MỤC LỤC

Chương 5. Thiết bị điện thanh 8
5.1 Micro điện động và micro điện dung 9
5.2 Ribbon, MEMS và micro số chuẩn AES42 22
5.3 Đọc thông số kỹ thuật microphone — tám đại lượng 27
5.4 Tính định hướng và hiệu ứng gần 31
5.5 Thực hành 1 — đo đáp tuyến và dựng đồ thị định hướng 35
5.6 Truyền dẫn không dây: analog và số 38
5.7 Quy hoạch và phối hợp tần số 40
5.8 Thực hành 2 — triển khai bộ không dây nhiều kênh 43
5.9 Loa điện động 44
5.10 Các họ loa khác 52
5.11 Hộp loa, phân tần và khuếch đại 59
5.12 Truyền tiếng qua mạng: Dante và AES67 62
5.13 Thực hành 3 — đo loa và tham số Thiele–Small 63
5.14 Câu hỏi ôn tập 65

DANH MỤC HÌNH VẼ

Hình 5.1 Mặt cắt lớp của một micro điện động cầm tay với đầy đủ các bộ phận và vật liệu chế tạo.....10
Hình 5.2 Mô hình cơ học tương đương của micro điện động và đáp tuyến sinh ra từ mô hình đó.....11
Hình 5.3 Cơ chế tạo đồ thị cardioid bằng khoang sau và lỗ trễ âm.....12
Hình 5.4 Các mốc phát triển của micro điện động.....13
Hình 5.5 Micro điện động cầm tay Shure SM58 với đầu lưới cầu.....14
Hình 5.6 Mặt cắt lớp của một micro điện dung với đầy đủ các bộ phận và vật liệu chế tạo.....16
Hình 5.7 Micro điện dung màng lớn trên giá treo giảm chấn, kèm lưới chắn bật hơi....18
Hình 5.8 Ba kiểu mạch của micro điện dung: phân cực ngoài với JFET, đèn điện tử, và cao tần.....19
Hình 5.9 Capsule hai màng: đổi đồ thị định hướng bằng cách đổi điện áp phân cực đặt lên màng sau.....19
Hình 5.10 Các mốc phát triển của micro điện dung.....20
Hình 5.11 Mặt cắt cấu tạo năm họ microphone đặt cạnh nhau, cùng tỷ lệ.....23
Hình 5.12 Micro ruy-băng Royer R-122 đặt trên giá kẹp trong phòng thu.....23
Hình 5.13 Đáp ứng xung của micro điện dung, ribbon và điện động trên cùng một trục thời gian.....26
Hình 5.14 Micro cài áo (lavalier) có kẹp và bộ chuyển đổi đầu cắm.....26
Hình 5.15 Thang năng lượng của một microphone: self-noise, vùng làm việc, ngưỡng THD 1% và ngưỡng THD 10%.....29
Hình 5.16 Ba đường đáp tuyến đặt chồng: microphone đo lường phẳng, microphone thoại có nhấn presence, và microphone bật bộ cắt trầm.....30
Hình 5.17 Bảy đồ thị định hướng dựng theo phương trình, cùng tỷ lệ, đánh dấu góc thu hữu ích −3 dB.....32
Hình 5.18 Đồ thị định hướng của một microphone cardioid tại 125 Hz, 500 Hz, 2 kHz và 8 kHz đặt chồng.....33
Hình 5.19 Hiệu ứng gần: ba đường đáp tuyến của cùng một microphone ở khoảng cách 5 cm, 20 cm và 60 cm.....34
Hình 5.20 Micro shotgun Sennheiser MKH 416; các khe dọc thân là cửa vào của ống giao thoa.....34
Hình 5.21 Cấu tạo ống giao thoa của microphone shotgun và cơ chế triệt âm đến từ bên cạnh.....35
Hình 5.22 Phổ tần của tín hiệu quét tần mẫu (tệp tổng hợp) trong cửa sổ Frequency Analysis của Adobe Audition.....36
Hình 5.23 Phổ của tín hiệu tiếng ồn hồng trong Audacity (FFT 8192, cửa sổ Hann, trục tần số lôgarit).....37
Hình 5.24 Sơ đồ khối bộ không dây analog có companding so với bộ không dây số....39
Hình 5.25 Đo độ lệch thời gian giữa rãnh boom và rãnh lavalier (tệp mẫu tổng hợp) bằng vùng chọn tính theo mẫu trong Adobe Audition.....40
Hình 5.26 Hiện tượng triệt pha khi trộn một đường trễ với một đường không trễ, và đáp tuyến răng lược sinh ra.....40
Hình 5.27 Quy hoạch băng tần microphone không dây tại Việt Nam trên trục tần số...41
Hình 5.28 Sản phẩm xuyên điều chế bậc ba của hai sóng mang 590 MHz và 595 MHz sinh ra 585 MHz và 600 MHz.....42
Hình 5.29 Bản quét phổ hiện trường: các kênh truyền hình đang phát và các khoảng trống dùng được.....43

