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

LẬP TRÌNH ÂM THANH

CHƯƠNG 8

Hiệu ứng phần 1

Chương 8 · 5 tiết · Mã học phần 531833 · 75 tiết · Học kỳ 5

Hà Nội – 2026

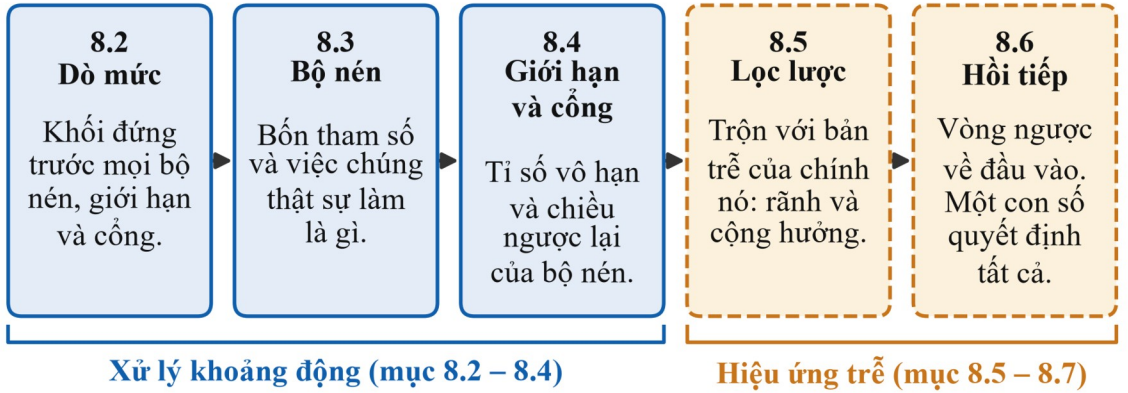
Sau chương này người học phải làm được

- Giải thích vì sao mọi bộ xử lý khoảng động bắt đầu bằng bộ dò mức; chọn giữa dò đỉnh và dò RMS (Root Mean Square – giá trị hiệu dụng).
- Cài đặt bộ dò mức hai hằng số thời gian; giải thích quy ước 63 phần trăm.
- Vẽ, đọc đặc tuyến tĩnh của bộ nén kể cả đầu gối mềm; tính gain bù.
- Đọc đường giảm gain để biết ngưỡng đang quá cao hay quá thấp.
- Giải thích vì sao tỉ số nén cao không thay được bộ giới hạn nhìn trước.
- Chỉnh bộ cổng đủ bốn tham số; tránh hai lỗi: ngưỡng quá cao, thiếu thời gian giữ.
- Tính vị trí rãnh bộ lọc lược theo hai chiều; chẩn đoán bản thu nghe rỗng.
- Nêu điều kiện ổn định của vòng hồi tiếp; tính RT60 (thời gian để âm vang giảm 60 dB) và đặt g theo RT60.
- Nêu bậc thang độ trễ và lý do các mốc nằm ở đúng những chỗ ấy.

MỤC 8.1

Vị trí chương học trong học phần

- Chương 8 mở mô-đun M6 «Hiệu ứng», sau ba chương dựng và đo bản dựng.
- Hai họ hiệu ứng: xử lý khoảng động (8.2 – 8.4) và hiệu ứng trễ (8.5 – 8.7).
- Cả hai dựng thẳng trên các khối của chương 6: xử lý theo khối có trạng thái, và phép trễ.
- Kiểm tra giữa kỳ diễn ra ở ba mươi phút cuối chương (mục 8.8).

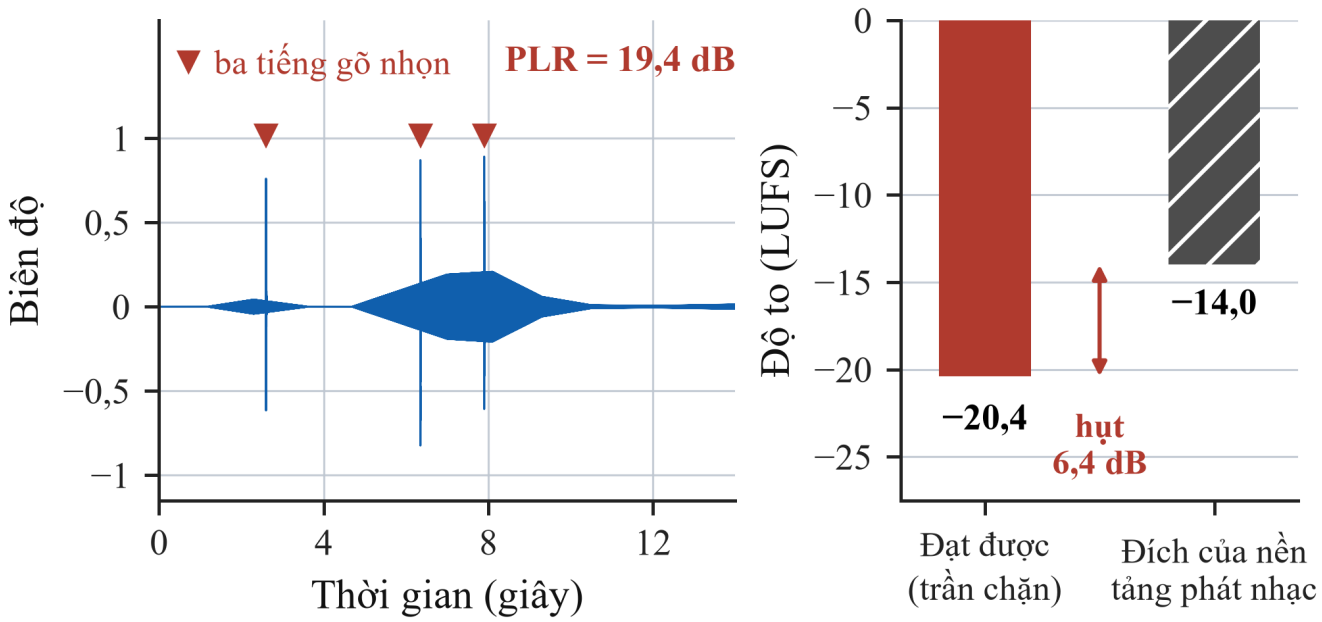


Cả hai họ dựng trên các khối đã viết ở chương 6: phép trễ và xử lý theo khối có trạng thái.

Chương này cũng có bài KIỂM TRA GIỮA KỲ: nội dung từ chương 1 tới chương 7.

Chỗ chương 7 dừng lại

- Bản nhạc cổ điển có đỉnh cao hơn độ to trung bình 19,4 dB.
- Chuẩn hoá về −14 LUFS (Loudness Units Full Scale – đơn vị độ to so với toàn thang) thì trần true peak chặn lại: độ to dừng ở −20,4 LUFS, hụt 6,4 dB.
- Kết luận của chương 7: phải nén nhẹ trước; lúc ấy chưa có bộ nén.
- Chương 8 làm đúng việc ấy và đo lại.



(a) Bản nhạc cổ điển của chương 7 (b) Độ to sau chuẩn hoá

Hình 8.2 — Chỗ mà chương 7 dừng lại — và là chỗ chương 8 bắt đầu

Món nợ được trả ở mục 8.3.7

Chuỗi nén, giới hạn, chuẩn hoá đưa độ to từ −20,4 lên −15,5 LUFS ở cùng trần −1 dBTP (decibel đỉnh thật, True Peak), tức to hơn gần 5 dB. Cái giá: dải độ to thu từ 17,4 xuống 12,1 lu. Mọi hiệu ứng đều là một cuộc đánh đổi đo được.

Hai họ hiệu ứng dựng trên khối nào của chương 6

Họ hiệu ứng	Khối của chương 6	Cái mới ở chương 8
Khoảng động (8.2 – 8.4)	Xử lý theo khối có trạng thái (6.9); đường bao mức là biến trạng thái	Hai hằng số thời gian theo chiều; đặc tuyến tĩnh
Hiệu ứng trễ (8.5 – 8.7)	Phép trễ số nguyên mẫu và bộ đệm vòng (6.4)	Trộn với bản trễ; đưa đầu ra vòng ngược về đầu vào

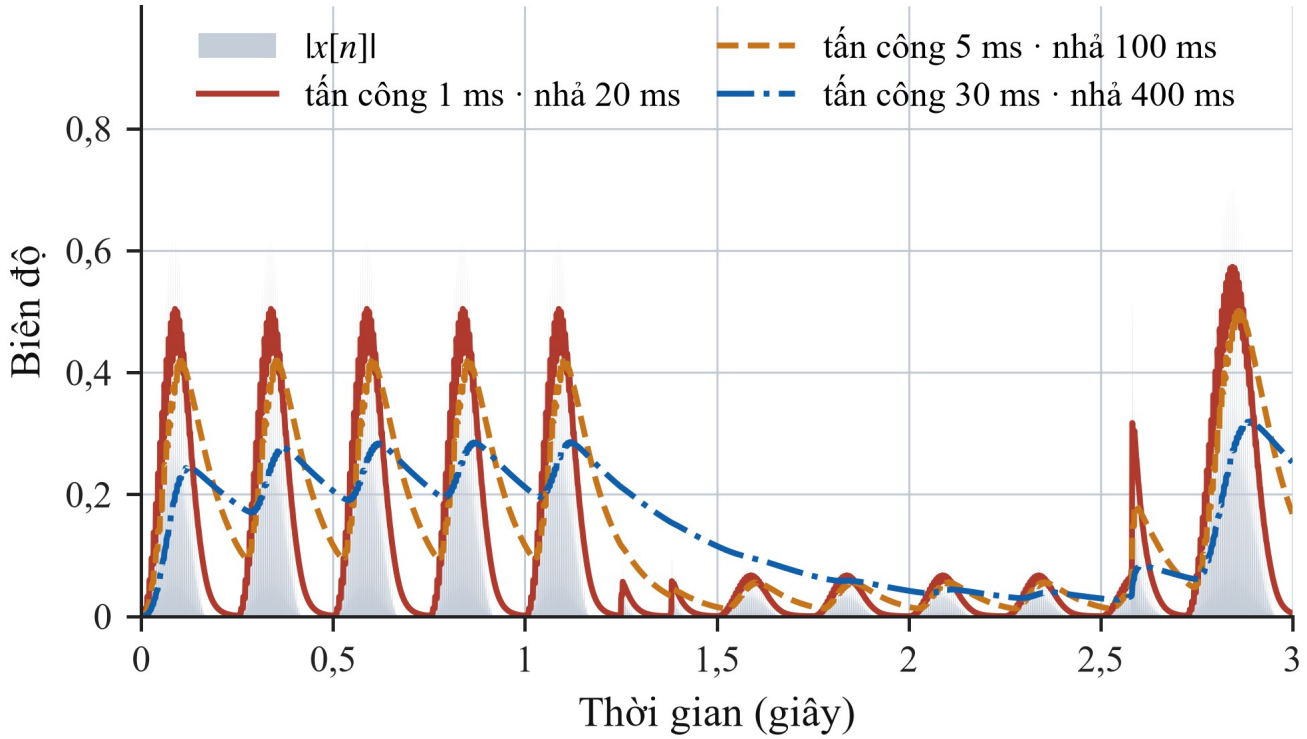
MỤC 8.2

Đường bao mức và bộ dò mức

- Bộ nén phải quyết định hạ gain bao nhiêu ở mỗi mẫu, nên phải biết tín hiệu đang to cỡ nào.
- Giá trị một mẫu đơn lẻ dao động từ 0 tới đỉnh trong mỗi nửa chu kỳ, nên không đủ để kết luận.
- Bộ dò mức sinh ra đường bao đi theo tín hiệu: lên nhanh, xuống chậm.

Ba bộ dò, cùng thuật toán, khác hai con số

- Đường đỏ bám sát từng âm tiết; đường xanh lam chỉ thấy xu hướng cả câu.
- Bộ nén chỉ phản ứng theo bức tranh mà bộ dò của nó nhìn thấy.
- Trước khi trách bộ nén, phải xem bộ dò đang nhìn thấy gì.



Hình 8.3 — Ba bộ dò mức khác nhau trên cùng một tín hiệu

Bộ dò mức là bộ lọc thông thấp bậc một

$$z[n] = \alpha z[n-1] + (1-\alpha)|x[n]|, \qquad \alpha = e^{-1/(\tau f_s)}$$

(8.1)

- z[n] là đường bao tại mẫu n; |x[n]| là trị tuyệt đối của mẫu vào.
- alpha là hệ số làm trơn trong khoảng 0 đến 1; tau là hằng số thời gian (giây).
- alpha gần 1: nhớ nhiều, đổi chậm. alpha gần 0: không giữ lại gì, đổi nhanh.

Quy ước 63 phần trăm

Hằng số thời gian tau là thời gian để đường bao đi được 1 − 1/e, tức khoảng 63 phần trăm quãng đường còn lại. Sau 3·tau mới được 95 phần trăm; sau 5·tau là 99 phần trăm. Bộ nén ghi tấn công 5 ms vẫn còn đang hạ gain ở mili giây thứ mười lăm.

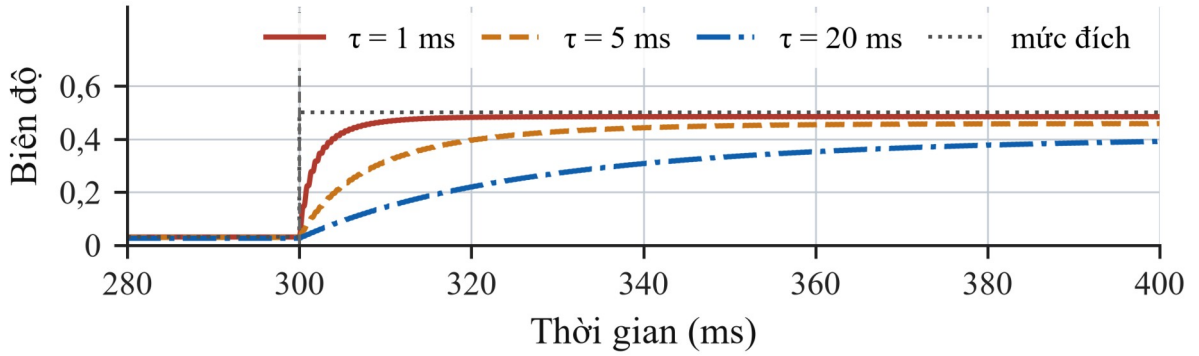
Chọn hệ số theo chiều của tín hiệu

$$\alpha = \alpha_{\text{tc}} \ \text{khi} \ |x[n]| > z[n-1]\,; \qquad \alpha = \alpha_{\text{nhả}} \ \text{khi} \ |x[n]| \le z[n-1] \tag{8.2}$$

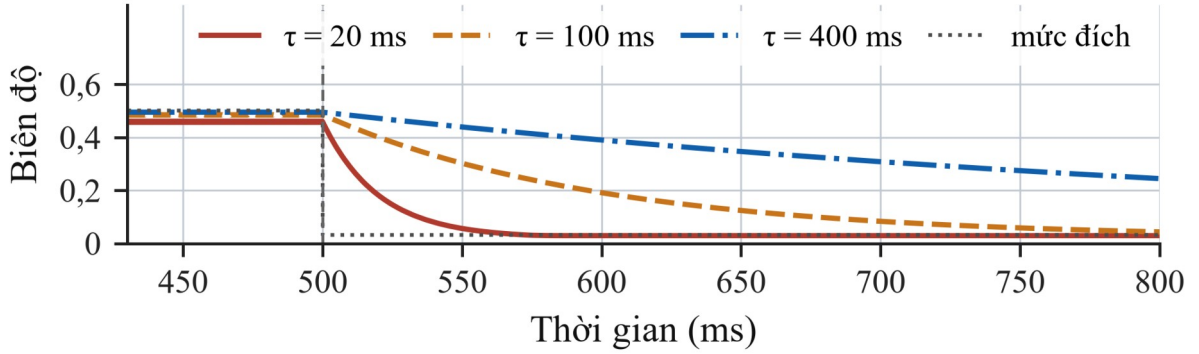
- Chiều lên dùng hệ số tấn công (tc); chiều xuống dùng hệ số nhả (nha).
- Một alpha duy nhất làm đường bao lên chậm bằng xuống, nên bỏ lỡ mọi gai nhọn.
- Thường tấn công ngắn hơn nhả nhiều lần: bắt gai phải nhanh, thả gain về phải từ tốn.

