MỤC LỤC

Chương 2. Âm thanh analog và chuỗi tín hiệu.....6
2.1 Vị trí của chương trong cuốn sách.....6
2.2 Tín hiệu analog và bộ biến đổi năng lượng.....8
2.3 Chuỗi tín hiệu và bốn cấp mức.....14
2.4 Trở kháng và đường truyền cân bằng.....19
2.5 Nhiễu, dải động và bốn hạn chế của analog.....23
2.6 Từ điện thế tới mảng số.....29
2.7 Hướng dẫn thực hành.....31
2.8 Bài tập tính toán.....33
2.9 Câu hỏi ôn tập, thảo luận và tổng kết.....36

DANH MỤC HÌNH VẼ

Hình 2.1 Ba thế giới và hai cây cầu nối chúng: micro và bộ chuyển đổi A/D.....7
Hình 2.2 Đường đi của chương 2: từ bộ chuyển đổi tới khối đệm của giao diện âm thanh.....8
Hình 2.3 Cùng một hình dạng, hai đại lượng: pascal ở trên, milivôn ở dưới.....8
Hình 2.4 Analog liền nét cả hai trục; số hoá cắt lần lượt từng trục một.....9
Hình 2.5 Micro điện động: cuộn dây gắn với màng rung chuyển động trong từ trường10
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.....10
Hình 2.7 Micro và loa: cùng cấu tạo, ngược chiều năng lượng.....11
Hình 2.8 Micro điện dung: điện dung biến thiên theo khoảng cách hai bản cực.....12
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.....12
Hình 2.10 Độ nhạy quyết định điện áp ra: hai dòng micro chênh nhau khoảng 20 dB..13
Hình 2.11 Bước sóng theo tần số, và đường kính màng loa vẽ đúng tỉ lệ.....14
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.....14
Hình 2.13 Bảy khối của một chuỗi thu âm, kèm mức tín hiệu tiêu biểu ở mỗi chặng…15
Hình 2.14 Một góc phòng thu thực tế: micro trên giá, hai loa kiểm âm, bàn phím MIDI và máy tính trong cùng một chuỗi tín hiệu. Nguồn ảnh: Wiki. WarReadyD, CC BY-SA 4.0.....15
Hình 2.15 Cùng một nguồn âm, khác nhau ở chỗ đặt bộ khuếch đại trong chuỗi.....16
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.....16
Hình 2.17 Bốn cấp mức trên thang lô-ga-rít: chênh nhau tới bảy mươi decibel.....17
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.....17
Hình 2.19 Hai thang, hai mốc 0 — và chênh lệch thật giữa hai chuẩn line.....18
Hình 2.20 Ba cách đặt mức trên cùng một chuỗi, ba kết quả khác nhau.....19
Hình 2.21 Cầu phân áp và suy hao theo tỉ số trở kháng.....20
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.....21
Hình 2.23 Bốn tín hiệu trên một đường truyền cân bằng và kết quả phép trừ.....21
Hình 2.24 Các đầu nối XLR đực và cái, thấy rõ ba chân. Nguồn ảnh: Wiki. Jmb, CC BY 2.5.....22
Hình 2.25 Nhiễu cảm ứng theo chiều dài cáp, có và không có đường cân bằng.....22
Hình 2.26 Sàn nhiễu, mức danh định, ngưỡng méo — và ba khoảng cách giữa chúng.24
Hình 2.27 Nhiễu nhiệt theo điện trở, và cách nhiễu cộng dồn dọc chuỗi.....25
Hình 2.28 Sàn nhiễu sau mỗi lần sao chép: analog dâng dần, tệp số đứng yên.....26
Hình 2.29 Bốn hạn chế cố hữu của analog, và câu trả lời tương ứng của kỹ thuật số....26
Hình 2.30 Dải động tức thời và dải động toàn dải của float32: hai con số khác nhau…27

Hình 2.31 Máy ghi hiện trường nhỏ gọn ghi âm 32-bit float. Nguồn ảnh: Wiki. Ashley Pomeroy, CC BY 4.0.....27
Hình 2.32 Tám chặng từ jack cắm tới mảng số thực trong Python.....29
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.....29
Hình 2.34 Độ trễ theo kích thước khối, đối chiếu với ba ngưỡng cảm nhận.....30
Hình 2.35 Phổ của bản sạch, bản có nhiễu nhiệt và bản có ù lưới điện.....32
Hình 2.36 Ba cách nhìn và ba con số phải thấy sau khi chạy hai đoạn mã trên.....33
Hình 2.37 Bốn nhánh khái niệm của chương 2 và chương nào sẽ dùng lại từng nhánh 38

DANH MỤC BẢNG BIỂU

Bảng 2.1 Độ nhạy tiêu biểu của hai dòng micro....12
Bảng 2.2 Bốn cấp mức tín hiệu và đặc điểm....17
Bảng 2.3 Hai thang điện áp và nguồn gốc của chúng....18
Bảng 2.4 Bốn đại lượng và ý nghĩa thực hành....24
Bảng 2.5 Đại lượng nào thuộc về mã, đại lượng nào thuộc về phần cứng....28
Bảng 2.6 Ba ngưỡng cảm nhận độ trễ khi chơi hoặc thu trực tiếp....30
Bảng 2.7 Chẩn đoán theo vân nhiễu....32
Bảng 2.8 Thuật ngữ chương 2....38

CHƯƠNG 2
ÂM THANH ANALOG VÀ CHUỖI TÍN HIỆU

Mục tiêu của chương

Sau chương này, người đọc làm được những việc sau.

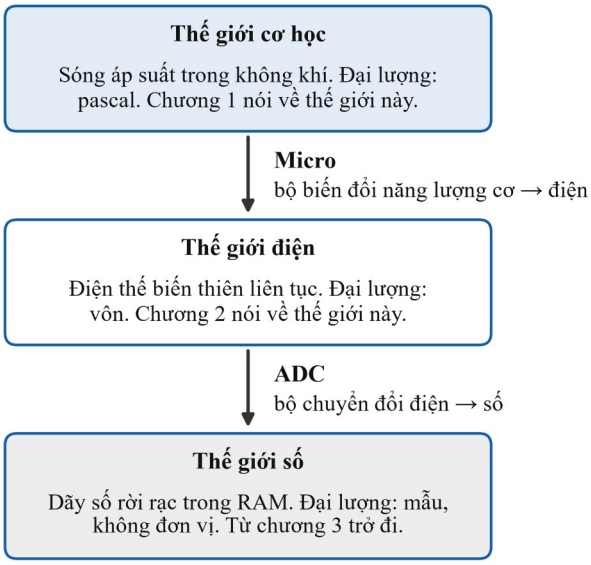
- Giải thích được vì sao gọi là tín hiệu "analog", và nêu được hai tính liên tục của nó cùng phép nào ở chương 3 sẽ phá vỡ từng tính.
- Phân biệt được nguyên lý của micro điện động và micro điện dung, và giải thích được vì sao chỉ một trong hai cần nguồn phantom.
- Kể được các khối của chuỗi tín hiệu và giải thích được vì sao chất lượng bản thu do tầng đầu chuỗi quyết định.
- Đổi được giữa vôn, dBu và dBV, và tính đúng chênh lệch giữa hai chuẩn line — chỗ sai kinh điển của người mới.
- Áp dụng được quy tắc phối ghép cầu điện áp và giải thích được cơ chế triệt nhiễu của đường truyền cân bằng.
- Định nghĩa và tính được sàn nhiễu, SNR, headroom, dải động, và giải thích được quan hệ giữa chúng.
- Viết được đoạn mã đọc tệp WAV, trích siêu dữ liệu, đo ba con số mức, và mô phỏng hai loại nhiễu analog.

> **Chương này khác chương 1 ở một điểm**
>
> Chương 1 nói về tự nhiên: sóng áp suất tồn tại như thế nào dù có ai đo hay không. Mọi con số ở đó là hằng số vật lý.
>
> Chương này nói về *thiết bị* do con người làm ra. Mọi con số ở đây — mốc 0 dBu, quy tắc mười lần, mức −18 dBFS — đều là lựa chọn kỹ thuật *có lý do*.
>
> Vì thế cách học cũng khác: không nên học thuộc con số mà cần hiểu lý do. Nhớ lý do thì suy ra được con số; thuộc con số thì quên sau một tuần.

2.1 Vị trí của chương trong cuốn sách

2.1.1 Chương 1 dừng ở đâu, chương 2 đi tiếp thế nào

Chương 1 kết thúc ở một chỗ rất cụ thể: sóng áp suất trong không khí, đo được bằng pascal, mô tả được bằng bốn đại lượng gốc. Chương 3 sẽ bắt đầu ở một chỗ cũng rất cụ thể: một dãy số trong bộ nhớ máy tính. Giữa hai chỗ ấy là một đoạn đường mà lập trình viên âm thanh *không* viết mã, nhưng nếu không hiểu thì sẽ có một loại lỗi không bao giờ gỡ được bằng cách đọc lại mã chương trình.



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

Đó là loại lỗi mà triệu chứng nằm trong dãy số nhưng nguyên nhân nằm ngoài nó: bản thu có nhiễu nền (tiếng hiss) mà không thuật toán khử nhiễu nào làm sạch được; hai kênh trộn lại thì mất trầm; tiếng đàn ghi ta cắm vào máy thì đục hẳn so với lúc nghe trực tiếp. Cả ba đều có nguyên nhân trong chương này, và cả ba đều không sửa được bằng mã.

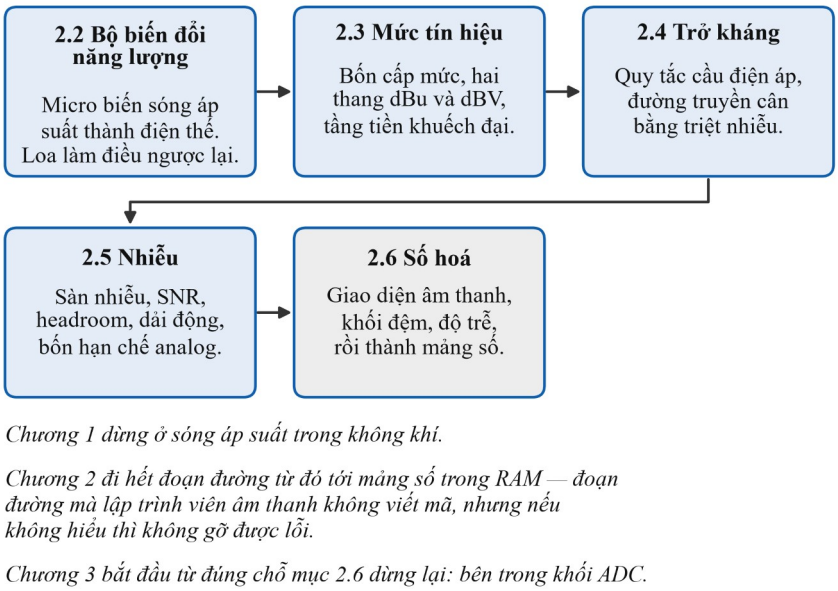
Câu hỏi dẫn đường cho cả chương

Vì sao một bản thu đã dính nhiễu thì về sau không lấy lại được, trong khi một tệp số sao chép nghìn lần vẫn y nguyên?

Câu trả lời nằm ở chỗ: nhiễu analog *cộng vào* tín hiệu và trở thành một phần của nó, còn dữ liệu số thì hoặc đúng hoàn toàn hoặc sai hoàn toàn — không có trạng thái "hơi nhiễu".

Chương này đi từ đầu để hiểu vì sao lại như vậy.

2.1.2 Năm mục và đường đi của chương

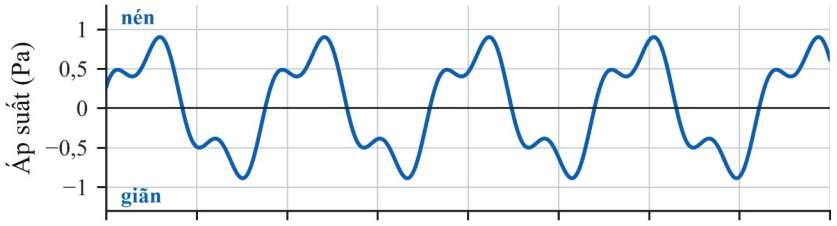


Hình 2.2 Đường đi của chương 2: từ bộ chuyển đổi tới khối đệm của giao diện âm thanh

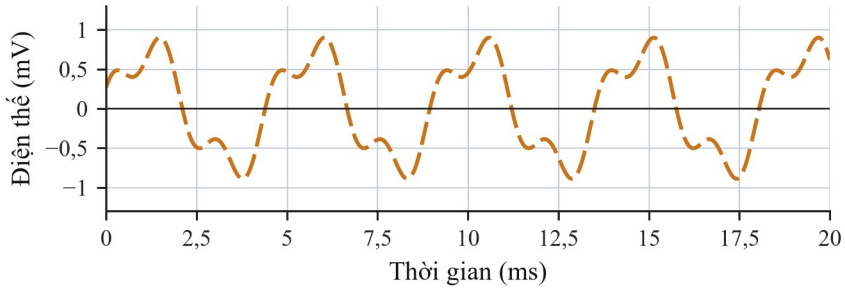
2.2 Tín hiệu analog và bộ biến đổi năng lượng

2.2.1 Analog nghĩa là gì

Chữ "analog" trong tiếng Anh nghĩa là *tương tự*. Tín hiệu analog là một đại lượng vật lý — thường là điện thế — biến thiên theo thời gian sao cho hình dạng của nó *tương tự* hình dạng của sóng áp suất gốc. Micro không "hiểu" âm thanh và không phân tích gì cả; nó chỉ chép lại một hình dạng bằng một đại lượng khác.



