TRƯỜNG ĐẠI HỌC XÂY DỰNG HÀ NỘI
KHOA CÔNG NGHỆ THÔNG TIN

LẬP TRÌNH ÂM THANH

CHƯƠNG 2

Âm thanh analog và chuỗi tín hiệu

Mô-đun M1 · 5 tiết · CLO1 · Mã học phần 531833 · 75 tiết · Học kỳ 5

Hà Nội – 2026

Sau chương này người học phải làm được

- Giải thích vì sao gọi là tín hiệu analog; nêu hai tính liên tục và phép nào ở chương 3 phá vỡ từng tính.
- Phân biệt micro điện động và micro điện dung; vì sao chỉ một loại cần nguồn phantom.
- Kể các khối của chuỗi tín hiệu; vì sao tầng đầu chuỗi quyết định chất lượng bản thu.
- Đổi giữa vôn, dBu và dBV; tính đúng chênh lệch giữa hai chuẩn line.
- Áp dụng quy tắc cầu điện áp; giải thích cơ chế triệt nhiễu của đường truyền cân bằng.
- Tính sàn nhiễu, SNR (Signal-to-Noise Ratio – tỉ số tín hiệu trên nhiễu), headroom, dải động; viết mã đọc WAV, đo mức và mô phỏng nhiễu.

Chương này khác chương 1 ở điểm nào

- Chương 1 nói về tự nhiên: sóng áp suất, mọi con số là hằng số vật lý.
- Chương 2 nói về thiết bị do con người làm ra: mốc 0 dBu, quy tắc mười lần, mức −18 dBFS (decibel so với mức toàn thang, Full Scale) đều là lựa chọn kỹ thuật.
- Vì vậy không học thuộc con số mà phải hiểu lý do của nó.
- Nhớ lý do thì suy ra được con số; thuộc con số thì quên sau một tuần.

MỤC 2.1

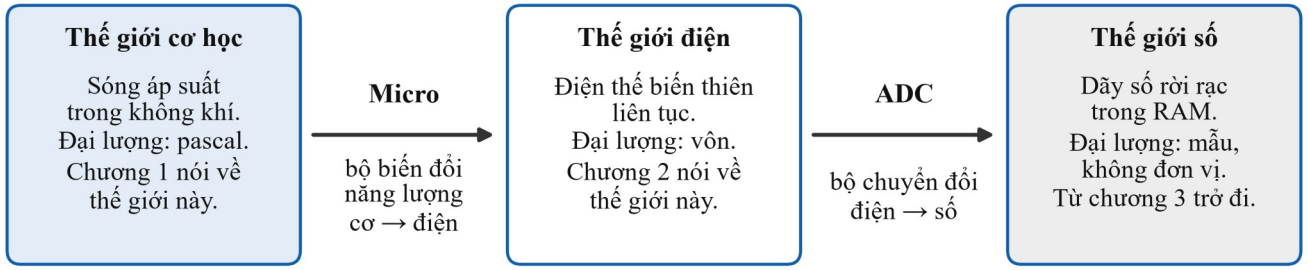
Vị trí chương học trong học phần

- 2.1.1 Chương 1 dừng ở đâu, chương 2 đi tiếp thế nào
- 2.1.2 Năm mục và đường đi của chương

2.1.1

Đoạn đường giữa sóng áp suất và dãy số

- Chương 1 kết thúc ở sóng áp suất đo bằng pascal.
- Chương 3 bắt đầu ở một dãy số trong bộ nhớ.
- Giữa hai chỗ là một đoạn đường mà lập trình viên không viết mã.
- Hai cây cầu nối ba thế giới: micro và bộ chuyển đổi A/D.



Hai cây cầu này không viết bằng mã, nhưng mọi lỗi âm thanh không giải thích được bằng mã đều nằm ở một trong hai.

Hình 2.1 — Ba thế giới và hai cây cầu nối chúng: micro và bộ chuyển đổi A/D

2.1.2

Đường đi của chương 2



Chương 1 dừng ở sóng áp suất trong không khí.

Chương 2 đi hết đoạn đường từ đó tới mảng số trong RAM — đoạn đường mà lập trình viên âm thanh không viết mã, nhưng nếu không hiểu thì không gỡ được lỗi.

Chương 3 bắt đầu từ đúng chỗ mục 2.6 dừng lại: bên trong khối ADC.

Hình 2.2 — Đường đi của chương 2: từ bộ chuyển đổi tới khối đệm của giao diện âm thanh

MỤC 2.2

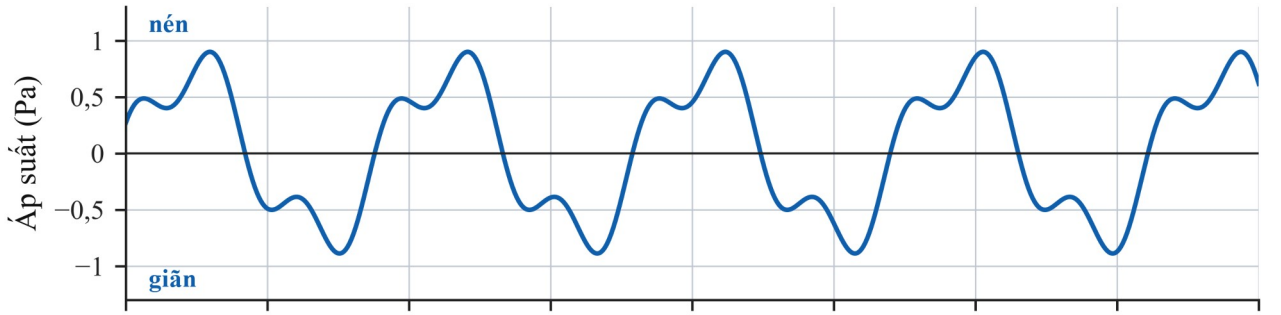
Tín hiệu analog và bộ biến đổi năng lượng

- Analog là gì, hai tính liên tục
- Micro điện động và micro điện dung
- Độ nhạy và hệ số khuếch đại cần thiết
- Vì sao loa trầm phải có màng lớn

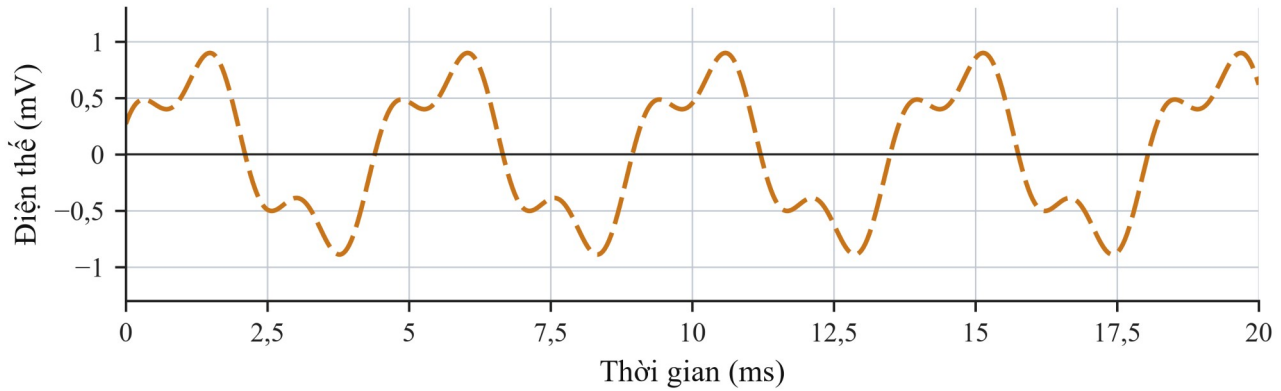
2.2.1

Analog nghĩa là tương tự

- Tín hiệu analog: đại lượng vật lý (thường là điện thế) có hình dạng tương tự sóng áp suất gốc.
- Micro không phân tích gì; chỉ chép hình dạng bằng đại lượng khác.
- Mạnh vì không cần tính toán; yếu vì mọi thứ làm méo hình dạng đều thành một phần của tín hiệu.



(a) Sóng áp suất tới màng micro (Pa, quanh áp suất khí quyển)



(b) Điện thế trên hai đầu dây micro (mV, quanh 0 V)

Hình 2.3 — Cùng một hình dạng, hai đại lượng: pascal ở trên, milivôn ở dưới

2.2.2

Tín hiệu analog là hàm liên tục

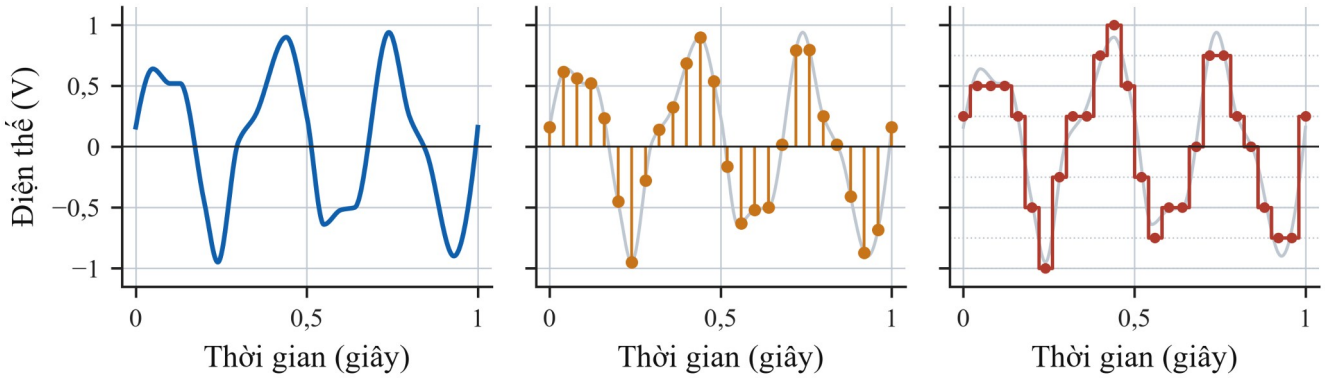
$$v(t) \in \mathbb{R}, \qquad \forall t \in [t_0, t_1] \tag{2.1}$$

- Hàm của biến thời gian thực t, nhận giá trị liên tục.
- Có hai tính chất cần gọi tên rõ vì chương 3 sẽ phá vỡ từng tính.
- Liên tục trên trục thời gian và liên tục trên trục biên độ.

2.2.2

Hai tính liên tục, hai thứ mất ở chương 3

- **Liên tục trên trục thời gian:** giữa hai mốc luôn còn vô số thời điểm; lấy mẫu phá tính này.
- **Liên tục trên trục biên độ:** điện thế không chia thành bậc; lượng tử hoá phá tính này.
- Hai phép độc lập, hai sai số khác nhau, hai tham số: tần số lấy mẫu và số bit.



(a) Analog: liền nét cả hai trục

(b) Mất liên tục theo thời gian: chỉ còn các mốc

(c) Mất liên tục theo biên độ: ép về bậc gần nhất

Hình 2.4 — Analog liền nét cả hai trục; số hoá cắt lần lượt từng trục một

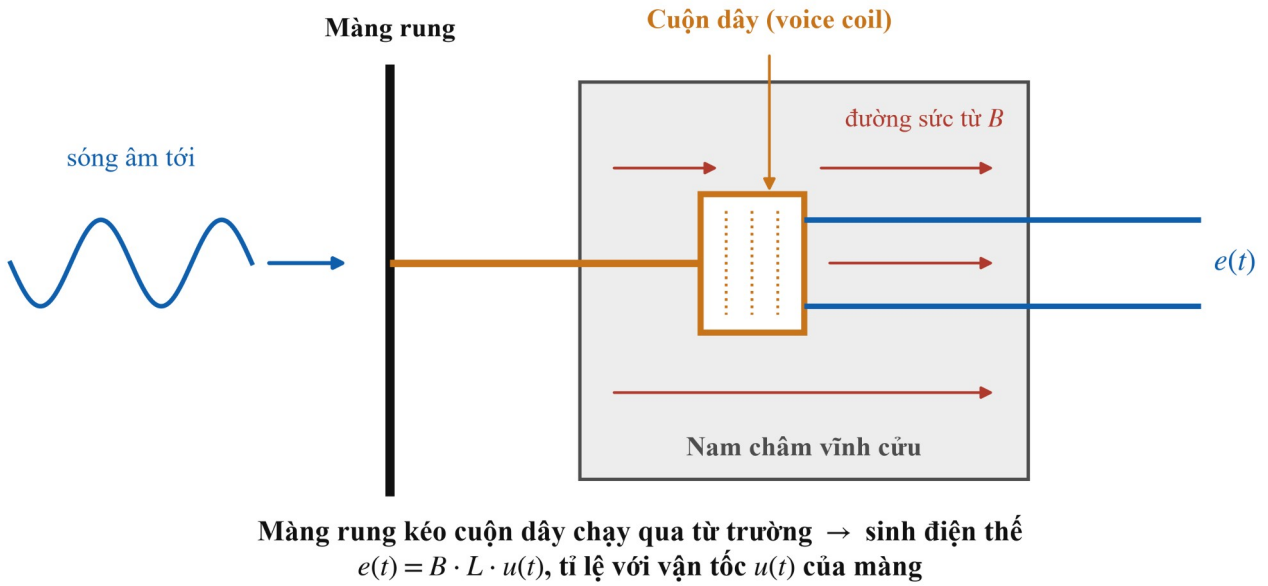
2.2.2

Lấy mẫu và lượng tử hoá là hai phép khác nhau

Do hai bộ phận thực hiện, gây hai loại sai số, kiểm soát bằng hai tham số. Phân biệt từ chương này thì chương 3 học rất nhanh.