Hai hằng số thời gian trên tín hiệu bậc thang

- Mức nhảy từ −30 lên −6 dBFS (decibel so với mức toàn thang, Full Scale) ở mili giây 300, rồi tụt lại ở mili giây 500.
- Đường chấm xám là mức đích; các đường màu là đường bao thật.
- Bậc thang là công cụ chuẩn để nhìn hai hằng số này.



(a) Tấn công: mức nhảy lên tại 300 ms



(b) Nhả: mức tụt xuống tại 500 ms

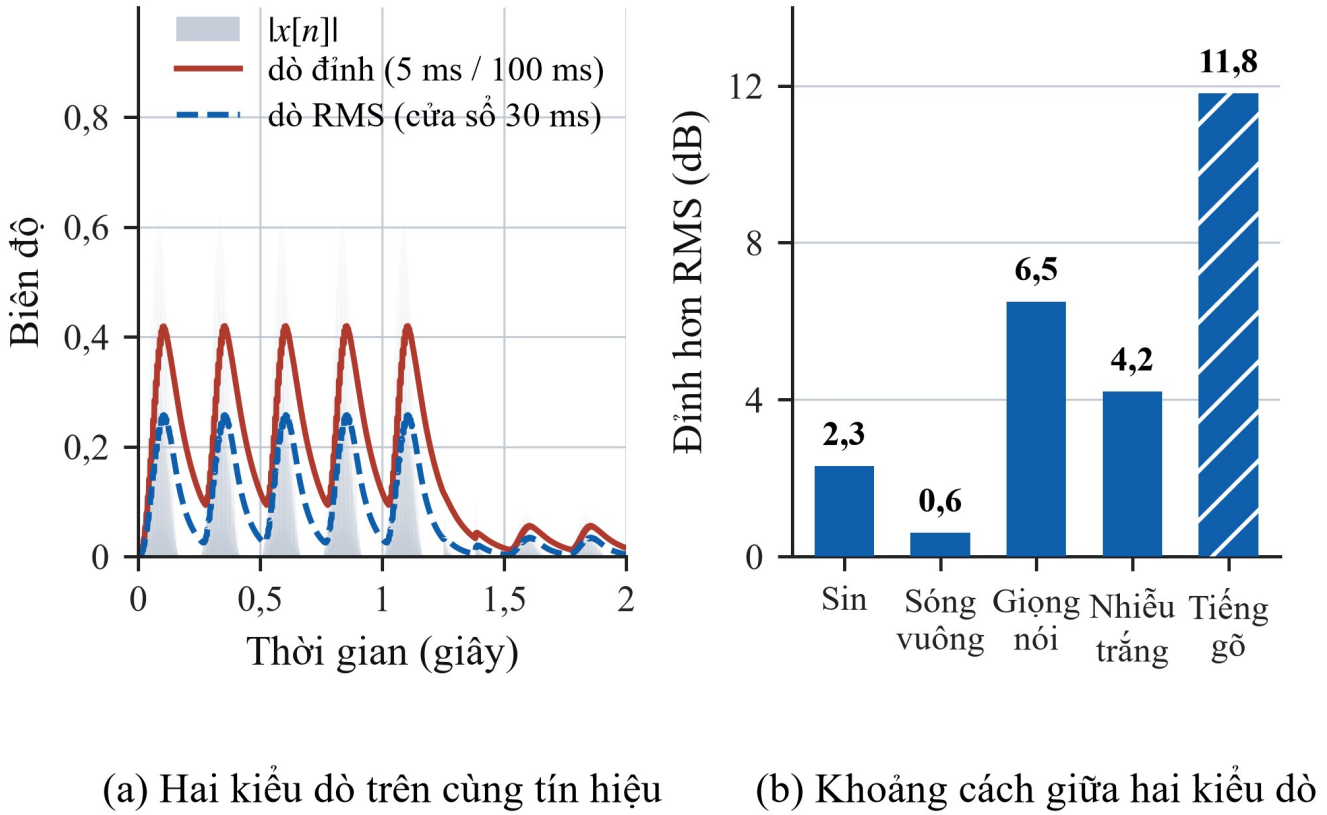
Hình 8.4 — Hai hằng số thời gian nhìn trên một tín hiệu bậc thang

Hai bộ dò trả lời hai câu hỏi khác nhau

- Dò đỉnh: làm trơn trên |x[n]| với hai hằng số; bám từng gai. Là bộ dò của bộ giới hạn.
- Dò RMS: làm trơn trên x[n] bình phương với một hằng số cho cả hai chiều, rồi lấy căn.
- RMS là phép trung bình bình phương đúng nghĩa, gần với cảm nhận độ to hơn.
- Dò RMS là bộ dò của bộ nén dùng cho nhạc.

Khoảng cách giữa hai kiểu dò phụ thuộc tư liệu

- Sóng vuông chênh 0,6 dB; hình sin chênh 2,3 dB (lý thuyết 3,0).
- Giọng nói chênh 6,5 dB; tiếng gõ chênh tới 11,8 dB.
- Cùng một cài đặt bộ nén cho hai kết quả khác hẳn trên hai loại tư liệu; đó không phải lỗi của bộ nén.



(a) Hai kiểu dò trên cùng tín hiệu (b) Khoảng cách giữa hai kiểu dò

Hình 8.5 — Khoảng cách giữa hai kiểu dò phụ thuộc hẳn vào loại tư liệu

Bộ dò mức: toàn bộ phần lõi

```
def he_so_thoi_gian(tau_ms, sr=44100):
    """alpha = exp(-1 / (tau * fs)), tau tính bằng giây."""
    if tau_ms <= 0:
        return 0.0                  # đổi tức thời
    return math.exp(-1.0 / (tau_ms / 1000.0 * sr))


def duong_bao_dinh(x, tan_cong_ms, nha_ms, sr=44100):
    a = np.abs(x)
    at = he_so_thoi_gian(tan_cong_ms, sr)
    re = he_so_thoi_gian(nha_ms, sr)
    ra = np.empty_like(a)
    z = 0.0                         # BIẾN TRẠNG THÁI
    for n in range(a.size):
        k = at if a[n] > z else re # chọn hệ số theo CHIỀU
        z = k * z + (1.0 - k) * a[n]
        ra[n] = z
    return ra
```

z là biến trạng thái duy nhất; xử lý theo khối thì phải mang z qua các khối, nếu không sẽ có tiếng tách ở biên khối.

MỤC 8.3

Bộ nén động

- Bộ nén hạ gain khi tín hiệu vượt ngưỡng và để yên khi dưới ngưỡng.
- Khoảng cách giữa chỗ to nhất và nhỏ nhất thu hẹp lại: nén khoảng động.
- Sơ đồ gồm bốn khối nối tiếp; đọc đúng thứ tự ấy thì mọi chuyện rõ ra.

Bốn khối nối tiếp của bộ nén

- Dò mức: mục 8.2, cho ra một đường bao.
- Đổi sang decibel: đặc tuyến là đường thẳng gãy khúc trong thang decibel.
- Đặc tuyến tĩnh: mức vào cho mức ra, một hàm thuần tuý không nhớ gì.
- Làm trơn trên gain rồi nhân: nơi hai hằng số thời gian thật sự được áp vào.

Đặc tuyến tĩnh: hai đoạn thẳng nối tại ngưỡng

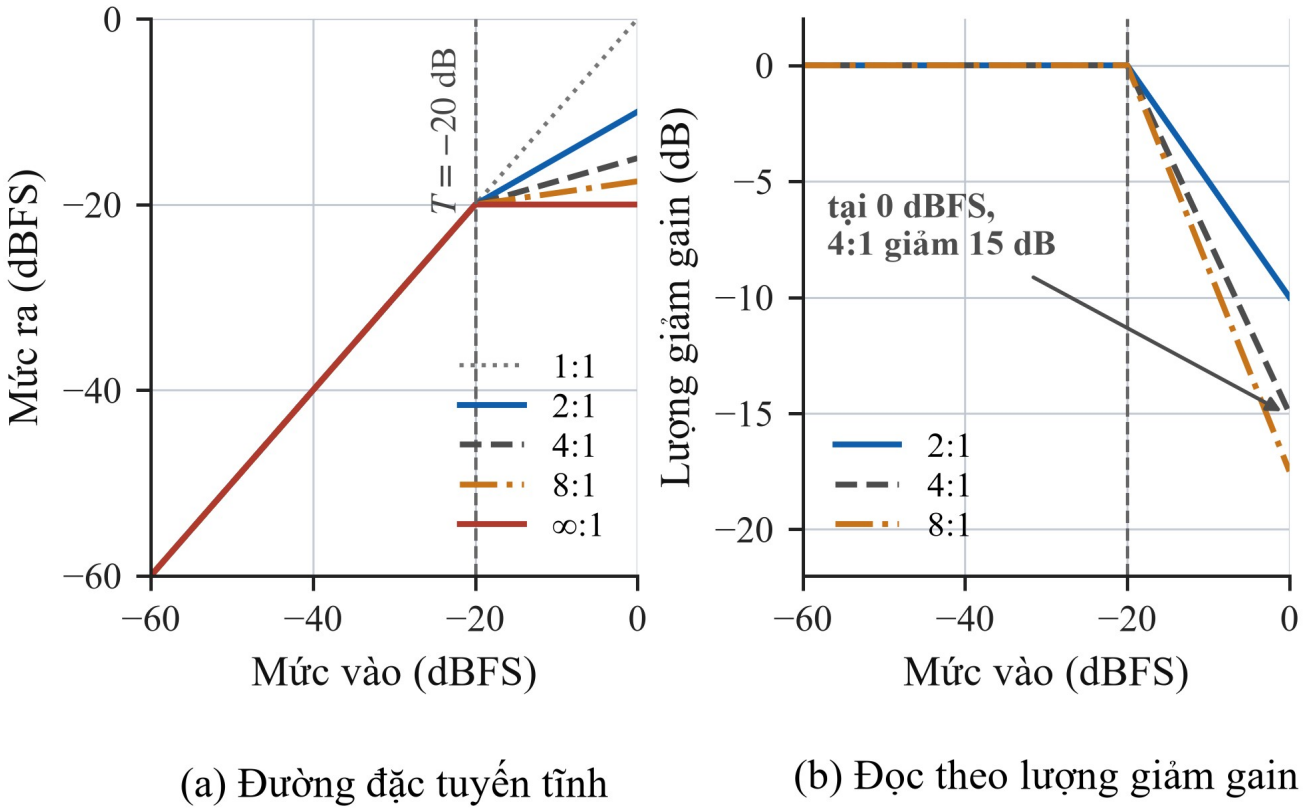
$$y_{\mathrm{dB}} = x_{\mathrm{dB}} \ \text{khi}\ x_{\mathrm{dB}} \le T; \qquad y_{\mathrm{dB}} = T + \frac{x_{\mathrm{dB}} - T}{R} \ \text{khi}\ x_{\mathrm{dB}} > T$$

(8.3)

- x và y (dB) là mức vào và mức ra; T là ngưỡng; R là tỉ số nén.
- Dưới ngưỡng: một decibel vào cho một decibel ra, bộ nén không làm gì.
- Trên ngưỡng: mỗi R decibel vào chỉ còn một decibel ra.

Hai hình là một

- Hình (a): mức ra theo mức vào.
- Hình (b): hiệu của chúng, tức lượng gain bị hạ.
- Người dùng nhìn hình (b); đó là đường mọi phần mềm hiển thị.



Hình 8.6 — Đường đặc tuyến tĩnh, và cùng thông tin ấy đọc theo lượng giảm gain

Bộ giới hạn là bộ nén ở một đầu mút của R

Khi R tiến ra vô hạn, đoạn trên ngưỡng nằm ngang: mọi mức vào trên ngưỡng đều cho ra đúng bằng ngưỡng. Từ khoảng 10:1 trở lên là lãnh địa bộ giới hạn. Nhưng tỉ số cao chưa đủ để giữ trần, như mục 8.4 sẽ chỉ ra.