Hình 5.30 Mặt cắt củ loa điện động với chú thích BL, Sd và Xmax.....45
Hình 5.31 Hình tách lớp một củ loa điện động với đầy đủ các bộ phận và vật liệu chế tạo.....45
Hình 5.32 Bốn hình dạng màng loa: nón, vòm lồi, vòm lõm và phẳng.....46
Hình 5.33 Đường thoát nhiệt của cuộn dây và hiện tượng nén công suất.....47
Hình 5.34 Đường cong trở kháng thật của một củ loa trầm 8 inch, đánh dấu đỉnh cộng hưởng Fs và vùng cảm kháng.....48
Hình 5.35 Ba đáp tuyến trầm của cùng một củ loa lắp trong hộp kín, hộp thùng hơi và hộp hở.....50
Hình 5.36 Các mốc phát triển của loa điện động.....50
Hình 5.37 Loa kiểm âm active hai đường tiếng Genelec 8010A trên chân đệm.....51
Hình 5.38 Dải tần mà từng họ loa làm được trong thực tế.....53
Hình 5.39 Cấu tạo một đường tiếng kiểu kèn nén: màng vòm, khoang nén, nút chia pha và kèn.....54
Hình 5.40 Mặt cắt một tấm loa tĩnh điện và các đặc điểm của họ loa này.....54
Hình 5.41 Loa ribbon dải nhôm phẳng và loa AMT màng xếp nếp.....55
Hình 5.42 Loa từ phẳng: mặt cắt ngang và đường mạch dẫn in trên màng.....56
Hình 5.43 Cụm loa dàn hàng treo gồm sáu module.....58
Hình 5.44 Bốn kiểu hộp loa vẽ mặt cắt: hộp kín, thùng hơi, màng thụ động và kèn.....59
Hình 5.45 Sơ đồ phân tần thụ động hai đường và ba đường.....60
Hình 5.46 Đáp tuyến của hai củ loa và tổng khi đấu đúng pha và khi đảo pha tại tần số cắt.....61
Hình 5.47 Sơ đồ khối một loa active có xử lý số: vào, phân tần số, cân chỉnh trễ, giới hạn và hai khuếch đại lớp D.....62
Hình 5.48 Hệ thống truyền tiếng qua mạng: microphone, mixer, máy ghi và loa kiểm tra nối qua một switch mạng.....62

