TRƯỜNG ĐẠI HỌC SÂN KHẤU – ĐIỆN ẢNH HÀ NỘI
KHOA CÔNG NGHỆ ĐIỆN ẢNH – TRUYỀN HÌNH

KỸ THUẬT AUDIO – VIDEO

CHƯƠNG 6 · PHẦN C

Cân bằng tần số, hồi âm và trễ

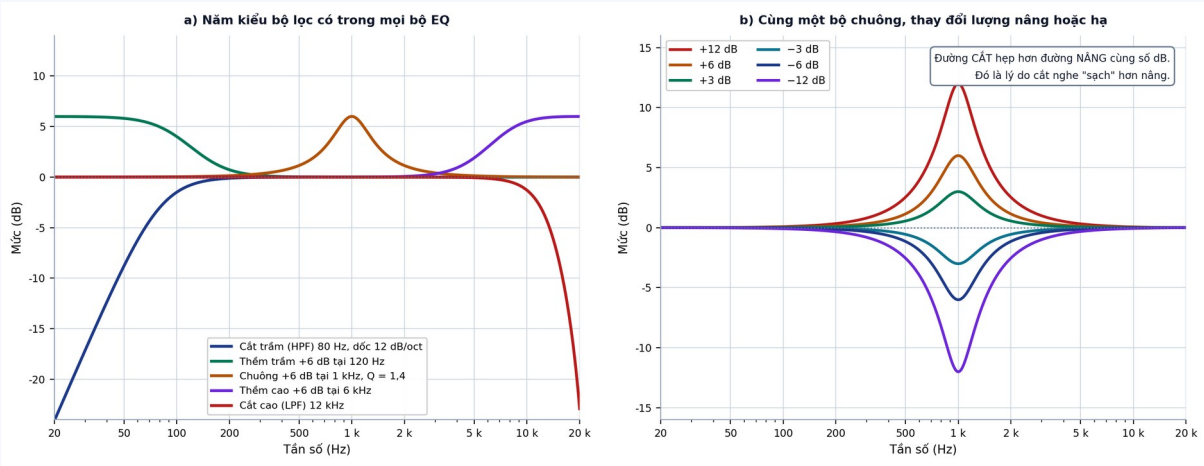
Mục 6.14 – 6.18 · Dành cho sinh viên Đạo diễn âm thanh, Quay phim, Đạo diễn điện ảnh – truyền hình, Dựng phim

Hà Nội – 2026

MỤC 6.14

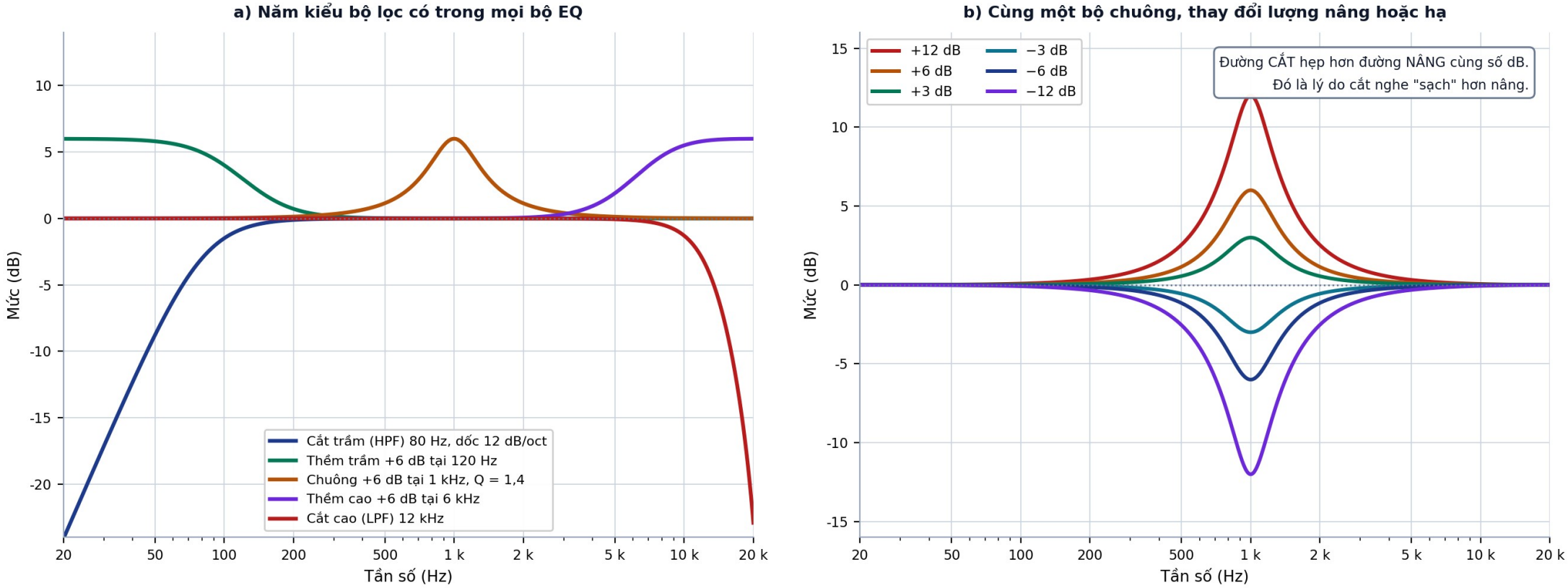
Cân bằng tần số trong thực hành

- Năm kiểu bộ lọc có trong mọi bộ EQ
- Hệ số phẩm chất Q và bề rộng
- Cắt để sửa, nâng để tạo màu
- Bản đồ vùng tần số
- EQ động · Pha và tiền dội



MỤC 6.14.1

Năm kiểu bộ lọc có trong mọi bộ EQ



Trái: năm kiểu bộ lọc. Phải: cùng một bộ chuông, thay đổi lượng nâng hoặc hạ

MỤC 6.14.1

Năm kiểu bộ lọc cơ bản

Kiểu bộ lọc	Tham số	Hình dạng đáp tuyến	Dùng để làm gì
Thông cao (HPF, low cut)	Tần số cắt, độ dốc	Chặn mọi thứ DƯỚI tần số cắt	Loại tiếng rung sàn, gió, hiệu ứng gần
Thông thấp (LPF, high cut)	Tần số cắt, độ dốc	Chặn mọi thứ TRÊN tần số cắt	Loại tiếng xì băng, ồn dải cao; làm âm thanh "xa" hơn
Thềm trầm (low shelf)	Tần số, lượng nâng/hạ	Nâng hoặc hạ toàn bộ phần dưới tần số đặt	Thêm hoặc bớt độ ấm, độ đầy
Thềm cao (high shelf)	Tần số, lượng nâng/hạ	Nâng hoặc hạ toàn bộ phần trên tần số đặt	Thêm hoặc bớt "không khí", độ sáng
Chuông (peak / bell)	Tần số, lượng, **Q**	Nâng hoặc hạ một dải quanh tần số đặt	Công cụ chính xác nhất — sửa một vùng cụ thể