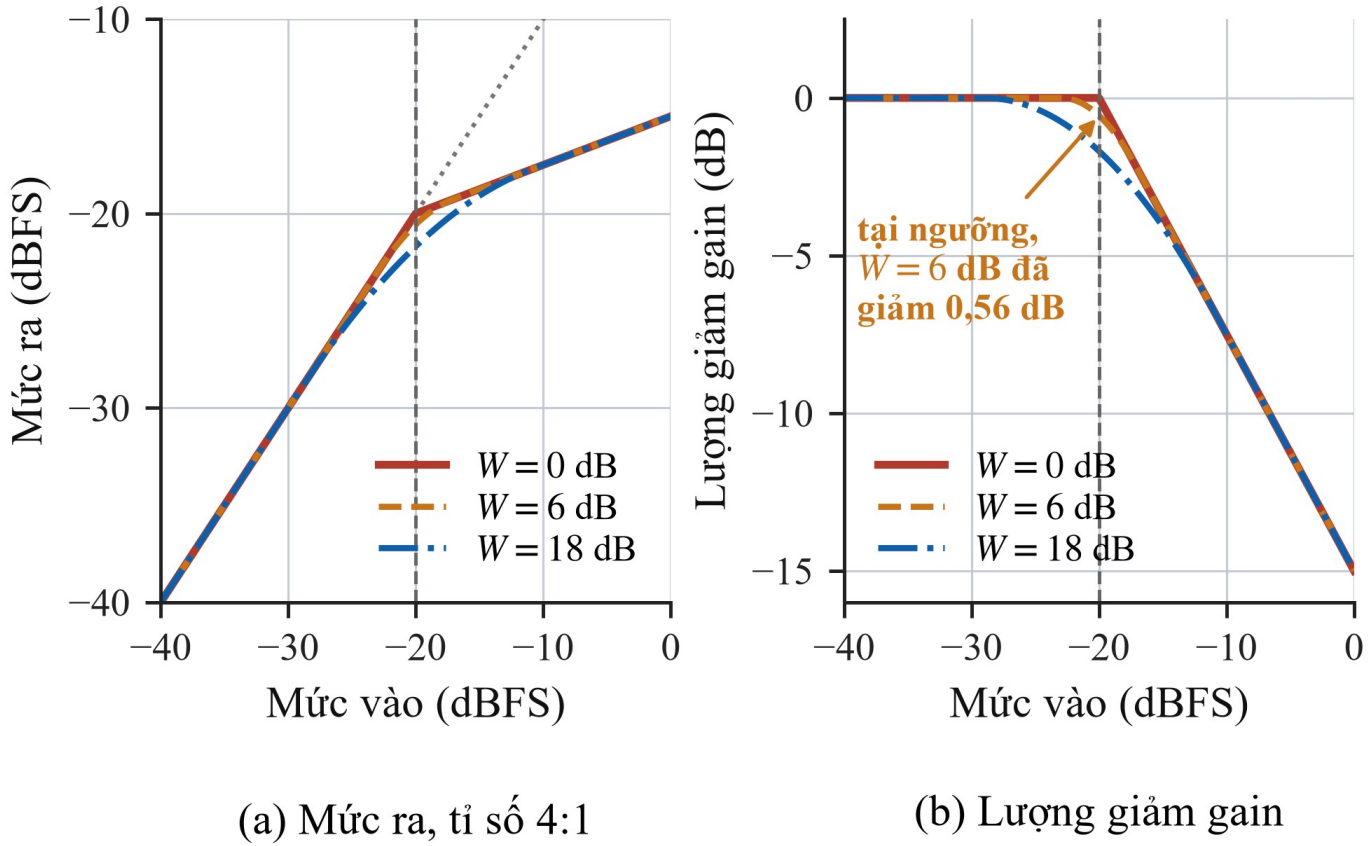
Bo tròn chỗ gãy trong khoảng W decibel

$$y_{\mathrm{dB}} = x_{\mathrm{dB}} + \left(\frac{1}{R} - 1\right)\frac{(x_{\mathrm{dB}} - T + W/2)^2}{2W}, \qquad |x_{\mathrm{dB}} - T| \le \frac{W}{2}$$

(8.4)

- Đường gãy góc ở ngưỡng làm tín hiệu quanh ngưỡng bật tắt nén liên tục, nghe thành tiếng lép bép.
- Trong khoảng T − W/2 tới T + W/2, đường cong đi theo một parabol nối trơn hai đoạn thẳng.
- Ngoài khoảng ấy, công thức (8.3) vẫn đúng.

Ba bề rộng đầu gối trên cùng tỉ số 4:1



(a) Mức ra, tỉ số 4:1

(b) Lượng giảm gain

Hình 8.7 — Ba bề rộng đầu gối trên cùng một tỉ số 4:1

Đầu gối mềm nén trước ngưỡng đã đặt

Với T = −20 dB, R = 4, W = 6 dB, ở đúng ngưỡng đã giảm 0,56 dB, trong khi đầu gối cứng chưa giảm gì. Khi so hai bộ nén khác hãng, phải hỏi bề rộng đầu gối trước khi so ngưỡng. Đầu gối rộng cho giọng nói và nhạc nền; đầu gối cứng khi cần kiểm soát dứt khoát.

Gain bù đưa mức trở lại chỗ cũ

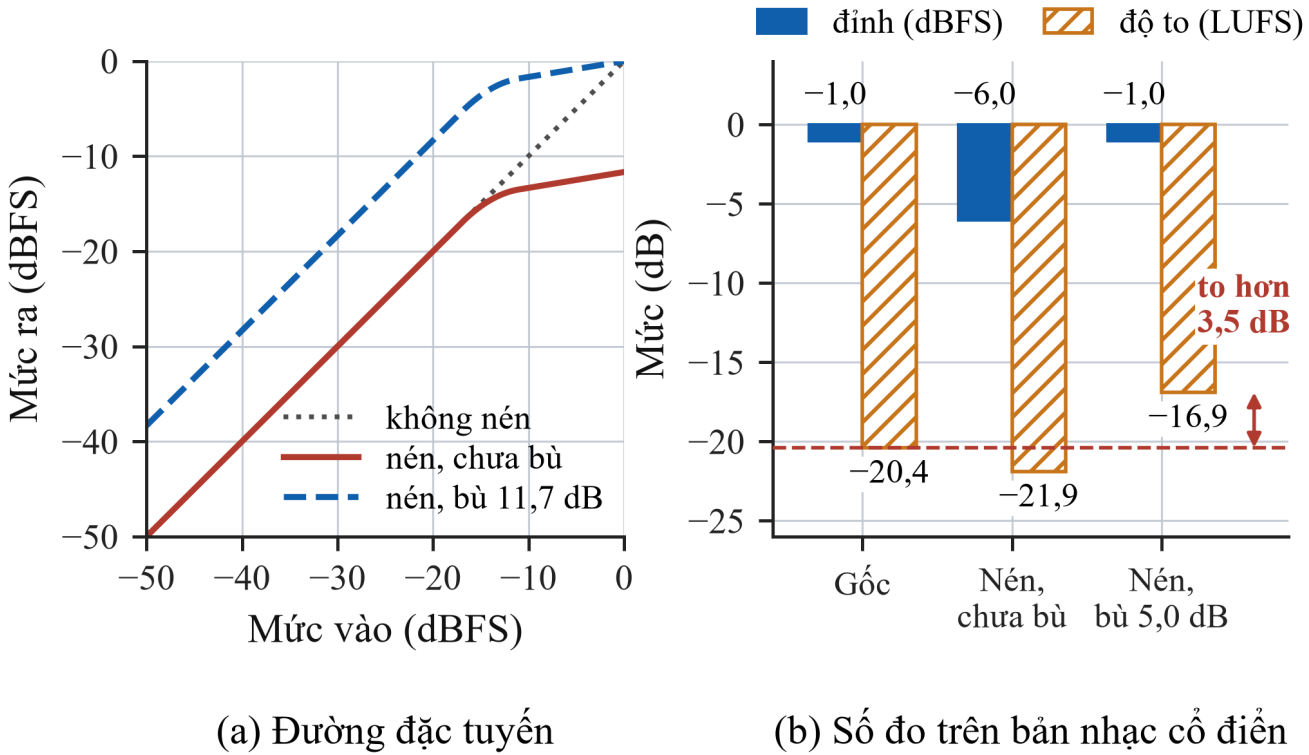
$$g_{\text{bù}} = -\left(T + \frac{0 - T}{R}\right) = T\left(\frac{1}{R} - 1\right)$$

(8.5)

- Nén xong mọi thứ nhỏ đi, nên nghe có vẻ kém; nhưng đoạn to hơn luôn nghe hay hơn.
- Gain bù là hằng số decibel cộng sau khi nén.
- Công thức chuẩn tính lượng bù để tín hiệu chạm 0 dBFS trở lại đúng 0 dBFS.

Đo thật: đỉnh về chỗ cũ, độ to tăng

- Ngưỡng −14 dB, 6:1, tấn công 0,5 ms, nhả 20 ms, đầu gối 6 dB.
- Đỉnh đi từ −1,0 xuống −6,0, rồi về −1,0 dBFS sau khi bù 5,0 dB.
- Độ to đi từ −20,4 lên −16,9 LUFS: to hơn 3,5 dB ở cùng mức đỉnh.

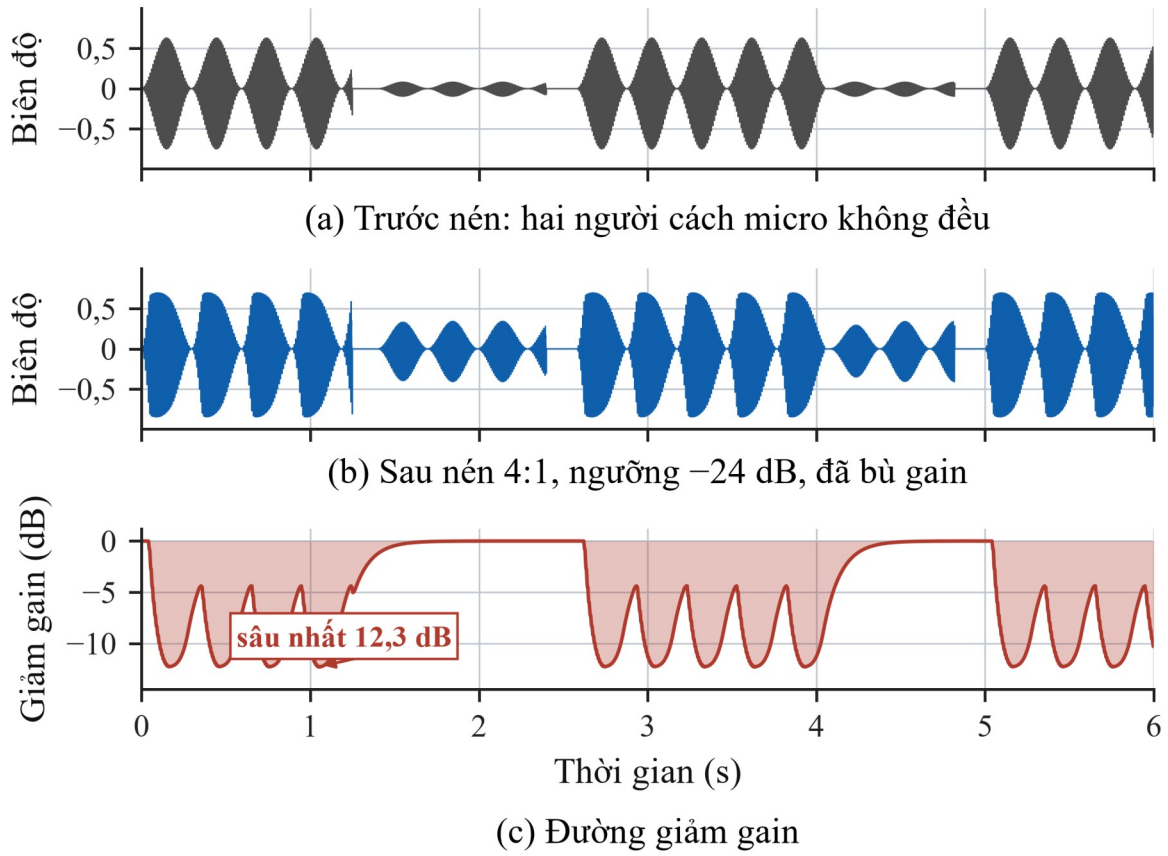


Hình 8.8 — Gain bù đưa đỉnh trở lại chỗ cũ, và khi ấy mới thấy độ to tăng

Công thức gain bù chỉ đúng cho tín hiệu chạm trần

Công thức (8.5) cho 11,7 dB với T = −14 và R = 6, nhưng trên tư liệu thật lượng bù đúng chỉ là 5,0 dB, vì bản nhạc đỉnh ở −1 dBFS và phần lớn nằm dưới ngưỡng. Cách đúng: đo lượng đỉnh tụt sau khi nén rồi bù đúng ngần ấy; dùng thẳng công thức sẽ vọt quá trần và cắt méo.

Bộ nén làm việc trên đoạn phỏng vấn hai người



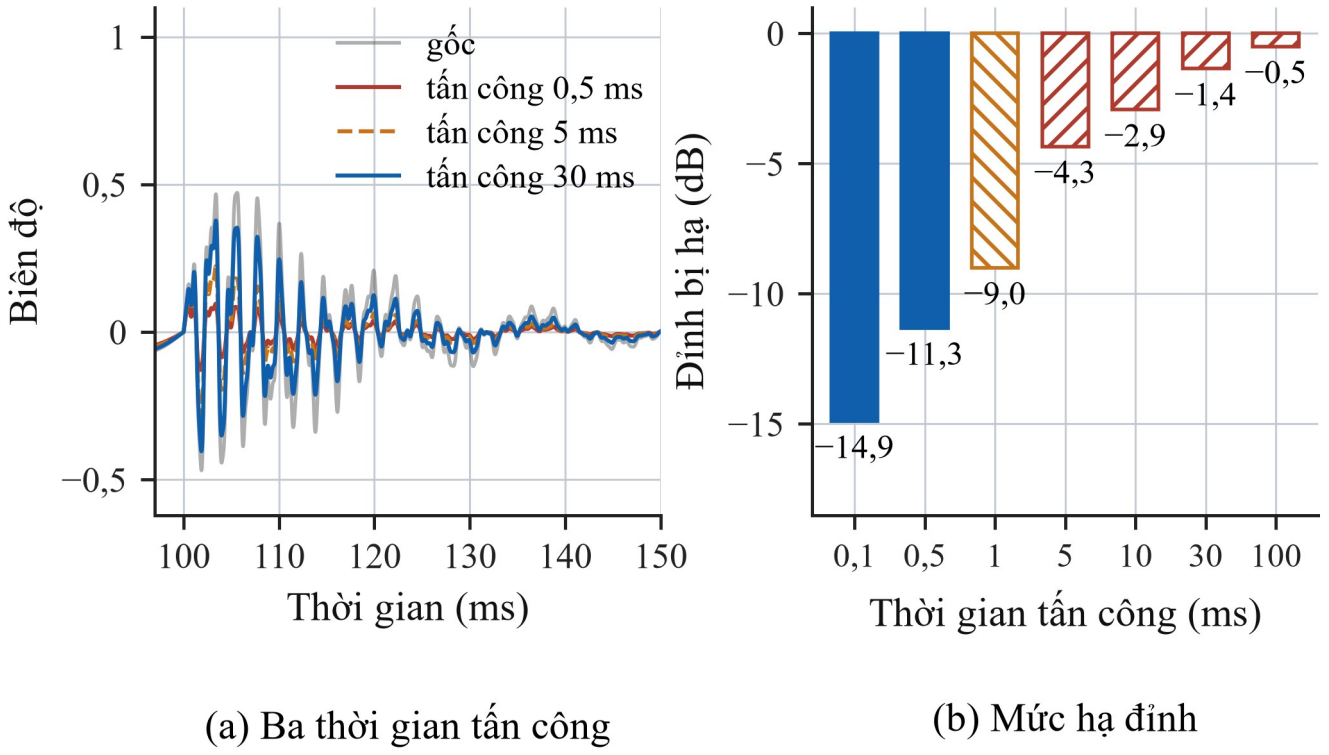
Hình 8.9 — Một bộ nén làm việc trên đoạn phỏng vấn hai người cách micro không đều

Đường giảm gain cho biết ngưỡng đặt đúng hay sai

Đường gần như luôn bằng không: ngưỡng quá cao, bộ nén hầu như không làm gì. Đường không bao giờ về không: ngưỡng quá thấp, nén cả chỗ không cần và tiếng thành đều một mức. Đích: chạm đáy ở chỗ to nhất, về không ở chỗ bình thường. Ở hình trước, nén sâu nhất 12,3 dB.