Micro điện động: chuyển động sinh ra điện

- Màng rung gắn với cuộn dây treo trong khe từ của nam châm vĩnh cửu.
- Cuộn dây chuyển động cắt các đường sức từ.
- Trong cuộn dây xuất hiện suất điện động.



Hình 2.5 — Micro điện động: cuộn dây gắn với màng rung chuyển động trong từ trường

2.2.3

Micro điện động thực tế

- Ví dụ: micro cầm tay phổ biến.
- Bền, không cần nguồn nuôi, chịu áp suất âm lớn.
- Độ nhạy thấp: khoảng 1,5 – 3 mV/Pa.

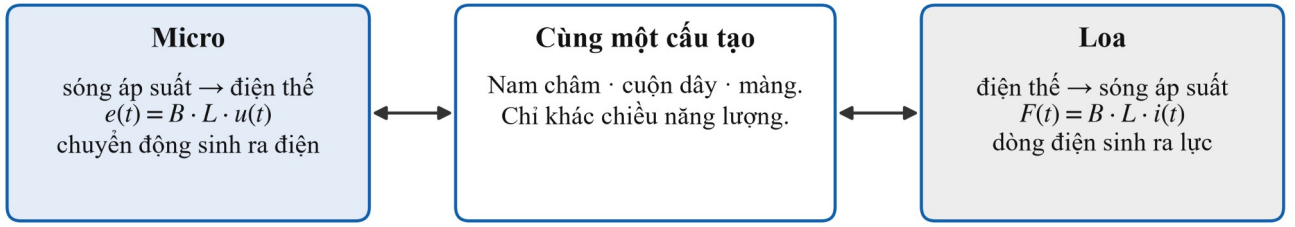


Hình 2.6 — Micro điện động thực tế: bên ngoài một micro cầm tay phổ biến. Nguồn ảnh: Wiki. Autom, CC BY-SA 4.0.

2.2.3

Micro và loa: thuận nghịch

- Cùng một cấu tạo, đảo chiều năng lượng thì đảo chức năng.
- Thí nghiệm: cắm loa nhỏ vào ngõ micro, nói vào loa sẽ thu được tiếng yếu và đục.
- Ngược lại, cho dòng điện qua micro điện động thì nó phát tiếng rất nhỏ.



Cắm một chiếc loa nhỏ vào ngõ micro thì nó thu được tiếng — yếu, nhưng thu được.

Đây không chỉ là thí nghiệm vui: nó là bằng chứng trực tiếp cho tính thuận nghịch của bộ biến đổi năng lượng điện động.

Hình 2.7 — Micro và loa: cùng cấu tạo, ngược chiều năng lượng

2.2.4

Micro điện dung: khoảng cách đổi thì điện dung đổi

$$C = \frac{\varepsilon S}{d(t)}; \qquad v(t) = \frac{Q}{C(t)} = \frac{Q\,d(t)}{\varepsilon S}$$

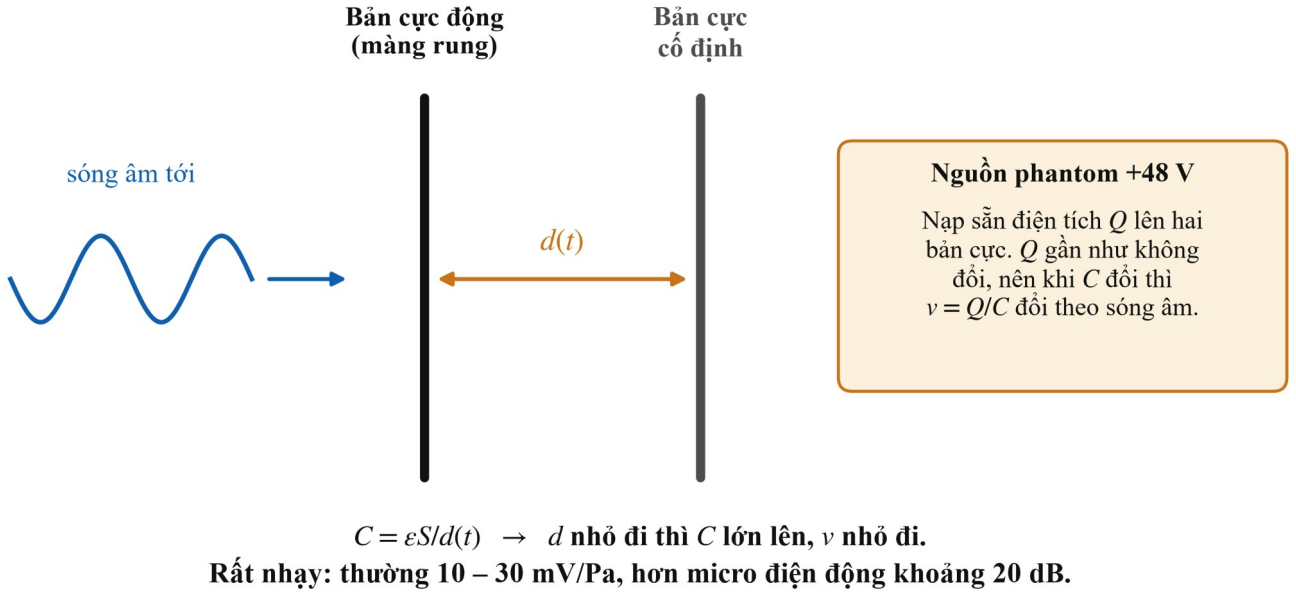
(2.3)

- Màng rung là một bản cực của tụ điện phẳng, cách bản cố định một khoảng rất nhỏ.
- Màng rung làm khoảng cách biến thiên, điện dung biến thiên theo.
- Điện tích Q nạp sẵn gần như không đổi nên v = Q/C đổi theo nhịp sóng âm.

2.2.4

Vì sao micro điện dung cần nguồn phantom

- Phải nạp sẵn điện tích lên hai bản cực, nên cần nguồn nuôi.
- Nguồn phantom 48 V truyền theo chính sợi cáp tín hiệu.
- Micro điện động không cần nguồn nuôi.



Hình 2.8 — Micro điện dung: điện dung biến thiên theo khoảng cách hai bản cực

2.2.4

Micro điện dung thực tế

- Màng lớn, có lưới bảo vệ màng.
- Thường gắn giá đỡ chống rung và màn lọc gió.
- Rất nhạy và chi tiết: khoảng 10 – 30 mV/Pa.



(a) (b)

Hình 2.9 — Micro điện dung màng lớn thực tế: (a) đầu micro nhìn thẳng, thấy lưới bảo vệ màng; (b) micro gắn giá đỡ chống rung và màn lọc gió. Nguồn ảnh: Wiki. (a) Lucasbosch, CC BY-SA 3.0; (b) Bizzarle, CC BY-SA 4.0.

2.2.5

Độ nhạy: bao nhiêu milivôn cho mỗi pascal

$$v_{\text{mic}} = S_{\text{mic}} \cdot p\,; \qquad p = p_0 \cdot 10^{L_p/20}, \quad p_0 = 20\,\mu\text{Pa}$$

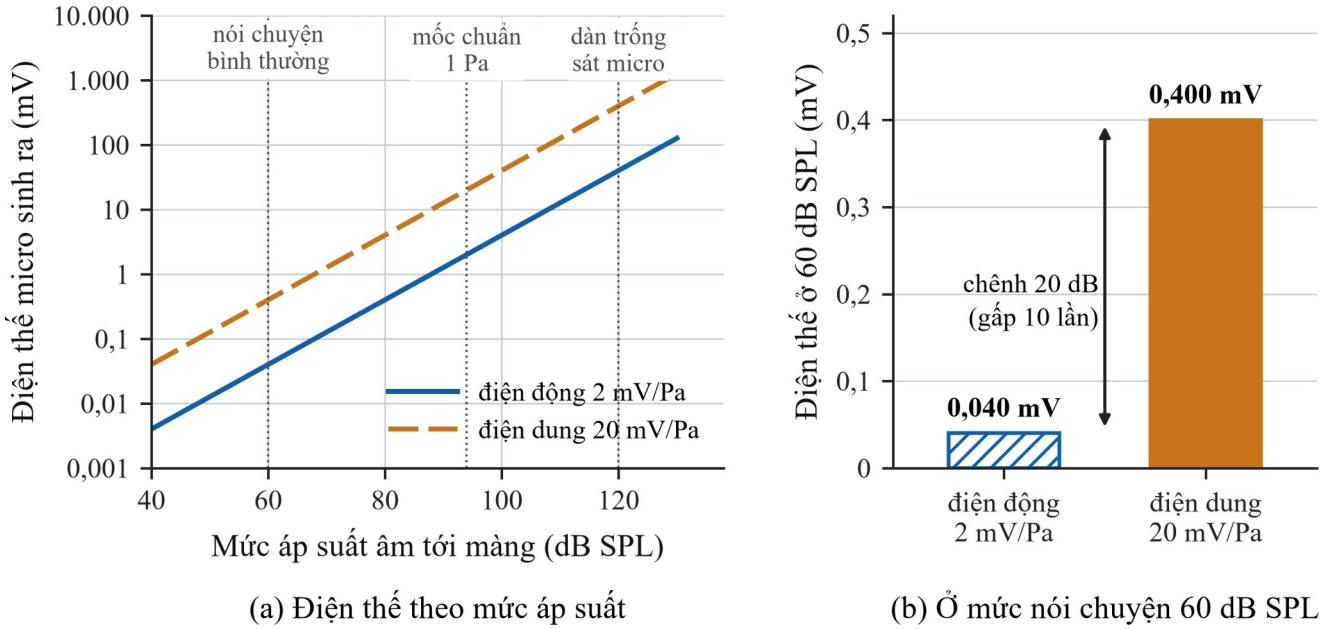
(2.4)

- Ghi trên thân micro, đo ở áp suất 1 Pa (94 dB SPL (Sound Pressure Level – mức áp suất âm)).
- Thông số quan trọng nhất khi tính chuỗi tín hiệu.
- Quyết định tầng tiền khuếch đại phải làm việc nhiều hay ít.

2.2.5

Độ nhạy quyết định điện áp ra

- Hai dòng micro chênh nhau khoảng 20 dB.
- Ở 60 dB SPL, micro 2 mV/Pa chỉ cho khoảng 0,040 mV.
- Lên mức làm việc 1,23 V cần khuếch đại 90 dB, khoảng 30.692 lần.
- Tiền khuếch đại là điều kiện bắt buộc.



(a) Điện thế theo mức áp suất

(b) Ở mức nói chuyện 60 dB SPL

Hình 2.10 — Độ nhạy quyết định điện áp ra: hai dòng micro chênh nhau khoảng 20 dB

2.2.5

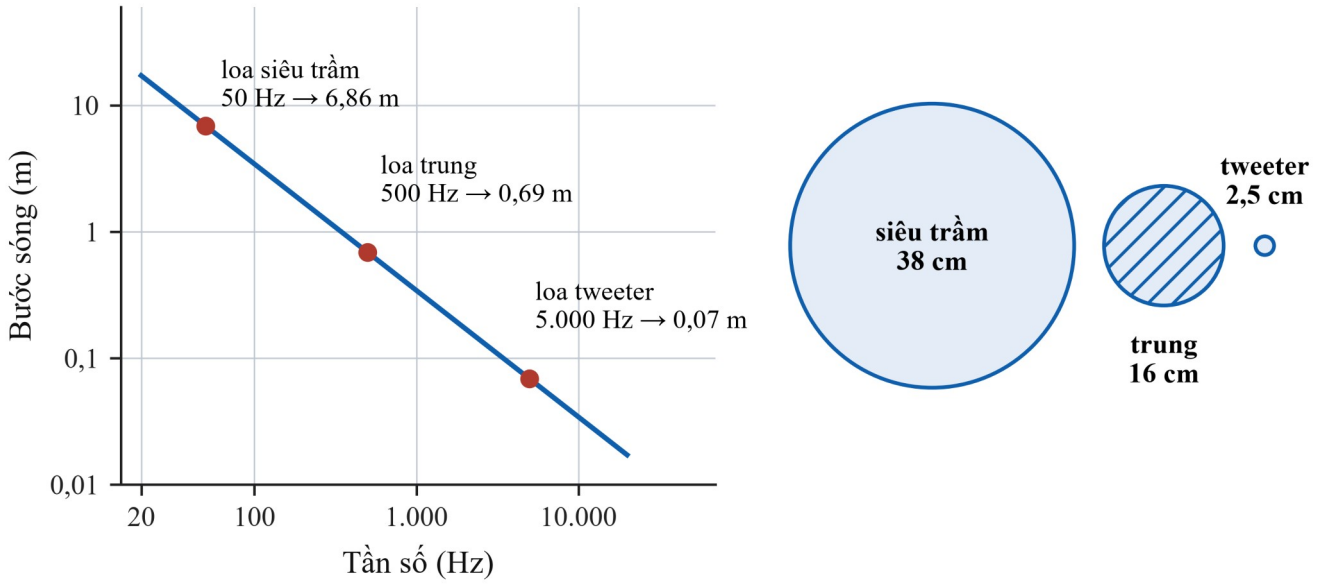
90 dB vượt tầm tiền khuếch đại phổ thông

Thiết bị thông thường cho tối đa 60 – 70 dB, loại tốt tới 75 dB. Đây là giới hạn thật, không phải lỗi tính toán, và giải thích vì sao bản thu như vậy luôn có nhiễu nền. Cách khắc phục: đưa micro lại gần (quy tắc 6 dB), đổi micro nhạy hơn, rồi mới nâng cấp tiền khuếch đại.