(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

Hai đường trong hình trên giống nhau hoàn toàn, chỉ khác trục dọc. Đó chính là nghĩa của chữ analog, và cũng là điều làm nó vừa mạnh vừa yếu: mạnh vì

không cần tính toán gì, yếu vì bất cứ thứ gì làm méo cái hình dạng ấy đều trở thành một phần của tín hiệu và không tách ra được nữa.

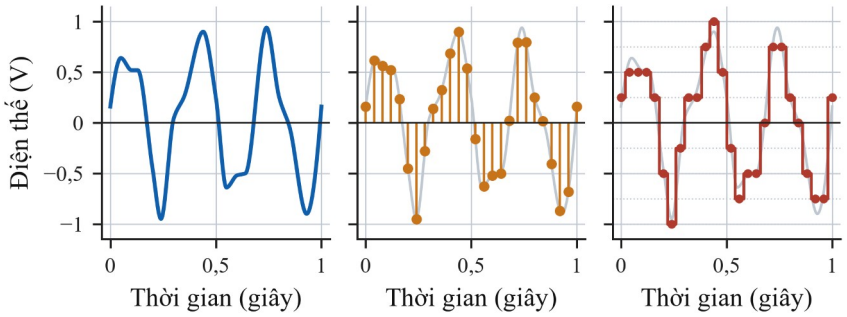
2.2.2 Hai tính liên tục — và hai thứ sẽ mất ở chương 3

Về mặt toán học, tín hiệu analog là một hàm liên tục của biến thời gian thực:

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

Hàm ấy có hai tính chất, và cần gọi tên rõ cả hai vì chương 3 sẽ lần lượt phá vỡ từng tính chất một.

- **Liên tục trên trục thời gian.** Giữa hai mốc thời gian bất kỳ luôn còn vô số thời điểm trung gian. Đồ thị là một đường liền nét, không đứt quãng. Phép *lấy mẫu* ở chương 3 sẽ phá tính chất này.
- **Liên tục trên trục biên độ.** Điện thế nhận được bất kỳ giá trị nào trong giới hạn vật lý, không bị chia thành bậc. Phép *lượng tử hoá* ở chương 3 sẽ phá tính chất này.



(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

Vì sao nên phân biệt hai tính chất này ngay bây giờ

Rất nhiều nhầm lẫn ở chương 3 và chương 4 bắt nguồn từ việc gộp hai khái niệm này làm một.

Lấy mẫu và lượng tử hoá là *hai* phép độc lập, do hai bộ phận khác nhau thực hiện, gây ra hai loại sai số khác nhau, và được kiểm soát bằng hai tham số khác nhau: tần số lấy mẫu và số bit.

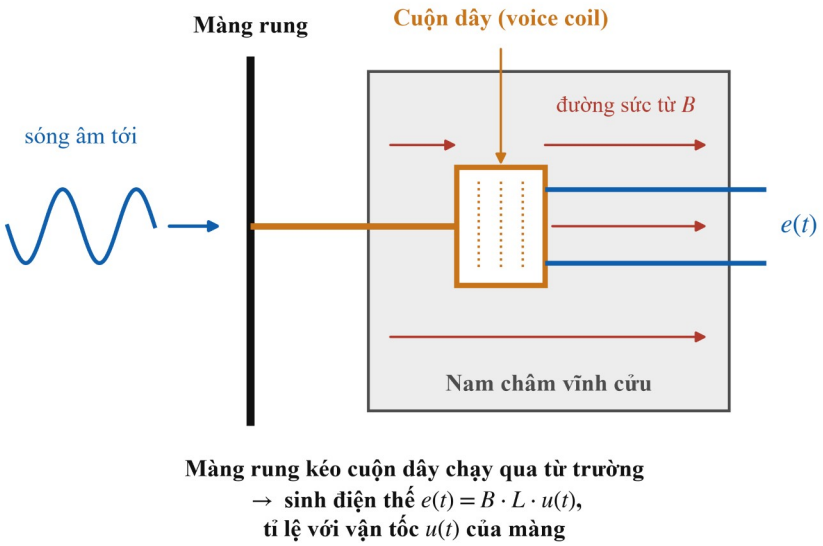
Ai phân biệt được ngay từ chương này thì chương 3 học rất nhanh.

2.2.3 Micro điện động: chuyển động sinh ra điện

Bộ biến đổi năng lượng (transducer) là thiết bị biến một dạng năng lượng thành dạng khác. Trong âm thanh có hai bộ biến đổi năng lượng quan trọng nhất, và chúng hoạt động ngược chiều nhau: micro biến cơ thành điện, loa biến điện thành cơ.

Micro điện động dựa trên hiện tượng cảm ứng điện từ. Màng rung gắn với một cuộn dây treo lơ lửng trong khe từ của một nam châm vĩnh cửu. Khi sóng

âm tới, màng rung kéo cuộn dây chuyển động cắt qua các đường sức từ, và trong cuộn dây xuất hiện một suất điện động.



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



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.

Điều đáng chú ý là điện thế sinh ra tỉ lệ với *vận tốc* của màng, chứ không phải với vị trí của nó. Loa điện động hoạt động theo đúng nguyên lý ấy nhưng ngược chiều: cho dòng điện chạy qua cuộn dây trong từ trường thì sinh ra lực, và lực ấy đẩy màng loa.

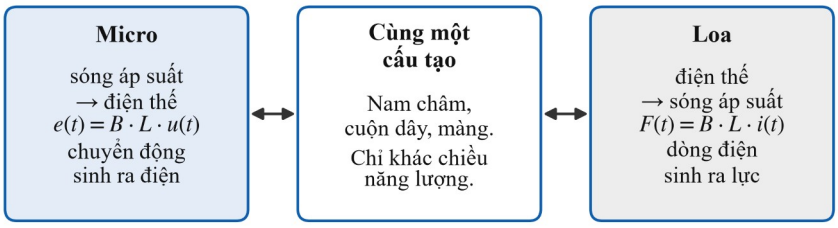
$$e(t) = B\,L\,u(t) \quad \text{[micro]} \; ; \qquad F(t) = B\,L\,i(t) \quad \text{[loa]} \tag{2.2}$$

Một thí nghiệm năm phút làm được ngay

Cắm một chiếc loa nhỏ — loa máy tính cũ chẳng hạn — vào ngõ micro của máy tính, rồi nói vào nó. Sẽ thu được tiếng: yếu, đục, nhưng nghe rõ là tiếng nói.

Đây không chỉ là một thí nghiệm vui. Nó là bằng chứng trực tiếp cho tính thuận nghịch của bộ biến đổi năng lượng điện động: cùng một cấu tạo, đảo chiều năng lượng thì đảo chức năng.

Ngược lại cũng đúng: có thể cho dòng điện qua một micro điện động và nó sẽ phát ra tiếng — rất nhỏ, nhưng có.



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.

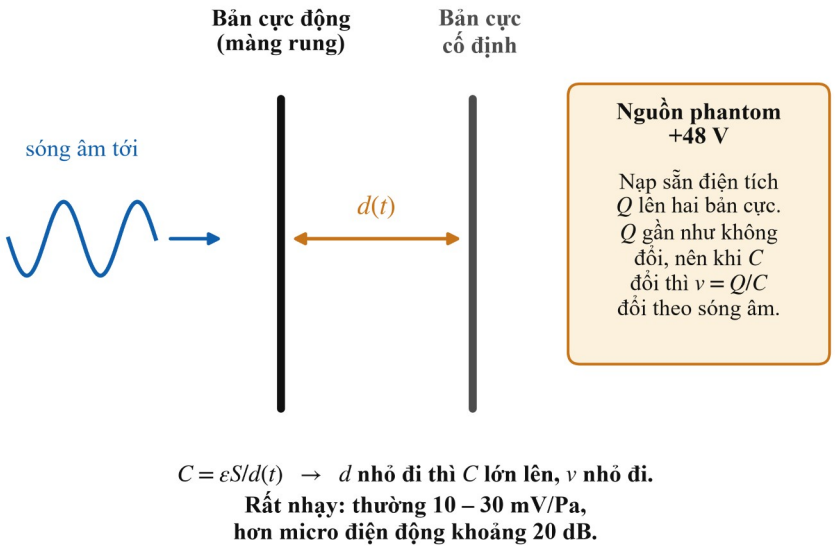
Hình 2.7 Micro và loa: cùng cấu tạo, ngược chiều năng lượng

2.2.4 Micro điện dung: khoảng cách đổi thì điện dung đổi

Micro điện dung dùng một nguyên lý khác hẳn. Màng rung ở đây là một bản cực của tụ điện phẳng, đặt cách bản cực cố định một khoảng rất nhỏ. Khi màng rung, khoảng cách ấy biến thiên, nên điện dung biến thiên theo.

$$C = \frac{\varepsilon S}{d(t)}; \qquad v(t) = \frac{Q}{C(t)} = \frac{Q\,d(t)}{\varepsilon S} \tag{2.3}$$

Điện tích Q trên hai bản cực được nạp sẵn và giữ gần như không đổi, nên khi điện dung C thay đổi thì hiệu điện thế v = Q/C thay đổi theo đúng nhịp sóng âm. Chính vì phải nạp sẵn điện tích ấy mà micro điện dung cần nguồn nuôi — nguồn phantom 48 vôn truyền theo chính sợi cáp tín hiệu.



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



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.

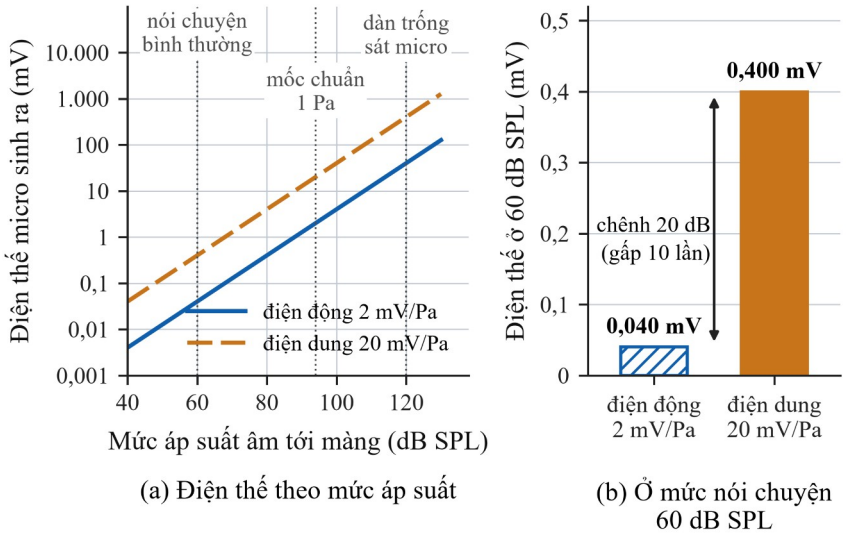
2.2.5 Độ nhạy — con số quyết định phải khuếch đại bao nhiêu

Độ nhạy ghi trên thân micro cho biết nó sinh ra bao nhiêu milivôn khi chịu áp suất một pascal. Đây là thông số quan trọng nhất khi tính toán chuỗi tín hiệu, vì nó quyết định tầng tiền khuếch đại phải làm việc nhiều hay ít.

$$v_{\text{mic}} = S_{\text{mic}} \cdot p\,; \qquad p = p_0 \cdot 10^{L_p/20}, \quad p_0 = 20\,\mu\text{Pa} \tag{2.4}$$

Bảng 2.1 Độ nhạy tiêu biểu của hai dòng micro

Dòng micro	Độ nhạy	Điện áp ở 94 dB SPL	Đặc điểm
Điện động	1,5 – 3 mV/Pa	2,0 mV (ở 2 mV/Pa)	Bền, không cần nguồn nuôi, chịu áp suất âm lớn
Điện dung	10 – 30 mV/Pa	20,0 mV (ở 20 mV/Pa)	Rất nhạy và chi tiết, cần nguồn phantom 48 V



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

Con số đáng nhớ nhất từ hình trên: ở mức nói chuyện bình thường khoảng 60 dB SPL, một micro điện động 2 mV/Pa chỉ sinh ra khoảng 0,040 mV. Muốn đưa nó lên mức làm việc của thiết bị — khoảng 1,23 vôn — phải khuếch đại 90 dB, tức nhân biên độ lên khoảng 30.692 lần. Đó là lý do tầng tiền khuếch đại không phải một tuỳ chọn mà là một điều kiện bắt buộc, và cũng là lý do chất lượng của nó quyết định chất lượng cả bản thu.

Con số này cho thấy một hạn chế quan trọng

90 dB là *nhiều hơn* mức mà phần lớn tiền khuếch đại cung cấp: thiết bị thông thường cho tối đa 60 – 70 dB, loại tốt thì tới 75 dB.