MỤC 6.14.2

Hệ số phẩm chất Q

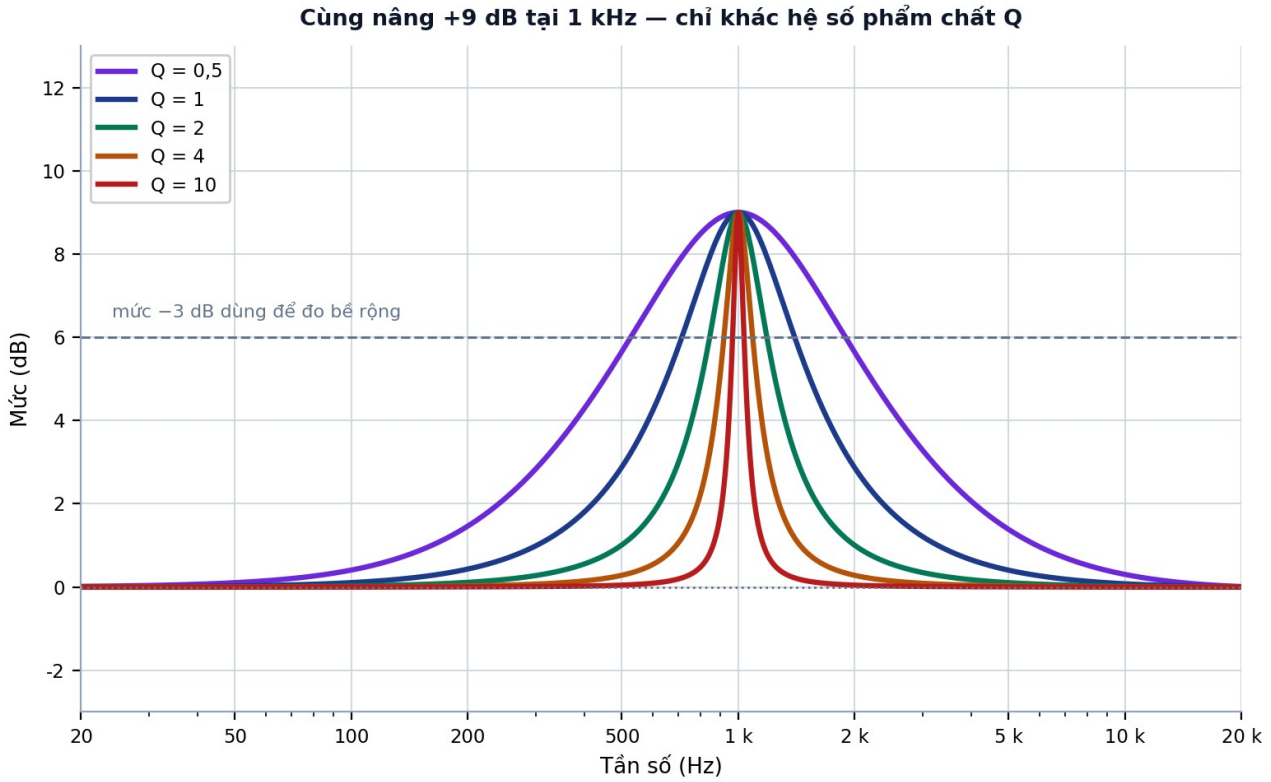
Q quyết định **bề rộng** của bộ lọc chuông. Q càng lớn thì dải tác động càng hẹp.

$$Q = \frac{f_0}{\Delta f_{-3\,\mathrm{dB}}} \; ; \qquad \Delta f = f_2 - f_1 \; , \quad f_0 = \sqrt{f_1 f_2}$$

- **Δf** — bề rộng dải ở mức −3 dB so với đỉnh; **f_0** — tần số trung tâm
- Q = 0,5 – 0,7 → 2 – 3 quãng tám → sửa âm sắc chung
- Q = 2 – 4 → 0,35 – 0,7 quãng tám → nhắm vào vấn đề cụ thể
- Q = 6 – 12 → 0,12 – 0,25 quãng tám → diệt cộng hưởng phòng, tiếng ù thiết bị
- Q > 20 → gần như một tần số → notch chống hú, diệt ù 50 Hz và hài

MỤC 6.14.2

Cùng nâng +9 dB tại 1 kHz — chỉ khác Q



Q là gì

Q = tần số trung tâm chia cho bề rộng dải ở mức −3 dB. Q càng lớn thì dải tác động càng hẹp.

Chọn Q thế nào

Q rộng (0,5 – 1) để sửa âm sắc chung. Q hẹp (4 – 10) để diệt một tần số xấu: tiếng cộng hưởng phòng, tiếng hú.

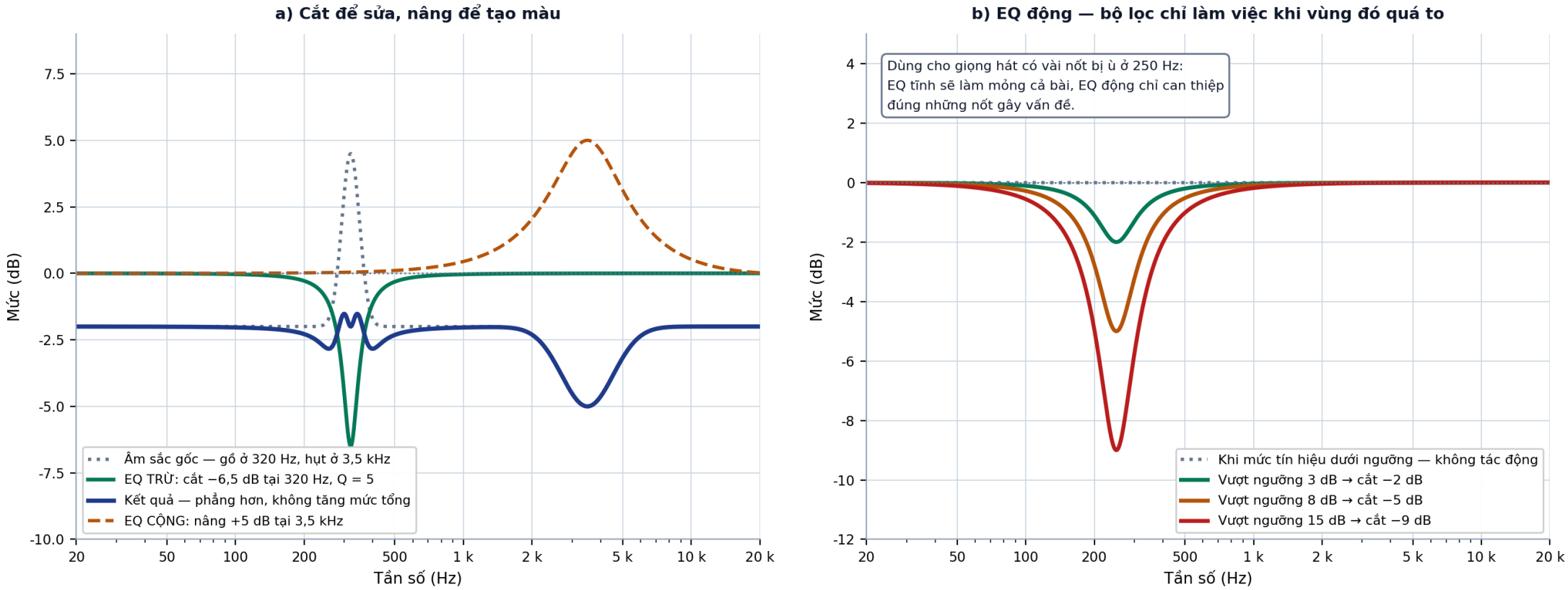
Bẫy thường gặp

Q rất hẹp mà nâng lên thì tai gần như không nghe thấy, nhưng đồng hồ đo lại nhảy — nâng hẹp hầu như luôn là sai.

Q rộng để sửa âm sắc chung · Q hẹp để diệt một tần số xấu

MỤC 6.14.3

Cắt để sửa, nâng để tạo màu



Trái: EQ trừ sửa được âm sắc mà không tăng mức tổng. Phải: EQ động chỉ làm việc khi vùng đó quá to

MỤC 6.14.3

Ba cơ sở kỹ thuật của nguyên tắc "cắt để sửa"

- **Cơ sở 1 — hình dạng bộ lọc.** Với cùng Q, đường CẮT hẹp hơn đường NÂNG. Khi cắt ta ảnh hưởng tới ít vùng lân cận hơn — tác động "sạch" hơn

- **Cơ sở 2 — mức tổng.** Nâng làm tăng mức tổng và ăn vào dự trữ. Nâng 6 dB ở ba vùng khác nhau có thể lấy đi 8 – 10 dB dự trữ của cả chuỗi. Cắt thì **trả lại** dự trữ

- **Cơ sở 3 — bản chất của vấn đề.** Hầu hết vấn đề âm sắc là do **CÓ QUÁ NHIỀU** một thứ gì đó, chứ không phải thiếu
  - Giọng nói nghe đục là vì **thừa 250 – 400 Hz**, không phải vì thiếu 3 kHz. Cắt cái thừa cho kết quả tự nhiên hơn nâng cái đối lập