2.2.6

Vì sao loa trầm phải có màng lớn

- Bức xạ bước sóng dài đòi hỏi đẩy một thể tích không khí lớn.
- Kích thước loa là ràng buộc vật lý, không phải quy ước nhà sản xuất.
- Loa điện thoại 2 cm không thể tái tạo âm 50 Hz đủ nghe.



(a) Bước sóng ở 20 °C ($\lambda = c/f$, chương 1)

(b) Đường kính màng, vẽ đúng tỉ lệ

Hình 2.11 — Bước sóng theo tần số, và đường kính màng loa vẽ đúng tỉ lệ

Loa trầm và loa treble thực tế

- Loa kiểm âm hai đường tiếng: treble nhỏ ở trên, loa trầm lớn hơn ở dưới.
- Loa trầm cỡ lớn trong hệ thống sân khấu.
- Sẽ quay lại ở chương 10 khi trộn cho nhiều hệ thống phát.



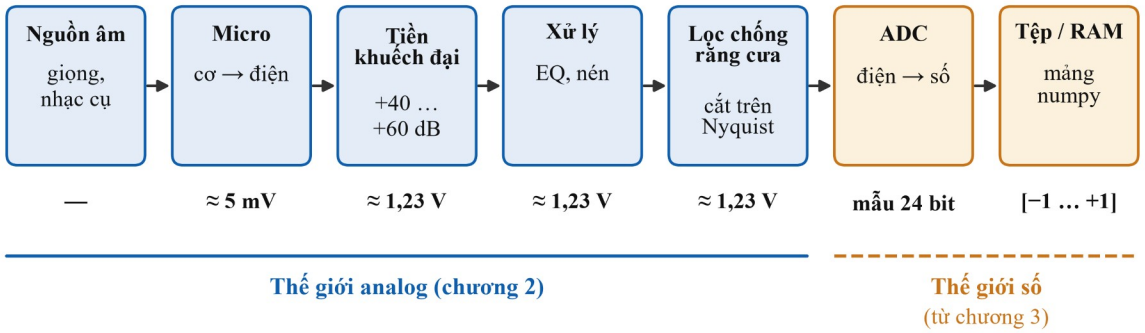
(a) (b)

Hình 2.12 — Loa trầm và loa treble: (a) loa kiểm âm hai đường tiếng, loa treble dạng vòm nhỏ phía trên và loa trầm lớn hơn phía dưới; (b) loa trầm cỡ lớn dùng trong hệ thống sân khấu, nhìn từ mặt trước và mặt sau. Nguồn ảnh: Wiki. (a) TaurusEmerald, CC BY-SA 4.0; (b) JJ Harrison, CC BY-SA 4.0.

MỤC 2.3

Chuỗi tín hiệu và bốn cấp mức

- Bảy khối từ nguồn âm tới mảng số
- Tiền khuếch đại quyết định tất cả
- Bốn cấp mức, dBu và dBV
- Gain staging



Lập trình viên âm thanh viết mã ở hai khối cuối; năm khối đầu quyết định chất lượng của cái mà mã nhận được.

2.3.1

Bảy khối từ nguồn âm tới mảng số

- Chuỗi tín hiệu là dãy thiết bị mắc nối tiếp.
- Lập trình viên làm việc ở hai khối cuối.
- Chất lượng của cái mã nhận đã được quyết định ở năm khối trước.

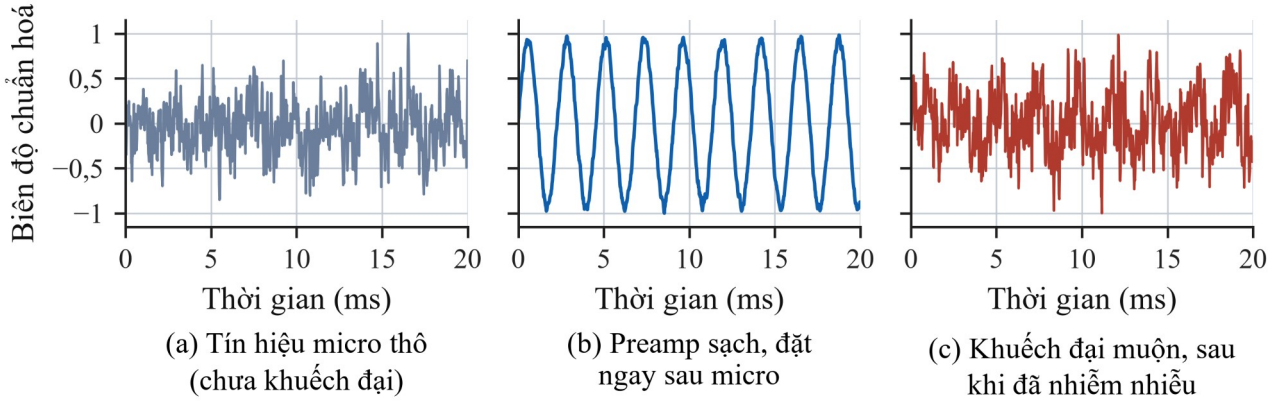


Hình 2.14 — Một góc phòng thu thực tế: micro trên giá, hai loa kiểm âm, bàn phím MIDI (Musical Instrument Digital Interface – giao thức nhạc cụ số) và máy tính trong cùng một chuỗi tín hiệu. Nguồn ảnh: Wiki. WarReadyD, CC BY-SA 4.0.

2.3.2

Khuếch đại không làm sạch tín hiệu

- Khuếch đại nhân đều mọi thứ trên dây, cả tín hiệu lẫn nhiễu.
- Nhiễu đã lẫn vào trước bộ khuếch đại thì vẫn đúng tỉ lệ đó, chỉ to hơn.
- Vị trí đặt bộ khuếch đại trong chuỗi quyết định kết quả.



Hình 2.15 — Cùng một nguồn âm, khác nhau ở chỗ đặt bộ khuếch đại trong chuỗi

2.3.2

Tiền khuếch đại micro thực tế

- Núm gain, công tắc phantom +48 V.
- Đồng hồ chỉ mức, núm mức ra.
- Ngõ Hi-Z cho nguồn trở kháng cao.



Hình 2.16 — Tiền khuếch đại micro chuyên dụng, mặt trước: núm gain, công tắc nguồn phantom +48 V, đồng hồ chỉ mức, núm mức ra và ngõ Hi-Z. Nguồn ảnh: Wiki. Shunichi kouroki, CC BY 2.0.

2.3.2

Chất lượng bản thu do tầng đầu quyết định

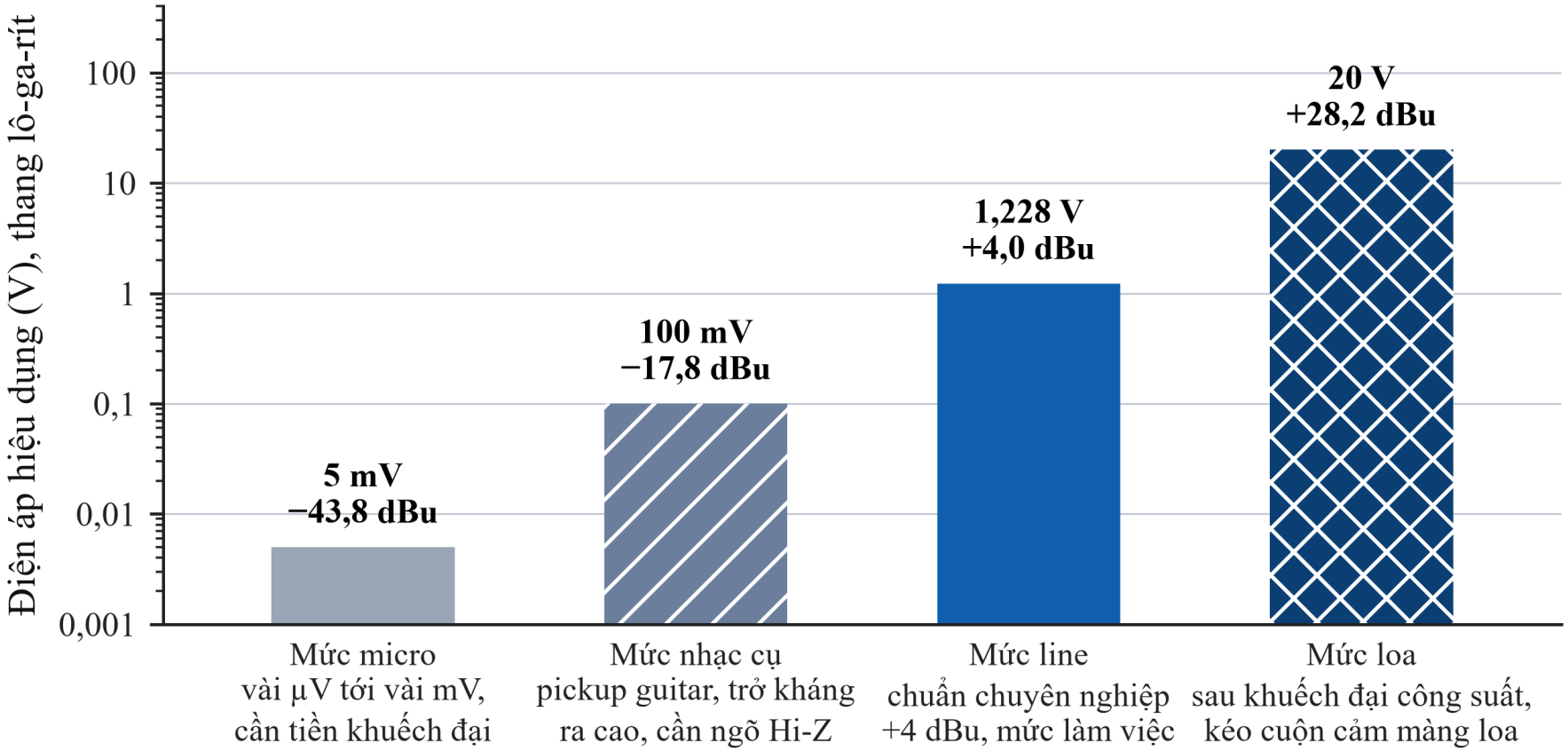
Không phải tầng đắt nhất. Khi thuật toán khử nhiễu cho kết quả kém, kiểm tra bản thu gốc trước khi kiểm tra mã. Chương 7 bàn kỹ giới hạn của khử nhiễu hậu kỳ.