Tấn công quyết định gai có vượt qua hay không

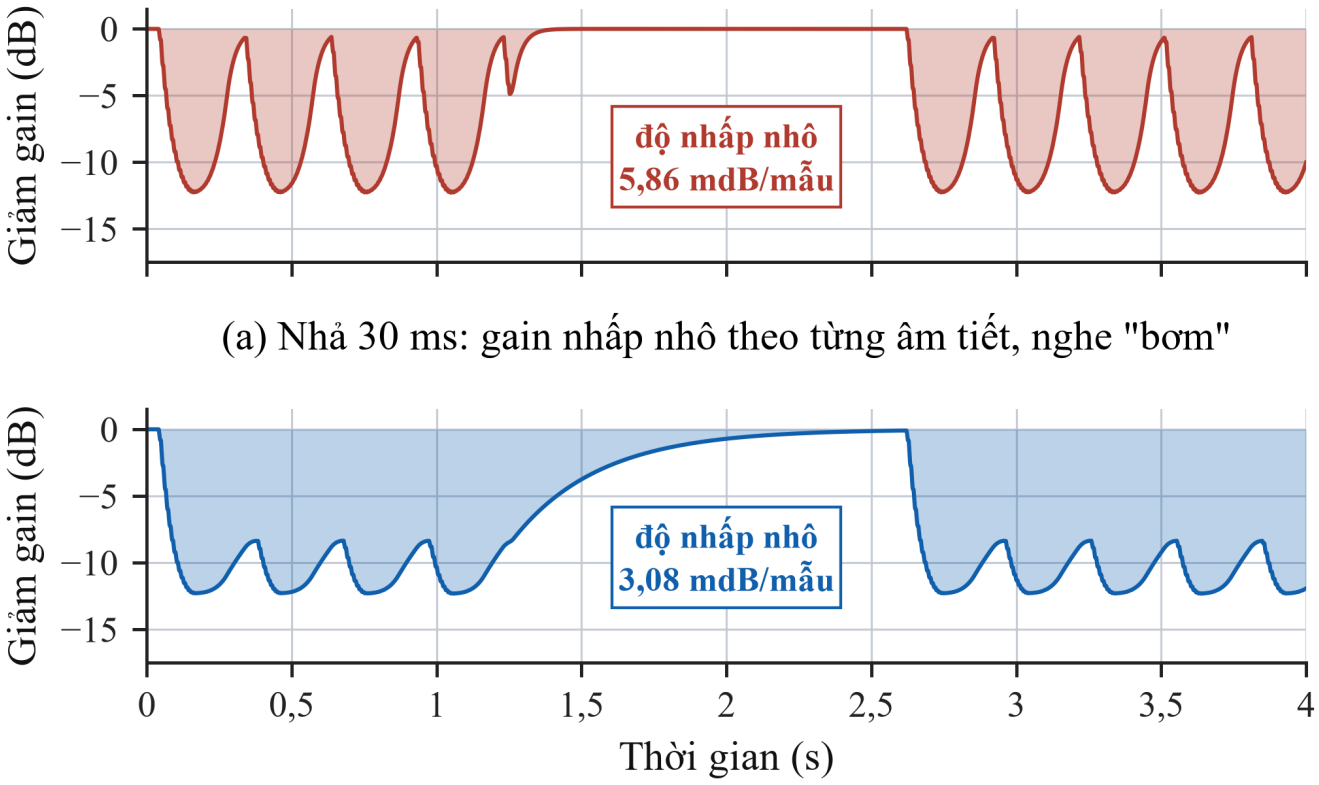
- Tấn công 0,1 ms hạ đỉnh tiếng gõ 14,9 dB; tấn công 100 ms chỉ hạ 0,5 dB.
- Tấn công nhanh bắt được gai nhưng mất cái cộp của trống.
- Tấn công chậm giữ đầu tiếng nhưng không giúp hạ đỉnh; đó là việc của bộ giới hạn.



Hình 8.10 — Thời gian tấn công quyết định gai có vượt qua hay không

Nhả quá ngắn sinh ra hiện tượng bơm

- Bơm (pumping): nền nhạc phồng lên xẹp xuống theo từng âm tiết.
- Nguyên nhân: thời gian nhả quá ngắn so với nhịp của tư liệu.
- Đo bằng độ lệch chuẩn biến thiên gain giữa hai mẫu liền nhau (phần nghìn dB trên mẫu).
- Nhả 30 ms cho 5,85; nhả 300 ms cho 3,09, gần một nửa.



(a) Nhả 30 ms: gain nhấp nhô theo từng âm tiết, nghe "bơm"

(b) Nhả 300 ms: gain đổi chậm, tai khó nhận ra

Hình 8.11 — Nhả quá ngắn so với nhịp của tư liệu sinh ra hiện tượng "bơm"

Bốn tham số và câu hỏi mỗi tham số trả lời

NGƯỠNG (threshold) Trên mức nào thì bắt đầu nén?	Đặt sao cho đường giảm gain chạm đáy ở chỗ TO NHẤT, về không ở chỗ bình thường
TỈ SỐ (ratio) Nén mạnh tới mức nào?	2:1 – 4:1 cho giọng nói và nhạc; trên 10:1 là đã sang lãnh địa của bộ giới hạn
TẤN CÔNG (attack) Bắt kịp mức tăng nhanh tới đâu?	Nhanh thì bắt được gai nhưng mất đầu tiếng; chậm thì giữ đầu tiếng nhưng gai vượt qua
NHẢ (release) Thả gain về nhanh tới đâu?	Ngắn quá thì "bơm"; dài quá thì một tiếng to làm nhỏ cả câu sau

Gain bù không phải tham số của phép nén: nó chỉ làm cho việc so sánh trước và sau khi nén trở nên công bằng.

Hình 8.12 — Bốn tham số của bộ nén và câu hỏi mà mỗi tham số trả lời

Hai cách ghép các khối

- Làm trơn trên mức rồi mới tra đặc tuyến: đơn giản, nhưng hằng số thời gian phụ thuộc tỉ số nén.
- Làm trơn trên gain sau khi tra đặc tuyến: đặc tuyến quyết định nén bao nhiêu, hai hằng số quyết định đổi nhanh chậm thế nào.
- Cách thứ hai theo Giannoulis và cộng sự, và là cách của mô-đun học phần.

Bộ nén động: sơ đồ bốn khối viết thẳng ra mã

```
def nen_dong(x, nguong_db=-20.0, ti_so=4.0, tan_cong_ms=5.0,
             nha_ms=100.0, dau_goi_db=0.0, bu_db=None, sr=44100):
    # 1. dò mức → 2. đổi sang decibel
    env = duong_bao_muc(x, tan_cong_ms, nha_ms, sr, "dinh")
    muc = lin_to_db(np.maximum(env, 1e-9))

    # 3. đường đặc tuyến TĨNH → lượng giảm gain mong muốn
    gr_dich = do_giam_gain_db(muc, nguong_db, ti_so, dau_goi_db)

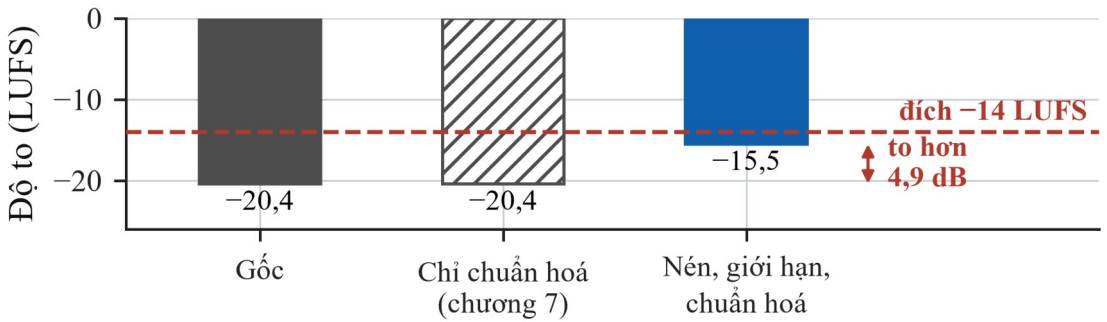
    # 4. làm mượt trên GAIN, không phải trên mức
    at = he_so_thoi_gian(tan_cong_ms, sr)
    re = he_so_thoi_gian(nha_ms, sr)
    gr = np.empty_like(gr_dich)
    z = 0.0
    for n in range(gr_dich.size):
        v = gr_dich[n]
        k = at if v < z else re    # gain ĐI XUỐNG là tấn công
        z = k * z + (1.0 - k) * v
        gr[n] = z

    if bu_db is None:
        bu_db = -do_giam_gain_db(0.0, nguong_db, ti_so, dau_goi_db)
    return x * db_to_lin(gr + bu_db), gr
```

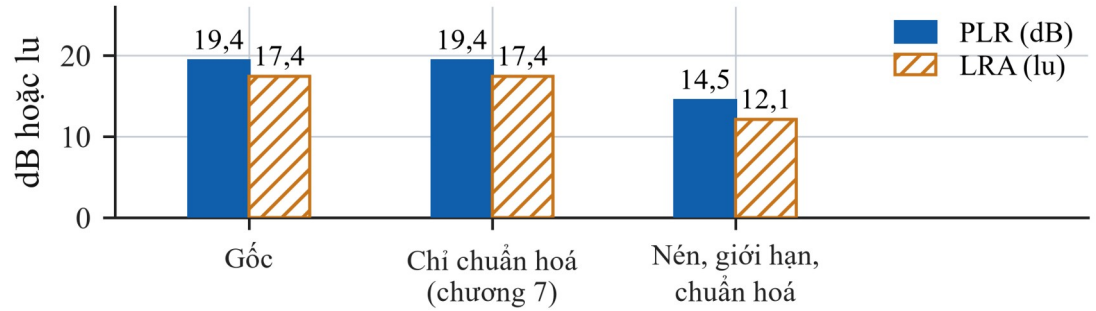
Chuỗi xử lý bốn bước, thứ tự không đổi được

- Nén nhẹ: ngưỡng −24 dB, 4:1, tấn công 10 ms, nhả 150 ms, đầu gối 6 dB.
- Đẩy mức lên 8 dB, cố tình cho vượt trần.
- Giới hạn ở trần −1 dBFS với cửa sổ nhìn trước 5 ms (mục 8.4).
- Chuẩn hoá độ to về −14 LUFS với trần −1 dBTP (mục 7.3).

Nén, giới hạn, chuẩn hoá và cái giá của nó



(a) Cùng trần −1 dBTP: độ to đạt được



(b) Cái giá phải trả: PLR và LRA

Hình 8.13 — Kết quả của chuỗi nén, giới hạn và chuẩn hoá — và cái giá của nó

Ba đại lượng trước và sau chuỗi xử lý

Đại lượng	Bản gốc	Chỉ chuẩn hoá	Nén → giới hạn → chuẩn hoá
Độ to tích hợp (LUFS)	−20,4	−20,4	−15,5
PLR (dB)	19,4	19,4	14,5
LRA (lu)	17,4	17,4	12,1
Đỉnh thật (dBTP)	−1,0	−1,0	−1,0

PLR (Peak-to-Loudness Ratio – tỉ số đỉnh trên độ to): hệ số đỉnh trên độ to; LRA (Loudness Range – dải độ to): dải độ to.

Bảng 8.3 là cả mô-đun M6 thu nhỏ

Chuẩn hoá đứng riêng không đổi PLR nên trần vẫn chặn. Chuỗi xử lý hạ PLR từ 19,4 xuống 14,5 dB, độ to tăng gần 5 dB ở cùng trần −1 dBTP. Cái giá nằm ở LRA: từ 17,4 xuống 12,1 lu. Việc của người kỹ thuật là đặt cả bốn dòng lên bàn để người quyết định thấy cái giá.

Chỉ nén, không giới hạn: PLR tăng thay vì giảm

Nén 4:1 với tấn công 10 ms mà không giới hạn đưa PLR từ 19,4 lên 22,9 dB: tấn công quá chậm để bắt ba tiếng gõ, trong khi phần thân bản nhạc bị hạ đều. Cách chữa đúng là thêm bộ giới hạn phía sau, không phải nén mạnh tay hơn.

MỤC 8.4

Bộ giới hạn và bộ cổng

- Bộ giới hạn là bộ nén tỉ số vô hạn có thêm khả năng nhìn trước.
- Bộ cổng là hình ảnh soi gương của bộ nén: hạ gain khi tín hiệu dưới ngưỡng.
- Hai lỗi điển hình của cổng: ngưỡng quá cao và thiếu thời gian giữ.

Bộ giới hạn khác bộ nén ở chỗ nhìn trước

- Bộ nén phản ứng sau khi mức đã vượt ngưỡng, nên gai đầu tiên luôn lọt qua.
- Bộ giới hạn trễ tín hiệu L mẫu; trong khoảng trễ ấy đường gain đã tính xong trước khi gai tới.
- Gain tại mẫu n tính trên cửa sổ [n, n+L] bằng phép cực tiểu trượt.