QUY TRÌNH CHUẨN

Tìm và diệt một tần số có vấn đề

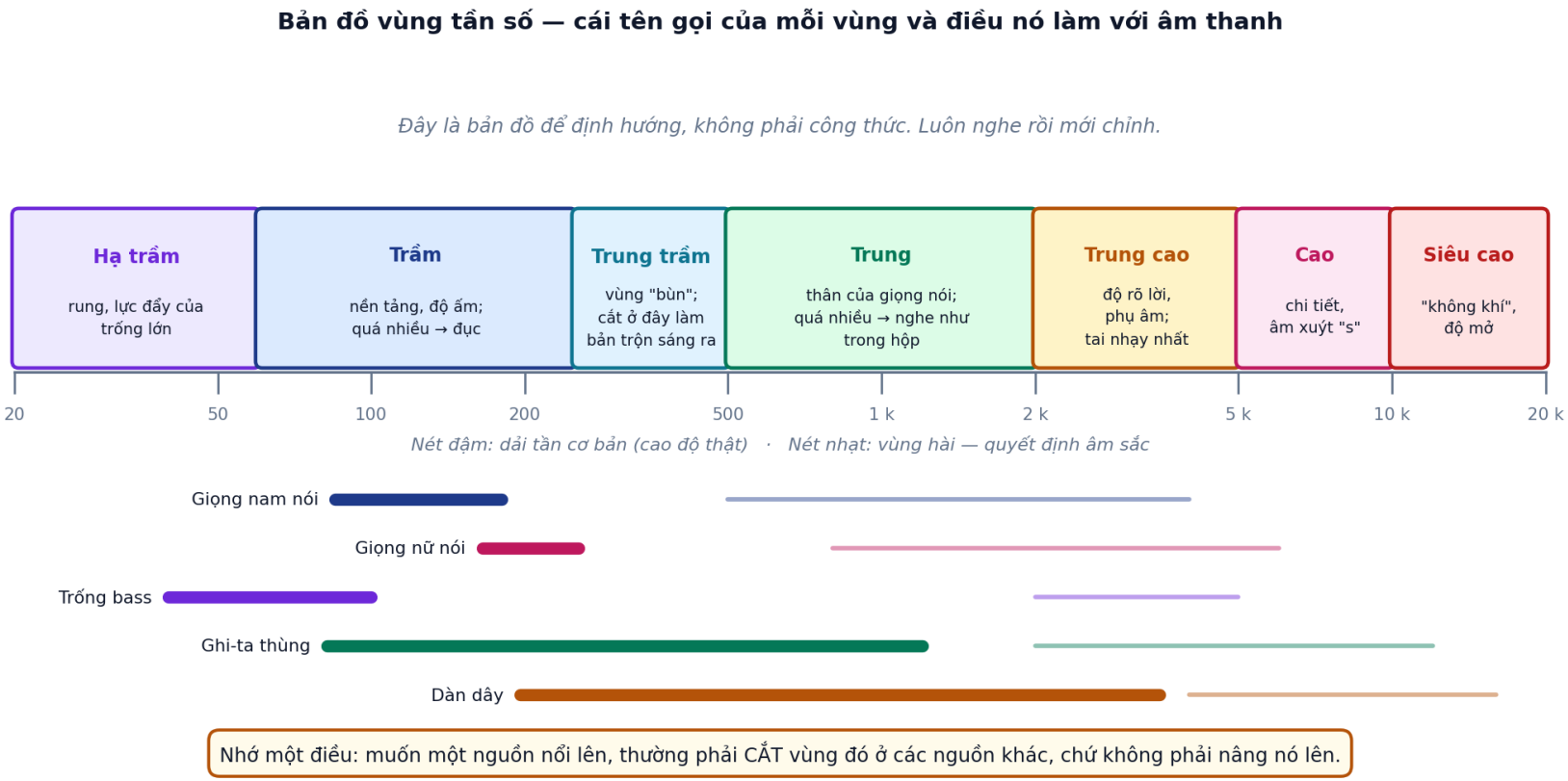
Tình huống: Một giọng nói thu được nghe "ù" và có cảm giác nói trong hộp. Không biết vấn đề nằm ở tần số nào.

1. Đặt một bộ lọc **chuông** với **Q hẹp (khoảng 6)** và **nâng mạnh (+12 dB)**.
2. Quét **chậm** tần số của nó qua dải nghi ngờ. Vùng nào nghe chói tai, ù, hoặc "cộng hưởng" rõ nhất chính là vùng có vấn đề.
3. Giữ nguyên tần số đó, **đảo lượng nâng thành CẮT**, và giảm độ sâu xuống mức vừa đủ — thường **3 – 6 dB**, hiếm khi cần quá 8 dB.
4. Nới **Q ra một chút** cho tự nhiên hơn, trừ khi đang diệt một cộng hưởng thật hẹp.
5. **Tắt bật bộ lọc để so sánh.** Nếu tắt đi mà không thấy thiếu gì, thì bộ lọc đó không cần thiết — hãy bỏ nó đi.

Kết luận nghề: Bước 5 là bước hay bị bỏ qua. Một chuỗi EQ với sáu bộ lọc mà bỏ đi ba bộ vẫn nghe như cũ thì ba bộ đó chỉ đang tiêu tốn tài nguyên và làm rối pha.

MỤC 6.14.4

Bản đồ vùng tần số



Bản đồ để ĐỊNH HƯỚNG, không phải công thức áp dụng máy móc — mọi con số phải kiểm chứng bằng tai

MỤC 6.14.4

Bảy vùng tần số — thừa và thiếu nghe thế nào

Dải tần	Tên gọi	Khi THỪA	Khi THIẾU
20 – 60 Hz	Hạ trầm	Ù, rền, ăn hết dự trữ mà không nghe thấy	Mất lực đẩy của trống lớn và tiếng nổ
60 – 250 Hz	Trầm	Đục, "bùng nhùng", che mất lời	Mỏng, không có nền, giọng nghe yếu
250 – 500 Hz	Trung trầm	Vùng "bùn" — bản trộn nghe lù mù	Rỗng, thiếu thân, nghe "kim loại"
500 Hz – 2 kHz	Trung	Nghe như nói trong hộp, như qua điện thoại	Giọng mất thân, không có sức
2 – 5 kHz	Trung cao	Chói, gắt, nghe lâu mỏi tai — tai nhạy nhất ở đây	Lời không rõ, phụ âm mờ, nghe xa
5 – 10 kHz	Cao	Âm xuýt gắt, tiếng "s" bắn ra	Mất chi tiết, mất độ sắc nét
10 – 20 kHz	Siêu cao	Xì, mỏi tai, lộ nhiễu	Bí, thiếu "không khí", như bị trùm chăn

Muốn một nguồn nổi lên, thường phải CẮT vùng đó ở các nguồn KHÁC, chứ không phải nâng nó lên.

MỤC 6.14.5

EQ động — bộ lọc chỉ làm việc khi cần

EQ động đứng giữa **EQ tĩnh** và **bộ nén đa dải**, và trong nhiều trường hợp là công cụ chính xác hơn cả hai.