DANH MỤC BẢNG BIỂU

Bảng 5.1 Các biến thể chính của micro điện động và đặc điểm nhận dạng.....13
Bảng 5.2 Các dòng micro điện động kinh điển và lý do kỹ thuật khiến chúng trở thành chuẩn nghề.....14
Bảng 5.3 Sự cố thường gặp ở micro điện động: triệu chứng, nguyên nhân và cách xử lý 15
Bảng 5.4 Các dòng micro điện dung kinh điển và lý do kỹ thuật khiến chúng trở thành chuẩn nghề.....20
Bảng 5.5 Sự cố thường gặp ở micro điện dung: triệu chứng, nguyên nhân và cách xử lý 21
Bảng 5.6 Micro điện động và micro điện dung — so sánh theo mười tiêu chí nghề nghiệp.....22
Bảng 5.7 So sánh năm họ microphone theo tám tiêu chí nghề nghiệp.....25
Bảng 5.8 Bảng tra chọn micro theo tình huống thu âm.....27
Bảng 5.9 Tám thông số kỹ thuật, đơn vị, giá trị điển hình theo ba nhóm microphone và câu hỏi nghề tương ứng.....31
Bảng 5.10 Bảy dạng định hướng: tham số phương trình, góc thu hữu ích, chỉ số triệt sau, chỉ số khoảng cách và tình huống sử dụng.....32
Bảng 5.11 Thiết bị và phần mềm cho Thực hành 1.....35
Bảng 5.12 So sánh bộ không dây analog và bộ không dây số theo bảy tiêu chí nghề nghiệp.....39
Bảng 5.13 Các băng tần microphone không dây miễn giấy phép tại Việt Nam và điều kiện kèm theo.....41
Bảng 5.14 Ví dụ bảng phối hợp tần số cho một bộ sáu kênh trong băng 470 – 694 MHz 42
Bảng 5.15 Thiết bị cho Thực hành 2.....43
Bảng 5.16 Vật liệu màng loa: đặc tính và ứng dụng.....47
Bảng 5.17 Tham số Thiele–Small: ký hiệu, đơn vị, ý nghĩa và giá trị điển hình.....49
Bảng 5.18 Các hãng loa tiêu biểu theo phân khúc và lĩnh vực.....51
Bảng 5.19 Sự cố thường gặp ở loa điện động: triệu chứng, nguyên nhân và cách xử lý 52
Bảng 5.20 Đối chiếu các họ microphone và các họ loa theo nguyên lý chuyển đổi.....57
Bảng 5.21 Bảng tra chọn loa theo tình huống sử dụng.....57
Bảng 5.22 So sánh bốn kiểu hộp loa.....59
Bảng 5.23 So sánh ba lớp khuếch đại công suất.....61
Bảng 5.24 Thiết bị cho Thực hành 3.....63

DANH MỤC KÝ HIỆU VÀ CHỮ VIẾT TẮT

Ký hiệu viết tắt	Thuật ngữ tiếng Anh đầy đủ	Ý nghĩa chuyên môn trong kỹ thuật Audio - Video
ADSR	Attack - Decay - Sustain - Release	Mô hình đường bao biên độ 4 giai đoạn theo thời gian trong thiết kế tiếng động
AES	Audio Engineering Society	Hội Kỹ sư Âm thanh Quốc tế — tổ chức ban hành các tiêu chuẩn âm thanh chuyên nghiệp
DAW	Digital Audio Workstation	Trạm làm việc âm thanh số (Pro Tools, DaVinci Resolve Fairlight, Nuendo, Reaper)
dB	Decibel	Đơn vị logarit biểu diễn tỷ số giữa hai đại lượng biên độ hoặc công suất
dB SPL	Decibel Sound Pressure Level	Mức áp suất âm thanh trong không khí quy chiếu theo ngưỡng nghe 20 µPa
dBFS	Decibels Relative to Full Scale	Thang đo decibel số toàn dải; 0 dBFS là trần tuyệt đối của hệ thống kỹ thuật số
dBTP	Decibels True Peak	Mức đỉnh thực của tín hiệu số có tính toán hiện tượng liên mẫu (inter-sample peaks)
dBA / dBC	A-weighted / C-weighted Decibels	Mức đo decibel qua mạch lọc bù trừ đặc tuyến độ nhạy của tai người
EBU	European Broadcasting Union	Hiệp hội Phát thanh Truyền hình Châu Âu (tác giả tiêu chuẩn EBU R128)
HRTF	Head-Related Transfer Function	Hàm truyền liên quan đến đầu người — cơ sở định vị không gian 3 chiều và âm thanh nhị nhĩ
ILD	Interaural Level Difference	Độ chênh lệch mức áp suất âm thanh giữa hai tai (chủ đạo ở tần số cao > 1,5 kHz)
ITD	Interaural Time Difference	Độ chênh lệch thời gian âm thanh truyền đến hai tai (chủ đạo ở tần số thấp < 1,5 kHz)
ITU-R	ITU Radiocommunication Sector	Phân ban Vô tuyến của Liên minh Viễn thông Quốc tế (tác giả chuẩn BS.1770)
LKFS / LUFS	Loudness K-weighted / Units Full Scale	Đơn vị đo lường độ to cảm nhận chuẩn hóa theo ITU-R BS.1770
LRA	Loudness Range	Dải độ to — chỉ số mô tả độ động giữa đoạn to và đoạn nhỏ của chương trình (đơn vị LU)
NC / NR	Noise Criteria / Noise Rating	Đường cong tiêu chí đánh giá mức độ ồn nền của phòng thu

