-optical |
| * 1 0 1 X | X X X Musical Instruments, mics, etc. |
| 1 1 0 X | X X X Magnetic tape or disk |
| 1 1 1 X | X X X Reserved |
| bit 7 | L: Generation Status. |
| | Only category codes 001XXXX, 0111XXX, 100XXXX |
| * 0 | Original/Commercially pre-recorded data |
| * 1 | No indication or 1st generation or higher |
| | All other category codes |
| * 0 | No indication or 1st generation or higher |
| * 1 | Original/Commercially pre-recorded data |

The subgroups under the category code groups listed above are described in tables below. Those not listed are reserved.

The Copy and L bits form a copy protection scheme for original works. Further explanations can be found in the proposed amendment (TC84) to IEC-958.

| BYTE 1 - Category Code 010 | |
|----------------------------|--|
| bits 3 4 5 6 | Digital/digital conv. & signal processing |
| 0 0 0 0 | PCM encoder/decoder |
| * 0 0 1 0 | Digital sound sampler |
| * 0 1 0 0 | Digital signal mixer |
| * 1 1 0 0 | Sample-rate converter |
| X X X X | All other states are reserved |

| BYTE 2 | |
|-------------------|---|
| bits 0 1 2 | AUX: Use of auxiliary sample bits |
| 0 0 0 | Not defined. Maximum audio word length is 20 bits |
| 0 0 1 | Used for main audio. Maximum audio word length is 24 bits |
| 0 1 0 | Single coordination signal. Max. audio word length is 20 bits |
| 0 1 1 | User defined application |
| X X X | All other states of bits 4-7 are reserved. |
| bits 3 4 5 | Source word length |
| | Max. audio based on bits 0-2 above |
| 0 0 0 | Max audio 24 bits Max audio 20 bits |
| | Not indicated Not indicated (default) |
| 0 0 1 | 23 bits 19 bits |
| 0 1 0 | 22 bits 18 bits |
| 0 1 1 | 20 bits 16 bits |
| 1 0 1 | 24 bits 20 bits |
| X X X | All other states of bits 3-5 are reserved |
| bits 6 7 | |
| X X | Reserved |

| BYTE 3 | |
|-----------------|-----------------------------|
| bits 0-7 | Vectored target byte |
| XXXXXX | Reserved |

| BYTE 4 | |
|-----------------|--|
| bits 0 1 | Digital audio reference signal per AES11-1990 |
| 0 0 | Not reference signal (default) |
| 0 1 | Grade 1 reference signal |
| 1 0 | Grade 2 reference signal |
| 1 1 | Reserved |
| bits 2 7 | |
| XXXXXX | Reserved |

| BYTE 5 | |
|-----------------|----------|
| bits 0-7 | |
| XXXXXX | Reserved |

| BYTE 6-9 | |
|--|--|
| Alphanumeric channel origin data | |
| 7-bit ISO 646 (ASCII) data with odd parity bit. First character in message is byte 6. LSB's are transmitted first. | |

| BYTE 10-13 | |
|---|--|
| Alphanumeric channel destination data | |
| 7-bit ISO 646 (ASCII) data with odd parity bit. First character in message is byte 10. LSB's are transmitted first. | |

| BYTE 14-17 | |
|--|--|
| Local sample address code (32-bit binary) | |
| Value is of first sample of current block. LSBs are transmitted first. | |

| BYTE 18-21 | |
|--|--|
| Time-of-day sample address code (32-bit binary) | |
| Value is of first sample of current block. LSBs are transmitted first. | |

| BYTE 22 | |
|---------------------|--------------------------------------|
| bits 0 1 2 3 | |
| X X X X | Reserved |
| bit 4 | Channel status bytes 0 to 5 |
| 0 | Reliable |
| 1 | Unreliable |
| bit 5 | Channel status bytes 6 to 13 |
| 0 | Reliable |
| 1 | Unreliable |
| bit 6 | Channel status bytes 14-17 |
| 0 | Reliable |
| 1 | Unreliable |
| bit 7 | Channel status bytes 18 to 21 |
| 0 | Reliable |
| 1 | Unreliable |

| BYTE 23 | |
|---|--|
| CRC: Cyclic redundancy check character | |
| CRC for channel status data block that uses bytes 0 to 22 inclusive. Generating polynomial is | |
| $G(x) = X^8 + X^4 + X^3 + X^2 + 1$ | |
| with an initial state of all ones | |