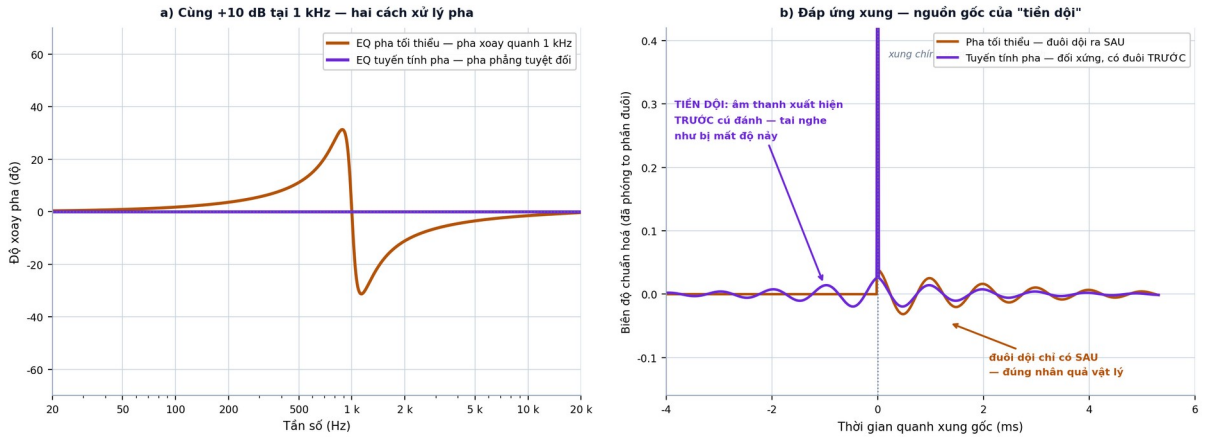
- **Tình huống điển hình**: một giọng hát có ba nốt bị ù ở 250 Hz, các nốt khác bình thường
  - **EQ tĩnh** cắt 250 Hz → làm mỏng cả bài
  - **Nén đa dải** nén dải trầm → thay đổi cân bằng theo thời gian trên cả dải
  - **EQ động** chỉ hạ đúng 250 Hz và chỉ ở ba nốt đó
- **Ứng dụng trong hậu kỳ phim**: EQ động có sidechain ngoài, đặt trên nhạc nền và nghe theo kênh thoại, chỉ hạ dải 1 – 4 kHz của nhạc khi có lời
  - Lời rõ mà nhạc gần như không mất mức tổng — **tinh tế hơn ducking băng rộng nhiều**

MỤC 6.14.6

Pha, tiền dội và EQ tuyến tính pha

Mọi bộ lọc analog và mọi bộ lọc số kiểu IIR đều là bộ lọc **pha tối thiểu**: thay đổi biên độ luôn kèm thay đổi pha.

- Sự xoay pha này **không phải khuyết điểm** — nó là hệ quả tất yếu của quan hệ nhân quả: hệ vật lý không thể phản ứng trước khi có kích thích
- Với tai người, xoay pha vài chục độ ở một dải hẹp **gần như không nghe thấy**
- **EQ tuyến tính pha** dùng bộ lọc FIR đối xứng, giữ pha phẳng tuyệt đối — nhưng cái giá đắt hơn nhiều người tưởng
  - **Tiền dội (pre-ringing)**: có năng lượng xuất hiện TRƯỚC cú đánh. Tai rất nhạy vì điều này không tồn tại trong tự nhiên → nghe "mất độ nảy", như bị bọc trong bông
  - **Độ trễ** 20 – 100 ms — không dùng được khi làm trực tiếp
  - **Tốn tài nguyên** — nặng hơn IIR hàng chục lần với cùng độ dốc



MỤC 6.14.6

Khi nào dùng EQ tuyến tính pha

- **NÊN dùng** khi xử lý một bản trộn đã hoàn thiện (khâu master) và cần thay đổi lớn về âm sắc mà không muốn đụng tới quan hệ pha giữa các nguồn
- **NÊN dùng** khi xử lý song song hai đường của cùng một nguồn và cần chúng thẳng hàng tuyệt đối về pha
- **KHÔNG dùng** cho nguồn có nhiều phần đầu nốt sắc — trống, gảy đàn, tiếng động va đập. Đó chính là nơi tiền dội nghe rõ nhất
- **KHÔNG dùng** khi làm việc trực tiếp — độ trễ 20 – 100 ms là không chấp nhận được

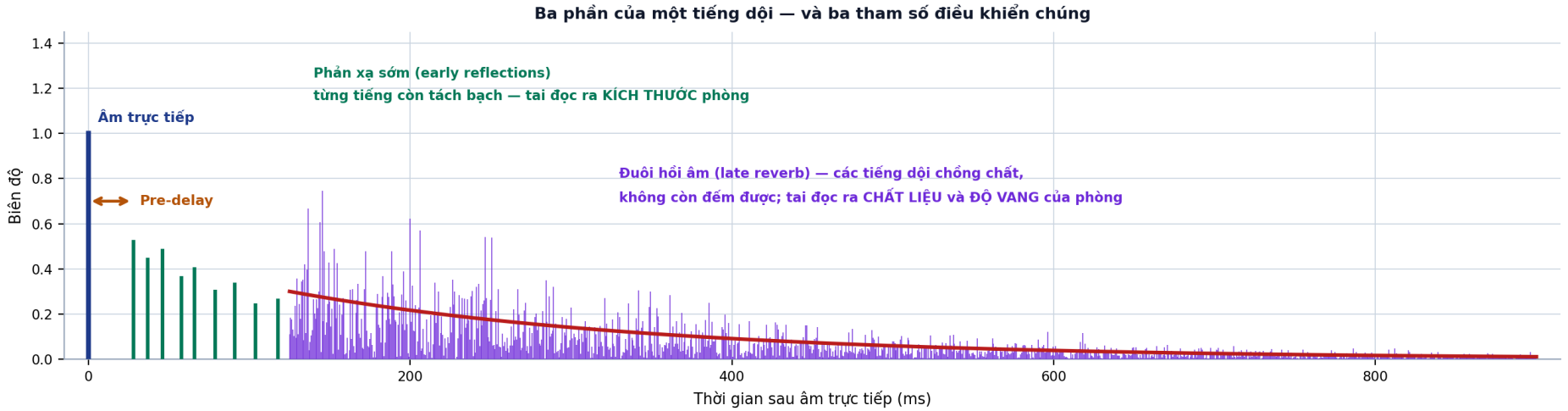
MỤC 6.15

Hồi âm

- Ba phần của một tiếng dội và ba loại thông tin
- Pre-delay · RT60 · Kích thước phòng · Suy giảm dải cao
- Hồi âm thuật toán và hồi âm tích chập
- Bốn quy tắc thực hành



Ba phần của một tiếng dội



Pre-delay

0 – 40 ms

Khoảng lặng giữa âm trực tiếp và tiếng dội đầu tiên. Tăng pre-delay giữ cho lời rõ dù hồi âm dài.

Thời gian vang RT60

0,4 – 3 s

Thời gian để tiếng dội tắt đi 60 dB. Studio 0,3 s; nhà thờ 4 – 8 s. Tin tức dùng gần như không hồi âm.

Kích thước phòng

mét vuông ảo

Đổi mật độ và khoảng cách các phản xạ sớm. Phòng lớn → phản xạ thưa và trễ.

Suy giảm dải cao

tần số cắt

Phòng thật hút tần cao nhiều hơn tần trầm. Không cắt cao thì tiếng dội nghe như kim loại, giả.

Âm trực tiếp → phản xạ sớm → đuôi hồi âm, và bốn tham số điều khiển chúng

MỤC 6.15.1

Ba phần — ba loại thông tin cho não bộ

- **Âm trực tiếp** cho biết nguồn ở **HƯỚNG** nào, và mang gần như toàn bộ thông tin về nội dung (lời nói, giai điệu)

- **Phản xạ sớm** cho biết **KÍCH THƯỚC** phòng và **KHOẢNG CÁCH** tới nguồn
  - Khoảng trễ giữa âm trực tiếp và phản xạ đầu tiên tỉ lệ với khoảng cách tới bề mặt gần nhất
- **Đuôi hồi âm** cho biết **CHẤT LIỆU** của phòng và **ĐỘ VANG** của nó
  - Phòng lát đá: đuôi dài và sáng. Phòng trải thảm: đuôi ngắn và tối

Thời gian vang RT60 — công thức Sabine

Thời gian để tiếng dội tắt đi **60 dB** sau khi nguồn ngừng.

$$\mathrm{RT}_{60} = 0{,}161\,\frac{V}{A}\ \text{(s)}, \qquad A = \sum_i S_i\,\alpha_i$$

- **V** — thể tích phòng (m³); **A** — tổng diện tích hấp thụ (m² Sabine)
- A = tổng của diện tích từng bề mặt nhân hệ số hấp thụ của nó
- Phòng càng **lớn** → vang càng **lâu**; vật liệu càng **hút** → vang càng **ngắn**
- Ví dụ: V = 800 m³, A = 160 m² Sabine → RT60 = 0,161 × 800 / 160 = **0,81 s**