Ký hiệu viết tắt	Thuật ngữ tiếng Anh đầy đủ	Ý nghĩa chuyên môn trong kỹ thuật Audio - Video
NIOSH	National Institute for Occupational Safety and Health	Viện Quốc gia về An toàn và Sức khỏe Nghề nghiệp Hoa Kỳ
RMS	Root Mean Square	Giá trị căn bậc hai trung bình bình phương (năng lượng hiệu dụng của tín hiệu)
RT60	Reverberation Time 60 dB	Thời gian để năng lượng âm vang suy giảm 60 dB sau khi ngắt nguồn âm
SMPTE	Society of Motion Picture and Television Engineers	Hiệp hội Kỹ sư Điện ảnh và Truyền hình Quốc tế
SNR	Signal-to-Noise Ratio	Tỷ số tín hiệu trên tạp âm (đo bằng dB)

CHƯƠNG 5
THIẾT BỊ ĐIỆN THANH

Microphone · Truyền dẫn không dây · Loa và hệ thống phát lại

Bốn chương đầu của cuốn sách đi theo đường đi của tín hiệu âm thanh: Chương 1 mô tả sóng âm trong không khí, Chương 2 mô tả tín hiệu trên dây dẫn, Chương 3 mô tả tín hiệu ở dạng số và Chương 4 mô tả cách nhìn tín hiệu trong miền tần số. Chương 5 khép lại phần âm thanh bằng câu hỏi ứng dụng: những thiết bị nào thực hiện các phép biến đổi đó, chúng làm việc theo nguyên lý gì và người làm nghề lựa chọn chúng ra sao.

Việc đặt chương này sau Chương 4 là có chủ ý. Phần lớn nội dung của chương là đọc và diễn giải đồ thị, gồm đáp tuyến tần số, đồ thị định hướng và đường đặc tính trở kháng, nên người đọc cần nắm trước thang decibel của Chương 1, khái niệm trở kháng và mức tín hiệu của Chương 2, cùng cách đọc trục tần số thang logarit của Chương 4. Nếu chương thiết bị đặt trước Chương 4, người đọc chỉ nhìn đồ thị như hình minh họa; khi đặt sau, người đọc có thể đọc được tài liệu kỹ thuật (catalogue) thực tế.

Mục tiêu của chương

Sau khi đọc xong chương này, người đọc có thể:

1. **Về kiến thức:** Trình bày được nguyên lý, cấu tạo từng bộ phận và các biến thể kỹ thuật của micro điện động và micro điện dung; nêu được đặc điểm của ribbon, MEMS và micro số; trình bày được nguyên lý, cấu tạo và vật liệu của loa điện động cùng các họ loa khác; giải thích được ý nghĩa của tám thông số kỹ thuật microphone, bảy dạng đồ thị định hướng và tám tham số Thiele–Small.
2. **Về kỹ năng:** Chọn được microphone phù hợp cho một tình huống thu âm cụ thể và bảo quản, chẩn đoán sự cố thiết bị; đọc và so sánh được catalogue kỹ thuật của microphone và loa; lập được bảng phối hợp tần số cho một bộ không dây nhiều kênh; đo được đáp tuyến, đồ thị định hướng và tham số Thiele–Small bằng thiết bị phổ thông.
3. **Về cách làm việc:** Quyết định lựa chọn thiết bị dựa trên số liệu kỹ thuật và điều kiện hiện trường, thay vì dựa trên thương hiệu hay thói quen; tuân thủ quy định pháp luật về tần số vô tuyến điện.

Kiến thức cần có trước khi đọc

Người đọc cần đã nắm nội dung Chương 1 (thang decibel, dải tần nghe được), Chương 2 (trở kháng, mức tín hiệu, đường truyền cân bằng, tỷ số tín hiệu

trên nhiễu), Chương 3 (số hóa, tần số lấy mẫu, độ sâu bit) và Chương 4 (miền tần số, đáp tuyến, bốn loại bộ lọc).

5.1 Micro điện động và micro điện dung

Hai họ microphone này chiếm gần như toàn bộ công việc thu thanh chuyên nghiệp. Ở Chương 2, khi bàn về nguồn tín hiệu, hai nguyên lý đã được giới thiệu ở mức khái quát: cảm ứng điện từ và biến thiên điện dung. Mục này đi sâu hơn vào cấu tạo từng bộ phận, vật liệu, các biến thể kỹ thuật, lịch sử hình thành, những dòng máy đã trở thành chuẩn nghề và cách bảo quản khi thiết bị hỏng [10].