Phép cực tiểu trượt trên cửa sổ nhìn trước

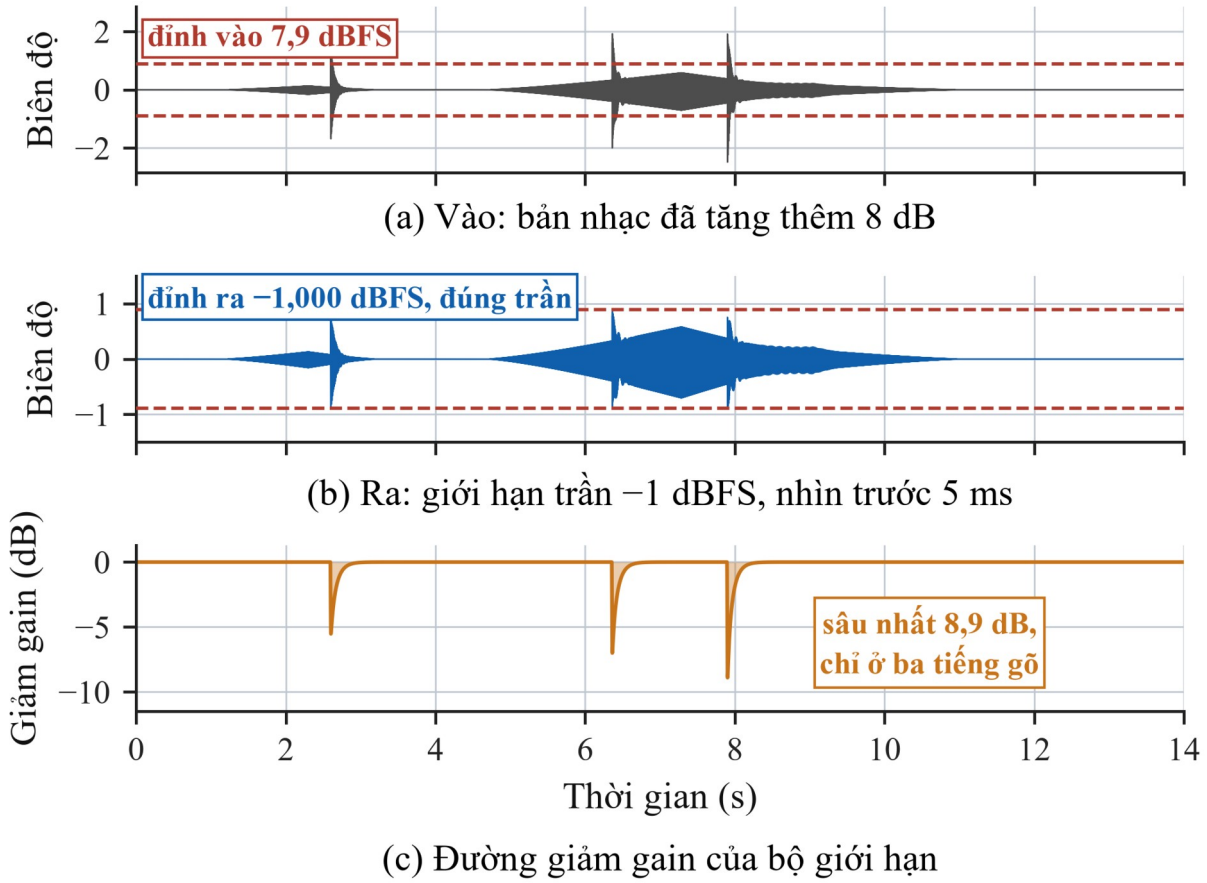
$$g[n] = \min_{n \le k \le n+L} \min\left(1, \frac{A_{\text{trần}}}{|x[k]|}\right); \qquad y[n] = g[n]\,x[n-L]$$

(8.6)

- A_tran là biên độ trần theo thang tuyến tính; L là số mẫu của cửa sổ nhìn trước.
- Gain tại mẫu n đã tính đến mọi mẫu sẽ tới trong L mẫu sắp tới.
- Tín hiệu bị trễ đúng L mẫu để hai bên khớp nhau.

Giới hạn bản nhạc đã đẩy vượt trần 8 dB

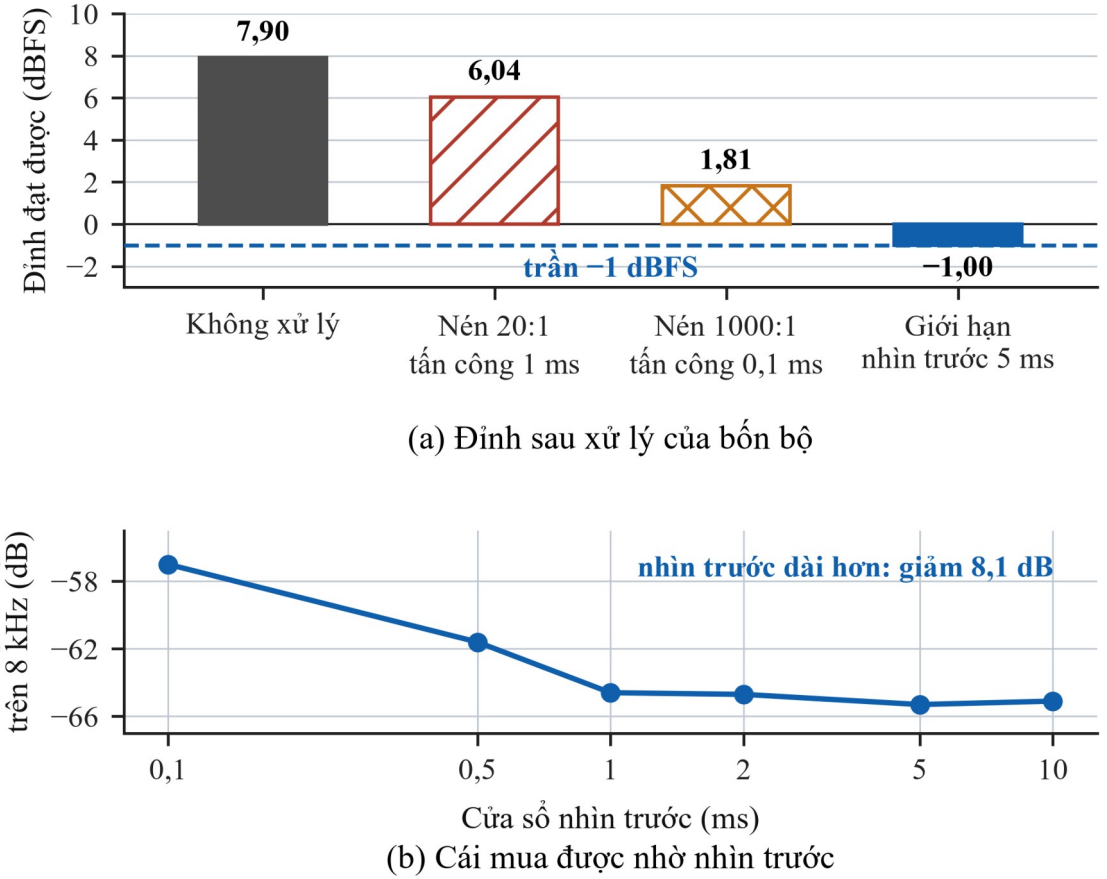
- Đỉnh vào 7,9 dBFS; đỉnh ra −1,000 dBFS, đúng trần.
- Đường giảm gain chỉ chạm đáy ở ba tiếng gõ, sâu nhất 8,9 dB.
- Làm rất ít việc, nhưng chỗ nào cần thì tuyệt đối.



Hình 8.14 — Bộ giới hạn trên bản nhạc đã đẩy vượt trần 8 decibel

Nén 20:1 và 1000:1 vẫn để đỉnh lọt qua

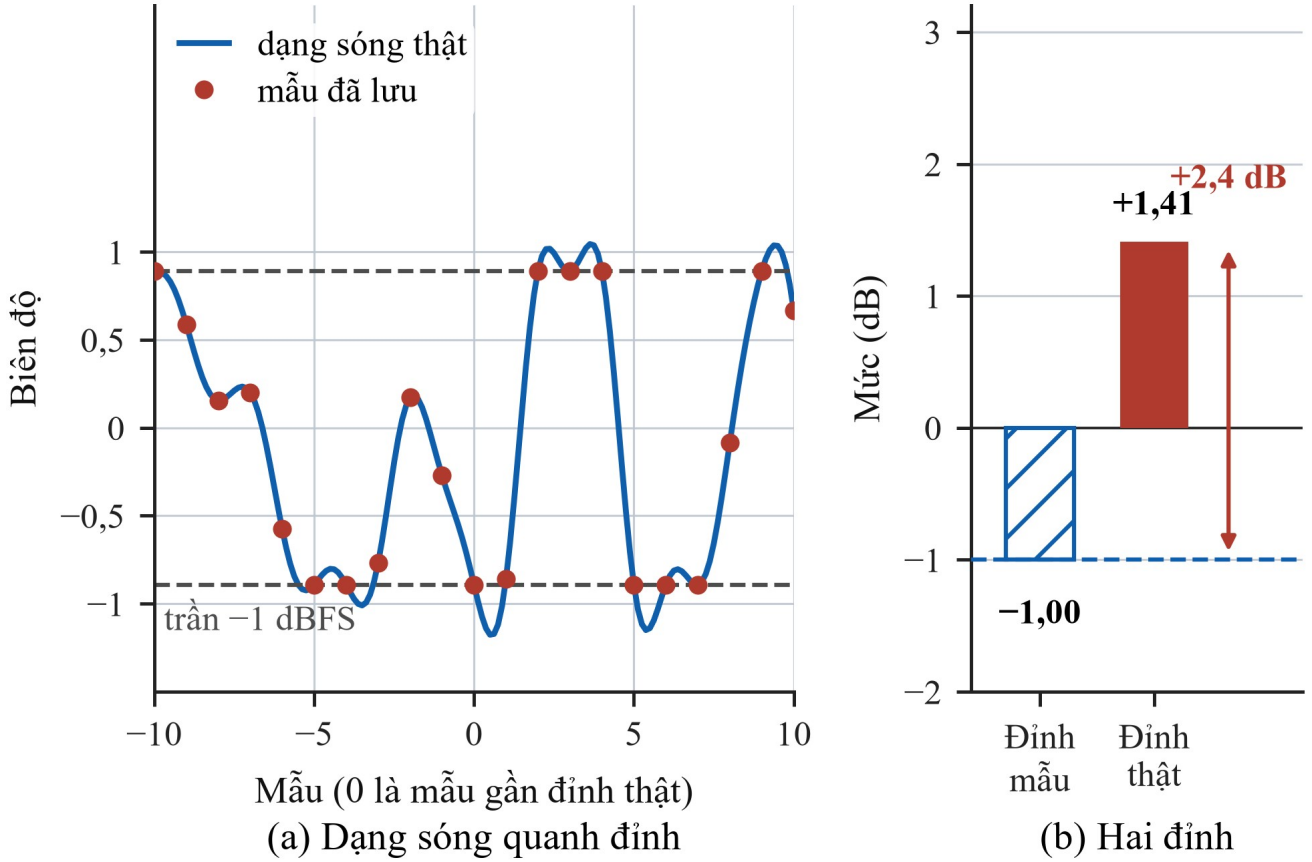
- Nén 20:1, tấn công 1 ms: đỉnh vẫn ở 6,04 dBFS.
- Nén 1000:1, tấn công 0,1 ms: chỉ xuống 1,81 dBFS. Bộ giới hạn cho −1,00.
- Cửa sổ nhìn trước dài hơn không làm trần chặt hơn, mà làm gain đổi khi tín hiệu còn nhỏ.
- Năng lượng trên 8 kHz giảm 8,1 dB khi đi từ 0,1 lên 10 ms.



Hình 8.15 — Tăng tỉ số bộ nén lên cao không giữ được trần; nhìn trước thì có

Đỉnh mẫu đúng trần mà đỉnh thật là +1,41 dBTP

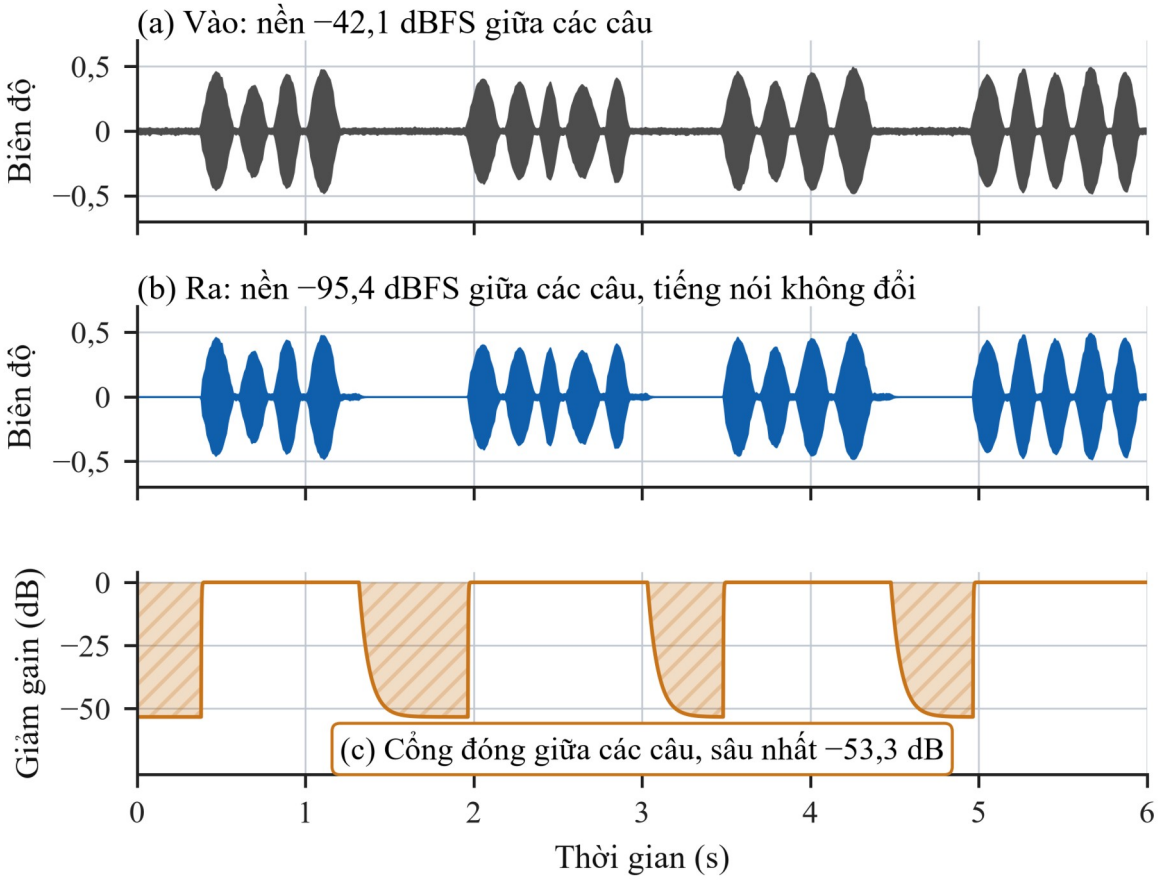
- Bộ giới hạn bảo đảm không mẫu nào vượt trần, nhưng không bảo đảm đường cong qua các mẫu.
- Trên tư liệu gắt, đỉnh thật vượt trần 2,4 dB.
- Cách 1: đặt trần theo dBTP, dùng phép đo true peak của mục 7.4.
- Cách 2: chạy bộ giới hạn ở tần số gấp bốn rồi hạ về. Cách 3: hạ trần xuống −1,5 hoặc −2 dBFS.



Hình 8.16 — Đỉnh mẫu đúng trần −1,00 dBFS, mà đỉnh thật là +1,41 dBTP

Cổng hạ nền giữa các câu, tiếng nói không đổi

- Bộ cổng hạ gain khi tín hiệu dưới ngưỡng, ngược chiều bộ nén về mọi mặt.
- Nền đi từ −42,1 xuống −95,4 dBFS ở những chỗ không có tiếng.
- Các câu nói không mất một phần trăm decibel nào.