O que contém o bloco de consumo

| BYTE 0 | |
|-------------------|--|
| bit 0 | PRO = 0 (consumer) |
| 0 | Consumer use of channel status block |
| 1 | Professional use of channel status block |
| bit 1 | Audio |
| 0 | Digital Audio |
| 1 | Non-Audio |
| bits 2 | Copy / Copyright |
| 0 | Copy inhibited / copyright asserted |
| 1 | Copy permitted / copyright not asserted |
| bits 3 4 5 | Pre-emphasis - if bit 1 is 0 (dig. audio) |
| 0 0 0 | None - 2 channel audio |
| 1 0 0 | 50/15 µs - 2 channel audio |
| 0 1 0 | Reserved - 2 channel audio |
| 1 1 0 | Reserved - 2 channel audio |
| X X 1 | Reserved - 4 channel audio |
| bits 3 4 5 | if bit 1 is 1 (non-audio) |
| 0 0 0 | Digital data |
| X X X | All other states of bits 3-5 are reserved |
| bits 6 6 | Mode |
| 0 0 | Mode 0 (defines bytes 1-3) |
| X X | All other states of bits 6-7 are reserved |

| BYTE 1 - Category Code 001 | |
|----------------------------|---|
| bits 3 4 5 6 | Broadcast reception of digital audio |
| * 0 0 0 0 | Japan |
| * 0 0 1 1 | United States |
| * 1 0 0 0 | Europe |
| * 0 0 0 1 | Electronic software delivery |
| X X X X | All other states are reserved |

| BYTE 1 - Category Code 100 | |
|----------------------------|---|
| bits 3 4 5 6 | Laser Optical |
| 0 0 0 0 | CD - compatible with IEC-908 |
| * 1 0 0 0 | CD - not comp. with IEC-908 (magneto-optical) |
| X X X X | All other states are reserved |

| BYTE 1 | |
|---------------------------|---|
| bits 0 1 2 3 4 5 6 | Category Code |
| 0 0 0 0 0 | General |
| * 0 0 0 1 | Experimental |
| X X X X | Reserved |
| * 0 0 0 1 | X X X Solid state memory |
| * 0 0 1 X | X X X Broadcast recep. of digital audio |
| * 0 1 0 X | X X X Digital/digital converters |
| * 0 1 1 0 | 0 X X A/D converters w/o copyright |
| | 1 X X A/D converters w/ copyright (using Copy and L bits) |
| * 0 1 1 1 | X X X Broadcast recep. of digital audio |
| 1 0 0 X | X X X Laser-optical |
| * 1 0 1 X | X X X Musical Instruments, mics, etc. |
| 1 1 0 X | X X X Magnetic tape or disk |
| 1 1 1 X | X X X Reserved |
| bit 7 | L: Generation Status. |
| | Only category codes:001XXXX, 0111XXX,100XXXX |
| * 0 | Original/Commercially pre-recorded data |
| * 1 | No indication or 1st generation or higher |
| | All other category codes |
| * 0 | No indication or 1st generation or higher |
| * 1 | Original/Commercially pre-recorded data |

The subgroups under the category code groups listed above are described in tables below. Those not listed are reserved. The Copy and L bits form a copy protection scheme for original works. Further explanations can be found in the proposed amendment (TC84) to IEC-958.

| BYTE 1 - Category Code 010 | |
|----------------------------|--|
| bits 3 4 5 6 | Digital/digital conv. & signal processing |
| 0 0 0 0 | PCM encoder/decoder |
| * 0 0 1 0 | Digital sound sampler |
| * 0 1 0 0 | Digital signal mixer |
| * 1 1 0 0 | Sample-rate converter |
| X X X X | All other states are reserved |

| BYTE 1 - Category Code 101 | |
|----------------------------|--|
| bits 3 4 5 6 | Musical Instruments, mics, etc. |
| * 0 0 0 0 | Synthesizer |
| * 1 0 0 0 | Microphone |
| X X X X | All other states are reserved |

| BYTE 2 | |
|---------------------|----------------------------------|
| bits 0 1 2 3 | Source Number |
| 0 0 0 0 | Unspecified |
| 1 0 0 0 | 1 |
| 0 1 0 0 | 2 |
| 1 1 0 0 | 3 |
| 0 0 1 0 | 4 to |
| 0 1 1 1 | 14 (binary - 0 is LSB, 3 is MSB) |
| 1 1 1 1 | 15 |

| bit 4 5 6 7 Channel Number | |
|----------------------------|---------------------------------|
| 0 0 0 0 | Unspecified |
| 1 0 0 0 | A (Left in 2 channel format) |
| 0 1 0 0 | B (Right in 2 channel format) |
| 1 1 0 0 | C to |
| 0 1 1 1 | N (binary - 4 is LSB, 7 is MSB) |
| 1 1 1 1 | O |

| BYTE 1 - Category Code 110 | |
|----------------------------|-------------------------------|
| bits 3 4 5 6 | Magnetic tape or disk |
| 0 0 0 0 | DAT |
| * 1 0 0 0 | Digital audio sound VCR |
| X X X X | All other states are reserved |

| BYTE 3 | |
|---------------------|-------------------------------|
| bits 0 1 2 3 | Fs: Sample Frequency |
| 0 0 0 0 | 44.1 kHz |
| 0 1 0 0 | 48 kHz |
| 1 1 0 0 | 32 kHz |
| 1 1 0 0 | Sample-rate converter |
| X X X X | All other states are reserved |

| bits 4 5 Clock Accuracy | |
|-------------------------|----------------------------------|
| 0 0 | Level II, ±1000 ppm (default) |
| 0 1 | Level III, variable pitch |
| 1 0 | Level I, ±50 ppm - high accuracy |
| 1 1 | Reserved |

| bits 6 7 | |
|----------|----------|
| X X | Reserved |

| BYTE 4 - 23 | |
|-------------|--|
| Reserved | |

Obrigado pela vossa paciência...