BẢNG 2.2

Bốn cấp mức tín hiệu và đặc điểm

Cấp mức	Điện áp tiêu biểu	Mức dBu	Nguồn phát tiêu biểu
Mức micro	5 mV	−43,8 dBu	Micro các loại, đầu đọc băng từ
Mức nhạc cụ	100 mV	−17,8 dBu	Guitar, bass điện — trở kháng ra rất cao
Mức line	1,228 V	4,0 dBu	Bàn trộn, giao diện âm thanh, đầu phát
Mức loa	20 V	28,2 dBu	Sau khuếch đại công suất, đủ dòng kéo màng loa

Bốn cấp mức trên thang lô-ga-rít

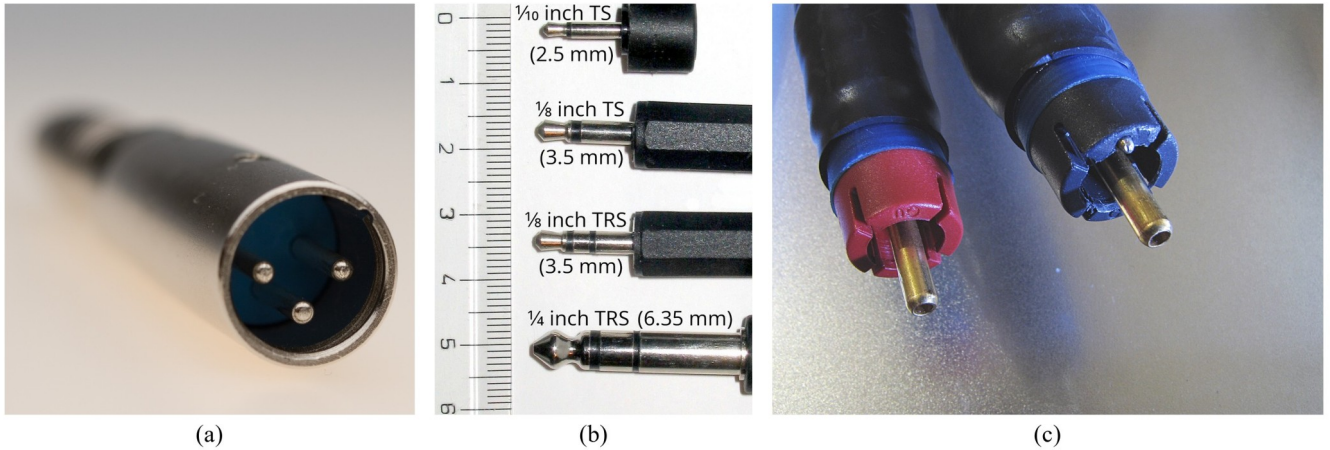


Hình 2.17 — Bốn cấp mức trên thang lô-ga-rít: chênh nhau tới bảy mươi decibel

2.3.3

Các loại đầu nối thường gặp

- XLR ba chân: cân bằng, dùng cho micro và đường dài.
- Jack TS, TRS các cỡ 2,5 mm, 3,5 mm, 6,35 mm.
- RCA: không cân bằng, dùng trong thiết bị dân dụng.



Hình 2.18 — Các loại đầu nối thường gặp trên thiết bị âm thanh: (a) XLR ba chân; (b) jack TS và TRS các cỡ 2,5 mm, 3,5 mm và 6,35 mm; (c) RCA. Nguồn ảnh: Wiki. (a) Mariofergo, CC BY-SA 4.0; (b) Em3rgent0rdr, CC0; (c) Adamantios, CC BY-SA 3.0.

2.3.3

Hai lỗi cắm nhầm cấp mức

- **Mức line vào ngõ micro:** tín hiệu lớn hơn mức mong đợi khoảng 48 dB, mạch bão hoà, méo cắt đỉnh nặng.
- **Mức micro vào ngõ line:** tín hiệu quá nhỏ, phải kéo lên nhiều ở khâu sau, kéo cả sàn nhiễu lên theo; nghe được nhưng đầy nhiễu nền.

2.3.4

Hai thang decibel: dBu và dBV

$$L_u = 20\log_{10}\frac{V}{0{,}7746}\ [\text{dBu}]\ ; \qquad L_v = 20\log_{10}\frac{V}{1{,}0000}\ [\text{dBV}]$$

(2.6)

- Decibel luôn là tỉ số so với một mốc.
- Hai mốc điện áp cùng tồn tại trong kỹ thuật âm thanh.
- Đây là chỗ nhầm lẫn thường xuyên nhất khi đọc thông số thiết bị.

2.3.4

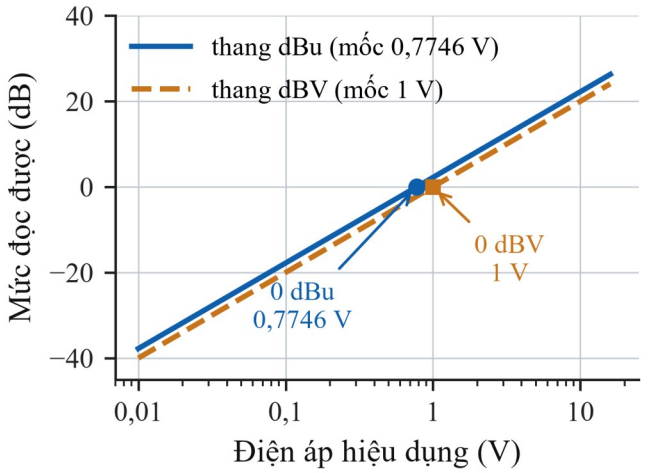
Chuẩn line: chênh 11,8 dB, không phải 14 dB

+4 dBu = 1,228 V; −10 dBV = 0,316 V. Hai số ở hai thang có mốc 0 khác nhau nên trừ trực tiếp là vô nghĩa. Phải đổi về vôn rồi mới so: chênh 11,78 dB.

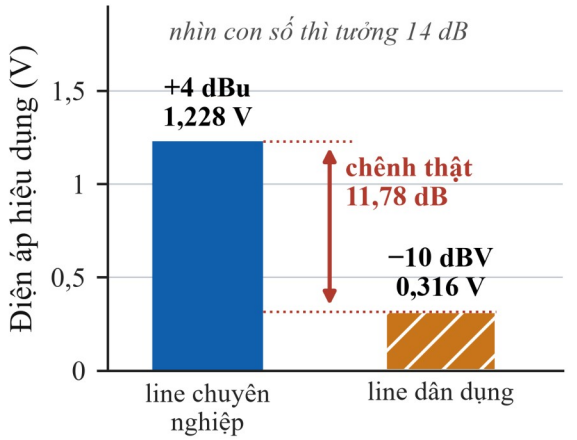
2.3.4

Hai thang, hai mốc 0

- Chênh lệch thật giữa hai chuẩn line: khoảng 11,8 dB.
- Sai 2 dB đủ làm phép tính headroom sai.
- Tài liệu nước ngoài ghi 11,79 dB do thế giá trị đã làm tròn; chỉ lệch một phần trăm dB.



(a) Mốc 0 của hai thang khác nhau



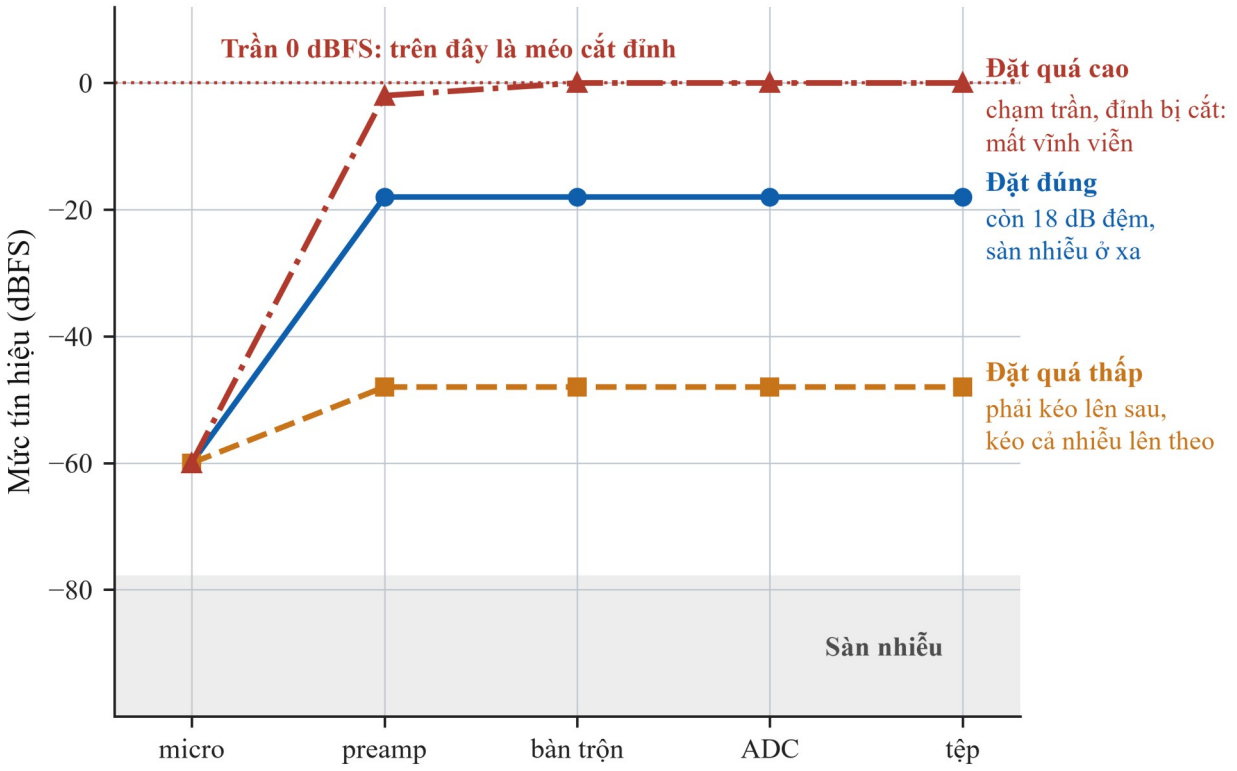
(b) Chênh 11,78 dB, không phải 14 dB

Hình 2.19 — Hai thang, hai mốc 0 — và chênh lệch thật giữa hai chuẩn line

2.3.5

Gain staging: đặt mức dọc chuỗi

- Nên để tín hiệu mạnh bao nhiêu ở mỗi chặng.
- Ba cách đặt mức trên cùng một chuỗi cho ba kết quả khác nhau.
- Kỹ năng nghề mang lại khác biệt lớn nhất so với công sức bỏ ra.



Hình 2.20 — Ba cách đặt mức trên cùng một chuỗi, ba kết quả khác nhau

2.3.5

Vì sao làm việc quanh −18 dBFS

- Mức làm việc chuẩn trong phòng thu là quanh −18 dBFS, không phải sát 0.
- Còn 18 dB đệm cho tiếng đột ngột mà vẫn cách xa sàn nhiễu.
- Đặt sát 0: một đỉnh bất ngờ là méo cắt đỉnh, không khắc phục được.
- Thu to không làm giảm nhiễu; muốn tăng SNR phải đưa micro lại gần, không phải tăng gain.
- Với bộ chuyển đổi 24 bit, thu ở −18 dBFS vẫn còn dư dải động.

MỤC 2.4

Trở kháng và đường truyền cân bằng

- Cầu điện áp và quy tắc mười lần
- Ví dụ guitar điện
- Đường truyền cân bằng
- Ba câu hỏi kiểm tra trước khi thu

2.4.1

Cầu phân áp giữa nguồn và tải

$$\frac{V_{\text{thu}}}{V_{\text{nguồn}}} = \frac{Z_{\text{vào}}}{Z_{\text{ra}} + Z_{\text{vào}}} \; ; \qquad Z_{\text{vào}} \geq 10\, Z_{\text{ra}}$$

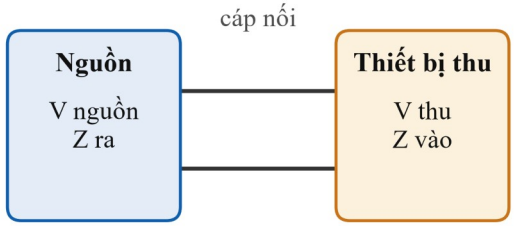
(2.7)

- Trở kháng Z (ôm) đo sự cản trở của mạch với dòng xoay chiều.
- Z ra của nguồn và Z vào của thiết bị mắc nối tiếp, tạo cầu phân áp.
- Thiết bị chỉ nhận một phần điện áp nguồn.

2.4.1

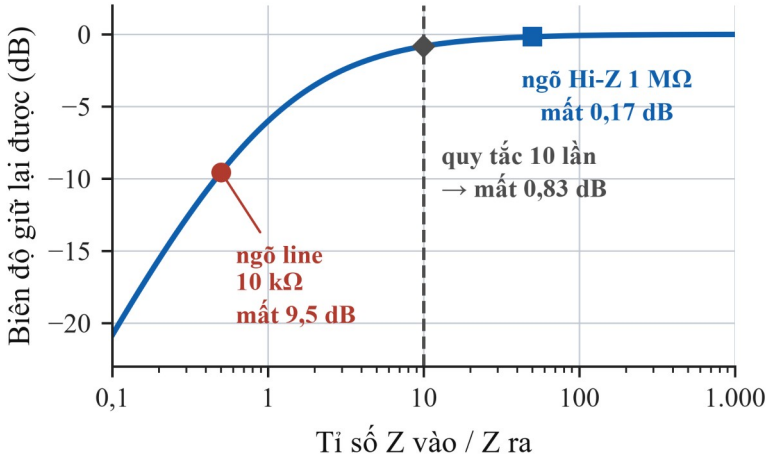
Quy tắc phối ghép cầu điện áp

- Trở kháng vào nên lớn hơn trở kháng ra ít nhất mười lần.
- Khi đó suy hao chỉ 0,83 dB, không nghe thấy.
- Không phải quy tắc bằng nhau của kỹ thuật cao tần: trong âm thanh, hai trở kháng bằng nhau mất tới 6 dB.



Hai trở kháng mắc nối tiếp thành một cầu phân áp. Muốn giữ trọn biên độ thì Z vào phải lớn hơn hẳn Z ra.