Hình 8.17 — Bộ cổng hạ nền giữa các câu, tiếng nói không bị ảnh hưởng

Cổng không phải là khử nhiễu

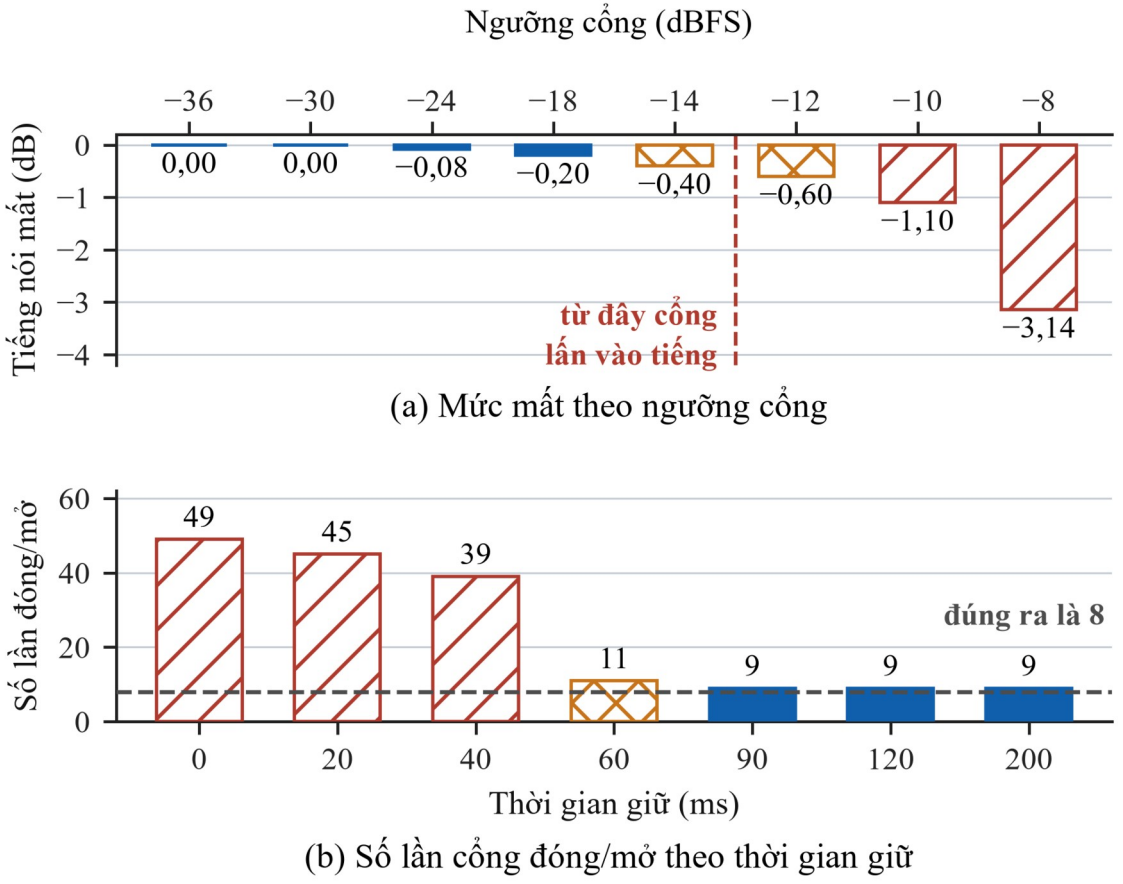
Cổng chỉ hạ nền ở chỗ không có tiếng; nền nằm dưới tiếng nói vẫn còn nguyên. Vì thế cổng không thay phép trừ phổ của mục 7.5. Hai thứ hay dùng cùng nhau: trừ phổ hạ nền chung, cổng dọn nốt khoảng lặng. Cổng không sinh nhiễu nhạc vì không động tới phổ.

Ba tham số giống bộ nén, một tham số riêng

- Ngưỡng: dưới mức này thì đóng cổng.
- Tỉ số: vô hạn là cắt về im lặng; vừa phải chỉ hạ nền vài decibel, gọi là bộ nới (expander).
- Tấn công và nhả: như bộ nén.
- Thời gian giữ (hold): cổng còn mở thêm ngần ấy sau khi tín hiệu tụt dưới ngưỡng; thiếu nó cổng đóng mở lập bập ngay trong một từ.

Ngưỡng quá cao và thiếu thời gian giữ

- Ngưỡng −12 dBFS đã mất 0,60 dB; ngưỡng −8 dBFS mất 3,14 dB: đuôi từ cụt, phụ âm nhẹ mất.
- Không có thời gian giữ, cổng đóng mở 49 lần thay vì 8 lần.
- Thời gian giữ 120 ms đưa con số về 9.



Hình 8.18 — Hai lỗi điển hình của bộ cổng, đo được bằng số

Ba con số khởi đầu cho bộ cổng

Ngưỡng: cao hơn mức nền 8 – 12 dB, đo trên chính đường bao mà cổng dùng. Thời gian giữ: 80 – 150 ms cho tiếng nói. Nhả: 100 – 300 ms; nhả quá nhanh làm đuôi tiếng bị cắt ngang, dấu hiệu dễ nhận nhất của cổng chỉnh ẩu.

MỤC 8.5

Lọc lược: khi tín hiệu gặp lại chính nó

- Nửa sau của chương chỉ có một phép cộng: tín hiệu cộng với bản trễ của chính nó.
- Bộ lọc lược FIR (Finite Impulse Response – đáp ứng xung hữu hạn) lấy bản trễ từ đầu vào, luôn ổn định.
- Hai công thức cho vị trí rãnh đi được cả hai chiều.

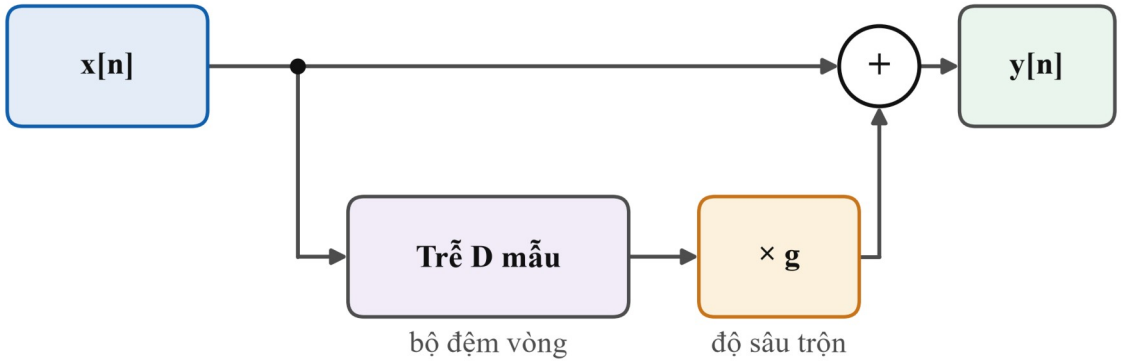
Đáp ứng biên độ của bộ lọc lược FIR

$$y[n] = x[n] + g\,x[n - D]\,; \qquad |H(f)| = \left|1 + g\,e^{-j2\pi fD/f_s}\right| \tag{8.7}$$

- D là độ trễ tính bằng mẫu; g là độ sâu trộn; fs là tần số lấy mẫu.
- Vế phải là đáp ứng biên độ, tính từ biến đổi Fourier của dãy chỉ có hai mẫu khác không.

Hai mẫu khác không, không có mũi tên ngược

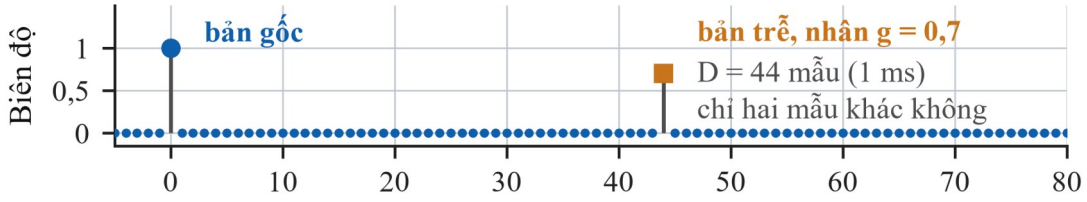
- Đáp ứng xung: mẫu gốc và mẫu trễ nhân g.
- Không có đường về đầu vào, nên là bộ lọc FIR và luôn ổn định.
- Không có cách nào làm nó kêu rú.



Không có mũi tên ngược về đầu vào: bộ lọc FIR, luôn ổn định

$$y[n] = x[n] + g\,x[n - D]$$

(a) Sơ đồ khối



(b) Đáp ứng xung

Hình 8.19 — Sơ đồ khối và đáp ứng xung của bộ lọc lược FIR

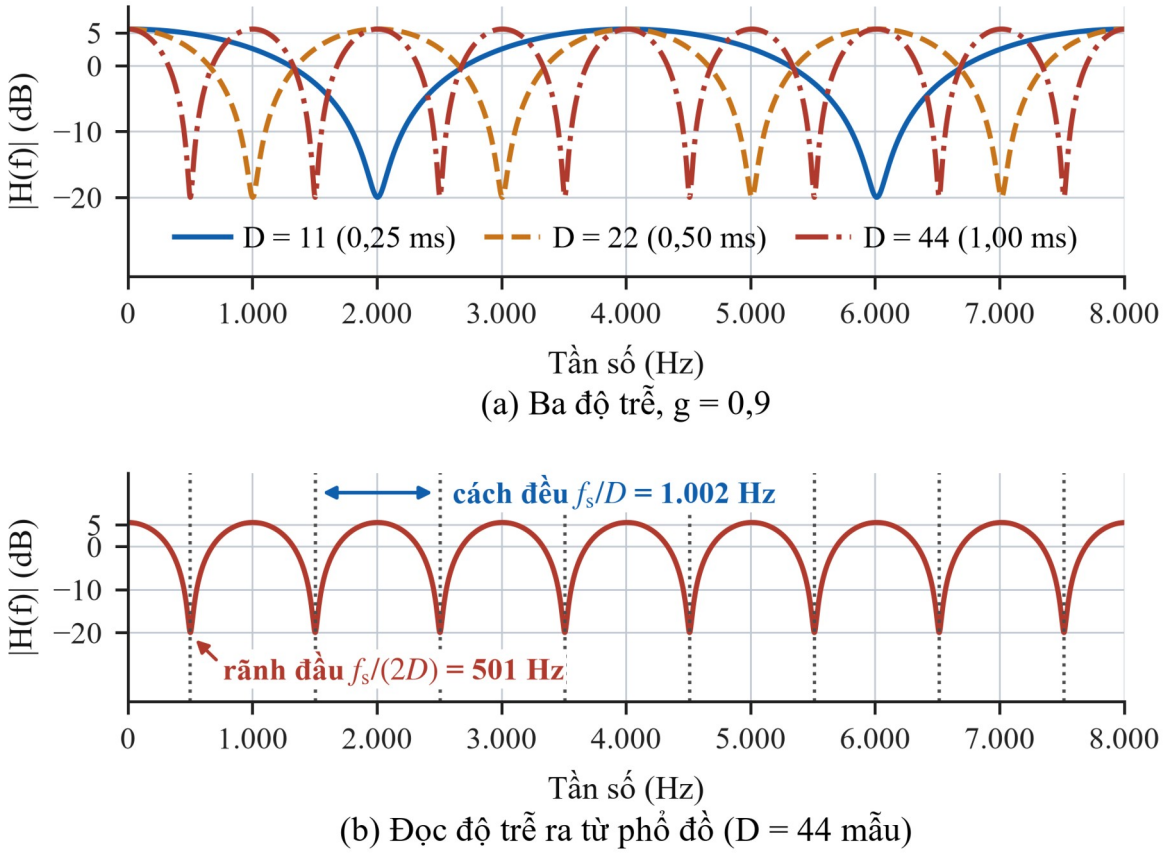
Hai công thức đáng thuộc

$$f_{\text{rãnh}} = \frac{(2m+1)f_s}{2D}, \qquad \Delta f = \frac{f_s}{D}$$

(8.8)

- m chạy từ 0 trở lên.
- Rãnh đầu tiên nằm ở một nửa của fs/D.
- Các rãnh sau cách đều nhau đúng fs/D.

Trễ càng dài thì rãnh càng dày



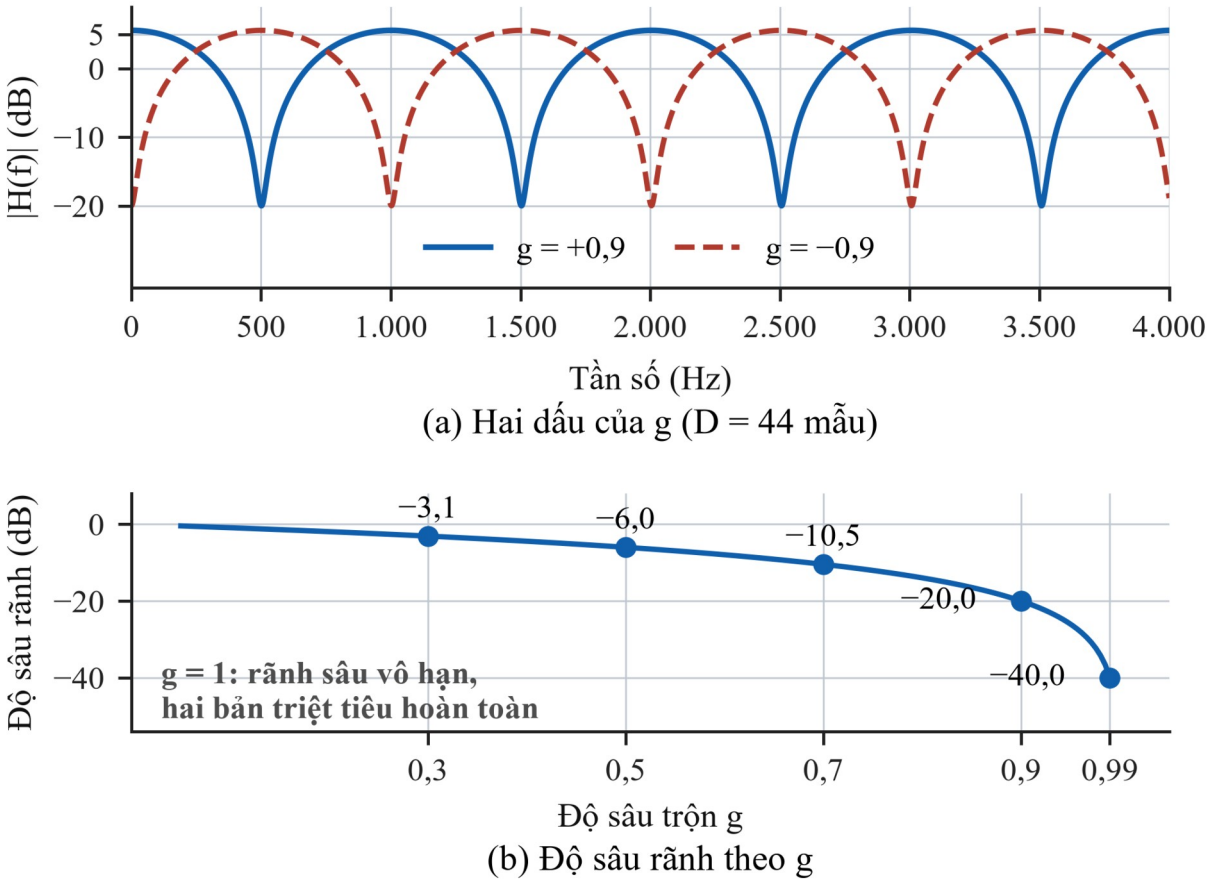
Hình 8.20 — Trễ càng dài thì rãnh càng dày, và cách đọc độ trễ ra từ phổ đồ

Biết độ trễ tính ra rãnh; thấy rãnh tính ngược ra độ trễ

Chiều thuận: D = 44 mẫu ở 44,1 kHz cho rãnh đầu ở 501 Hz, các rãnh cách nhau 1.002 Hz. Chiều ngược, hay dùng hơn: đo khoảng cách hai rãnh trên phổ đồ, chia tần số lấy mẫu cho khoảng cách ấy ra số mẫu trễ. Đó là cách chẩn đoán bản thu nghe rỗng như nói qua ống.