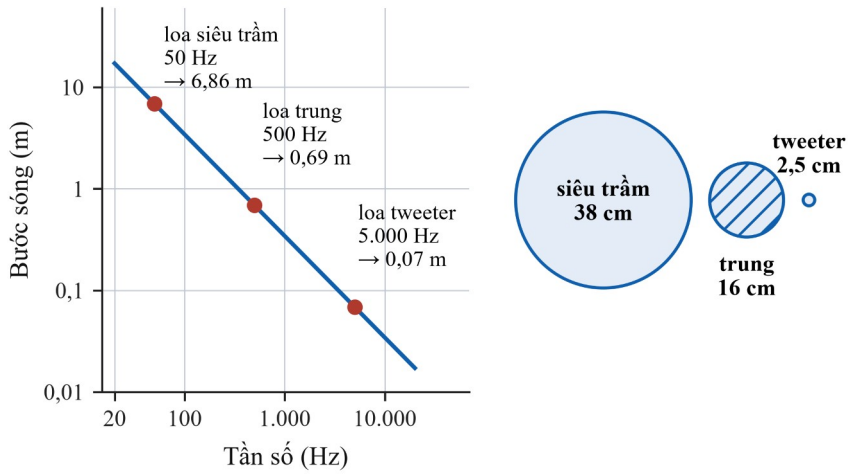
Nghĩa là tình huống vừa tính — người nói giọng vừa phải, micro điện động, đặt hơi xa — nằm ngoài tầm với của thiết bị phổ thông. Đó không phải lỗi tính toán mà là một giới hạn thật, và nó giải thích vì sao bản thu trong hoàn cảnh ấy luôn có nhiễu nền.

Ba cách khắc phục, theo thứ tự hiệu quả: đưa micro lại gần (quy tắc 6 dB ở chương 1), đổi sang micro nhạy hơn, rồi mới tới việc trang bị tiền khuếch đại tốt hơn. Tình huống thảo luận 1 ở mục 2.9.2 là đúng trường hợp này.

Lưu ý phân biệt với con số 48 dB ở mục 2.3.2: con số ấy tính từ *mức micro danh định* 5 mV, tức trường hợp nguồn âm đủ mạnh và micro đặt đúng cự ly. Hai con số không mâu thuẫn — chúng mô tả hai hoàn cảnh khác nhau.

2.2.6 Vì sao loa trầm phải có màng lớn

Một hệ quả trực tiếp của công thức bước sóng học ở chương 1, nhưng đến chương này mới thấy hết ý nghĩa. Để bức xạ được một bước sóng dài, màng loa phải đẩy được một thể tích không khí lớn tương ứng.



(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



(a) (b)

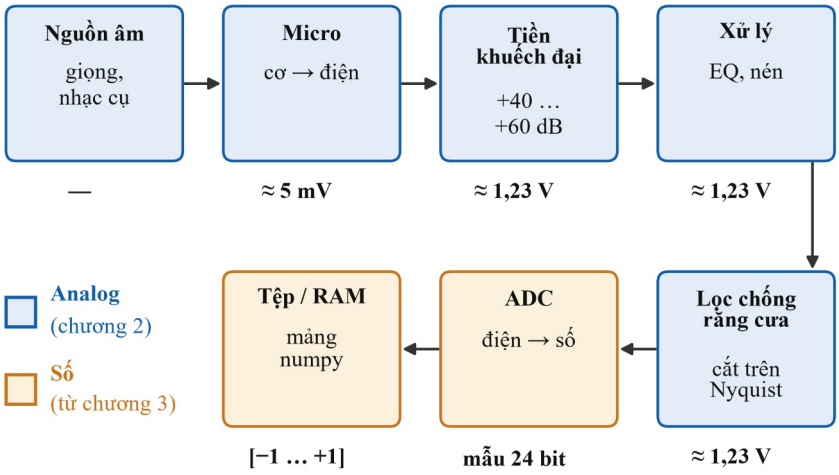
Hình 2.12 Loa trầm và loa treble: (a) loa kiểm âm hai đường tiếng, loa treble dạng vòm nhỏ phía trên và loa trầm lớn hơn phía dưới; (b) loa trầm cỡ lớn dùng trong hệ thống sân khấu, nhìn từ mặt trước và mặt sau. Nguồn ảnh: Wiki. (a) TaurusEmerald, CC BY-SA 4.0; (b) JJ Harrison, CC BY-SA 4.0.

Vì vậy kích thước loa không phải quy ước của nhà sản xuất mà là ràng buộc vật lý. Một chiếc loa điện thoại đường kính hai xăng-ti-mét về nguyên tắc không thể tái tạo được âm 50 Hz với mức đủ nghe, dù mạch điện tử có tốt đến đâu. Điều này sẽ quay lại ở chương 10 khi bàn về việc trộn cho nhiều hệ thống phát khác nhau.

2.3 Chuỗi tín hiệu và bốn cấp mức

2.3.1 Bảy khối từ nguồn âm tới mảng số

Chuỗi tín hiệu là dãy thiết bị mắc nối tiếp mà âm thanh đi qua. Hiểu chuỗi này là hiểu được vị trí của chính mình: lập trình viên âm thanh làm việc ở hai khối cuối, nhưng chất lượng của cái mà mã nhận được đã bị quyết định xong ở năm khối trước đó.



Hình 2.13 Bảy khối của một chuỗi thu âm, kèm mức tín hiệu tiêu biểu ở mỗi chặng



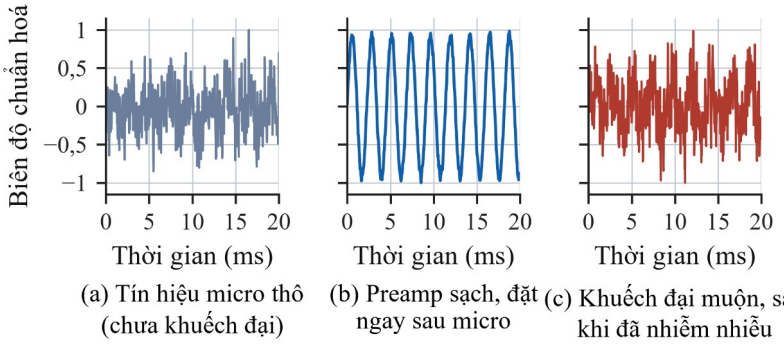
Hình 2.14 Một góc phòng thu thực tế: micro trên giá, hai loa kiểm âm, bàn phím MIDI và máy tính trong cùng một chuỗi tín hiệu. Nguồn ảnh: Wiki. WarReadyD, CC BY-SA 4.0.

2.3.2 Tầng tiền khuếch đại và vì sao nó quyết định tất cả

Tín hiệu do micro sinh ra chỉ vài milivôn — không đủ để kích hoạt bất kỳ mạch xử lý nào, và nếu truyền qua cáp dài sẽ bị nhiễu điện từ nhấn chìm. Nhiệm vụ của tiền khuếch đại là nâng nó từ khoảng 5 mV lên khoảng 1,23 V, tức khuếch đại 48 dB.

$$G = 20 \log_{10} \frac{V_{\text{ra}}}{V_{\text{vào}}} \quad [\text{dB}] \tag{2.5}$$

Nhưng điểm mấu chốt không nằm ở con số ấy. Điểm mấu chốt là: khuếch đại *không* làm sạch tín hiệu. Nó nhân đều mọi thứ đang có trên dây — cả tín hiệu lẫn nhiễu đã lẫn vào. Cho nên nếu tín hiệu đã nhiễm nhiễu trước khi tới bộ khuếch đại, thì khuếch đại xong vẫn đúng tỉ lệ nhiễu ấy, chỉ to hơn.



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



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.

Hệ quả nghề nghiệp của một câu duy nhất

Chất lượng bản thu do tầng *đầu tiên* quyết định, không phải tầng đắt nhất.

Thêm bao nhiêu thiết bị tốt phía sau cũng không lấy lại được cái đã mất ở micro và preamp. Đây là lý do một phòng thu đầu tư nhiều hơn cho hai khối đầu chuỗi so với tất cả phần còn lại.

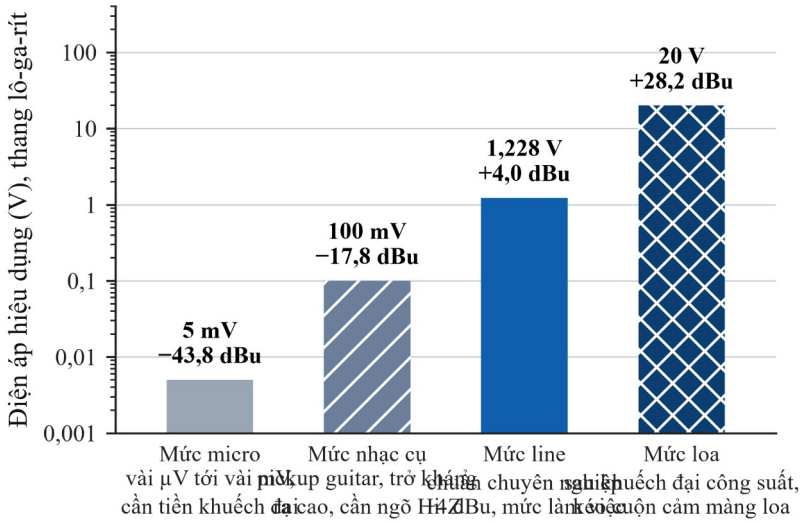
Với người lập trình âm thanh, hệ quả cụ thể là: khi thuật toán khử nhiễu tự viết cho kết quả kém, cần kiểm tra bản thu gốc trước khi kiểm tra mã. Chương 7 sẽ nói kỹ về giới hạn của việc khử nhiễu hậu kỳ.

2.3.3 Bốn cấp mức tín hiệu

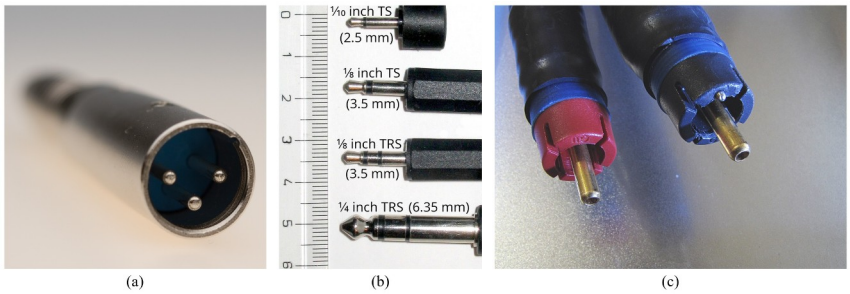
Thiết bị âm thanh không làm việc ở một mức điện áp duy nhất. Ngành phân chia thành bốn cấp mức, chênh nhau rất xa, và cắm nhầm cấp là nguyên nhân hàng đầu của méo cắt đỉnh hoặc nhiễu nền không khắc phục được.

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 điện, 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



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



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.

Hai lỗi cắm nhầm thường gặp và hậu quả của chúng:

– **Đưa mức line vào ngõ micro.** Tín hiệu lớn hơn mức ngõ mong đợi khoảng 48 dB, nên mạch bão hoà ngay. Kết quả: méo cắt đỉnh dữ dội, tiếng méo nặng.

– **Đưa mức micro vào ngõ line.** Tín hiệu quá nhỏ so với mức ngõ mong đợi, phải kéo lên rất nhiều ở khâu sau, và kéo cả sàn nhiễu lên theo. Kết quả: nghe được nhưng đầy nhiễu nền.

2.3.4 Hai thang decibel: dBu và dBV

Chương 1 đã học rằng decibel luôn là một *tỉ số* so với một mốc. Trong kỹ thuật âm thanh có hai mốc điện áp cùng tồn tại, và đây là chỗ gây nhầm lẫn thường xuyên nhất khi đọc thông số thiết bị.

$$L_u = 20\log_{10}\frac{V}{0{,}7746}\ [\text{dBu}]\ ; \qquad L_v = 20\log_{10}\frac{V}{1{,}0000}\ [\text{dBV}] \tag{2.6}$$

Bảng 2.3 Hai thang điện áp và nguồn gốc của chúng

Thang	Mốc 0	Nguồn gốc	Dùng ở đâu
dBu	0,7746 V	Điện áp cho công suất 1 mW trên tải 600 Ω — di sản từ kỹ thuật điện thoại	Thiết bị chuyên nghiệp, phòng thu, sân khấu
dBV	1,0000 V	Một vôn chẵn, chọn cho tiện tính toán	Thiết bị dân dụng, dàn máy gia đình

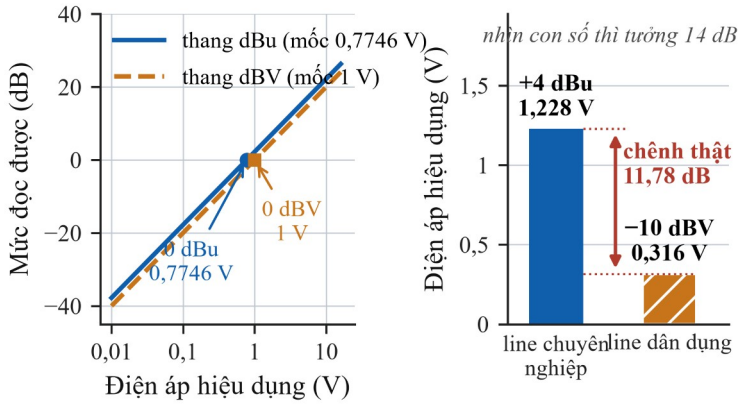
Chỗ sai kinh điển — đọc kỹ mục này

Chuẩn line chuyên nghiệp là +4 dBu. Chuẩn line dân dụng là −10 dBV.