(a) Sơ đồ nối nguồn với thiết bị thu



(b) Suy hao theo tỉ số trở kháng

Hình 2.21 — Cầu phân áp và suy hao theo tỉ số trở kháng

2.4.2

Guitar điện: ví dụ rõ nhất

- Bộ cảm ứng có trở kháng ra rất cao, cỡ 20 kΩ.
- Cắm vào ngõ line 10 kΩ: vi phạm quy tắc, mất 9,5 dB.
- Bộ cảm ứng có tính cảm kháng: tải nặng làm dải cao suy giảm nhiều hơn dải thấp.
- Tiếng đàn đục và mờ, mất phần lấp lánh.
- Cắm ngõ Hi-Z 1 MΩ: chỉ mất 0,17 dB, tiếng giữ nguyên.

2.4.2

Dấu hiệu nhận biết và cách sửa

- **Dấu hiệu:** tiếng thiếu sức sống, đục hơn hẳn so với nghe qua ampli.
- **Sửa:** bật nút Hi-Z hoặc Inst, hoặc dùng hộp DI; cả hai nâng Z vào lên khoảng 1 MΩ.
- Dải cao đã không thu vào thì không thuật toán nào tạo ra được.



(a)



(b)

Hình 2.22 — Hai cách đưa guitar vào đúng ngõ: (a) hộp DI nâng trở kháng vào và đổi sang tín hiệu cân bằng; (b) ngõ combo có nút Inst trên giao diện âm thanh. Nguồn ảnh: Wiki. (a) Bene, CC BY-SA 3.0; (b) ParsecAU, CC0.

2.4.3

Cáp không cân bằng và đường truyền cân bằng

- Cáp không cân bằng (RCA, jack TS): một dây lõi và một lưới đất; nhiễu cảm ứng đi thẳng vào mạch.
- Dây càng dài càng đóng vai ăng-ten.
- Cân bằng (XLR ba chân, TRS) có ba dây:
- **Hot (chân 2):** tín hiệu gốc S(t).
- **Cold (chân 3):** bản đảo pha 180 độ, −S(t).
- **Ground (chân 1):** lưới bọc kim chắn nhiễu tĩnh điện.

2.4.3

Mạch vi sai làm một phép trừ

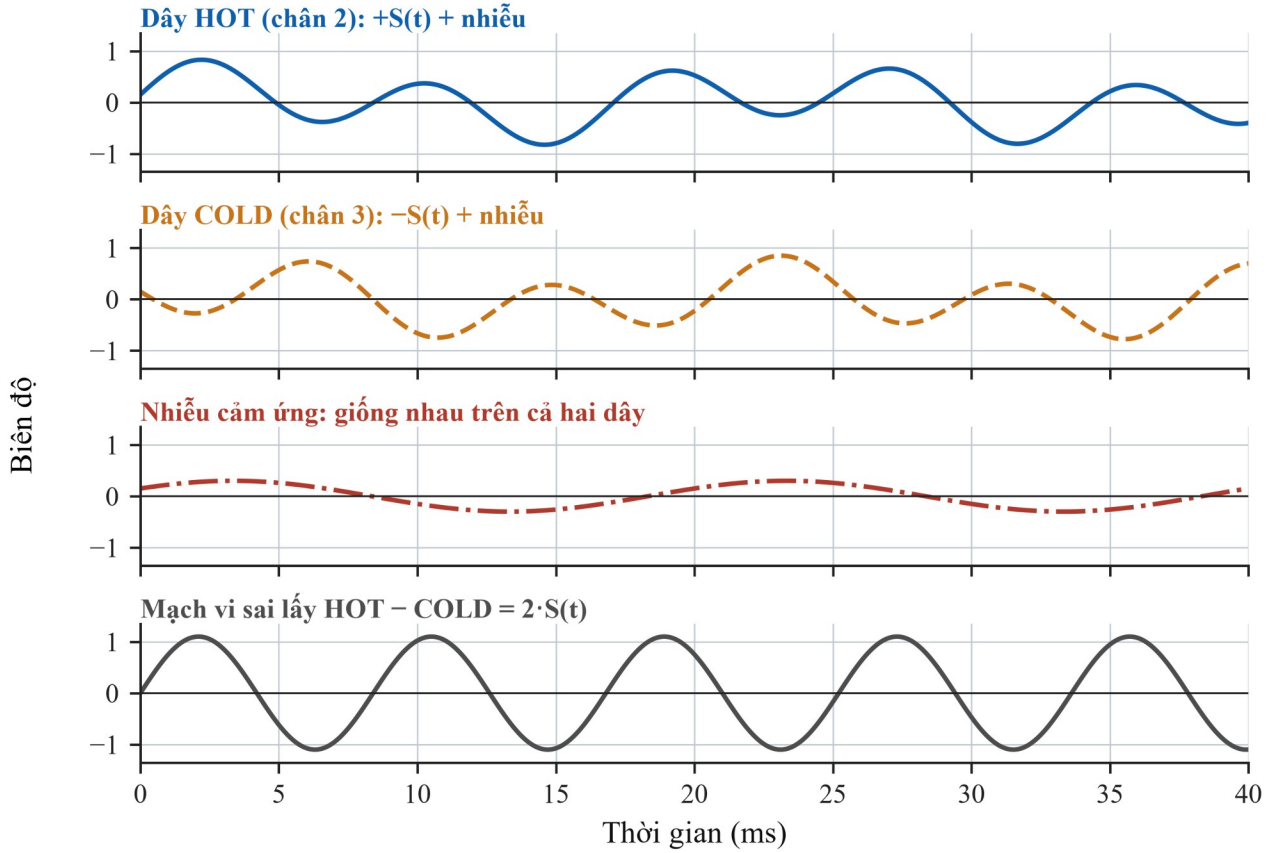
$$[S(t) + n(t)] - [-S(t) + n(t)] = 2\,S(t)$$

(2.8)

- Hai dây xoắn sát nhau nên nhiễu cảm ứng vào cả hai gần như giống hệt.
- Phép trừ: nhiễu đồng pha về không.
- Tín hiệu đảo pha nên được cộng thành gấp đôi: thêm 6,02 dB.
- Khả năng triệt nhiễu đo bằng CMRR (Common-Mode Rejection Ratio – tỉ số triệt nhiễu đồng pha); thiết bị chuyên nghiệp thường 70 – 90 dB.

2.4.3

Bốn tín hiệu trên đường cân bằng và kết quả phép trừ



Hình 2.23 — Bốn tín hiệu trên một đường truyền cân bằng và kết quả phép trừ

2.4.3

Đầu nối XLR

- Đầu đực và đầu cái, thấy rõ ba chân.
- Vai trò ba chân theo chuẩn AES14.
- Đường vài chục mét vẫn dùng cáp XLR cân bằng.

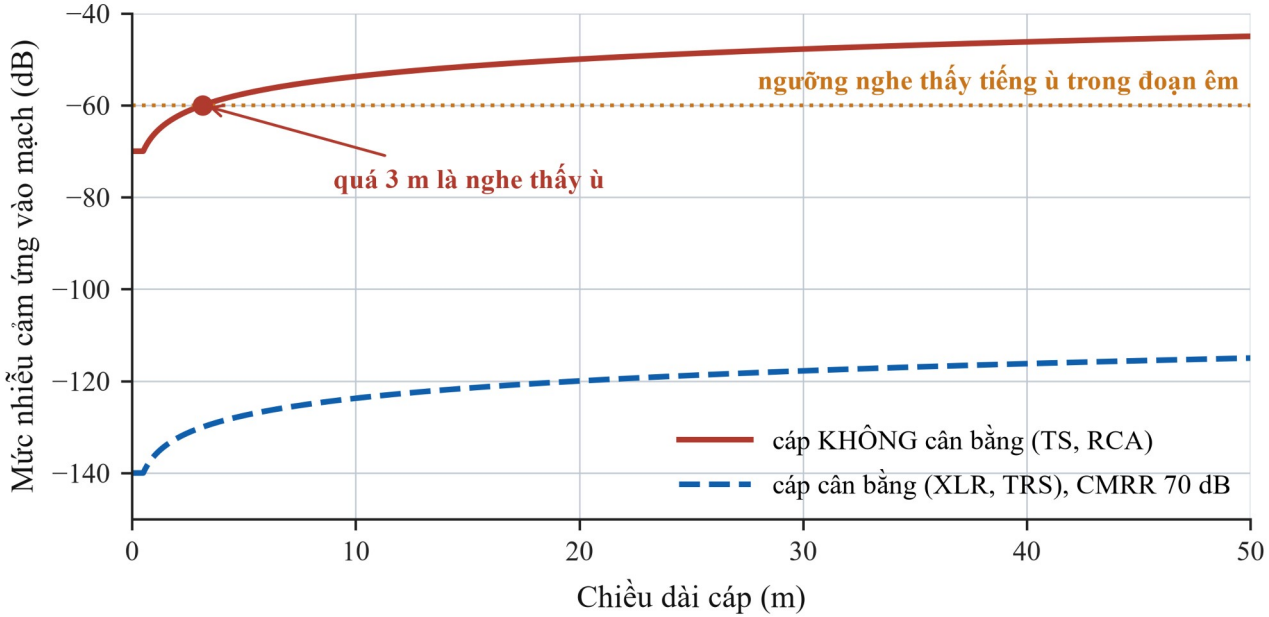


Hình 2.24 — Các đầu nối XLR đực và cái, thấy rõ ba chân. Nguồn ảnh: Wiki. Jmb, CC BY 2.5.

2.4.3

Nhiễu cảm ứng theo chiều dài cáp

- Cáp không cân bằng: dùng được trong vài mét.
- Vượt quá, nhiễu nghe thấy trong đoạn êm; chỉ còn cách chuyển sang cân bằng.
- Đây là toàn bộ lý do tồn tại của đầu nối ba chân.



Hình 2.25 — Nhiễu cảm ứng theo chiều dài cáp, có và không có đường cân bằng

2.4.4

Ba câu hỏi kiểm tra đường tín hiệu trước khi thu

- **Câu 1 — đúng cấp mức chưa?** Sai thì méo nặng hoặc đầy nhiễu nền.
- **Câu 2 — trở kháng đạt quy tắc mười lần chưa?** Sai thì đục và mất dải cao, dễ bỏ qua nhất.
- **Câu 3 — dây có cần cân bằng không?** Sai thì ù ở 50 Hz và các bội của nó.

Hỏi theo đúng thứ tự: lỗi to che lỗi nhỏ; sửa lỗi to nhất trước rồi mới đo lại.

MỤC 2.5

Nhiễu, dải động và bốn hạn chế của analog

- Sàn nhiễu, SNR, headroom, dải động
- Nhiễu nhiệt và nhiễu cộng dồn
- Suy hao thế hệ
- 32-bit float và đại lượng nào tính được bằng mã

2.5.1

Bốn tầng năng lượng của một chuỗi

$$\mathrm{SNR} = L_{\text{danh định}} - L_{\text{sàn}}\,; \qquad H = L_{\text{méo}} - L_{\text{danh định}}\,; \qquad D = L_{\text{méo}} - L_{\text{sàn}}$$

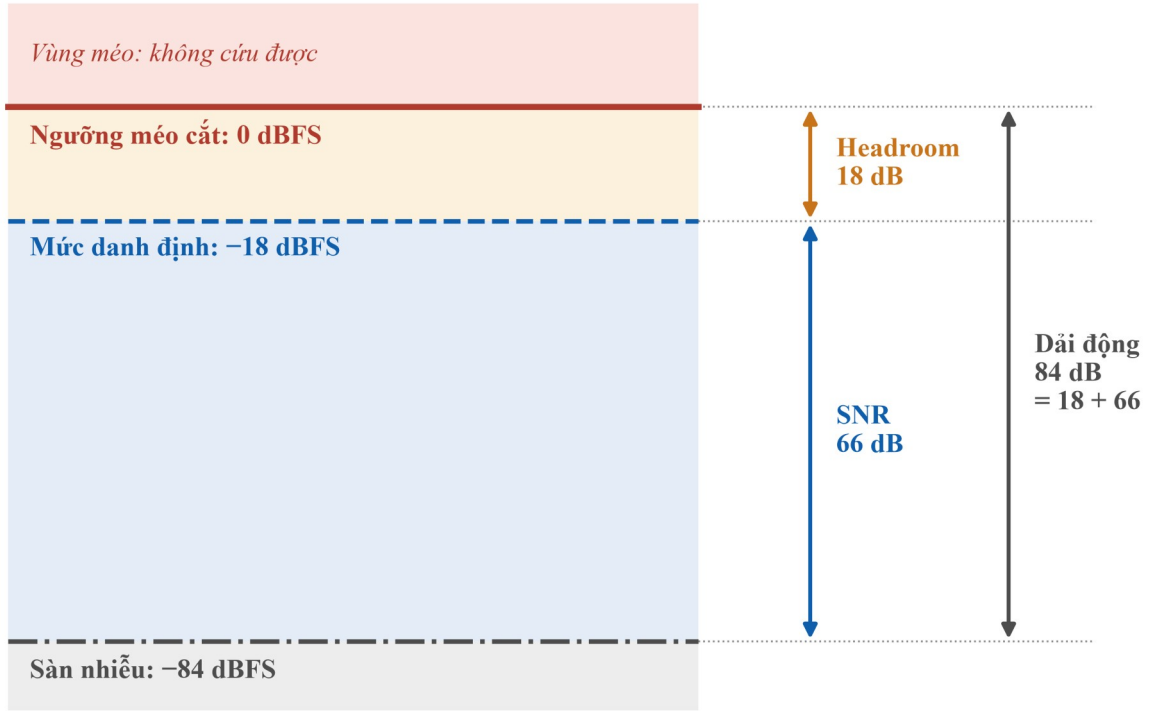
(2.9)

- Mọi hệ thống nằm giữa sàn ở dưới và trần ở trên.
- Bốn đại lượng: sàn nhiễu, SNR, headroom, dải động.
- Dải động = headroom + SNR: một ngân sách cố định do phần cứng quyết định.
- Chọn mức danh định là chọn cách chia: đặt cao thì nhiều SNR, ít đệm; đặt thấp thì ngược lại.