Thời gian vang điển hình của một số không gian

Không gian	RT60 (s)	Ghi chú
Phòng thu tiếng thoại (voice booth)	0,15 – 0,25	Gần như không vang — mọi không gian sẽ được thêm ở hậu kỳ
Phòng dựng phim đạt chuẩn	0,2 – 0,3	Theo khuyến nghị ITU-R BS.1116 cho phòng nghe tham chiếu
Phòng khách gia đình	0,4 – 0,6	Chuẩn tham chiếu khi làm bản trộn cho truyền hình
Rạp chiếu phim	0,5 – 1,0	Tăng theo thể tích rạp
Nhà hát kịch	0,8 – 1,2	Đủ vang để đầy nhưng vẫn nghe rõ lời
Phòng hoà nhạc giao hưởng	1,8 – 2,2	Vang là một phần của nhạc cụ
Nhà thờ lớn	4 – 8	Lời nói gần như không nghe rõ nếu không tăng âm

MỤC 6.15.2

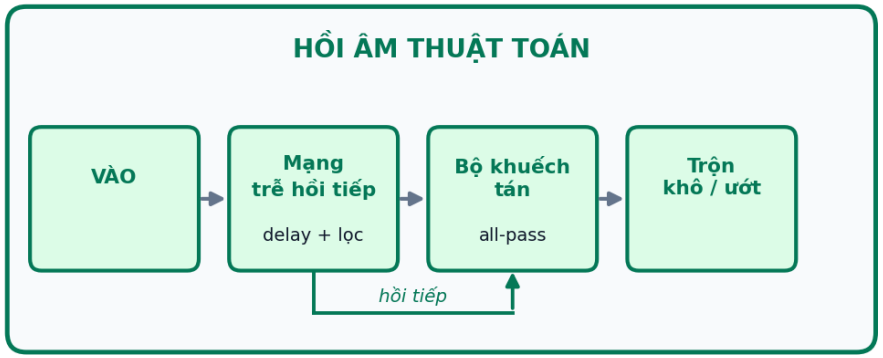
Bốn tham số của bộ hồi âm

- **PRE-DELAY (0 – 40 ms)** — khoảng lặng giữa âm trực tiếp và tiếng dội đầu tiên. **Tham số quan trọng nhất mà người mới hay bỏ qua**
  - Pre-delay 0 ms: tiếng dội dính liền vào âm gốc, che mất phần đầu của từ, lời khó nghe
  - Pre-delay 20 – 40 ms: tai nghe trọn từ trước rồi mới nghe tiếng dội → **lời vẫn rõ dù hồi âm dài**
- **RT60 (0,4 – 3 s)** — thời gian tiếng dội tắt đi 60 dB
- **KÍCH THƯỚC PHÒNG** — đổi mật độ và khoảng cách các phản xạ sớm. Phòng lớn → phản xạ thưa và trễ
  - Lỗi thường gặp: RT60 dài (nhà thờ) nhưng kích thước phòng nhỏ → không giống bất kỳ không gian có thật nào
- **SUY GIẢM DẢI CAO** — bộ lọc thông thấp trong vòng hồi tiếp, thường cắt ở 4 – 8 kHz
  - Không cắt dải cao là lỗi làm tiếng dội nghe "kim loại", giả tạo — dấu hiệu nhận biết rõ nhất của bộ hồi âm rẻ tiền hoặc đặt sai

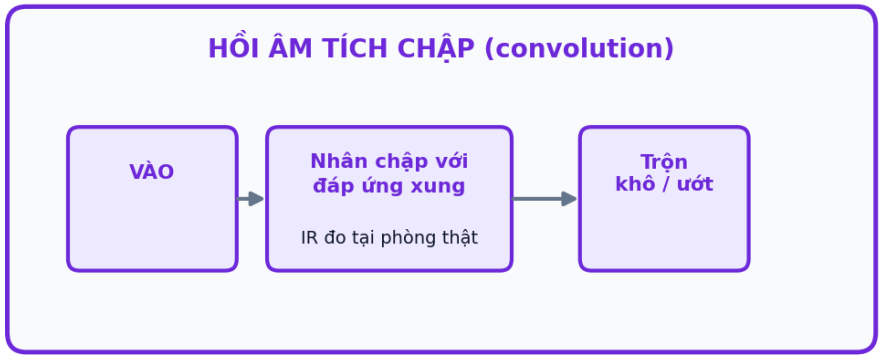
MỤC 6.15.3

Hai họ hồi âm

Hai họ hồi âm — và tiêu chí chọn giữa chúng



Ưu: chỉnh được từng tham số, nhẹ máy, đổi phòng tức thì.
Nhược: là mô hình toán, không phải phòng thật.
Kinh điển: EMT 250, Lexicon 480L, Bricasti M7.



Ưu: nghe đúng như phòng đã đo — nhà hát, nhà thờ, phòng máy.
Nhược: nặng máy, có độ trễ, và gần như không sửa được gì
ngoài độ dài và mức. Dùng khi cần đặt nhân vật vào một không gian CÓ THẬT.

Trong hậu kỳ phim: tích chập cho không gian của bối cảnh (nhà thờ, hầm, hành lang);
thuật toán cho hiệu ứng nghệ thuật và cho việc "dán" lời thoại lồng vào tiếng hiện trường.

Thuật toán: chỉnh được từng tham số. Tích chập: nghe đúng như không gian đã đo

MỤC 6.15.4

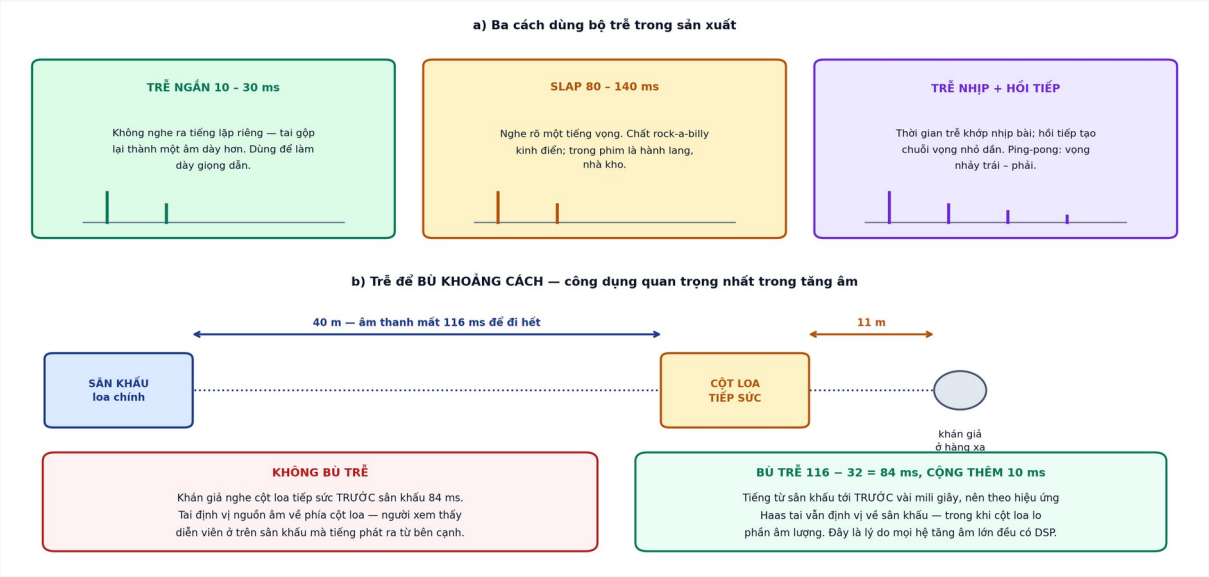
Bốn quy tắc thực hành với hồi âm

- **1. Cắt trầm trên đường hồi âm.** Đặt bộ lọc thông cao ở 200 – 400 Hz trên tín hiệu GỬI VÀO bộ hồi âm. Phần trầm dội lại chỉ làm bản trộn đục mà không thêm cảm giác không gian
- **2. Nghe hồi âm ở mức thấp hơn bạn nghĩ.** Nếu nghe rõ ràng là "có hồi âm" thì thường đã quá nhiều. Cách kiểm tra: **tắt hẳn đường hồi âm** — nếu thấy bản trộn đột nhiên khô và nhỏ lại thì lượng đang dùng là đúng
- **3. Một hoặc hai bộ hồi âm cho cả bản trộn**, không phải mỗi kênh một bộ. Mọi nguồn cùng ở trong một không gian thì mới nghe như một cảnh
- **4. Dùng pre-delay để giữ lời rõ.** Đây là công cụ mạnh nhất và ít tốn kém nhất trong bốn tham số