Việc dành hẳn một mục dài cho hai họ này có cơ sở thực tế: người làm nghề ở Việt Nam gặp chúng hằng ngày, trong khi ribbon, MEMS hay microphone số chỉ xuất hiện trong một số tình huống. Nắm vững hai họ này tức là hiểu khoảng chín mươi phần trăm thiết bị mà người đọc sẽ gặp trong công việc.

5.1.1 Micro điện động — nguyên lý và phương trình

Màng rung được gắn cứng với một cuộn dây mảnh, cuộn dây này nằm lơ lửng trong khe hẹp của một mạch từ khép kín. Khi sóng âm làm màng dao động, cuộn dây chuyển động cắt ngang các đường sức từ và sinh ra sức điện động cảm ứng. Độ lớn của sức điện động tính theo:

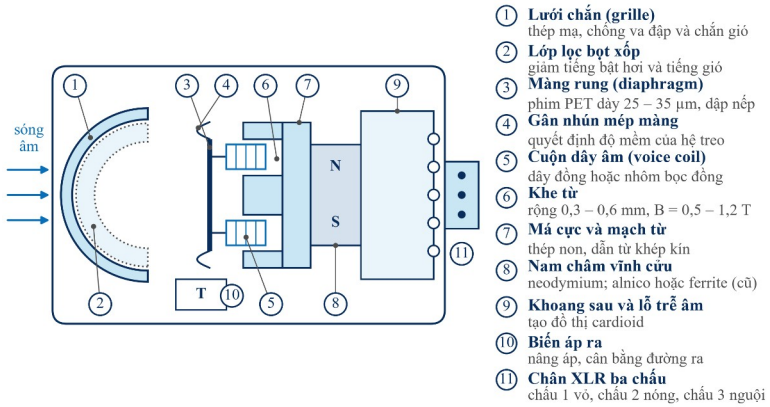
$$e = B\,L\,v \quad \text{(V)} \tag{5.1}$$

Trong đó B là cảm ứng từ trong khe (tesla), L là tổng chiều dài đoạn dây nằm trong khe từ (mét), và v là vận tốc tức thời của cuộn dây (mét trên giây). Ba đại lượng này giải thích đầy đủ các đặc tính của micro điện động.

Điểm mấu chốt chi phối toàn bộ phần còn lại là điện áp ra tỷ lệ với *vận tốc* của màng, không phải với độ dịch chuyển của màng. Đây là khác biệt bản chất so với micro điện dung, và kéo theo hàng loạt hệ quả về đáp tuyến mà mục 5.1.3 sẽ trình bày.

Cảm ứng từ B trong khe của micro điện động hiện đại nằm trong khoảng 0,5 – 1,2 tesla. Chiều dài L phụ thuộc số vòng dây: cuộn dây điển hình có 40 – 90 vòng, cho L tổng cộng vài mét. Kết quả là độ nhạy của micro điện động chỉ khoảng 1,5 – 3 mV/Pa, thấp hơn micro điện dung chừng năm đến mười lần, nên micro điện động luôn đòi hỏi tiền khuếch đại chất lượng tốt hơn.

5.1.2 Cấu tạo chi tiết từng bộ phận



Hình 5.1 Mặt cắt lớp của một micro điện động cầm tay với đầy đủ các bộ phận và vật liệu chế tạo

Đi từ ngoài vào trong theo đường đi của sóng âm:

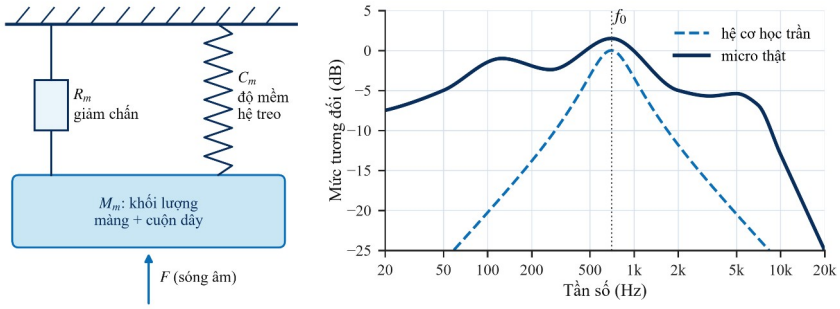
- **Lưới chắn và lớp lọc bọt xốp.** Lưới thép mạ bảo vệ màng khỏi va đập và nước bọt, còn lớp bọt xốp phía trong đóng vai trò bộ lọc âm học, hấp thụ luồng khí mạnh của các phụ âm bật và của gió. Đây cũng là bộ phận nhanh bẩn nhất và cần được tháo ra vệ sinh định kỳ [12].
- **Màng rung.** Phim polyester (PET, tên thương mại quen thuộc là Mylar) dày 25 – 35 micromet, được dập nếp đồng tâm để tăng độ cứng chống biến dạng cục bộ mà không tăng khối lượng. Màng của micro điện động dày gấp khoảng năm đến mười lần màng của micro điện dung, nên bền hơn nhưng cũng nặng hơn đáng kể.
- **Gân nhún mép màng.** Vành gấp nếp quanh mép màng quyết định độ mềm của hệ treo và, cùng với khối lượng của bộ phận chuyển động, ấn định tần số cộng hưởng của toàn hệ.
- **Cuộn dây âm.** Cuộn dây được quấn bằng dây đồng tráng men rất mảnh, hoặc dây nhôm bọc đồng (CCAW) ở các mẫu cao cấp, vì nhôm nhẹ hơn đồng nên cải thiện đáp ứng ở dải cao. Cuộn dây quấn trên một ống giấy hoặc nhôm mỏng và được dán vào chính giữa màng.
- **Mạch từ.** Nam châm vĩnh cửu cùng hai má cực thép non tạo thành một mạch từ khép kín, dồn toàn bộ từ thông vào khe hẹp. Nam châm hiện nay hầu hết là neodymium, mạnh gấp nhiều lần alnico hoặc ferrite của các thế hệ trước, cho phép thu nhỏ kích thước mà vẫn giữ được độ nhạy.
- **Khoang sau và lỗ trễ âm.** Đây là bộ phận quyết định tính định hướng của micro, đồng thời là bộ phận người đọc thường bỏ qua nhất. Mục 5.1.4 dành riêng cho bộ phận này.
- **Biến áp ra.** Biến áp nâng điện áp và tạo đường ra cân bằng, đồng thời cách ly một chiều. Các mẫu giá thấp bỏ biến áp và nối thẳng cuộn dây ra chân XLR; cách này có chi phí thấp nhưng nhạy cảm hơn với chiều dài cáp.

5.1.3 Hệ cơ học và gốc rễ của đáp tuyến

Toàn bộ bộ phận chuyển động (màng cộng cuộn dây) cùng hệ treo tạo thành một hệ dao động có khối lượng, độ đàn hồi và giảm chấn, tương tự hệ khối lượng – lò xo trong vật lý phổ thông. Tần số cộng hưởng và hệ số phẩm chất cơ học của hệ tính theo:

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{M_m C_m}} \quad ; \quad Q_m = \frac{1}{R_m}\sqrt{\frac{M_m}{C_m}} \tag{5.2}$$

Trong đó Mm là khối lượng động, Cm là độ mềm của hệ treo và Rm là hệ số giảm chấn. Nhà thiết kế đặt tần số cộng hưởng vào khoảng giữa dải nghe được, thường 500 Hz đến 1 kHz, rồi dùng giảm chấn để san phẳng đỉnh cộng hưởng.



(a) mô hình cơ học tương đương

(b) từ mô hình cơ học tới đáp tuyến thật

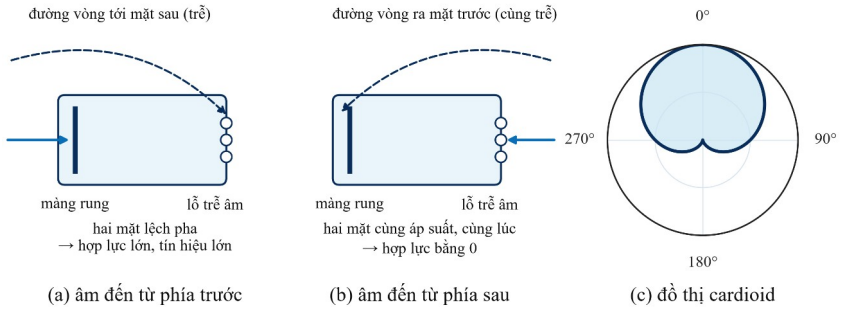
Hình 5.2 Mô hình cơ học tương đương của micro điện động và đáp tuyến sinh ra từ mô hình đó

Hình 5.2 cho thấy một hệ cơ học đơn thuần chỉ có đáp tuyến phẳng trong một dải hẹp quanh tần số cộng hưởng. Đáp tuyến rộng 50 Hz – 15 kHz của một micro điện động thương mại không phải do bản thân hệ cơ học, mà là kết quả của việc nhà thiết kế chủ động thêm các khoang cộng hưởng phụ ở hai đầu dải và điều chỉnh giảm chấn bằng vật liệu xốp đặt trong khoang sau.