2.5.1

Ba khoảng cách trên một thang

- Sàn nhiễu, mức danh định, ngưỡng méo.
- SNR: từ mức danh định xuống sàn nhiễu.
- Headroom: từ mức danh định lên ngưỡng méo.



Hình 2.26 — Sàn nhiễu, mức danh định, ngưỡng méo — và ba khoảng cách giữa chúng

BẢNG 2.4

Bốn đại lượng và ý nghĩa thực hành

Đại lượng	Định nghĩa	Ý nghĩa thực hành
Sàn nhiễu	Mức tạp âm nền khi không có tín hiệu	Âm nhỏ nhất còn nghe được; không hạ bằng phần mềm
SNR	Từ mức danh định xuống sàn nhiễu	Trên 80 dB là tốt; dưới 50 dB nhiễu lộ rõ
Headroom	Từ mức danh định lên ngưỡng méo	Thiếu là méo cắt đỉnh, không khắc phục được
Dải động	Từ ngưỡng méo xuống sàn nhiễu	Bằng headroom cộng SNR; là ngân sách phải chia

2.5.2

Nhiễu nhiệt: sàn nhiễu không thể loại bỏ

$$V_n = \sqrt{4 k_B T R B}$$

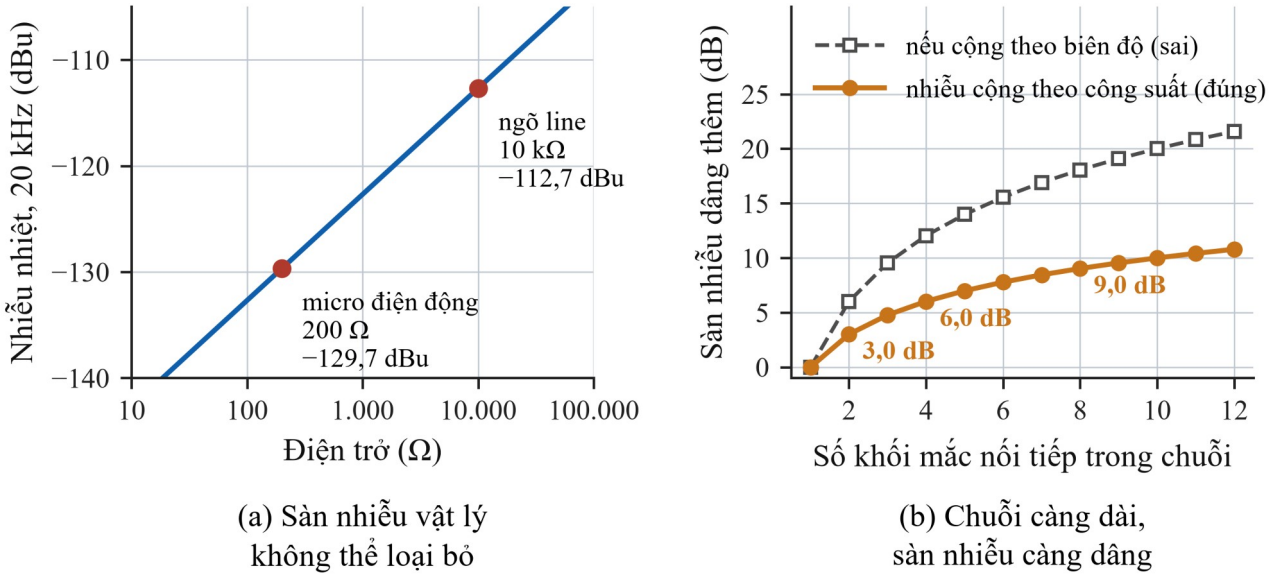
(2.10)

- Electron trong vật dẫn chuyển động hỗn loạn vì nhiệt.
- Sinh ra điện áp ngẫu nhiên ngay cả khi mạch không làm gì (nhiễu Johnson–Nyquist).
- Micro điện động 200 Ω, dải 20 kHz: khoảng 0,254 µV, tức −129,7 dBu.
- Giới hạn tuyệt đối với chính chiếc micro đó.

2.5.2

Nhiễu nhiệt theo điện trở, nhiễu cộng dồn

- Nhiễu của các khối không tương quan nên cộng như công suất.
- Hai nguồn bằng nhau: +3,01 dB. Bốn nguồn: +6,02 dB.
- Mười nguồn: +10,00 dB, không phải 20 dB.



(a) Sàn nhiễu vật lý không thể loại bỏ

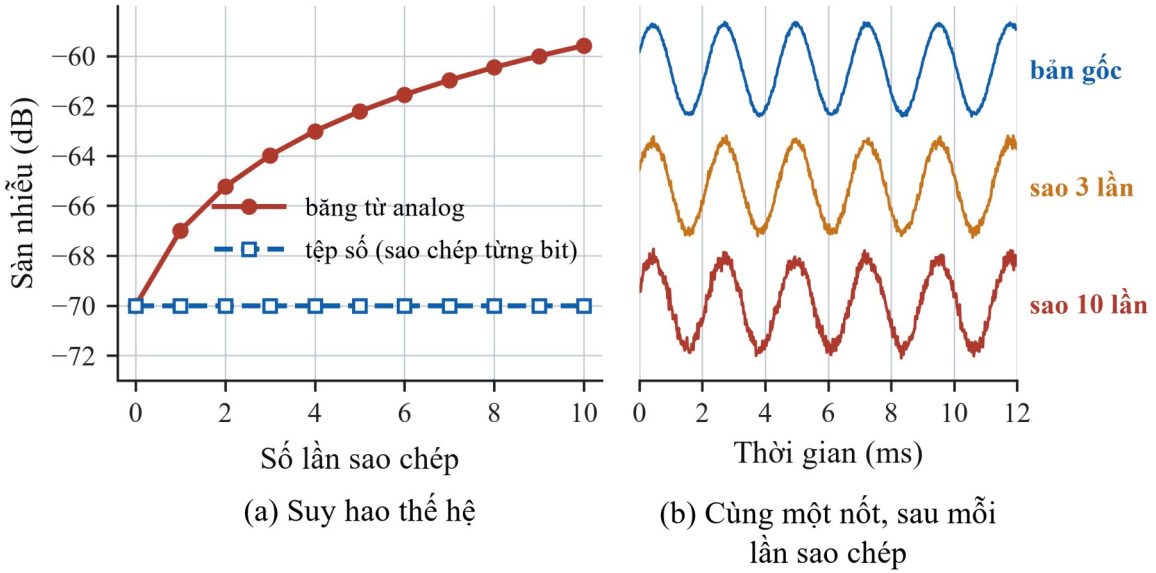
(b) Chuỗi càng dài, sàn nhiễu càng dâng

Hình 2.27 — Nhiễu nhiệt theo điện trở, và cách nhiễu cộng dồn dọc chuỗi

2.5.3

Suy hao thế hệ

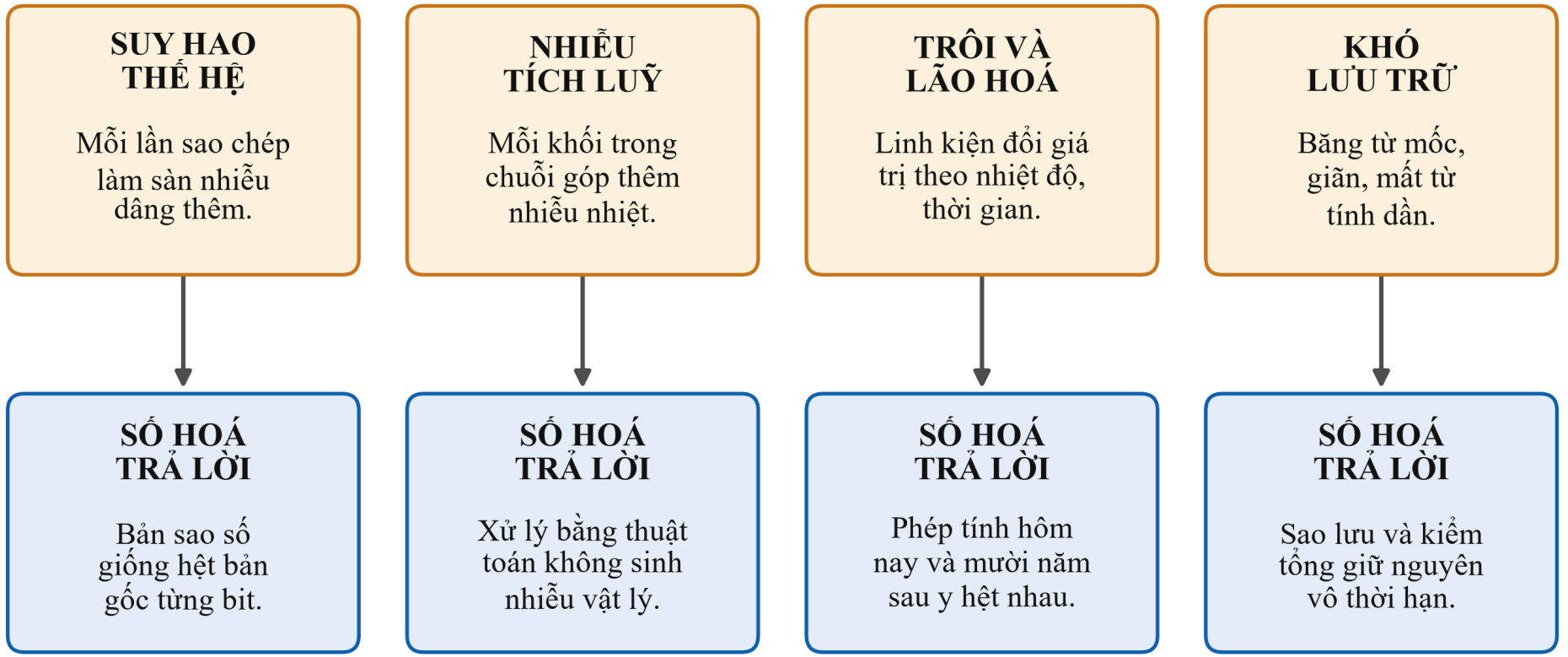
- Mỗi lần sao chép analog, nhiễu của thiết bị cộng thêm vào nhiễu vốn có.
- Méo hài tăng, dải cao suy giảm.
- Đây là yếu tố khiến cả ngành chuyển sang kỹ thuật số.



Hình 2.28 — Sàn nhiễu sau mỗi lần sao chép: analog dâng dần, tệp số đứng yên

2.5.4

Bốn hạn chế của analog và câu trả lời của kỹ thuật số



Hình 2.29 — Bốn hạn chế cố hữu của analog, và câu trả lời tương ứng của kỹ thuật số

2.5.5

Máy ghi 32-bit float

- Hai bộ chuyển đổi song song, một cho âm nhỏ và một cho âm lớn.
- Ghép thành tệp 32-bit dấu phẩy động.
- Người quay gần như không phải chỉnh mức thu.
- Dời điểm méo sang các khối analog phía trước; micro và tiền khuếch đại vẫn méo trước.