MỤC 6.16

Trễ

- Trễ như một hiệu ứng — sáu vùng độ dài
- Hiện tượng răng lược và quy tắc 3:1
- Trễ để bù khoảng cách — công dụng quan trọng nhất
- Hiệu ứng Haas



MỤC 6.16.1

Trễ — tai nghe thấy gì theo độ dài

Độ trễ	Tai nghe thấy gì	Ứng dụng
dưới 1 ms	Không nghe ra tiếng lặp, nhưng đáp tuyến bị RĂNG LƯỢC	Hiện tượng cần TRÁNH khi hai micro thu cùng nguồn
1 – 10 ms	Âm thanh có vẻ rộng ra, đổi âm sắc	Làm rộng ảnh âm; nền tảng của flanger
10 – 30 ms	Vẫn gộp thành một âm nhưng dày hơn rõ rệt	Làm dày giọng dẫn; nền tảng của chorus
30 – 50 ms	Bắt đầu tách ra, nghe như một không gian nhỏ	Ranh giới của hiệu ứng Haas
80 – 150 ms	Nghe rõ một tiếng vọng riêng biệt (slap)	Chất rock-a-billy kinh điển; trong phim là hành lang, nhà kho
trên 150 ms	Tiếng vọng rõ ràng, đếm được	Trễ theo nhịp bài; hiệu ứng vọng núi, hang động

Hồi tiếp (feedback) đưa một phần tín hiệu ra quay lại đầu vào, tạo chuỗi tiếng vọng nhỏ dần. Trễ ping-pong cho tiếng vọng nhảy luân phiên trái – phải.

MỤC 6.16.2

Hiện tượng răng lược

Khi một tín hiệu được cộng với chính nó sau độ trễ **τ**, các tần số mà độ trễ ứng với **nửa chu kỳ lẻ** sẽ triệt tiêu nhau.

$$f_{\text{notch}} = \frac{2n+1}{2\tau}, \qquad n = 0, 1, 2, \ldots$$

- Kết quả: một chuỗi đáy **cách đều nhau** trên trục tần số tuyến tính — giống hình răng lược
- Với τ = 1 ms: các đáy ở **500 Hz, 1500 Hz, 2500 Hz**…
- **Ba tình huống cần tránh**: hai micro thu cùng nguồn ở khoảng cách khác nhau; micro đặt gần mặt phẳng phản xạ; hai loa phát cùng tín hiệu tới cùng vị trí nghe
- *Micro boundary đặt sát mặt bàn để hai đường bằng nhau, độ trễ bằng không — đó là lý do nó tồn tại*

MỤC 6.16.2

Quy tắc 3:1

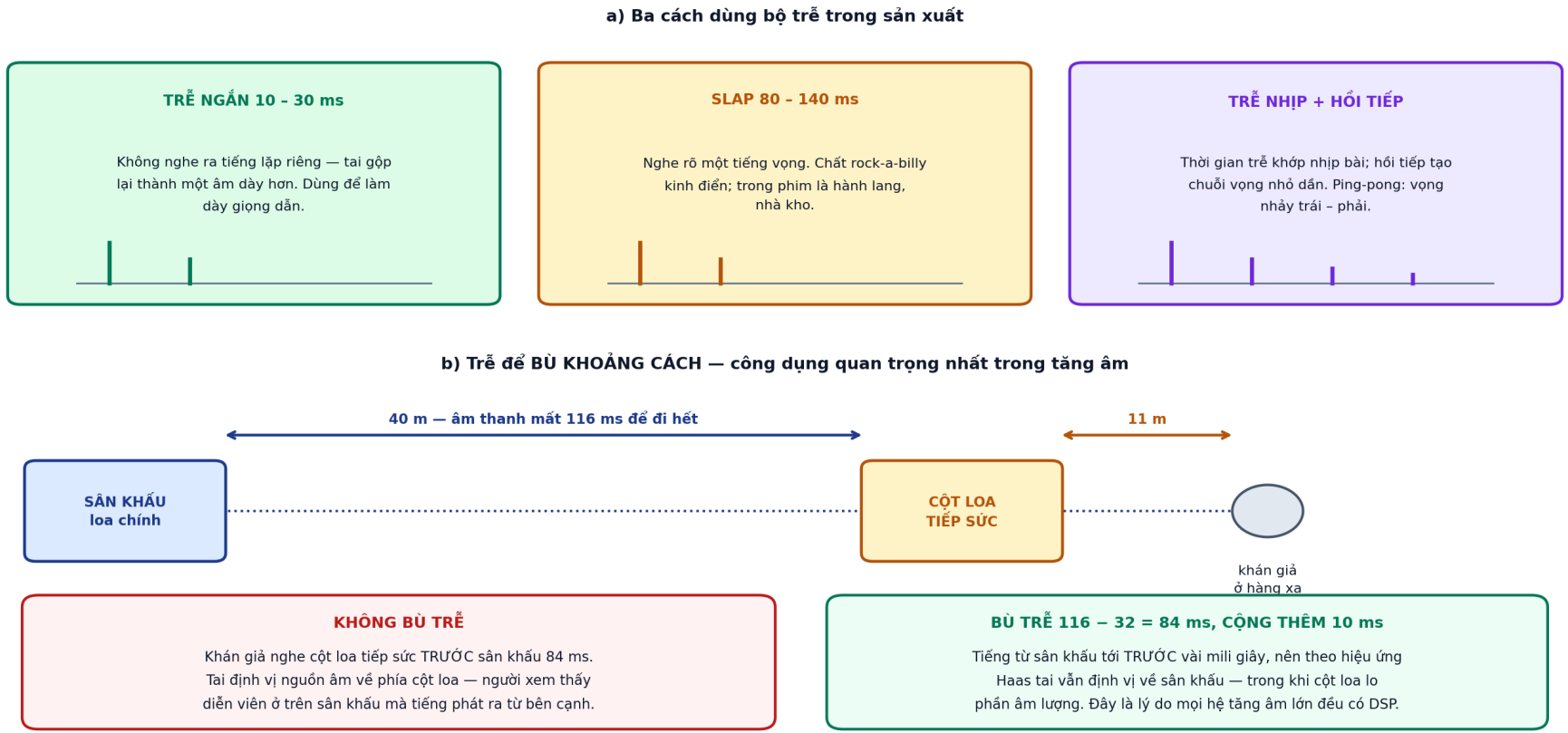
Khi dùng hai micro cho **hai nguồn khác nhau**, khoảng cách giữa hai micro phải lớn hơn **ít nhất ba lần** khoảng cách từ mỗi micro tới nguồn của nó.