Nhìn hai con số thì tưởng chúng chênh nhau 4 − (−10) = 14 dB. *Điều này sai.*

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

Ghi nhớ ngắn: chênh khoảng 11,8 dB, không phải 14 dB. Chênh lệch hơn hai decibel này đủ để một phép tính headroom trở thành sai.



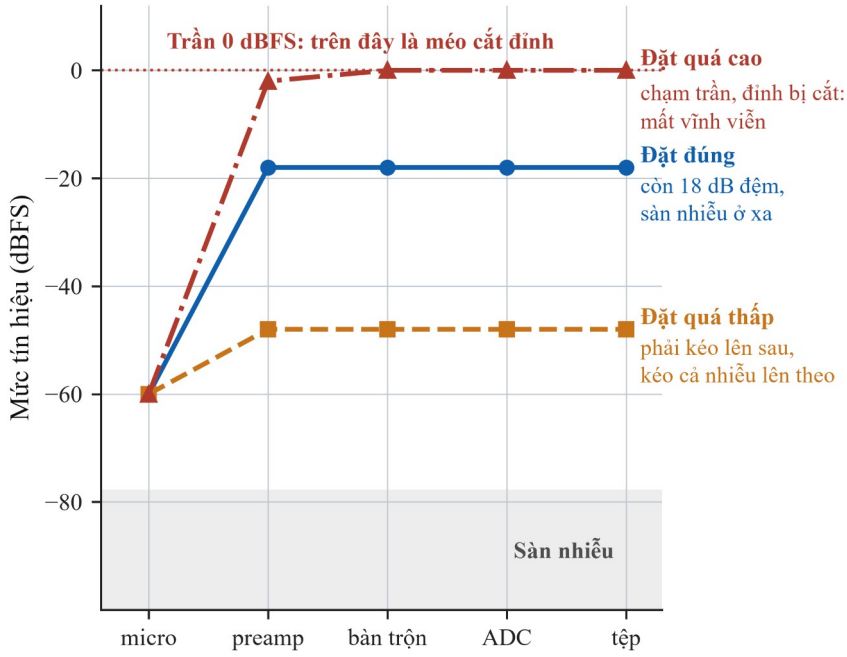
(a) Mốc 0 của hai thang khác nhau (b) Chênh 11,78 dB, không phải 14 dB

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

Trong tài liệu nước ngoài, con số này thường được ghi là 11,79 dB. Sai lệch nhỏ ấy đến từ việc họ thế các giá trị đã làm tròn — 1,228 V và 0,316 V — vào công thức. Sách này ghi con số tính từ giá trị chính xác, nên khi gặp cả hai con số thì không cần bối rối: chúng chỉ lệch nhau một phần trăm decibel.

2.3.5 Đặt mức dọc chuỗi — nguyên tắc gain staging

Khi đã có nhiều khối nối tiếp, câu hỏi đặt ra là nên để tín hiệu mạnh bao nhiêu ở mỗi chặng. Đây gọi là gain staging, và nó là một trong vài 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

Mức làm việc chuẩn trong phòng thu là quanh −18 dBFS, không phải sát 0 dBFS như nhiều người mới tưởng. Lý do đơn giản: đặt ở −18 thì còn 18 dB đệm cho những tiếng đột ngột — một tiếng gõ, một tiếng hét — mà vẫn cách sàn nhiễu rất xa. Đặt sát 0 thì chỉ cần một đỉnh bất ngờ là bị méo cắt đỉnh, và lỗi ấy không khắc phục được.

> **Câu hỏi thường gặp: vì sao không thu thật lớn để đảm bảo**
>
> Vì "to" và "sạch" là hai chuyện khác nhau. Thu to hơn không làm giảm nhiễu tuyệt đối — nó chỉ làm tín hiệu lớn hơn, và đồng thời ăn hết phần đệm chống méo.
>
> Cách làm đúng để tăng tỉ số tín hiệu trên nhiễu là đưa micro lại gần nguồn, đúng như quy tắc 6 dB đã học ở chương 1 — chứ không phải tăng gain.
>
> Với bộ chuyển đổi 24 bit, sàn nhiễu của chính nó thấp tới mức thu ở −18 dBFS vẫn còn dư dải động. Không có lý do để mạo hiểm.

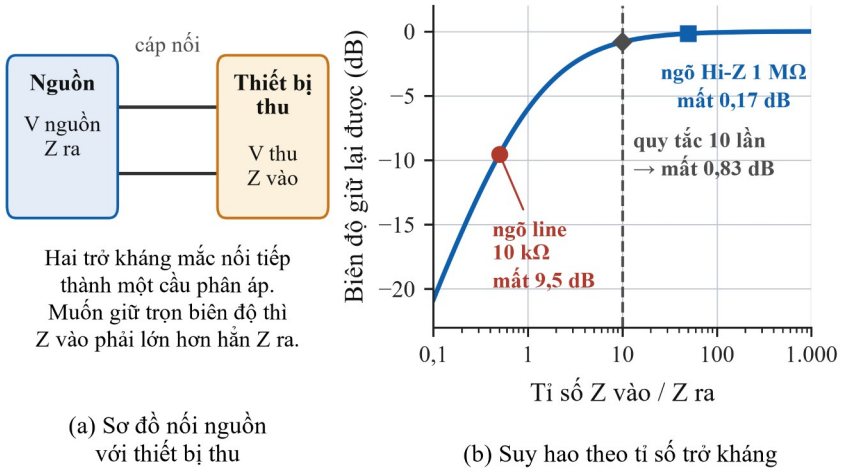
2.4 Trở kháng và đường truyền cân bằng

2.4.1 Vì sao hai thiết bị nối được với nhau vẫn có thể sai

Hai thiết bị có cùng cỡ jack, cắm vào nhau vừa khít, vẫn có thể cho kết quả kém. Nguyên nhân là trở kháng — đại lượng đo sự cản trở của mạch đối với dòng xoay chiều, ký hiệu Z, đơn vị ôm.

Khi nối nguồn có trở kháng ra Z ra vào thiết bị có trở kháng vào Z vào, hai trở kháng ấy mắc nối tiếp và tạo thành một cầu phân áp. Phần điện áp mà thiết bị thu nhận được chỉ là một phần của điện áp nguồn:

$$\frac{V_{\text{thu}}}{V_{\text{nguồn}}} = \frac{Z_{\text{vào}}}{Z_{\text{ra}} + Z_{\text{vào}}}\ ; \qquad Z_{\text{vào}} \geq 10\, Z_{\text{ra}} \tag{2.7}$$



(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

Quy tắc thực hành gọi là *phối ghép cầu điện áp*: trở kháng vào nên lớn hơn trở kháng ra ít nhất mười lần. Khi ấy suy hao chỉ 0,83 dB — không nghe thấy. Lưu ý đây *không* phải quy tắc "phối hợp trở kháng bằng nhau" của kỹ thuật cao tần; trong âm thanh, hai trở kháng bằng nhau lại là trường hợp mất tới 6 dB.

2.4.2 Trường hợp guitar điện — ví dụ rõ nhất

Bộ cảm ứng của guitar điện có trở kháng ra rất cao, cỡ 20 kΩ. Cắm thẳng vào ngõ line thường của giao diện âm thanh — trở kháng vào khoảng 10 kΩ — là vi phạm quy tắc mười lần một cách nghiêm trọng, và mất 9,5 dB.

Nhưng mất biên độ chưa phải điều bất lợi nhất. Bộ cảm ứng guitar có tính cảm kháng, nên tải nặng làm suy giảm dải cao nhiều hơn dải thấp — tiếng đàn nghe đục và mờ hẳn, mất hết phần lấp lánh. Cắm vào ngõ Hi-Z 1 MΩ thì chỉ mất 0,17 dB và tiếng đàn giữ nguyên.

Dấu hiệu nhận biết và cách sửa

Dấu hiệu: cắm đàn vào máy tính, tiếng nghe thiếu sức sống, đục, kém sáng hơn hẳn so với khi nghe qua ampli.

Sửa: bật nút Hi-Z hoặc Inst trên giao diện âm thanh, hoặc dùng hộp DI. Cả hai đều nâng trở kháng vào lên khoảng 1 MΩ.

Đây là ví dụ điển hình của loại lỗi mà mã không sửa được: dải cao đã không được thu vào thì không có thuật toán nào tạo ra nó, dù nâng EQ bao nhiêu cũng chỉ khuếch đại nhiễu.



(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 Đường truyền cân bằng và cơ chế triệt nhiễu

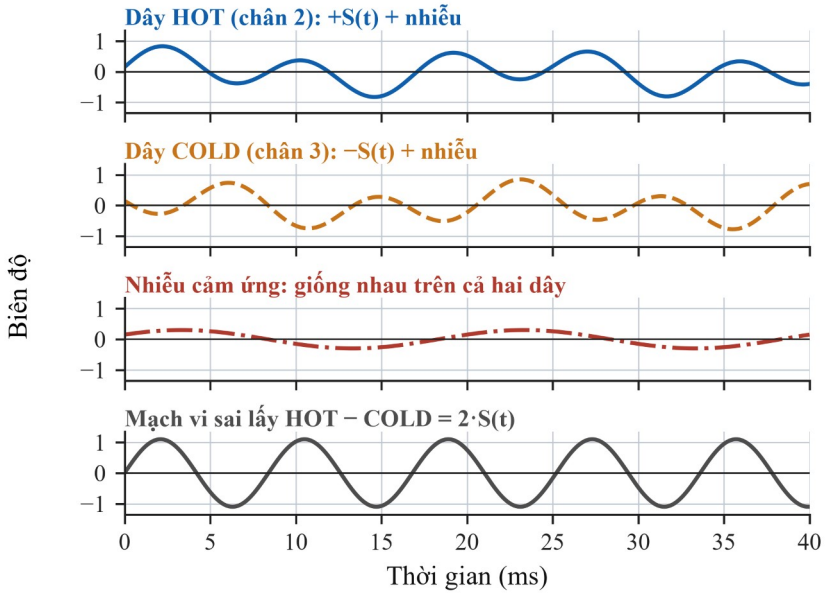
Cáp không cân bằng — dây RCA, dây jack TS của guitar — chỉ có một dây lõi mang tín hiệu và một lớp lưới nối đất. Mọi nhiễu điện từ cảm ứng vào dây lõi đi thẳng vào mạch. Với dây ngắn thì không sao, nhưng dây càng dài thì nó càng đóng vai một chiếc ăng-ten.

Kỹ thuật chuyên nghiệp giải quyết bằng *đường truyền cân bằng*, dùng đầu nối XLR ba chân hoặc TRS. Ba dây có ba vai trò:

- **Hot (chân 2) —** mang tín hiệu gốc, ký hiệu S(t).
- **Cold (chân 3) —** mang bản sao *đảo pha* 180 độ của cùng tín hiệu ấy, tức −S(t).
- **Ground (chân 1) —** lớp lưới bọc kim chắn nhiễu tĩnh điện.

Vì hai dây tín hiệu nằm sát nhau và xoắn vào nhau, nhiễu điện từ cảm ứng vào cả hai gần như giống hệt nhau. Ở đầu thu, mạch khuếch đại vi sai làm đúng một phép trừ:

$$[S(t)+n(t)]-[-S(t)+n(t)]=2\,S(t) \tag{2.8}$$

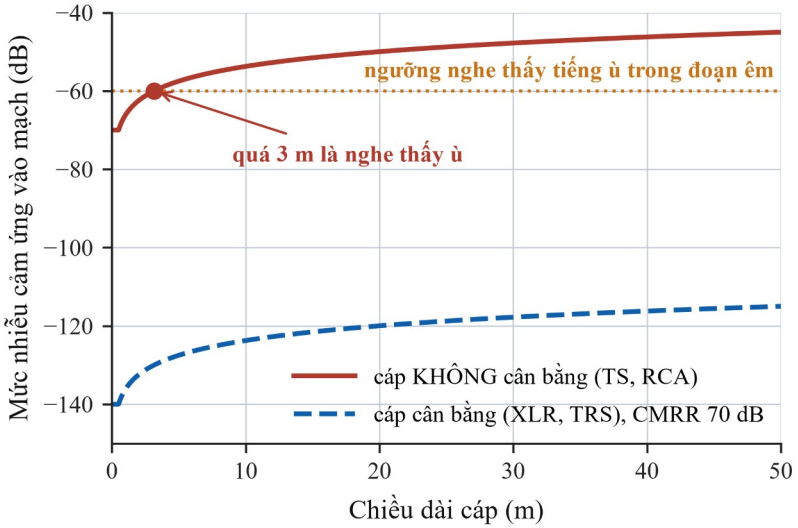


Hình 2.23 Bốn tín hiệu trên một đường truyền cân bằng và kết quả phép trừ



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

Kết quả được cả hai đầu: nhiễu đồng pha bị trừ về không, còn tín hiệu có ích thì đảo pha nên phép trừ lại cộng nó thành gấp đôi — thêm 6,02 dB. Khả năng triệt nhiễu đồng pha của mạch được đo bằng thông số CMRR; thiết bị chuyên nghiệp thường đạt 70 – 90 dB.



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

Quy tắc thực hành về chiều dài cáp

Cáp không cân bằng: dùng được trong khoảng vài mét. Dây tai nghe, dây RCA sau dàn máy, dây guitar tới ampli đều thuộc nhóm này.

Vượt quá đó thì nhiễu cảm ứng dâng lên tới mức nghe thấy trong các đoạn êm, và không có cách nào khác ngoài chuyển sang cân bằng.