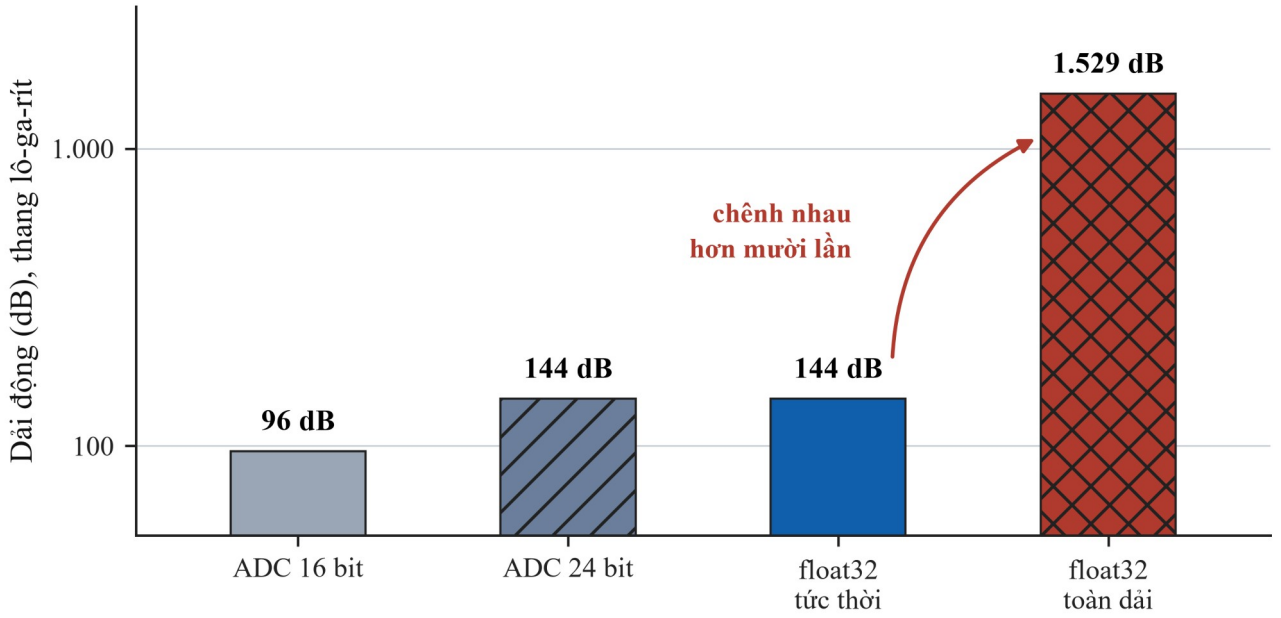


Hình 2.31 — Máy ghi hiện trường nhỏ gọn ghi âm 32-bit float. Nguồn ảnh: Wiki. Ashley Pomeroy, CC BY 4.0.

2.5.5

Hai con số, không phải một

- **Dải động tức thời:** 24 bit trong một phần mũ, tức 144 dB.
- **Dải động toàn dải:** 254 nấc phần mũ, khoảng 1.529 dB.
- Nói máy có dải động 1.500 dB là trộn hai con số làm một.



Hình 2.30 — Dải động tức thời và dải động toàn dải của float32: hai con số khác nhau

2.5.6

Mã không tạo thêm thông tin

Mã chỉ sắp xếp lại thông tin đã có trong dãy số. Dải cao đã mất vì trở kháng sai, chi tiết chìm dưới sàn nhiễu, đỉnh bị cắt vì đặt mức quá cao: cả ba đều vĩnh viễn.

MỤC 2.6

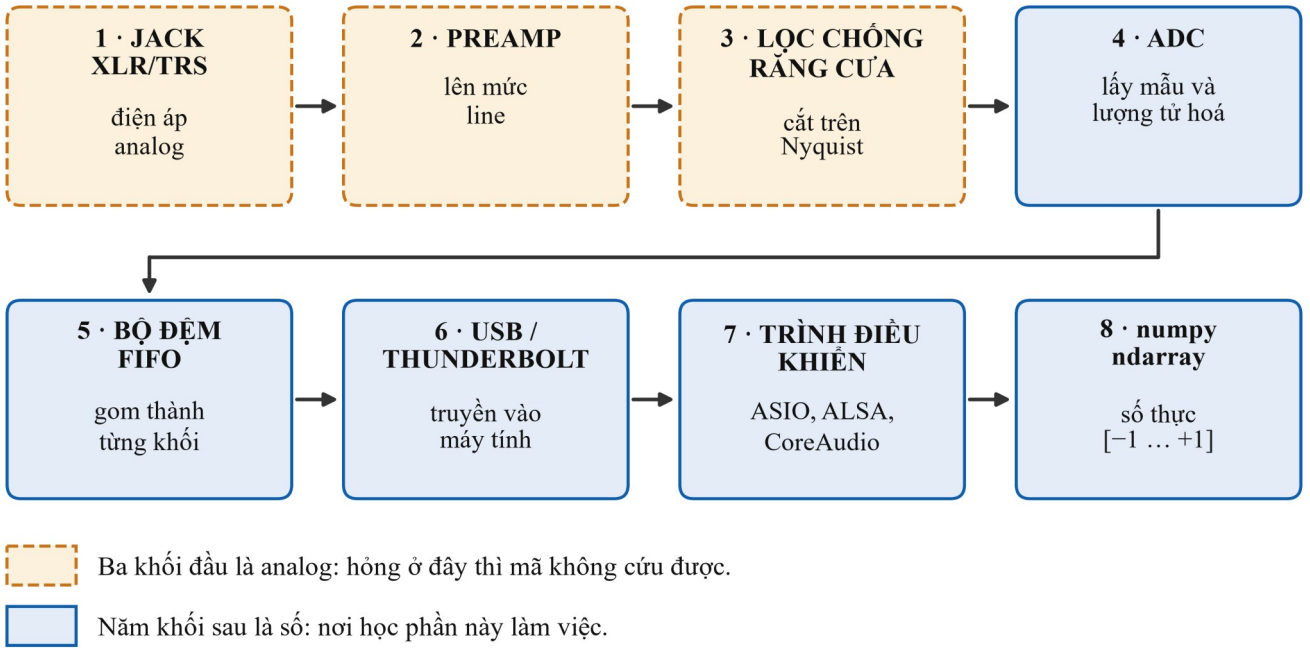
Từ điện thế tới mảng số

- Bên trong giao diện âm thanh: tám chặng từ jack cắm tới mảng số
- Khối đệm và độ trễ

2.6.1

Tám chặng từ jack cắm tới mảng số

- Giao diện âm thanh là cây cầu cuối giữa thế giới điện và thế giới số.
- Chặng cuối: thư viện trả mảng số thực trong khoảng −1,0 đến +1,0.
- Chuẩn hoá là quy ước phần mềm, không phải đại lượng vật lý.



Hình 2.32 — Tám chặng từ jack cắm tới mảng số thực trong Python

2.6.1

Giao diện âm thanh USB thực tế

- Mặt trước: ngõ combo, núm gain, nút Inst, núm tai nghe.
- Mặt sau: ngõ ra, cổng MIDI, cổng nối máy tính.
- Biết nó gồm gì thì biết lỗi nào thuộc phần cứng.



(a) (b)

Hình 2.33 — Giao diện âm thanh USB thực tế: (a) mặt trước có các ngõ combo, núm gain, nút Inst và núm tai nghe; (b) mặt sau có các ngõ ra, cổng MIDI và cổng nối máy tính. Nguồn ảnh: Wiki. (a) ParsecAU, CC0; (b) ParsecAU, CC0.

2.6.1

Giá trị 0,5 trong mảng numpy không phải nửa vôn

Nó là biên độ bằng nửa toàn thang của bộ chuyển đổi. Muốn biết ứng với bao nhiêu dB SPL phải biết độ nhạy micro, gain và mức tham chiếu, tức cả chuỗi.

2.6.2

Khối đệm và độ trễ

$$T_{\text{khối}} = \frac{N_{\text{khối}}}{f_s} \qquad [\text{s}]$$

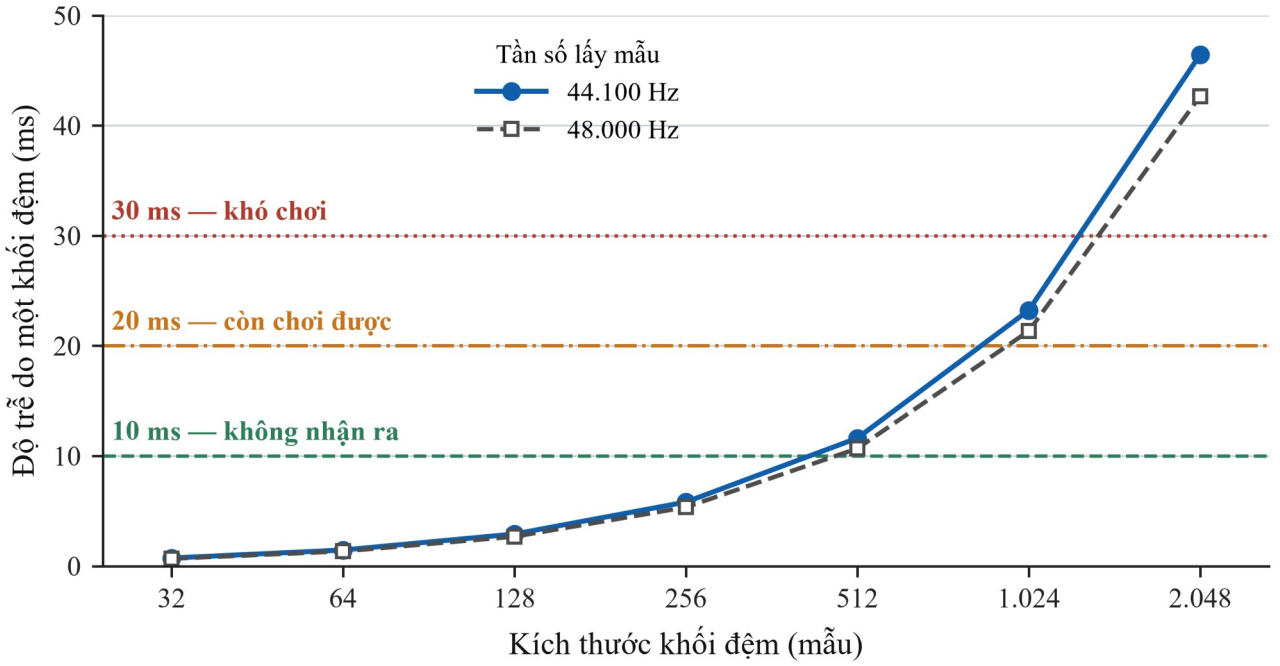
(2.12)

- Âm thanh được gom thành khối: 64, 128, 256, 512, 1024 mẫu.
- Độ trễ một khối bằng số mẫu chia tần số lấy mẫu.
- Khối nhỏ thì trễ ít, nhưng CPU phải xử lý kịp mỗi khối.

2.6.2

Độ trễ theo kích thước khối

- Đối chiếu với ba ngưỡng cảm nhận.
- Vòng vào–ra còn cộng khối phát, trình điều khiển và bộ chuyển đổi.
- Khối 256 mẫu ở 44.100 Hz: tổng khoảng 12,6 ms.
- Dưới 10 ms nhạc công không nhận ra; trên 30 ms lệch nhịp.
- Khối quá nhỏ: CPU không kịp, cạn đệm, tiếng nổ tanh tách.



Hình 2.34 — Độ trễ theo kích thước khối, đối chiếu với ba ngưỡng cảm nhận

MỤC 2.7

Hướng dẫn thực hành

- Đọc tệp WAV và trích siêu dữ liệu
- Mô phỏng hai loại nhiễu analog
- Kết quả phải ra

doc_wav.py — đọc tệp và đo ba con số

```
import numpy as np
import soundfile as sf
x, sr = sf.read("mau.wav", always_2d=True)
info = sf.info("mau.wav")
# --- siêu dữ liệu ---
print("tần số lấy mẫu =", sr, "Hz")
print("số kênh        =", x.shape[1])
print("thời lượng     =", round(len(x) / sr, 3), "giây")
print("định dạng      =", info.subtype)
# --- ghép về một kênh để đo ---
mono = x.mean(axis=1)
# --- ba con số của mục B2.5 ---
dinh = 20 * np.log10(max(np.max(np.abs(mono)), 1e-12))
hd   = 20 * np.log10(max(np.sqrt(np.mean(mono ** 2)), 1e-12))
print("đỉnh      =", round(dinh, 2), "dBFS")
print("hiệu dụng =", round(hd, 2), "dBFS")
print("headroom  =", round(-dinh, 2), "dB còn lại tới 0 dBFS")
```

always_2d=True giữ mảng hai chiều; max(..., 1e-12) tránh log của số không.

mo_phong_nhieu.py — nhiễu nhiệt và ù lưới điện

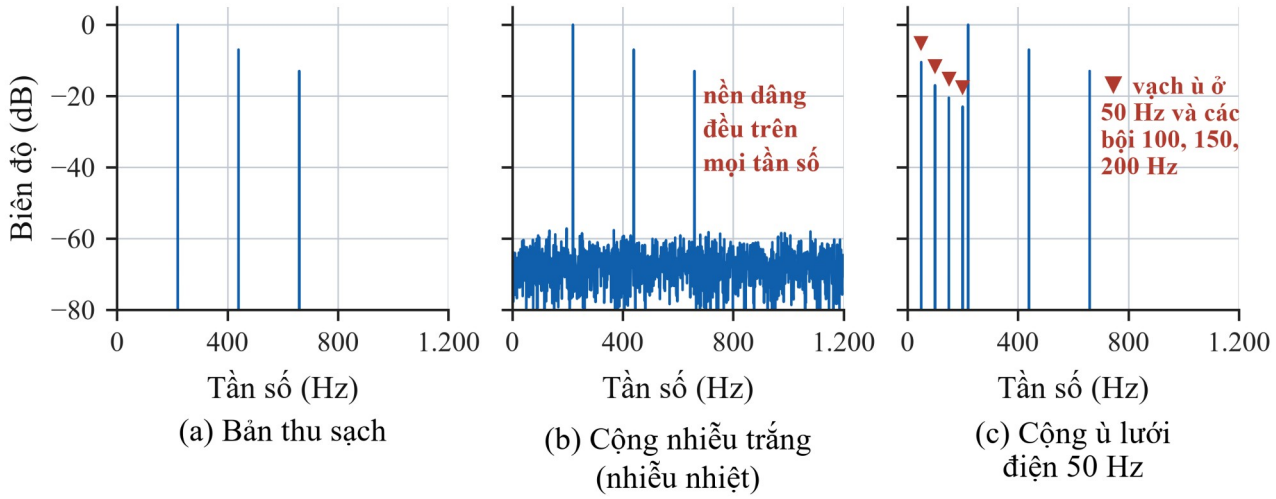
```
import numpy as np
import soundfile as sf
SR = 44100
x, _ = sf.read("giong_sach.wav")
if x.ndim > 1:
    x = x.mean(axis=1)
t = np.arange(len(x)) / SR
# --- nhiễu nhiệt: trải đều trên mọi tần số ---
rng = np.random.default_rng(0)
xi = 0.02 * rng.standard_normal(len(x))
# --- ù lưới điện: 50 Hz và các bội của nó ---
u = sum(0.03 / k * np.sin(2 * np.pi * 50 * k * t)
        for k in (1, 2, 3, 4))
sf.write("co_nhieu_nhiet.wav", np.clip(x + xi, -1, 1), SR)
sf.write("co_u_luoi.wav",      np.clip(x + u,  -1, 1), SR)
print("đã ghi hai tệp — mở bằng Audacity, bật Spectrogram")
```

Mở ba tệp trong Audacity, chuyển sang Spectrogram và so sánh.