Dấu quyết định vị trí rãnh, độ lớn quyết định độ sâu

- g dương: rãnh nằm ở tần số bản trễ ngược pha với bản gốc; đổi dấu thì rãnh và đỉnh đảo chỗ.
- g = 0,5 khoét 6,0 dB; g = 0,9 khoét 20,0 dB; g = 0,99 khoét 40,0 dB.
- g = 1: hai bản triệt tiêu hoàn toàn, rãnh sâu vô hạn.



Hình 8.21 — Dấu của g quyết định rãnh nằm ở đâu; độ lớn quyết định rãnh sâu bao nhiêu

MỤC 8.6

Hồi tiếp: một mũi tên đổi tất cả

- Lấy bản trễ từ đầu ra thay vì đầu vào thì được hệ khác hẳn: bộ lọc lược IIR (Infinite Impulse Response – đáp ứng xung vô hạn).
- $|g| < 1$ là điều kiện ổn định của hệ.
- RT60 cho phép đặt g có căn cứ.

Bản trễ lấy từ đầu ra

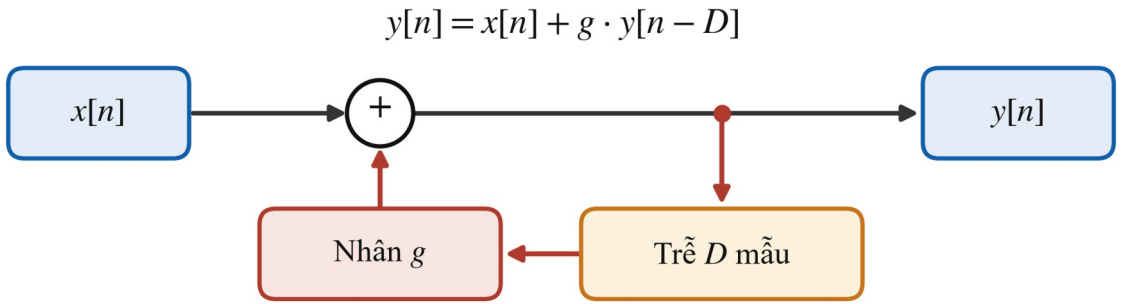
$$y[n] = x[n] + g\,y[n - D]\,; \qquad |g| < 1$$

(8.9)

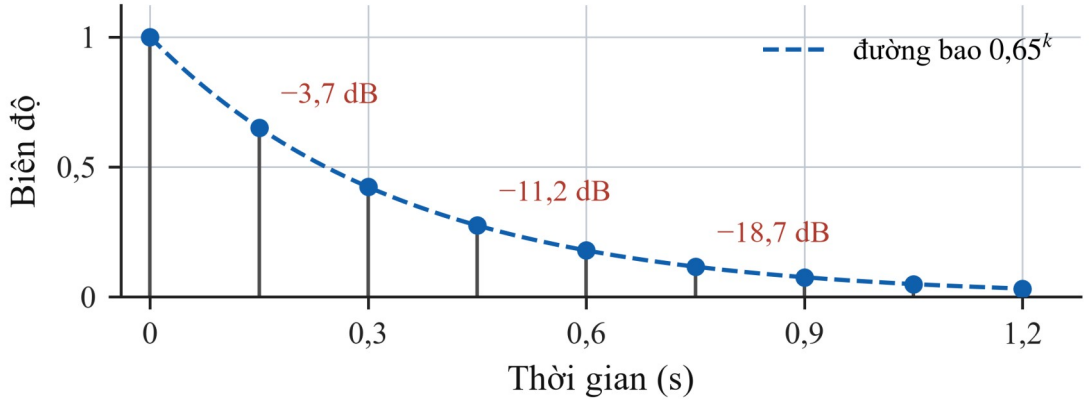
- Điều kiện |g| < 1 là điều kiện ổn định, không phải lời khuyên.
- Với |g| ≥ 1, mỗi vòng tín hiệu to hơn vòng trước và tổng phân kỳ.

Một xung vào cho ra cả một chuỗi vọng

- Các vọng cách đều D mẫu, biên độ tụt theo g, g^2, g^3.
- Với g = 0,65: vọng thứ nhất thấp hơn gốc 3,7 dB, thứ ba 11,2 dB, thứ năm 18,7 dB.



(a) Sơ đồ khối: nhánh đỏ lấy bản trễ từ đầu ra



(b) Một xung vào, cả chuỗi vọng ra (D = 150 ms, g = 0,65)

Hình 8.22 — Sơ đồ có hồi tiếp, và một xung vào cho ra cả một chuỗi vọng

Đặt g có căn cứ

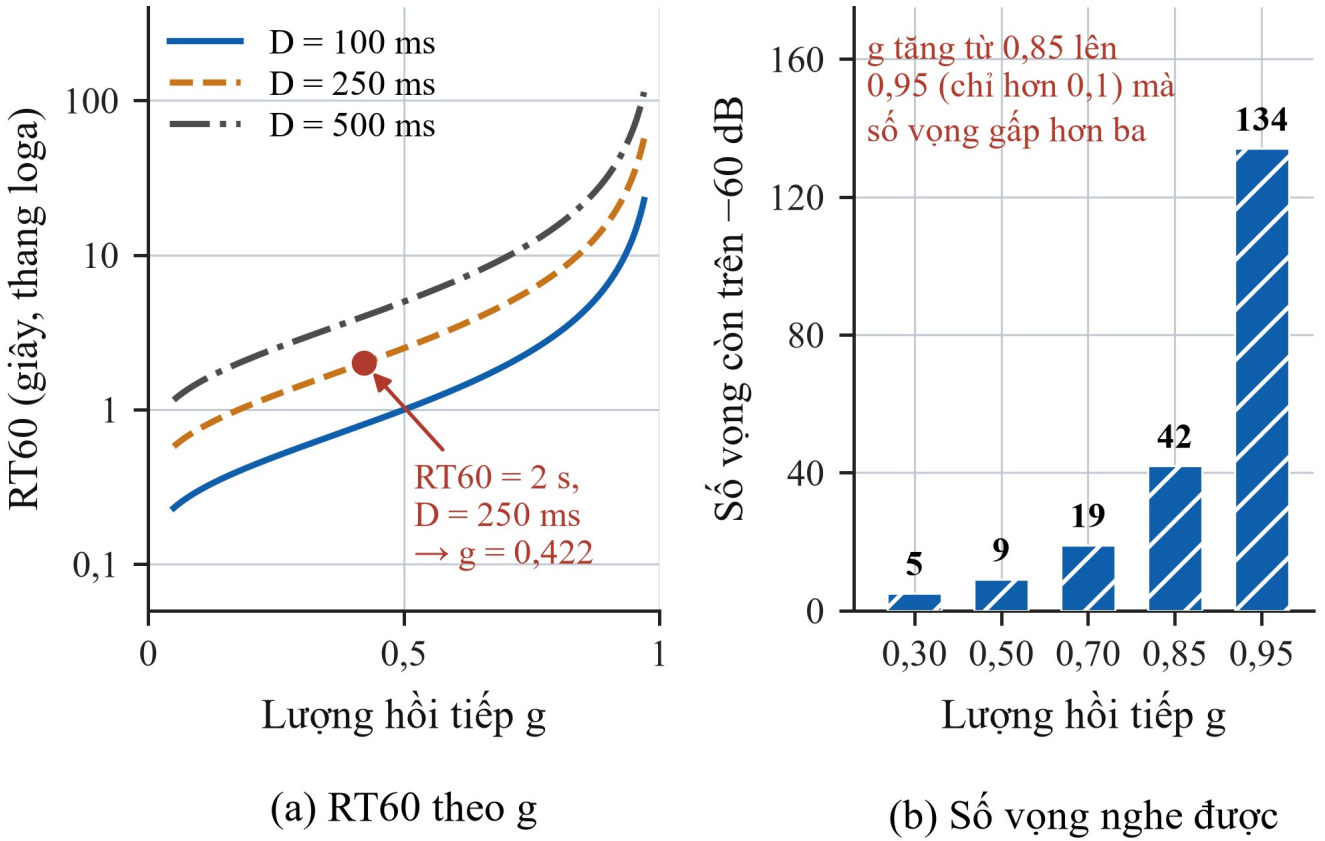
$$\mathrm{RT}_{60} = \frac{D}{f_s} \cdot \frac{-60}{20 \log_{10} |g|}$$

(8.10)

- Đường bao của chuỗi vọng là hàm mũ nên đuôi vọng có lời giải kín.
- RT60: thời gian để tiếng tụt 60 dB, quy ước của ngành.
- Chiều thuận: g = 0,5, D = 250 ms cho RT60 = 2,49 s.
- Chiều ngược: muốn RT60 = 2 s với D = 250 ms thì g = 0,422.

g quyết định đuôi vọng dài bao nhiêu

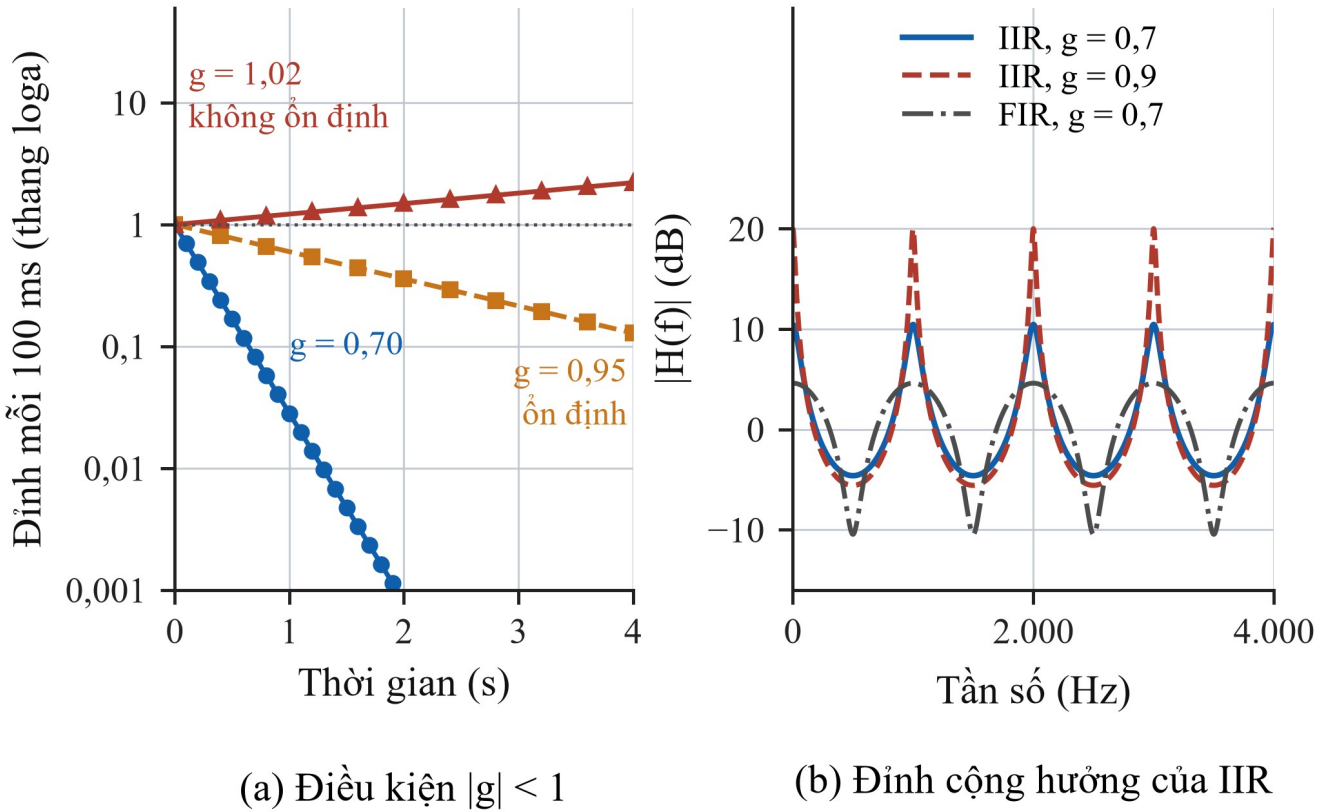
- Thang loga ở hình (a): g từ 0,9 lên 0,99 làm RT60 tăng gấp mười lần.
- g = 0,85 cho 42 tiếng vọng; g = 0,95 cho 134 tiếng.
- Hình (b) cho số tiếng vọng còn nghe được theo g.



Hình 8.23 — g quyết định đuôi vọng dài bao nhiêu và còn nghe được mấy tiếng

Điều kiện ổn định và hệ quả lên phổ

- g = 1,02, chỉ hơn 1 hai phần trăm: đường bao đi lên thay vì đi xuống.
- Vòng lặp vẫn chạy, tệp vẫn ghi ra, không có ngoại lệ; chỉ là tiếng rú mỗi lúc một to.
- Hình (b): lọc lược IIR cho đỉnh cộng hưởng nhọn ở bội số của fs/D.
- Bộ vang là nhiều bộ IIR song song với các độ trễ nguyên tố cùng nhau.



Hình 8.24 — Điều kiện ổn định, và hệ quả của hồi tiếp lên phổ

MỤC 8.7

Bậc thang độ trễ và trễ điều biến

- Cùng một khối trễ, chỉ đổi con số mili giây là ra sáu hiệu ứng khác nhau.
- Điều biến: độ trễ chạy quanh giá trị trung bình theo một dao động chậm.
- Đó là gốc của flanger, chorus và vibrato.