Sân khấu và phòng thu dùng cáp XLR cân bằng cho mọi đường dài, kể cả những đường vài chục mét — đó là toàn bộ lý do tồn tại của đầu nối ba chân ấy.

2.4.4 Ba câu hỏi kiểm tra một đường tín hiệu trước khi thu

Toàn bộ mục 2.3 và 2.4 gom lại được thành ba câu hỏi, hỏi theo đúng thứ tự này, trước mỗi buổi thu. Ba câu ấy phát hiện hầu hết những lỗi phổ biến nhất và chỉ mất chưa tới một phút.

- **Câu 1 — đúng cấp mức chưa?** Nguồn phát đang ở cấp mức nào, ngõ thu đang mong đợi cấp mức nào? Micro vào ngõ micro, thiết bị line vào ngõ line, guitar vào ngõ Hi-Z. Sai câu này thì hoặc méo nặng hoặc đầy nhiễu nền, và nghe ra ngay từ giây đầu.
- **Câu 2 — trở kháng có đạt quy tắc mười lần không?** Chỉ cần hỏi khi nguồn có trở kháng ra cao: guitar, bass, đàn phím cũ, đầu đọc đĩa than. Sai câu này thì tín hiệu vẫn nghe được nhưng đục và mất dải cao — nguy hiểm hơn câu 1 vì dễ bỏ qua.
- **Câu 3 — dây có đủ dài để cần cân bằng không?** Quá vài mét, hoặc đi cạnh dây nguồn, thì phải là cáp cân bằng. Sai câu này thì có tiếng ù, và tiếng ù ấy nằm đúng ở 50 Hz cùng các bội của nó — nhìn phổ là nhận ra.

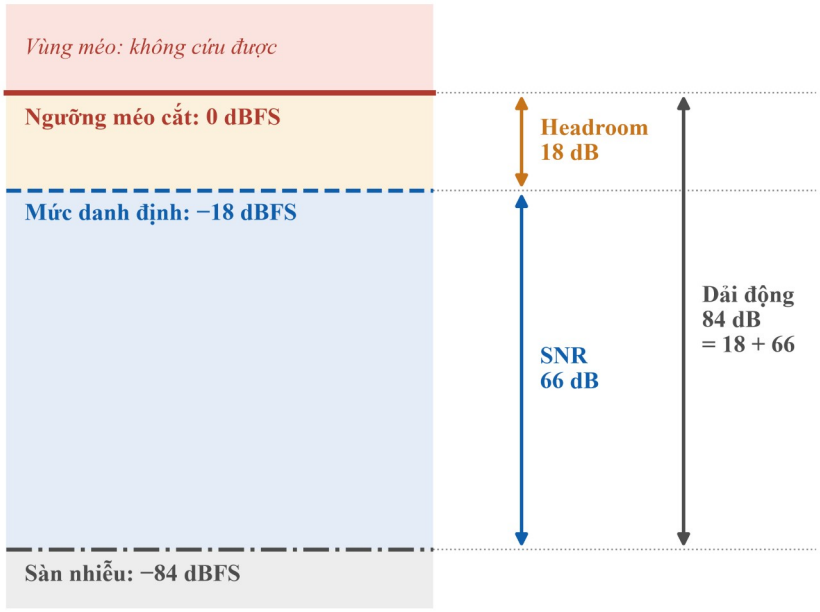
> **Vì sao phải hỏi theo đúng thứ tự ấy**
>
> Vì ba lỗi này để lại ba triệu chứng khác nhau, và nếu mắc nhiều lỗi cùng lúc thì triệu chứng của lỗi trước che mất triệu chứng của lỗi sau.
>
> Cắm sai cấp mức gây méo nặng, mà méo nặng thì át hết mọi thứ khác — sửa xong mới nghe ra được tiếng đục do trở kháng, sửa tiếp mới nghe ra tiếng ù do cáp.
>
> Đây cũng là nguyên tắc gỡ lỗi chung của cả cuốn sách: sửa lỗi to nhất trước, rồi mới đo lại, chứ không đoán nhiều lỗi cùng lúc.

2.5 Nhiễu, dải động và bốn hạn chế của analog

2.5.1 Bốn tầng năng lượng của một chuỗi

Mọi hệ thống âm thanh, analog hay số, đều nằm giữa hai giới hạn: một sàn ở dưới mà tín hiệu không được chìm xuống, và một trần ở trên mà tín hiệu không được vượt qua. Bốn đại lượng mô tả cấu trúc ấy, và chúng liên hệ với nhau chứ không độc lập.

$$\mathrm{SNR} = L_{\text{danh định}} - L_{\text{sàn}}\,; \qquad H = L_{\text{méo}} - L_{\text{danh định}}\,; \qquad D = L_{\text{méo}} - L_{\text{sàn}} \tag{2.9}$$



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

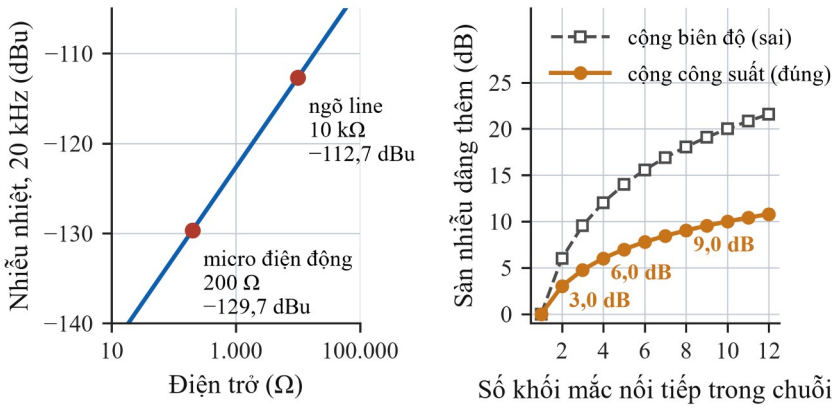
Đại lượng	Định nghĩa	Ý nghĩa thực hành
Sàn nhiễu	Mức tạp âm nền còn lại khi không có tín hiệu	Quyết định âm nhỏ nhất còn nghe được; không hạ xuống bằng phần mềm được
SNR	Khoảng cách từ mức danh định xuống sàn nhiễu	Trên 80 dB là tốt; dưới 50 dB thì nhiễu nền lộ rõ ở đoạn êm
Headroom	Khoảng đệm từ mức danh định lên ngưỡng méo	Bảo vệ khỏi những tiếng đột ngột; thiếu là méo cắt đỉnh, không khắc phục được
Dải động	Từ ngưỡng méo xuống tận sàn nhiễu	Bằng headroom cộng SNR; là "ngân sách" phải chia giữa hai cái kia

Quan hệ cuối bảng đáng nhớ: dải động là một ngân sách cố định do phần cứng quyết định, còn chọn mức danh định chính là chọn cách chia ngân sách ấy. Đặt cao thì được nhiều SNR mà ít đệm; đặt thấp thì nhiều đệm mà gần sàn nhiễu hơn. Không có cách nào được cả hai.

2.5.2 Nhiễu nhiệt — sàn nhiễu không thể loại bỏ

Sàn nhiễu không phải khuyết điểm của thiết bị rẻ tiền. Một phần của nó là hiện tượng vật lý: electron trong mọi vật dẫn luôn chuyển động hỗn loạn vì nhiệt, và chuyển động ấy sinh ra một điện áp ngẫu nhiên rất nhỏ ngay cả khi mạch không làm gì cả. Đó là nhiễu nhiệt, hay nhiễu Johnson–Nyquist.

$$V_n = \sqrt{4 k_B T R B} \tag{2.10}$$



(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

Với một micro điện động trở kháng 200 Ω, trên dải nghe được 20 kHz, nhiễu nhiệt vào khoảng 0,254 microvôn, tức −129,7 dBu. Con số này đặt ra giới hạn tuyệt đối: không tiền khuếch đại nào, dù đắt đến đâu, thu được tín hiệu sạch hơn thế từ chính chiếc micro ấy.

Một chỗ rất hay tính sai: Nhiễu cộng theo công suất

Khi mắc nhiều khối nối tiếp, nhiễu của chúng không tương quan với nhau, nên chúng *không* cộng như biên độ mà cộng như *công suất*.

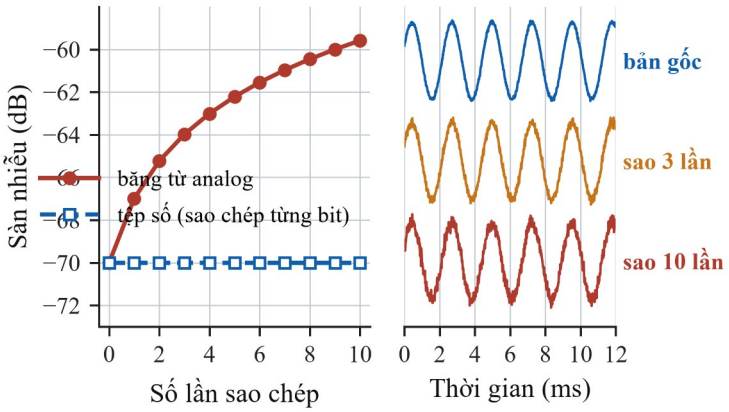
Hai nguồn nhiễu bằng nhau cho +3,01 dB, chứ không phải +6,02 dB. Bốn nguồn cho +6,02 dB. Mười nguồn cho +10,00 dB.

Đây là tin tốt: một chuỗi mười thiết bị chỉ kém hơn một thiết bị đúng 10 dB, chứ không phải hai mươi. Vẫn nên giữ chuỗi ngắn, nhưng không nghiêm trọng như nhiều người nghĩ.

$$L_{\text{tổng}} = 10 \log_{10} \sum_{i=1}^{M} 10^{L_i/10} \tag{2.11}$$

2.5.3 Suy hao thế hệ — hạn chế quyết định

Trong bốn hạn chế của analog, đây là yếu tố khiến cả ngành phải chuyển sang kỹ thuật số. Mỗi lần sao chép một bản thu analog, nhiễu của thiết bị sao chép cộng thêm vào nhiễu vốn có, méo hài tăng, dải cao suy giảm. Sau vài thế hệ, bản thu đục hẳn và đầy nhiễu nền.

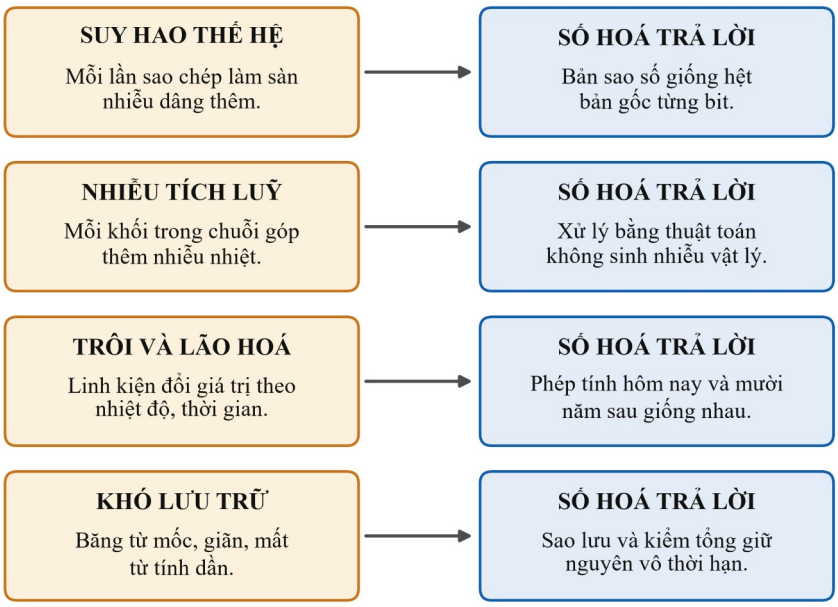


(a) Suy hao thế hệ (b) Cùng một nốt, sau mỗi lần sao chép

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

Tệp số thì khác về *bản chất*, không phải về mức độ. Bản sao số không phải là "bản sao chất lượng cao" — nó là bản giống hệt, từng bit một. Sao chép một triệu lần vẫn cho đúng dãy số ấy. Lý do: một bit chỉ có hai trạng thái, nên một chút nhiễu trên đường truyền không đủ biến 0 thành 1; còn nếu đủ thì mã kiểm lỗi phát hiện ra.

2.5.4 Bốn hạn chế và cách số hoá trả lời



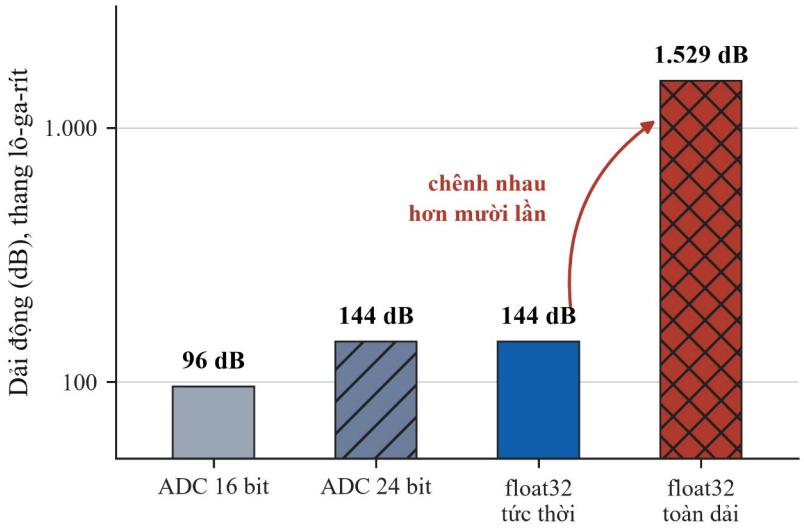
Hình 2.29 Bốn hạn chế cố hữu của analog, và câu trả lời tương ứng của kỹ thuật số

Cần nói cho công bằng: analog không hề thua ở mọi mặt. Thiết bị analog cao cấp khi bị kích thích mạnh sinh ra méo hài bậc chẵn — thứ mà tai người thấy dày và ấm chứ không thấy khó chịu. Đó là lý do phòng thu ngày nay vẫn chi nhiều tiền cho tiền khuếch đại đèn điện tử và biến áp, dù toàn bộ phần còn lại đã là số.