2.7.2

Hai vân nhiễu trên phổ

- Nhiễu nhiệt: nền dâng đều trên toàn dải.
- Ù lưới điện: vạch ngang sáng ở 50 Hz và các bội 100, 150, 200 Hz.
- Nhận ra hai vân này là biết ngay phải sửa ở đâu.



Hình 2.35 — Phổ của bản sạch, bản có nhiễu nhiệt và bản có ù lưới điện

BẢNG 2.7

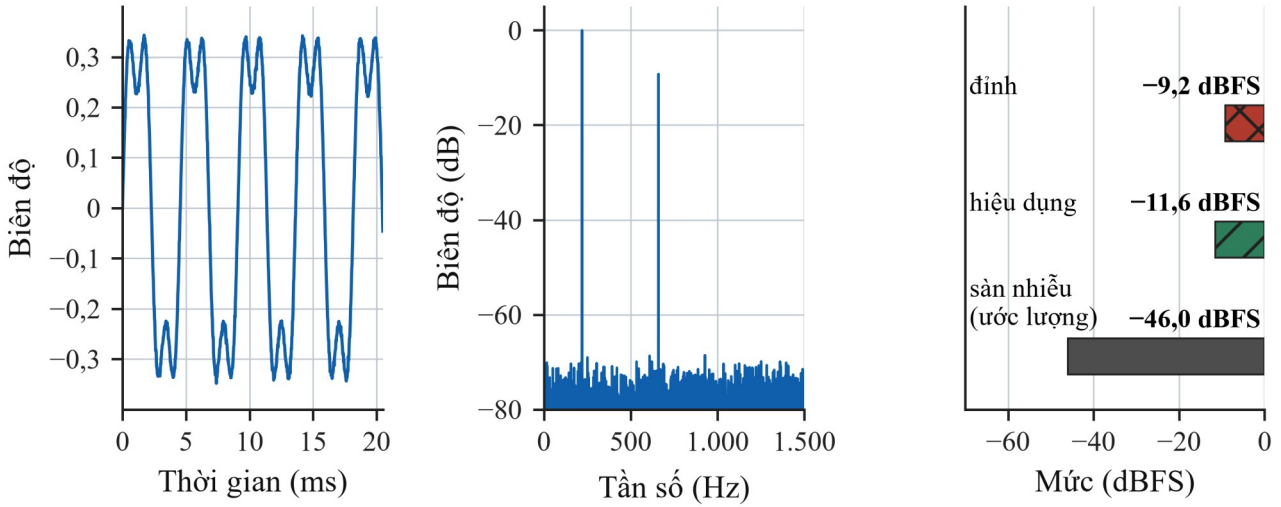
Chẩn đoán theo vân nhiễu

Nhìn thấy trên phổ	Nguyên nhân thường gặp	Sửa ở đâu
Nền dâng đều	Nhiễu nhiệt, gain quá cao ở khâu sau	Đặt lại mức từ đầu chuỗi, đưa micro lại gần
Vạch nhọn ở 50 Hz và bội	Ù vòng đất, cáp không cân bằng cạnh dây nguồn	Nối đất lại, dùng cáp cân bằng
Nền dâng ở dải cao	Xung nhịp mạch số lọt vào đường analog	Tách nguồn nuôi, đổi cáp
Đỉnh sóng bị cắt phẳng	Méo cắt do đặt mức quá cao	Thu lại; hậu kỳ không sửa được

2.7.3

Kết quả phải ra

- Ba cách nhìn và ba con số sau khi chạy hai đoạn mã.
- Lệch quá nửa decibel so với hình: kiểm tham số sinh tín hiệu trước.
- Rồi mới kiểm phần tính toán.



(a) Dạng sóng, 20 ms đầu (b) Phổ: hai vạch và nền nhiễu (c) Ba con số phải in ra

Hình 2.36 — Ba cách nhìn và ba con số phải thấy sau khi chạy hai đoạn mã trên

Bài 1 và Bài 2

- **Bài 1:** micro 2 mV/Pa, 70 dB SPL, cần 1,23 V. Tìm áp suất, điện áp ra, gain.
- Đáp số: 63,25 mPa; 0,126 mV; 79,8 dB. Micro 20 mV/Pa: còn 59,8 dB, giảm 20 dB.
- **Bài 2:** +4 dBu so với −10 dBV: đổi về vôn rồi so.
- Đáp số: 1,2277 V và 0,3162 V; chênh 11,78 dB, không phải 14 dB.

Bài 3 và Bài 4

- **Bài 3:** guitar 20 kΩ vào ngõ 10 kΩ và ngõ Hi-Z 1 MΩ.
- Đáp số: giữ 33,3 %, mất 9,54 dB; Hi-Z mất 0,17 dB; Z vào tối thiểu 200 kΩ.
- **Bài 4:** bốn thiết bị, mỗi cái −90 dBFS, nhiễu không tương quan.
- Đáp số: −83,98 dBFS (dâng 6,02 dB); còn hai thiết bị: −86,99 dBFS. Cộng theo biên độ sẽ sai thành −78 dBFS.

Bài 5 và Bài 6

- **Bài 5:** ngưỡng méo 0 dBFS, sàn nhiễu −96 dBFS.
- Dải động 96 dB. Mức danh định −18 dBFS: headroom 18 dB, SNR 78 dB. Ở −6 dBFS: 6 dB và 90 dB.
- **Bài 6:** khối đệm ở 48.000 Hz.
- Khối 256 mẫu: 5,33 ms. Dưới 5 ms: tối đa 128 mẫu. Ở 44.100 Hz, vòng vào–ra khoảng 12,6 ms, còn chơi được.

2.8

Ba lỗi hay gặp khi làm bài

Trừ trực tiếp hai số khác thang (dBu, dBV, dBFS). Cộng nhiễu như cộng biên độ: hệ số là 10, không phải 20. Lẫn headroom với dải động.

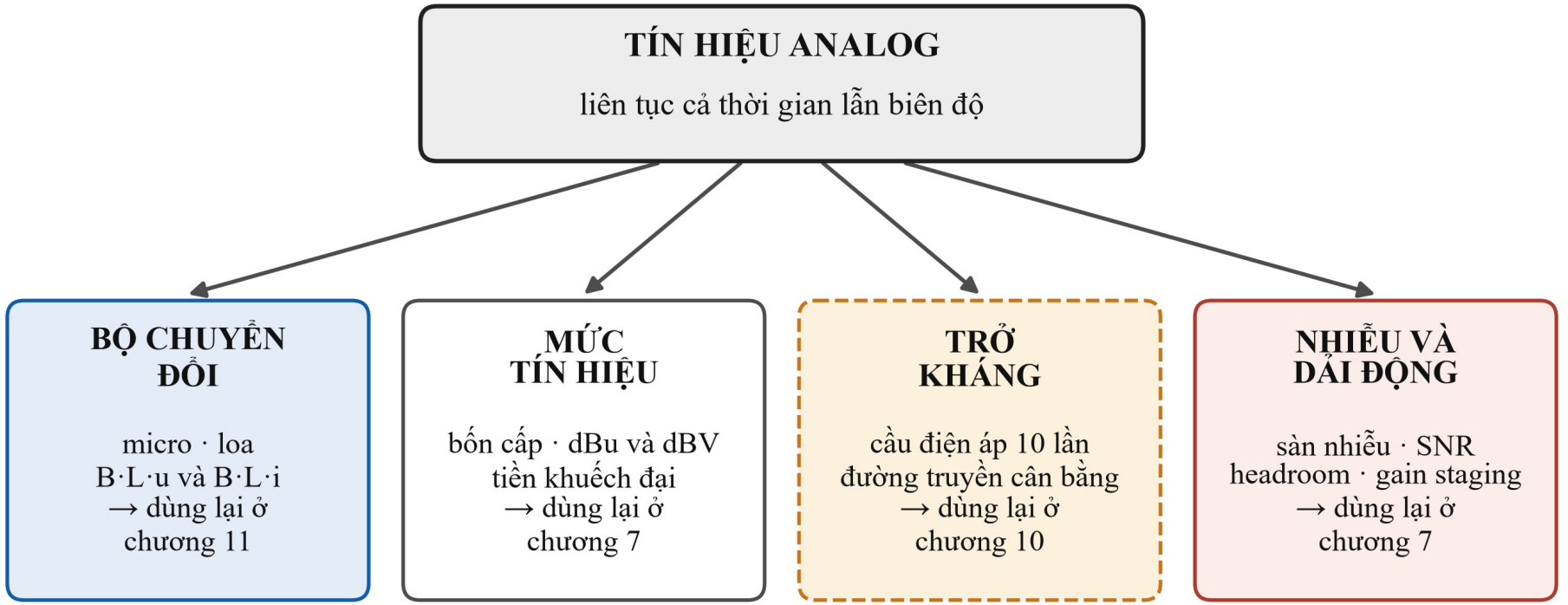
2.8

Bài 7: ngân sách mức cho chuỗi podcast

- Micro điện dung 20 mV/Pa, 74 dB SPL, cáp XLR 8 m, giao diện Z vào 2 kΩ, sàn nhiễu −128 dBu, line +4 dBu.
- Đáp số: a) 2,00 mV (−51,7 dBu). b) đạt quy tắc, mất 0,83 dB. c) gain khoảng 56,6 dB.
- d) SNR đầu ra 76,3 dB. e) tiếng cười 94 dB SPL vượt trần; hạ gain để giọng nói ở khoảng −32 dBFS.
- Câu d quan trọng nhất: khuếch đại không đổi SNR.

2.9.3

Bản đồ khái niệm của chương 2



Cả bốn nhánh gặp lại nhau ở khối ADC — chỗ chương 3 bắt đầu.

Hình 2.37 — Bốn nhánh khái niệm của chương 2 và chương nào sẽ dùng lại từng nhánh

2.9.5

Chuẩn bị cho chương 3

- Chương 3: lấy mẫu, định lý Nyquist, chồng phổ, lượng tử hoá, dBFS, định dạng nén.
- Chạy được hai đoạn mã ở mục 2.7 và đọc ba con số in ra.
- Vẽ sơ đồ chuỗi thu cho podcast hai người nói: loại micro, chuẩn cáp, mức tín hiệu từng chặng.
- Làm bảy bài ở mục 2.8, đối chiếu đáp số.

Câu hỏi sang chương 3: cắt trục thời gian thành các mốc rời rạc thì mất gì, và có khôi phục nguyên vẹn được không?

Những điều cần nhớ

1. Analog nghĩa là tương tự: điện thế chép lại hình dạng áp suất, nên mọi méo đều thành một phần của tín hiệu.
2. Chất lượng bản thu do tầng đầu chuỗi quyết định; khuếch đại nhân đều cả tín hiệu lẫn nhiễu.
3. dBu và dBV có hai mốc 0 khác nhau: +4 dBu và −10 dBV chênh 11,8 dB, không phải 14 dB.
4. Cầu điện áp: Z vào ≥ 10 × Z ra; đường cân bằng triệt nhiễu đồng pha và cộng thêm 6 dB tín hiệu.
5. Dải động = headroom + SNR; mức chuẩn phòng thu quanh −18 dBFS; nhiễu cộng theo công suất.
6. Mã không tạo thêm thông tin, chỉ sắp xếp lại thông tin đã có trong dãy số.