- Khi đó tín hiệu lọt sang thấp hơn tín hiệu chính khoảng **10 dB**
- Và hiện tượng răng lược trở nên **không đáng kể**
- Ví dụ: hai người ngồi phỏng vấn, mỗi người một micro cách miệng 25 cm → hai micro phải cách nhau **ít nhất 75 cm**

- *Quy tắc này là một trong vài quy tắc bố trí micro đáng thuộc lòng*

MỤC 6.16.3

Trễ để bù khoảng cách



Ba cách dùng bộ trễ trong sản xuất, và công dụng quan trọng nhất trong tăng âm

MỤC 6.16.3

Tốc độ âm thanh phụ thuộc nhiệt độ

Người ngồi ở hàng xa sẽ nghe **cột loa tiếp sức TRƯỚC** khi nghe loa sân khấu, vì cột loa ở gần hơn.

$$c = 331{,}3 + 0{,}606\,T \quad (\text{m/s}) \; ; \qquad c \approx 346 \text{ m/s} \quad (T = 25\,^{\circ}\text{C})$$

- Theo **hiệu ứng ưu tiên** (precedence effect, hiệu ứng Haas), tai định vị nguồn âm theo tín hiệu **ĐẾN TRƯỚC**
- → Người xem thấy tiếng phát ra từ bên cạnh, trong khi mắt thấy diễn viên trên sân khấu
- Sự lệch này rất khó chịu và người xem **cảm nhận được ngay** cả khi không giải thích được nguyên nhân
- Ở 25 °C: c ≈ **346 m/s**; ở 30 °C: c ≈ **349,5 m/s**

VÍ DỤ TÍNH TOÁN

Tính độ trễ cho cột loa tiếp sức

Tình huống: Khán phòng dài 60 m. Loa chính ở sân khấu (vị trí 0 m), cột loa tiếp sức ở 40 m. Nhiệt độ khi có khán giả 28 °C.

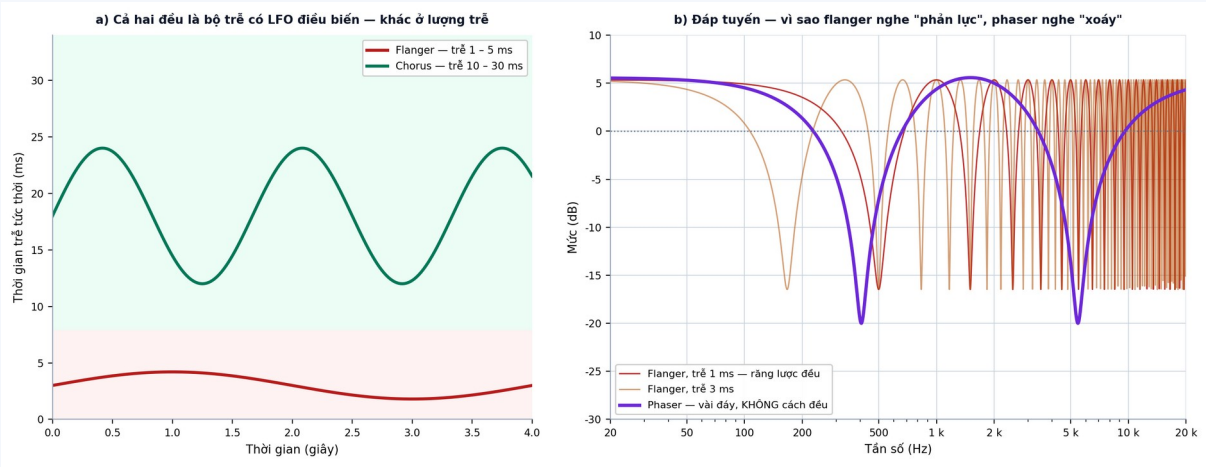
1. Tốc độ âm thanh: $c = 331{,}3 + 0{,}606 \times 28 =$ **348 m/s**
2. Thời gian âm từ sân khấu đi 40 m: $t = 40 / 348 =$ **115 ms**
3. Độ trễ cơ bản cho cột loa: **115 ms**
4. Cộng thêm dự trữ Haas **10 ms** để bảo đảm âm sân khấu chắc chắn tới trước → đặt trễ **125 ms**

Kết luận nghề: Tai định vị đúng về sân khấu, trong khi cột loa lo phần âm lượng. Nếu buổi tập lúc sáng là 22 °C mà buổi diễn tối là 30 °C thì độ trễ đúng thay đổi 1,6 ms — nhỏ nhưng đo được, và với hệ rất lớn thì cần tính lại.

MỤC 6.17

Các hiệu ứng khác

- Chorus, flanger và phaser — ba thứ hay bị nhầm
- Dịch cao độ và kéo giãn thời gian
- Tạo hài và mô phỏng băng từ
- Khử ồn và khử hồi âm



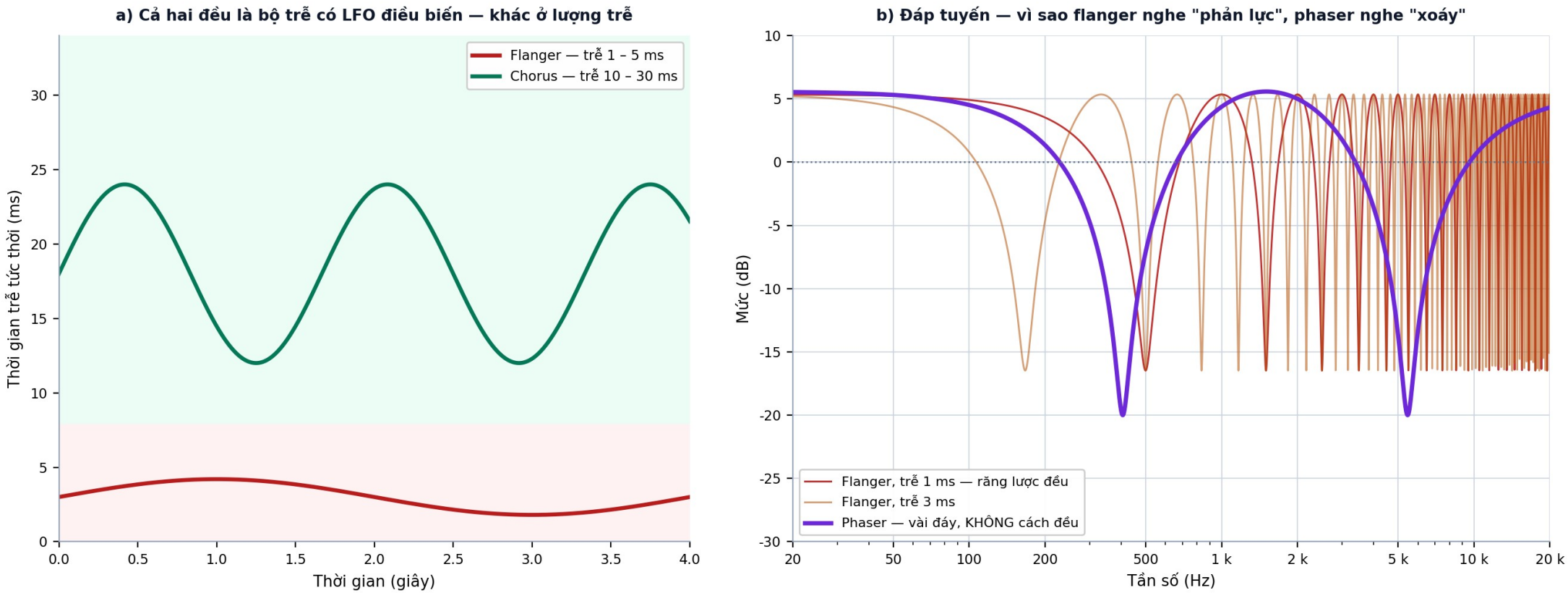
MỤC 6.17.1

Chorus, flanger và phaser

Hiệu ứng	Nguyên lý	Đáp tuyến	Nghe như thế nào
Chorus	Trễ 10 – 30 ms, điều biến bởi LFO 0,3 – 1,5 Hz	Không có răng lược rõ vì trễ dài	Dày hơn, như nhiều người cùng hát; hơi lệch cao độ
Flanger	Trễ 1 – 5 ms, điều biến bởi LFO, có hồi tiếp	Răng lược với các đáy CÁCH ĐỀU nhau, quét lên xuống	Tiếng "phản lực" đặc trưng, kim loại, xoáy mạnh
Phaser	Chuỗi bộ lọc all-pass, KHÔNG có trễ	Vài đáy, KHÔNG cách đều nhau	Xoáy nhẹ nhàng hơn flanger, ít kim loại hơn

Chorus và flanger cùng là bộ trễ điều biến, chỉ khác lượng trễ. Phaser thì hoàn toàn khác về nguyên lý.