Và đó cũng là một hướng ứng dụng thật của lập trình âm thanh: mô phỏng phi tuyến, tức dùng thuật toán tái tạo đặc tính bão hoà của mạch analog. Chương 8 sẽ chạm tới khi bàn về xử lý khoảng động.

2.5.5 Máy ghi 32-bit float — và một con số hay bị hiểu sai

Máy ghi hiện trường thế hệ mới dùng hai bộ chuyển đổi song song, một tối ưu cho âm nhỏ và một cho âm lớn, rồi ghép kết quả thành tệp 32-bit dấu phẩy động. Người quay gần như không phải chỉnh mức thu nữa. Kỹ thuật này có thật và rất hữu ích; nhưng con số thường được nhắc kèm nó thì hay bị hiểu sai.



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



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

Hai con số, không phải một

Số float32 có 24 bit phần định trị và 8 bit phần mũ.

Trong *một* phần mũ, độ phân giải chỉ bằng 24 bit, tức 144 dB — đúng bằng một bộ chuyển đổi 24 bit. Đây mới là *dải động tức thời*, con số so sánh được với thiết bị khác.

Phần mũ trượt được 254 nấc, cho khoảng cách 1.529 dB giữa số lớn nhất và nhỏ nhất biểu diễn được. Đây là *dải động toàn dải* — nó nói về khả năng *biểu diễn*, không phải về độ phân giải.

Nói "máy ghi 32-bit float có dải động 1.500 dB" là trộn hai con số ấy làm một. Không micro nào, không mạch nào trong thực tế có dải động ấy.

Điều thực sự mà 32-bit float mang lại: nó dời điểm méo từ khối chuyển đổi sang các khối analog phía trước. Micro và tiền khuếch đại vẫn có giới hạn vật lý và vẫn méo trước. Nói cách khác, công nghệ này xoá bỏ một loại sai sót — quên chỉnh mức thu — chứ không xoá bỏ nguyên tắc chuỗi tín hiệu học trong chương này.

2.5.6 Đại lượng nào tính được bằng mã, đại lượng nào không

Mục này khép lại 2.5 bằng một câu hỏi rất thực tế cho người lập trình: trong năm đại lượng vừa học, đại lượng nào mã chương trình tính được, và cái nào là tính chất của phần cứng mà mã chỉ đo lại chứ không đổi được?

Bảng 2.5 Đại lượng nào thuộc về mã, đại lượng nào thuộc về phần cứng

Đại lượng	Mã làm được gì	Ghi chú
Mức đỉnh, mức hiệu dụng	Tính trực tiếp từ mảng mẫu, chính xác tuyệt đối	Chỉ vài dòng numpy — đã viết ở mục 2.7.1
Headroom	Tính được, vì trần luôn là 0 dBFS trong thang số	Bằng chính mức đỉnh đổi dấu
Sàn nhiễu	*Đo* được từ một đoạn im lặng, nhưng không *hạ* được	Nó đã nằm sẵn trong dãy số từ lúc thu; mọi phép xử lý về sau chỉ che bớt chứ không xoá
SNR, dải động	Tính được từ hai con số trên	Nhưng giá trị của chúng do chuỗi phần cứng quyết định
Nhiễu nhiệt của mạch	Không chạm tới được	Nó xảy ra trước khi có mẫu số nào; chỉ đổi được bằng cách đổi phần cứng hoặc đổi cách đặt micro

Một câu để mang theo suốt cuốn sách

Mã xử lý âm thanh *không* tạo thêm thông tin. Nó chỉ sắp xếp lại thông tin đã có trong dãy số.

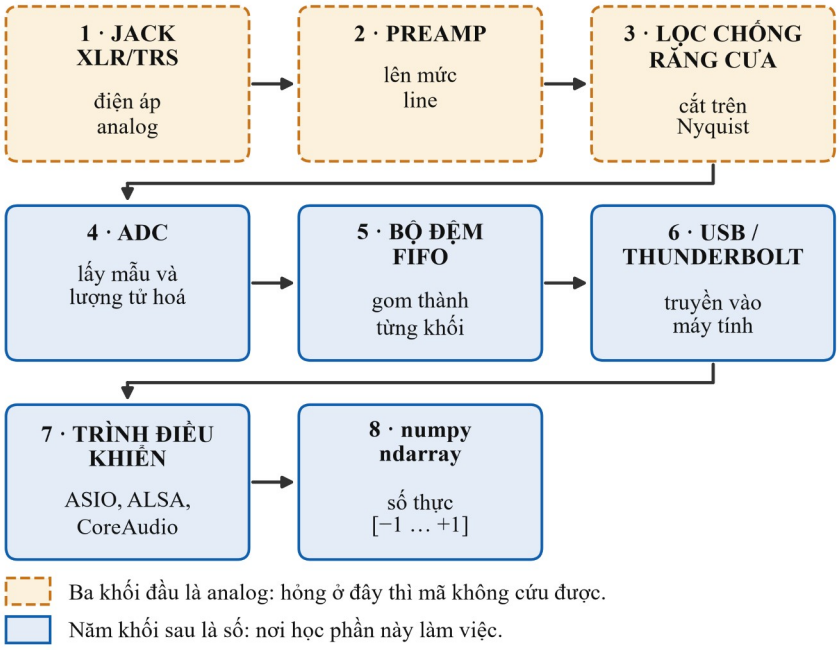
Cái gì không được thu vào thì không có thuật toán nào tạo ra: dải cao đã mất vì trở kháng sai, chi tiết đã chìm dưới sàn nhiễu, đỉnh đã bị cắt vì đặt mức quá cao — cả ba đều vĩnh viễn.

Chương 7 sẽ nói kỹ chỗ này khi bàn về khử nhiễu: các thuật toán tốt nhất cũng chỉ đánh đổi nhiễu lấy méo, chứ không hoàn nguyên được thứ chưa từng được ghi lại.

2.6 Từ điện thế tới mảng số

2.6.1 Bên trong giao diện âm thanh

Giao diện âm thanh — nhiều người quen gọi là sound card chuyên nghiệp — là cây cầu cuối cùng giữa thế giới điện và thế giới số. Biết nó gồm những gì thì biết được lỗi nào thuộc phần cứng, lỗi nào thuộc mã.



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



(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.

Chặng đáng chú ý nhất với người lập trình là chặng cuối: thư viện trả về một mảng số thực đã chuẩn hoá về khoảng từ −1,0 tới +1,0. Chuẩn hoá này là một *quy ước phần mềm*, không phải một đại lượng vật lý — nó nói tín hiệu chiếm bao

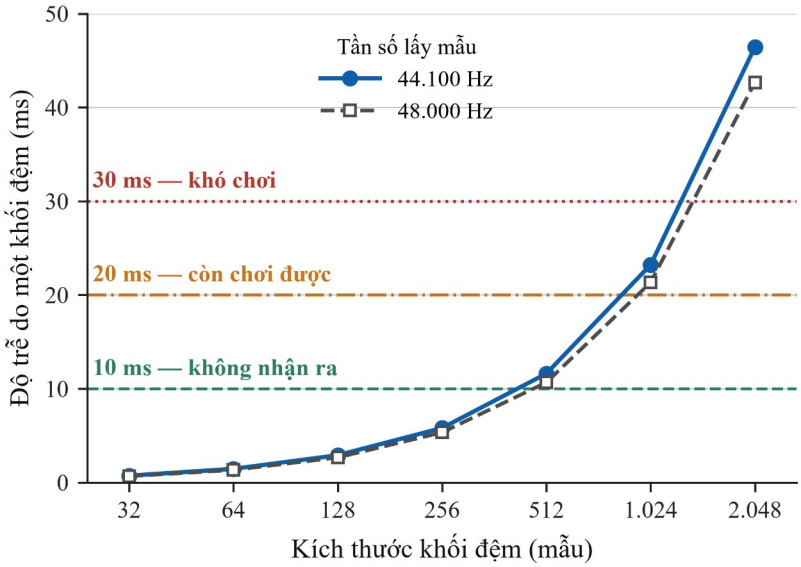
nhiêu phần trăm toàn thang, chứ không nói bao nhiêu vôn hay bao nhiêu decibel SPL.

> **Một hiểu lầm thường gặp của người mới**
>
> Giá trị 0,5 trong mảng numpy *không* có nghĩa là "nửa vôn" hay "nửa độ to".
>
> Nó có nghĩa là biên độ đang bằng nửa toàn thang của bộ chuyển đổi. Muốn biết nó ứng với bao nhiêu decibel SPL trong phòng, phải biết thêm độ nhạy micro, hệ số khuếch đại và mức tham chiếu của bộ chuyển đổi — tức phải biết cả chuỗi.
>
> Đó là lý do bài này bắt đầu từ micro chứ không bắt đầu từ mảng số.

2.6.2 Khối đệm và độ trễ

Hệ điều hành là môi trường đa nhiệm, không thể dành toàn bộ thời gian đọc từng mẫu một. Vì vậy âm thanh được gom thành từng khối, thường là luỹ thừa của hai: 64, 128, 256, 512, 1024 mẫu. Độ trễ do một khối gây ra tính rất đơn giản:

$$T_{\text{khối}} = \frac{N_{\text{khối}}}{f_s} \quad [\text{s}] \tag{2.12}$$



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

Bảng 2.6 Ba ngưỡng cảm nhận độ trễ khi chơi hoặc thu trực tiếp

Độ trễ vòng vào–ra	Cảm nhận của người chơi
dưới 10 ms	Nhạc công không nhận ra — đây là mục tiêu
10 – 20 ms	Thấy có trễ nhưng còn chơi được
20 – 30 ms	Lệch nhịp rõ với nhạc nhanh; với nhạc chậm còn chấp nhận được
trên 30 ms	Bắt đầu lệch nhịp, không thu trực tiếp được

Chú ý con số trên hình mới chỉ là độ trễ của *một* khối ở đầu vào. Vòng vào –ra thật còn cộng thêm khối phía phát, khối của trình điều khiển và độ trễ của bản thân bộ chuyển đổi. Với khối 256 mẫu ở 44.100 Hz, tổng thực tế vào khoảng 12,6 ms.

Đặt khối nhỏ thì trễ ít, nhưng CPU phải xử lý xong mỗi khối trước khi khối sau tới; không kịp thì phần cứng rơi vào trạng thái cạn đệm và phát ra tiếng nổ tanh tách. Đây là đánh đổi kinh điển của mọi ứng dụng âm thanh thời gian thực, và chương 11 sẽ đo nó trên máy thật.

2.7 Hướng dẫn thực hành

2.7.1 Đọc tệp WAV và trích siêu dữ liệu

Chương 1 đã sinh ra một tệp WAV. Chương này làm việc ngược lại: đọc tệp có sẵn, xem nó chứa gì, và đo ba con số đã học ở mục 2.5.

Liệt kê 2.1 doc_wav.py — mở một tệp và đọc các thông số của nó

```
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")
```

Ba điều cần chú ý trong đoạn mã trên

always_2d=True buộc mảng luôn có hai chiều, kể cả tệp một kênh. Nhờ vậy x.shape[1] luôn dùng được, không phải viết hai nhánh.

Hàm max(..., 1e-12) tránh log của số không khi gặp đoạn im lặng. Đây là thói quen nên có ngay từ đầu: mọi phép log trên tín hiệu đều cần một sàn.

Giá trị đọc ra là số thực trong khoảng [−1, +1] — quy ước phần mềm, không phải vôn. Xem lại mục 2.6.1 nếu chỗ này còn mơ hồ.

2.7.2 Mô phỏng hai loại nhiễu analog

Bài này dựng lại hai loại nhiễu đã học, để thấy chúng để lại hai dấu vết hoàn toàn khác nhau trên phổ — kỹ năng chẩn đoán quan trọng nhất của mục 2.5.