Cùng một khối, sáu hiệu ứng

Hiệu ứng	Độ trễ	Điều biến	Nghe ra là gì
Lọc lược	0,1 – 1 ms	không	Âm bị rỗng, như nói qua ống; thường là lỗi chứ không phải hiệu ứng
Flanger	1 – 10 ms	có	Tiếng quét như máy bay phản lực; có hồi tiếp thì càng rõ
Chorus	10 – 30 ms	có	Nghe như nhiều người cùng hát: dày lên mà không thành vọng
Doubling	30 – 50 ms	không	Như thu hai lần rồi chồng lên; vẫn là một tiếng
Slapback	50 – 120 ms	không	Một tiếng vọng rõ, không lặp; dấu ấn của nhạc rock thập niên 1950
Echo	Trên 120 ms	không	Tiếng vọng tách hẳn; có hồi tiếp thì lặp nhiều lần

Cùng một khối trễ, chỉ đổi con số mili giây là ra sáu hiệu ứng khác nhau.

Hình 8.25 — Bậc thang độ trễ — cùng một khối, sáu hiệu ứng

Vì sao các bậc nằm ở đúng những chỗ ấy

- Khoảng 1 ms: rãnh đầu trên 500 Hz, ngay vùng nghe nhạy nhất; tai nghe một tiếng bị đổi màu, gọi là âm rỗng.
- Khoảng 30 ms: tai bắt đầu tách được hai sự kiện; dưới mốc là một tiếng dày hơn.
- Khoảng 120 ms: tiếng vọng tách hẳn và đếm được; dưới mốc là slapback.

Độ trễ dao động quanh giá trị trung bình

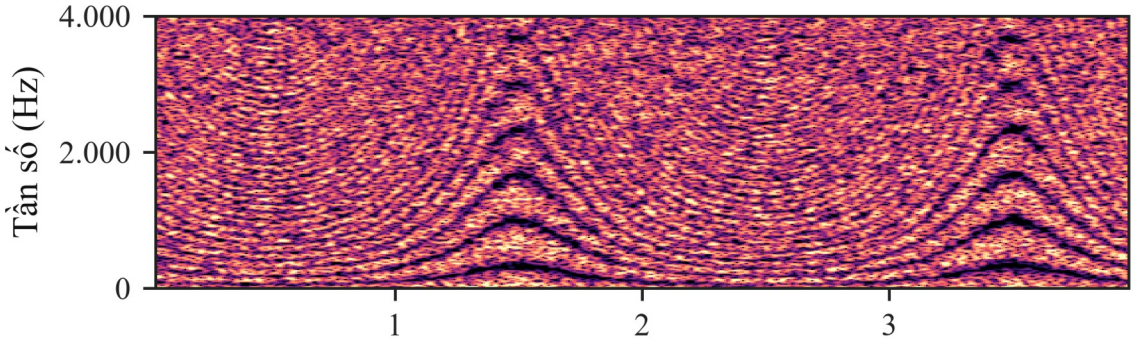
$$D[n] = D_0 + A \sin(2\pi f_{đb}\, n / f_s)$$

(8.11)

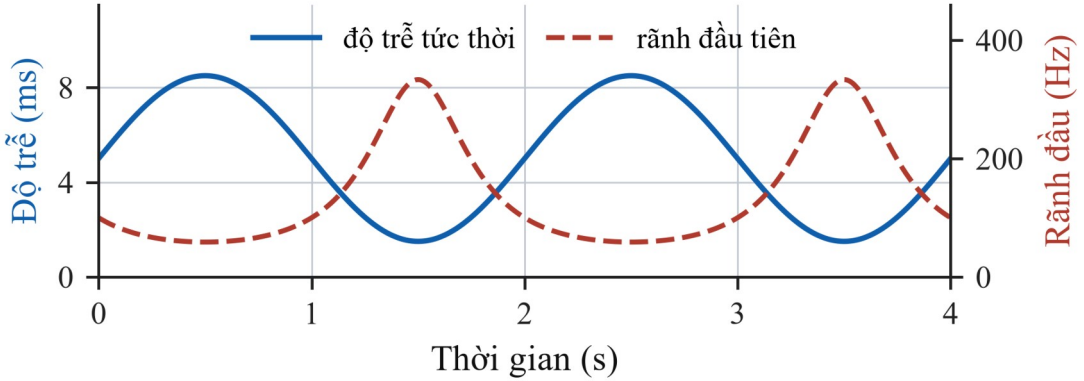
- D0 là độ trễ trung bình; A là biên độ dao động; f_db là tốc độ điều biến, thường dưới 2 Hz.
- Độ trễ đổi liên tục nên các rãnh trượt lên xuống, tai nghe tiếng quét đặc trưng.

Flanger trên nhiễu trắng và vì sao nó quét

- Hình (a): các vệt tối cong lên cong xuống là các rãnh đang chạy.
- Hình (b): đường tím là độ trễ tức thời, đường đỏ là tần số rãnh đầu theo công thức (8.8).
- Hai đường ngược chiều vì rãnh tỉ lệ nghịch với độ trễ.



(a) Phổ đồ của nhiễu trắng qua trễ điều biến: các vệt tối là rãnh



(b) Độ trễ và tần số rãnh đầu tiên biến thiên ngược chiều

Hình 8.26 — Flanger trên nhiễu trắng, và vì sao nó quét

Trễ điều biến: mười dòng

```
def tre_dieu_bien(x, tre_tb_ms=5.0, sau_ms=2.0, toc_do_hz=0.5,
                  tron_g=0.7, sr=44100):
    n = x.size
    t = np.arange(n) / sr
    # độ trễ tức thời, tính bằng MẪU (số thực, không nguyên)
    d = (tre_tb_ms + sau_ms * np.sin(2 * np.pi * toc_do_hz * t))
    d = d / 1000.0 * sr
    i = np.arange(n) - d
    tre = np.interp(i, np.arange(n), x, left=0.0, right=0.0)
    return x + tron_g * tre
```

Độ trễ hầu như không rơi vào số nguyên mẫu nên phải nội suy; np.interp là nội suy tuyến tính, làm suy giảm nhẹ cao tần.

Ba cách đặt tham số cho ba hiệu ứng

Flanger: trễ trung bình 1 – 10 ms, biên độ lớn, tốc độ 0,2 – 1 Hz, g lớn. Chorus: trễ 10 – 30 ms, biên độ nhỏ, tốc độ 0,5 – 2 Hz, g vừa, không hồi tiếp. Vibrato: như chorus nhưng chỉ lấy bản trễ, không cộng bản gốc; khi đó là dao động cao độ thuần tuý.

MỤC 8.8

Kiểm tra giữa kỳ

- Ba mươi phút cuối chương.
- Nội dung từ chương 1 tới chương 7, không có phần nào của chương 8.
- Ba phần, tổng mười điểm.

Ba phần, mười điểm

Phần I · 10 phút · 4 điểm
Mười câu trắc nghiệm, mỗi câu 0,4 điểm
Số hoá và lượng tử hoá · Nyquist và răng cưa · dBFS, RMS và LUFS · phổ, khung và cửa sổ · xử lý theo khối và trạng thái

Phần II · 10 phút · 3 điểm
Ba bài tính tay, mỗi bài 1 điểm
Đổi mili giây sang mẫu · đọc tần số răng cưa · tính dải động và tỉ số tín hiệu trên nhiễu

Phần III · 10 phút · 3 điểm
Một bài đọc mã
Hàm xử lý theo khối viết sai chỗ mang trạng thái: chỉ ra lỗi, nói triệu chứng nghe được và sửa lại

Kiểm tra giữa kỳ: 30 phút, nội dung chương 1 đến chương 7.
Được dùng máy tính bỏ túi; không dùng máy tính xách tay và tài liệu.

Hình 8.27 — Cấu trúc đề kiểm tra giữa kỳ — ba phần, mười điểm

MỤC 8.9

Thực hành, bài tập và tổng kết

- Ba bài thực hành, mỗi bài chừng mười phút; phải nghe chứ không chỉ nhìn số.
- Bảy bài tập có đáp số và bảy câu tự trả lời.
- Mười hàm mới của chương là nền cho chương 9 và chương 14.

Dò mức, nén, lọc lược

- Bài 1: vẽ |x[n]| cùng ba đường bao, cặp tấn công/nhả 1/20, 5/100 và 30/400 ms; cặp nào bám âm tiết, cặp nào chỉ thấy xu hướng câu.
- Bài 2: nén sao cho đường giảm gain chạm đáy ở câu to nhất, về không ở câu bình thường; bù đúng lượng đỉnh tụt; so độ to bằng do_to_tich_hop.
- Bài 3: trộn đoạn thử với bản trễ 1 ms ở g = 0,9; đo khoảng cách hai rãnh, kiểm xem ra đúng 44 mẫu không.

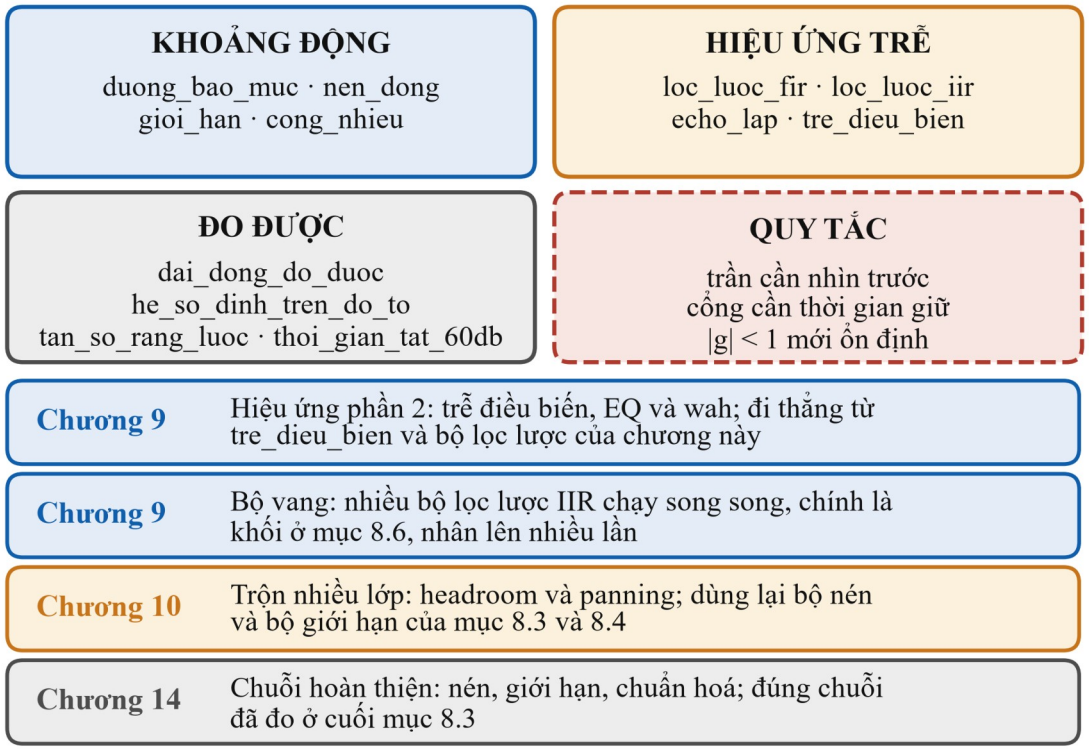
Bảy bài tập và đáp số

#	Đề bài (rút gọn)	Đáp số
1	48 kHz, tau = 10 ms: tính alpha; bao lâu đi được 95 %?	alpha = 0,997919; 30 ms
2	Ngưỡng −18 dBFS, 3:1, đầu gối cứng; vào −6 dBFS thì ra bao nhiêu?	Ra −14 dBFS; giảm 8 dB
3	Gain bù theo công thức (8.5) cho bài 2; vì sao tư liệu thật bù ít hơn?	12,0 dB
4	Rãnh cách đều 400 Hz, tệp 48 kHz: tính D và rãnh đầu.	D = 120 mẫu = 2,5 ms; 200 Hz
5	D = 180 ms, RT60 = 1,5 s: tính g.	g = 0,4365
6	Ba bộ giới hạn nhìn trước 5 ms, 44,1 kHz: tổng độ trễ?	660 mẫu = 14,97 ms
7	Hàm trả về số vọng trên −60 dB, kiểm $\|g\| < 1$; thử g = 0,6.	13 tiếng vọng

Bảy câu không có đáp án in sẵn

- Vì sao dò RMS dùng một hằng số thời gian còn dò đỉnh dùng hai?
- Đường giảm gain không bao giờ về không: ngưỡng quá cao hay quá thấp? Nghe ra thành gì?
- Vì sao đầu gối mềm nén nhiều hơn dự đoán? Con số nào ở mục 8.3.3 chứng minh?
- Vì sao tỉ số 1000:1, tấn công 0,1 ms vẫn để đỉnh lọt qua?
- Bộ giới hạn giữ đỉnh mẫu mà đỉnh thật vẫn vượt trần: mâu thuẫn ở đâu, không mâu thuẫn ở đâu?
- Vì sao hai micro cùng mức là trường hợp bất lợi nhất?
- Vì sao nên cho chỉnh RT60 thay vì g?

Chương 8 để lại gì cho các chương sau



Hình 8.28 — Chương 8 để lại gì cho các chương sau

Mười hàm mới của chương 8

Hàm	Làm gì	Dùng lại ở
he_so_thoi_gian, duong_bao_muc	Đổi hằng số thời gian sang hệ số; bộ dò đỉnh hoặc RMS	Nén, giới hạn, cổng
dac_tuyen_nen, do_giam_gain_db	Đặc tuyến tĩnh có đầu gối mềm	Bộ nén
nen_dong	Bộ nén đủ bốn tham số và gain bù	Chương 14
gioi_han	Bộ giới hạn nhìn trước, giữ trần tuyệt đối	Chương 14
cong_nhieu	Bộ cổng và bộ nới	Chương 14
loc_luoc_fir, loc_luoc_iir	Hai bộ lọc lược	Chương 9
tan_so_rang_luoc, khoang_cach_rang	Đọc độ trễ từ vị trí rãnh	Chương 9
echo_lap, on_dinh_hoi_tiep, thoi_gian_tat_60db, g_cho_rt60	Vòng hồi tiếp, đặt g theo RT60	Chương 9
tre_dieu_bien	Trễ thay đổi theo thời gian	Chương 9

Rút gọn: gộp các hàm cùng nhóm vào một dòng.

Những điều cần nhớ

1. Mọi bộ xử lý khoảng động bắt đầu bằng bộ dò mức; tau là thời gian đi được 63 phần trăm quãng đường.
2. Bộ nén: đặc tuyến tĩnh, đầu gối mềm, làm trơn trên gain; đọc đường giảm gain để chỉnh ngưỡng.
3. Gain bù đo trên tư liệu thật, không dùng thẳng công thức; chuỗi nén, giới hạn, chuẩn hoá nâng độ to gần 5 dB.
4. Bộ giới hạn cần nhìn trước; tỉ số cao không thay được; trần mẫu chưa phải trần thật.
5. Lọc lược: rãnh đầu ở fs/(2D), các rãnh cách đều fs/D; hồi tiếp cần $|g| < 1$; RT60 quyết định g.
6. Bậc thang độ trễ cho sáu hiệu ứng; trễ điều biến là gốc của flanger và chorus.