Vì sao flanger nghe "phản lực", phaser nghe "xoáy"



Trái: độ trễ tức thời của chorus và flanger. Phải: đáp tuyến — đáy cách đều so với đáy không cách đều

Dịch cao độ, kéo giãn thời gian và tạo hài

- **Kéo giãn thời gian** để một đoạn nhạc nền vừa khít với một cảnh, mà không đổi cao độ
- **Dịch cao độ nhẹ (2 – 5 cent)** hai bản sao của một giọng rồi pan sang hai bên để làm rộng — kỹ thuật micro-pitch
- **Chuyển đổi 24 ↔ 25 hình/giây** (giữa chuẩn phim và chuẩn PAL): nếu chỉ đổi tốc độ phát thì cao độ lệch **0,7 bán cung**, nghe được rõ; cần dịch cao độ bù lại
  - *Trong khoảng ±5 % thời lượng hoặc ±2 bán cung, thuật toán hiện đại gần như không nghe ra. Ngoài khoảng đó, âm thanh bắt đầu có tiếng lăn tăn kim loại*
- **Tạo hài (saturation)** — cố ý thêm méo phi tuyến ở mức rất nhỏ
  - **Hài bậc chẵn** (2, 4) nằm ở quãng tám và quãng năm — các quãng hoà âm → tai nghe là "ấm" và "đầy". Mạch đèn và biến áp sinh chủ yếu hài bậc chẵn
  - **Hài bậc lẻ** (3, 5) nằm ở quãng ít hoà hợp → nghe "gắt" và "hung". Mạch transistor bị xén cứng sinh hài bậc lẻ
  - Ứng dụng: giọng thu sạch nhưng "mỏng" có thể làm dày bằng 2 – 4 % méo hài bậc chẵn mà không cần đụng EQ

MỤC 6.17.4

Bốn nhóm công cụ khôi phục tiếng nói

Công cụ	Nguyên lý	Làm được gì	Giới hạn
Khử ồn phổ	Lấy mẫu phổ tiếng ồn nền rồi trừ khỏi phổ tín hiệu	Loại tiếng máy điều hoà, quạt, xì băng	Quá tay thì tiếng nói nghe "dưới nước", có tiếng lăn tăn
Khử ồn bằng học máy	Mạng nơ-ron được huấn luyện tách tiếng nói khỏi nền	Loại được cả tiếng ồn thay đổi: xe, đám đông, gió	Có thể làm mất âm sắc riêng của giọng; kết quả khó đoán
Khử hồi âm (dereverb)	Ước lượng và đảo ngược đáp ứng xung của phòng	Giảm tiếng vang của phòng thu không đạt chuẩn	Chỉ hiệu quả trong giới hạn; không "gỡ" được hồi âm nặng
Sửa phổ bằng tay	Khoanh vùng trên ảnh phổ và cho phần mềm nội suy	Xoá tiếng ho, chuông điện thoại, còi xe riêng lẻ	Chậm, làm từng sự kiện một

Không công cụ khôi phục nào thay thế được việc thu đúng ngay từ đầu

Mỗi decibel tiếng ồn không lọt vào bản thu là một decibel không phải xử lý ở hậu kỳ — và xử lý luôn để lại dấu vết.

Thứ tự đúng khi khôi phục: KHỬ ỒN TRƯỚC, rồi mới EQ và nén. Làm ngược lại là khuếch đại tiếng ồn lên rồi mới cố gỡ nó ra.

Luôn nghe phần BỊ LOẠI BỎ — nếu trong đó nghe thấy tiếng nói thì đang loại quá tay.

MỤC 6.18

Bài thực hành số 3 — EQ, hồi âm và trễ

Mục tiêu: tìm và diệt được một tần số có vấn đề bằng phương pháp quét; nghe và phân biệt được hiện tượng răng lược; dựng được không gian hồi âm thuyết phục mà vẫn giữ lời rõ.

- **Phần 1 — Quét tìm tần số.** Ba file tiếng nói đã bị nâng +8 dB ở một tần số bí mật (Q = 5). Tìm và sửa lại cho phẳng. **Sai số dưới 1/3 quãng tám là đạt.** Ghi lại thời gian tìm ra
- **Phần 2 — Nghe răng lược.** Nhân đôi kênh, đặt trễ 0,5 ms rồi tăng dần qua 1/2/5/10/20/40/100 ms. Ghi điểm mà tai bắt đầu nghe ra hai âm riêng biệt. Đối chiếu vị trí các đáy trên máy phân tích phổ với công thức
- **Phần 3 — Dựng không gian.** Một đoạn thoại thu khô 30 giây, làm cho nghe như thu ở ba nơi: phòng khách nhỏ, hành lang bệnh viện, nhà thờ lớn — **giữ nguyên độ rõ của lời**
- **Phần 4 — Tính trễ bù khoảng cách** (trên giấy): hội trường dài 45 m, cột loa ở 28 m, nhiệt độ 29 °C

Ba không gian cần dựng và tham số gợi ý

Không gian	RT60 gợi ý	Pre-delay	Ghi chú
Phòng khách nhỏ	0,4 s	8 – 15 ms	Phản xạ sớm dày; cắt cao ở 6 kHz
Hành lang bệnh viện	1,2 s	25 – 35 ms	Nhiều phản xạ sớm rõ; thêm một tiếng slap 90 ms rất nhỏ
Nhà thờ lớn	4,5 s	40 – 60 ms	Pre-delay dài là BẮT BUỘC để lời không bị nuốt; cắt trầm mạnh trên đường gửi

CÂU HỎI TẠI LỚP

Hai micro thu cùng một nguồn,
chênh lệch quãng đường 68 cm.
Ba tần số đáy đầu tiên nằm ở đâu? (c = 346 m/s)

Gợi ý: tính **τ = d / c** trước, rồi áp công thức **f = (2n+1) / 2τ** với n = 0, 1, 2.

Suy nghĩ 30 giây — rồi trả lời

LỜI GIẢI

Ba tần số đáy đầu tiên

Tình huống: Chênh lệch quãng đường d = 0,68 m, tốc độ âm thanh c = 346 m/s.

1. Độ trễ: $\tau = 0{,}68 / 346 =$ **1,97 ms**
2. Đáy thứ nhất (n = 0): $f = 1 / (2 \times 0{,}00197) =$ **254 Hz**
3. Đáy thứ hai (n = 1): $f = 3 / (2 \times 0{,}00197) =$ **763 Hz**
4. Đáy thứ ba (n = 2): $f = 5 / (2 \times 0{,}00197) =$ **1272 Hz**

Kết luận nghề: Ba đáy này nằm đúng giữa dải quan trọng nhất của tiếng nói. Đó là lý do việc trộn micro cài áo với micro boom mà không bù trễ làm giọng nghe "mỏng và rỗng" — và EQ không sửa được, vì đây là triệt pha chứ không phải cộng hưởng.

CHỐT LẠI MỤC 6.14 – 6.18

Chốt lại Phần C

Cắt để sửa, nâng để tạo màu — ba cơ sở: hình dạng bộ lọc, mức tổng, bản chất vấn đề

Quét bằng **Q hẹp nâng mạnh** để tìm, rồi **đảo thành cắt 3 – 6 dB**

Tắt bật bộ lọc để so sánh — **không thấy thiếu gì thì bỏ nó đi**

Muốn một nguồn nổi lên, **cắt vùng đó ở các nguồn khác**

EQ tuyến tính pha gây tiền dội — không dùng cho nguồn có đầu nốt sắc

Pre-delay là tham số hồi âm quan trọng nhất và bị bỏ qua nhiều nhất

Một hoặc hai bộ hồi âm cho **cả bản trộn**, không phải mỗi kênh một bộ

Trễ dưới 1 ms gây **răng lược** — quy tắc **3:1** để tránh

Trễ bù khoảng cách + **10 ms Haas** để tai định vị đúng về sân khấu

Khử ồn trước, EQ và nén sau — và luôn nghe phần bị loại bỏ