Liệt kê 2.2 mo_phong_nhieu.py — nhiễu nhiệt và ù lưới điện

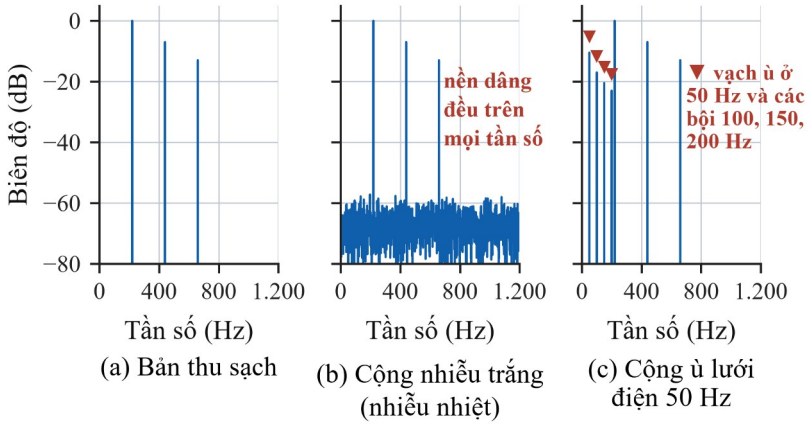
```
import numpy as np
import soundfile as sf
```

```
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")
```



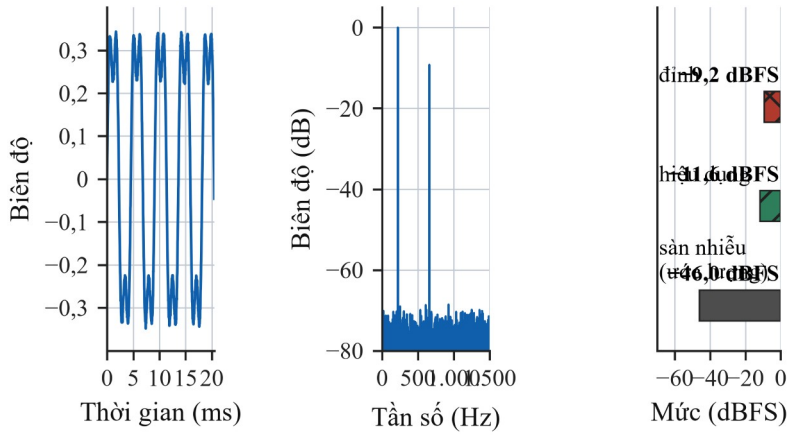
Hình 2.35 Phổ của bản sạch, bản có nhiễu nhiệt và bản có ù lưới điện

Việc phải làm sau khi chạy: mở cả ba tệp trong Audacity, chuyển sang chế độ Spectrogram và nhìn kỹ. Nhiễu nhiệt làm nền dâng đều trên toàn dải; ù lưới điện tạo những vạch ngang sáng đặc ở 50 Hz và các bội 100, 150, 200 Hz. Nhận ra được hai vân này là biết ngay phải sửa ở đâu.

Bảng 2.7 Chẩn đoán theo vân nhiễu

Nhìn thấy gì trên phổ	Nguyên nhân thường gặp	Sửa ở đâu
Nền dâng đều trên mọi tần số	Nhiễu nhiệt, gain đặt quá cao ở khâu sau	Đặt lại mức từ đầu chuỗi, đưa micro lại gần — không sửa được hậu kỳ
Vạch nhọn ở 50 Hz và các bội	Ù vòng đất, cáp không cân bằng đi cạnh dây nguồn	Nối đất lại, đổi sang cáp cân bằng; hậu kỳ lọc notch được nhưng mất cả tín hiệu ở đó
Nền dâng chỉ ở dải cao	Nhiễu của mạch số, xung nhịp lọt vào đường analog	Tách nguồn nuôi, đổi cáp; thường phải xử lý ở phần cứng
Đỉnh sóng bị cắt phẳng	Méo cắt do đặt mức quá cao ở một khâu nào đó	Thu lại — không có cách sửa nào ở hậu kỳ

2.7.3 Kết quả phải ra



(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

Nếu con số trên máy của bạn đọc lệch quá nửa decibel so với hình trên thì chưa nên quy cho mã: cần kiểm lại tham số sinh tín hiệu trước, rồi mới kiểm tới phần tính toán.

2.8 Bài tập tính toán

Bảy bài dưới đây đều giải được bằng các công thức của chương. Yêu cầu trình bày phép tính, không chỉ ghi kết quả. Ba lỗi hay gặp được ghi ngay sau Bài 6 và nên đọc trước khi làm.

Bài 1 — độ nhạy micro và hệ số khuếch đại

Một micro điện động có độ nhạy 2 mV/Pa. Người nói tạo ra mức 70 dB SPL tại màng micro. Thiết bị thu cần mức line 1,23 V.

- a) Áp suất tại màng bằng bao nhiêu pascal?
- b) Micro sinh ra bao nhiêu milivôn?
- c) Tiền khuếch đại phải đặt bao nhiêu decibel?
- d) Nếu đổi sang micro điện dung 20 mV/Pa thì gain giảm bao nhiêu?
- *Đáp số: a) 63,25 mPa. b) 0,126 mV. c) 79,8 dB — đúng vùng làm việc điển hình của tiền khuếch đại micro. d) còn 59,8 dB, tức giảm đúng 20 dB — bằng chênh lệch độ nhạy giữa hai micro.*

Bài 2 — hai chuẩn line

Một bàn trộn chuyên nghiệp có mức danh định +4 dBu. Một đầu phát dân dụng có mức danh định −10 dBV.

- a) Đổi cả hai về vôn.
- b) Chênh lệch thật giữa chúng là bao nhiêu decibel?
- c) Cắm đầu phát dân dụng vào bàn trộn chuyên nghiệp thì tín hiệu thiếu hay thừa, và phải bù bao nhiêu?

- *Đáp số: a) +4 dBu = 1,2277 V; −10 dBV = 0,3162 V. b) 11,78 dB — không phải 14 dB. c) thiếu, phải bù thêm khoảng 11,8 dB. Nếu bù 14 dB theo phép trừ sai thì thừa hơn 2 dB, đủ để làm hao hụt phần đệm.*

Bài 3 — phối ghép trở kháng

Một bộ cảm ứng guitar có trở kháng ra 20 kΩ.

- a) Cắm vào ngõ line 10 kΩ thì giữ được bao nhiêu phần trăm biên độ, và mất bao nhiêu decibel?
- b) Cắm vào ngõ Hi-Z 1 MΩ thì mất bao nhiêu decibel?
- c) Trở kháng vào tối thiểu là bao nhiêu để đạt quy tắc mười lần?
- *Đáp số: a) giữ 33,3 %, mất 9,54 dB. b) mất 0,17 dB — coi như không mất. c) 200 kΩ. Chú ý con số ở câu a mới chỉ là mất biên độ; thực tế tiếng còn đục đi vì dải cao mất nhiều hơn dải thấp.*

Bài 4 — nhiễu cộng dồn dọc chuỗi

Một chuỗi có bốn thiết bị, mỗi thiết bị có sàn nhiễu riêng −90 dBFS, và các nguồn nhiễu không tương quan với nhau.

- a) Sàn nhiễu của cả chuỗi là bao nhiêu?
- b) Nếu rút bớt còn hai thiết bị thì cải thiện bao nhiêu decibel?
- c) Nếu ai đó tính nhầm rằng nhiễu cộng theo biên độ, họ sẽ ra con số nào cho câu a?
- *Đáp số: a) −83,98 dBFS, tức dâng 6,02 dB. b) còn −86,99 dBFS, cải thiện 3,01 dB. c) họ sẽ ra −78 dBFS, tức dâng 12 dB — sai gấp đôi. Đây là lý do phải nhớ nhiễu cộng theo công suất.*

Bài 5 — dải động và cách chia nó

Một chuỗi thu có ngưỡng méo ở 0 dBFS và sàn nhiễu ở −96 dBFS.

- a) Dải động của chuỗi là bao nhiêu?
- b) Nếu đặt mức danh định ở −18 dBFS thì headroom và SNR bằng bao nhiêu?
- c) Nếu đổi sang −6 dBFS thì hai con số ấy đổi thế nào, và đánh đổi ở đây là gì?
- *Đáp số: a) 96 dB. b) headroom 18 dB, SNR 78 dB — tổng đúng bằng dải động. c) headroom còn 6 dB, SNR lên 90 dB. Được thêm 12 dB SNR nhưng chỉ còn 6 dB đệm — một tiếng gõ bất ngờ là bị méo cắt đỉnh. Với thu giọng nói đều, ít biến động thì chấp nhận được; với thu trống thì không.*

Bài 6 — khối đệm và độ trễ

Một ứng dụng thu trực tiếp chạy ở 48.000 Hz.

- a) Khối 256 mẫu cho độ trễ một chiều bao nhiêu mili giây?
- b) Muốn độ trễ một chiều dưới 5 ms thì khối lớn nhất là bao nhiêu mẫu, làm tròn về luỹ thừa của hai?
- c) Ở 44.100 Hz, khối 256 cho vòng vào–ra khoảng bao nhiêu, và có chơi trực tiếp được không?

– *Đáp số: a) 5,33 ms. b) công thức cho 240 mẫu, làm tròn xuống luỹ thừa của hai là 128 mẫu. c) khoảng 12,6 ms — dưới ngưỡng 20 ms nên còn chơi được, tuy nhạc công có thính giác tinh sẽ nhận ra.*

Ba lỗi hay gặp khi làm nhóm bài tập này

Đọc trước khi làm

Trừ trực tiếp hai số trên hai thang khác nhau. dBu và dBV có hai mốc 0 khác nhau, dBFS lại là một thang thứ ba. Chỉ được trừ hai con số cùng thang. Khác thang thì đổi về vôn trước.

Cộng nhiễu như cộng biên độ. Nhiễu không tương quan cộng theo công suất: hệ số 10, không phải 20. Nếu nhận thấy đã dùng hệ số 20 cho một bài toán nhiễu thì cần dừng lại kiểm tra.

Lẫn headroom với dải động. Headroom đo từ mức *danh định* lên trần; dải động đo từ trần xuống tận *sàn nhiễu*. Chúng chỉ bằng nhau khi mức danh định trùng sàn nhiễu — tức là không bao giờ.

Bài 7 — tổng hợp: dựng ngân sách mức cho một chuỗi podcast

Bài này nối cả năm mục lý thuyết lại thành một phép tính. Nên làm sau cùng, và nên làm theo nhóm.

Cấu hình: micro điện dung độ nhạy 20 mV/Pa; người nói tạo 74 dB SPL tại màng; cáp XLR cân bằng dài 8 m; giao diện âm thanh có trở kháng vào 2 kΩ, sàn nhiễu quy về đầu vào −128 dBu, mức line danh định +4 dBu; bộ chuyển đổi 24 bit.

– a) Micro sinh ra bao nhiêu milivôn, và mức ấy là bao nhiêu dBu?
– b) Trở kháng ra của micro là 200 Ω. Phối ghép có đạt quy tắc mười lần không, và mất bao nhiêu decibel?
– c) Cần đặt tiền khuếch đại bao nhiêu decibel để đạt mức line danh định?
– d) Sau khi khuếch đại, sàn nhiễu quy về đầu vào cũng được khuếch đại cùng hệ số. Tỉ số tín hiệu trên nhiễu ở đầu ra là bao nhiêu?
– e) Nếu người nói bất chợt cười to, mức vọt lên 94 dB SPL. Với cách đặt gain ở câu c, tín hiệu có vượt 0 dBFS không? Nếu có thì phải hạ gain bao nhiêu để còn 12 dB headroom?
– *Đáp số: a) 2,00 mV, tức −51,7 dBu. b) 2.000 ≥ 10 × 200 nên đạt; mất 0,83 dB. c) khoảng 56,6 dB — nằm gọn trong tầm của mọi tiền khuếch đại, khác hẳn tình huống ở mục 2.2.5. d) 76,3 dB, vì khuếch đại nhân đều cả hai nên tỉ số không đổi — đây chính là điều mục 2.3.2 đã nói. e) tiếng cười mạnh hơn giọng nói 20 dB. Nếu giọng nói đã đặt ở mức danh định thì tiếng cười vượt trần; muốn còn 12 dB headroom cho đỉnh ấy thì phải hạ gain sao cho giọng nói nằm ở khoảng −32 dBFS.*

Điều bài 7 muốn chỉ ra

Câu d là câu quan trọng nhất: tỉ số tín hiệu trên nhiễu *không* đổi khi khuếch đại. Kết quả khác với điều này nghĩa là đã có chỗ tính nhầm.

Câu e chỉ ra rằng chọn mức không phải chọn theo giọng nói bình thường, mà phải chọn theo *đỉnh lớn nhất* có thể xảy ra. Đó là toàn bộ ý nghĩa của headroom.

Và câu c cho thấy vì sao micro điện dung thuận lợi hơn rõ rệt cho podcast: nó đưa yêu cầu khuếch đại về vùng mà thiết bị phổ thông làm được.

2.9 Câu hỏi ôn tập, thảo luận và tổng kết

2.9.1 Câu hỏi ôn tập

- 1. Chữ "analog" nghĩa là gì, và vì sao tên gọi ấy mô tả đúng bản chất của tín hiệu?
- 2. Nêu hai tính liên tục của tín hiệu analog. Phép nào ở chương 3 sẽ phá vỡ từng tính chất?
- 3. Micro điện động và micro điện dung khác nhau ở nguyên lý nào?
- 4. Vì sao micro điện dung cần nguồn phantom 48 V còn micro điện động thì không?
- 5. Điện thế do micro điện động sinh ra tỉ lệ với vị trí hay với vận tốc của màng?
- 6. Vì sao cắm một chiếc loa nhỏ vào ngõ micro thì vẫn thu được tiếng?
- 7. Độ nhạy micro tính bằng đơn vị gì, đo ở mức áp suất nào?
- 8. Vì sao loa siêu trầm phải có màng lớn? Liên hệ với công thức nào ở chương 1?
- 9. Kể bảy khối của chuỗi tín hiệu từ nguồn âm tới mảng số.
- 10. Vì sao khuếch đại không làm sạch được tín hiệu đã dính nhiễu?
- 11. Kể bốn cấp mức tín hiệu theo thứ tự tăng dần.
- 12. Cắm mức line vào ngõ micro thì hậu quả là gì? Ngược lại thì sao?
- 13. Mốc 0 của thang dBu là bao nhiêu vôn, và con số ấy từ đâu ra?
- 14. Chênh lệch thật giữa +4 dBu và −10 dBV là bao nhiêu? Vì sao không phải 14 dB?
- 15. Mức làm việc chuẩn của phòng thu là bao nhiêu dBFS, và vì sao không đặt sát 0?
- 16. Phát biểu quy tắc phối ghép cầu điện áp.
- 17. Vì sao cắm guitar điện vào ngõ line thì tiếng đục đi?
- 18. Ba dây của cáp XLR mang những gì?
- 19. Viết phép trừ của mạch vi sai và giải thích vì sao nhiễu bị triệt.
- 20. Đường cân bằng làm tín hiệu mạnh thêm bao nhiêu decibel? Vì sao?
- 21. Định nghĩa sàn nhiễu, SNR, headroom, dải động. Quan hệ giữa chúng?
- 22. Nhiễu nhiệt sinh ra từ đâu, và vì sao không loại bỏ được?

– 23. Bốn nguồn nhiễu bằng nhau cộng lại làm sàn nhiễu dâng bao nhiêu dB?
– 24. Suy hao thế hệ là gì, và vì sao tệp số không mắc phải?
– 25. Vì sao nói "máy ghi 32-bit float có dải động 1.500 dB" là hiểu sai?

2.9.2 Bài thảo luận

Tình huống 1 — bản thu podcast đầy nhiễu nền

Một nhóm thu podcast bằng micro điện động cắm vào giao diện âm thanh. Người nói ngồi cách micro khoảng 60 cm cho thoải mái. Vì tín hiệu vào máy quá nhỏ, họ tăng gain của giao diện lên gần hết mức. Bản thu nghe được, nhưng nền có nhiễu nền rõ trong các đoạn ngừng nói.

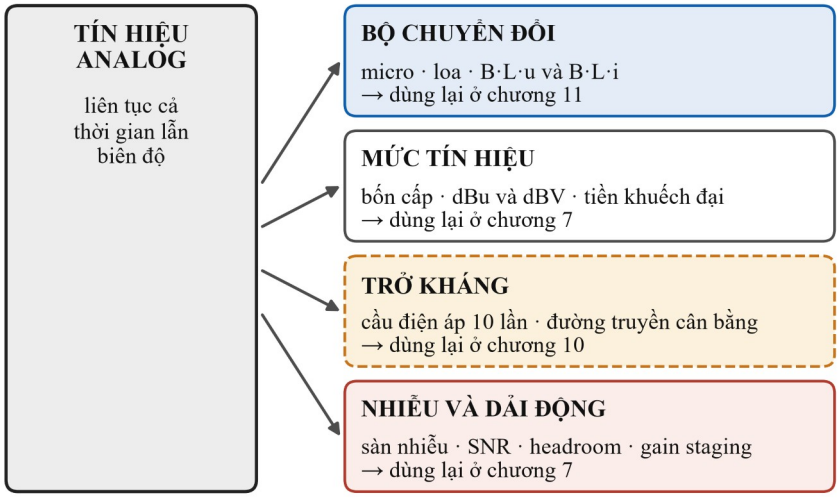
– Nêu ít nhất hai nguyên nhân có thể, và cách phân biệt chúng bằng một phép thử.
– Vì sao tăng gain không cải thiện được tỉ số tín hiệu trên nhiễu?
– Đề xuất ba cách sửa, xếp theo thứ tự hiệu quả trên chi phí. Mỗi cách phải trả giá gì?
– Nếu buộc phải cứu bản thu đã có, cách nào có thể giúp và cách nào chắc chắn không giúp?

Tình huống 2 — chọn micro cho một buổi ghi hình ngoài trời

Một nhóm quay phóng sự ngoài trời, gió khá mạnh, người phỏng vấn đứng cách nhân vật khoảng 1,5 m, dây chạy về máy quay dài chừng 15 mét. Nhóm đang phân vân giữa micro điện dung phòng thu và micro điện động cầm tay.

– Dựa vào những gì đã học, chọn loại micro nào và vì sao?
– Sợi dây 15 mét ấy phải là cáp gì? Nêu lý do bằng số liệu.
– Nếu vẫn muốn dùng micro điện dung thì cần thêm những gì?
– Giả sử nhóm có máy ghi 32-bit float. Điều đó thay đổi được gì trong phân tích trên, và điều gì thì không?

2.9.3 Bản đồ khái niệm



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

Năm điều phải nhớ sau chương này

Analog nghĩa là *tương tự*: điện thế chép lại hình dạng của áp suất. Vì thế bất cứ gì làm méo hình dạng ấy đều trở thành một phần của tín hiệu, không tách ra được.

Chất lượng bản thu do tầng *đầu chuỗi* quyết định. Khuếch đại nhân đều cả tín hiệu lẫn nhiễu — nó không bao giờ làm sạch.

dBu và dBV có hai mốc 0 khác nhau. +4 dBu và −10 dBV chênh nhau 11,8 dB chứ không phải 14 dB.

Quy tắc cầu điện áp: trở kháng vào ≥ 10 lần trở kháng ra. Đường truyền cân bằng triệt nhiễu đồng pha và cộng thêm 6 dB tín hiệu.

Dải động = headroom + SNR. Chọn mức danh định là chọn cách chia một ngân sách cố định; mức chuẩn phòng thu là quanh −18 dBFS.

2.9.4 Bảng thuật ngữ Anh – Việt

Bảng 2.8 Thuật ngữ chương 2

Tiếng Anh	Tiếng Việt	Ghi chú
Analog signal	Tín hiệu analog	liên tục cả trục thời gian lẫn trục biên độ
Transducer	Bộ biến đổi năng lượng	micro, loa — đổi dạng năng lượng
Dynamic microphone	Micro điện động	cảm ứng điện từ, không cần nguồn nuôi
Condenser microphone	Micro điện dung	biến thiên điện dung, cần phantom 48 V
Phantom power	Nguồn phantom	nguồn 48 V truyền theo chính cáp tín hiệu

Tiếng Anh	Tiếng Việt	Ghi chú
Sensitivity	Độ nhạy	mV cho mỗi pascal, đo ở 94 dB SPL
Preamplifier	Tiền khuếch đại	nâng mức micro lên mức line, +40…+60 dB
Signal chain	Chuỗi tín hiệu	dãy thiết bị mắc nối tiếp
Gain staging	Đặt mức dọc chuỗi	chọn mức làm việc ở từng khối
Line level	Mức line	chuyên nghiệp +4 dBu, dân dụng −10 dBV
dBu / dBV	dBu / dBV	mốc 0,7746 V và 1,0000 V
Impedance	Trở kháng	ký hiệu Z, đơn vị ôm
Voltage bridging	Phối ghép cầu điện áp	Z vào ≥ 10 × Z ra
Balanced audio	Đường truyền cân bằng	XLR ba chân: Hot, Cold, Ground
CMRR	Tỉ số triệt nhiễu đồng pha	chuyên nghiệp thường 70 – 90 dB
Noise floor	Sàn nhiễu	mức tạp âm nền khi không có tín hiệu
Thermal noise	Nhiễu nhiệt	Johnson–Nyquist, không loại bỏ được
SNR	Tỉ số tín hiệu trên nhiễu	mức danh định trừ sàn nhiễu
Headroom	Khoảng đệm	từ mức danh định lên ngưỡng méo
Dynamic range	Dải động	từ ngưỡng méo xuống sàn nhiễu
Generation loss	Suy hao thế hệ	nhiễu cộng dồn qua mỗi lần sao chép analog
Buffer size	Kích thước khối đệm	thường là luỹ thừa của hai
Latency	Độ trễ	khối chia cho tần số lấy mẫu
Buffer underrun	Cạn đệm	CPU không kịp, sinh tiếng nổ tanh tách

2.9.5 Chuẩn bị cho chương 3

Chương 3 bước hẳn vào thế giới số: lấy mẫu và định lý Nyquist, hiện tượng chồng phổ, lượng tử hoá, thang dBFS và các định dạng nén. Đó chính là phần bên trong khối ADC mà chương này chỉ vẽ thành một ô vuông.

– **Việc phải làm:** chạy được hai đoạn mã ở mục 2.7 trên máy của mình, và đọc được ba con số chúng in ra.

- **Bài tập:** vẽ sơ đồ chuỗi thu âm cho một podcast hai người nói, một giao diện âm thanh hai cổng, một máy tính. Ghi rõ chủng loại micro, chuẩn cáp, mức tín hiệu ở từng chặng và lý do chọn.
- **Bài tập tính toán:** bảy bài ở mục 2.8, có đáp số in sẵn để tự đối chiếu.
- **Đọc trước:** định lý Nyquist–Shannon — vì sao tần số lấy mẫu phải lớn hơn hai lần tần số cao nhất, và hiện tượng chồng phổ xảy ra thế nào khi điều kiện ấy bị vi phạm.

Một câu hỏi để mang sang chương 3

Chương này đã nói: tín hiệu analog liên tục trên cả hai trục, còn máy tính chỉ giữ được hữu hạn con số.

Vậy khi cắt trục thời gian thành các mốc rời rạc, chúng ta mất gì? Có phải mất là mất hẳn không, hay có điều kiện nào để khôi phục lại nguyên vẹn?

Câu trả lời — định lý Nyquist–Shannon — là một trong những kết quả đẹp nhất của toàn bộ kỹ thuật tín hiệu, và nó phản trực giác hơn nhiều người tưởng.

2.9.6 Bảng tự kiểm trước khi sang chương 3

Tự trả lời tám câu này không mở tài liệu. Câu nào ngập ngừng thì quay lại đúng mục ghi trong ngoặc.

- Nói được hai tính liên tục của tín hiệu analog, và phép nào ở chương 3 phá vỡ từng tính (2.2.2).
- Phân biệt được nguyên lý micro điện động và micro điện dung, và nói được vì sao chỉ một loại cần phantom (2.2.3, 2.2.4).
- Cho độ nhạy micro và mức SPL, tính được điện áp ra và hệ số khuếch đại cần thiết (2.2.5).
- Kể được các khối của chuỗi tín hiệu và nói được vì sao tầng đầu quyết định chất lượng (2.3.1, 2.3.2).
- Đổi được giữa vôn, dBu và dBV, và biết vì sao +4 dBu không cách −10 dBV đúng 14 dB (2.3.4).
- Phát biểu được quy tắc cầu điện áp và áp dụng cho một cặp trở kháng bất kỳ (2.4.1).
- Viết được phép trừ của mạch vi sai và giải thích được vì sao nhiễu bị triệt còn tín hiệu được cộng (2.4.3).
- Định nghĩa được sàn nhiễu, SNR, headroom, dải động và nêu đúng quan hệ giữa chúng (2.5.1).

Nếu chỉ nhớ được một điều từ chương này

Thì nên là điều này: mã xử lý âm thanh không tạo thêm thông tin, nó chỉ sắp xếp lại thông tin đã có trong dãy số.

Cả chương này là câu trả lời cho câu hỏi "thông tin ấy vào dãy số bằng đường nào, và mất mát ở những chỗ nào trên đường đi".

Chương 3 sẽ trả lời nốt phần cuối: chuyện gì xảy ra ngay tại khoảnh khắc tín hiệu trở thành con số.

Tài liệu tham khảo của chương

Sách và giáo trình

- Huber, D. M., Runstein, R. E. — Modern Recording Techniques. Nguồn của phần chuỗi tín hiệu, mức tín hiệu và đường truyền cân bằng.
- Ballou, G. — Handbook for Sound Engineers. Nguồn của phần bộ chuyển đổi, trở kháng và thông số micro.
- Self, D. — Small Signal Audio Design. Nguồn của phần nhiễu nhiệt, sàn nhiễu và thiết kế tầng tiền khuếch đại.
- Watkinson, J. — The Art of Digital Audio. Nguồn của phần ranh giới analog – số và cấu trúc giao diện âm thanh.

Tiêu chuẩn

- IEC 60268-3 — Sound system equipment: Amplifiers. Quy định cách đo mức, trở kháng và tỉ số tín hiệu trên nhiễu của thiết bị âm thanh.
- IEC 61938 — Multimedia systems: Guide to the recommended characteristics of analogue interfaces. Nguồn chuẩn của nguồn phantom 48 V và các mức giao tiếp analog.
- AES14 (IEC 61938 tương đương) — Standard for professional audio: XLR-3 connectors. Quy định vai trò ba chân của đầu nối cân bằng.

Một lưu ý về các con số trong bài

> **Cách đọc các con số**
>
> Các con số có nguồn tiêu chuẩn — mốc 0 dBu, điện áp phantom, các mức line chuẩn — được nêu đúng như tài liệu gốc quy định.
>
> Các con số mô tả thiết bị — độ nhạy micro, trở kháng ngõ vào, CMRR — là giá trị *tiêu biểu* dùng để so sánh, không phải số đo của một sản phẩm cụ thể. Thông số thật luôn ghi trên tài liệu của nhà sản xuất.
>
> Mọi con số tính toán trong bài và mọi đáp số bài tập đều sinh ra từ mô-đun sigtools.py, đã qua 87 phép tự kiểm. Người đọc thay tham số của bài toán cần xét vào là ra con số cho trường hợp cụ thể.