Khối lượng của cuộn dây là một ràng buộc không thể vượt qua: cuộn dây càng nặng thì vùng do khối lượng chi phối bắt đầu càng sớm, và đáp tuyến cũng bắt đầu dốc xuống càng sớm. Đây là nguồn gốc vật lý khiến micro điện động thường hụt dải trên 12 kHz, nguyên nhân nằm ở định luật Newton chứ không ở việc tiết kiệm của nhà sản xuất.

5.1.4 Vì sao micro điện động có đồ thị cardioid

Một màng rung để trần chịu áp suất như nhau ở cả hai mặt từ mọi phía nên không có tính định hướng. Tính định hướng của micro điện động hoàn toàn do khoang sau tạo ra, bằng một giải pháp âm học tinh tế.



Hình 5.3 Cơ chế tạo đồ thị cardioid bằng khoang sau và lỗ trễ âm

Khoang phía sau màng được thông ra ngoài qua một loạt lỗ nhỏ, phía sau các lỗ đó là vật liệu xốp tạo trở kháng âm học. Quãng đường và trở kháng này được tính sao cho thời gian âm thanh đi từ lỗ sau tới mặt sau của màng đúng bằng thời gian âm thanh đi vòng từ phía sau micro ra tới mặt trước của màng.

- **Âm đến từ phía trước:** tới mặt trước gần như tức thì, còn tới mặt sau thì phải đi vòng và qua lỗ trễ, nên hai mặt màng chịu áp suất lệch pha nhiều, hợp lực lớn và tín hiệu lớn.
- **Âm đến từ phía sau:** vào thẳng lỗ sau, đồng thời vòng ra mặt trước. Hai đường đi dài bằng nhau nên áp suất hai mặt màng bằng nhau và đồng thời; hợp lực bằng không và tín hiệu bằng không.

Cấu tạo này do Benjamin Bauer phát minh cho hãng Shure năm 1939 với tên gọi Unidyne [11], và là phát minh quan trọng nhất trong lịch sử micro điện động: trước đó, muốn có tính định hướng phải ghép hai màng, vừa đắt vừa cồng kềnh.

LƯU Ý 5.1

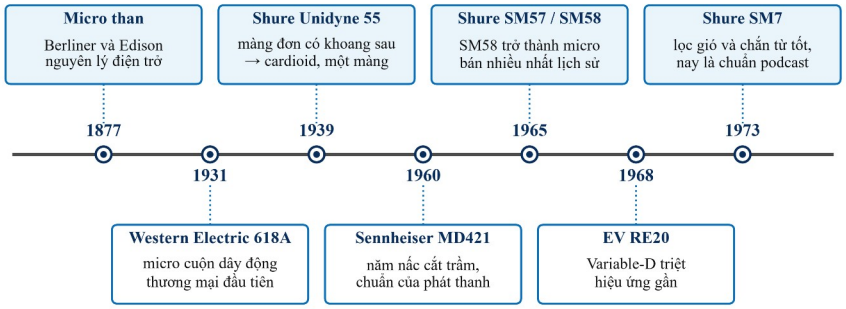
Hệ quả trực tiếp khi sử dụng: việc bịt tay quanh lưới chắn, tư thế cầm micro mà nhiều người thường dùng, chính là bịt các lỗ trễ âm. Micro lập tức mất tính định hướng, dội âm tăng mạnh và rất dễ hú. Đây là lỗi cầm micro phổ biến, và người đọc cần hiểu cơ chế gây ra lỗi này.

5.1.5 Các biến thể của micro điện động

Bảng 5.1 Các biến thể chính của micro điện động và đặc điểm nhận dạng

Biến thể	Đặc điểm cấu tạo	Ưu thế nghề nghiệp	Tình huống dùng
Cầm tay cardioid	Lưới cầu lớn, lớp lọc dày, hệ treo chống rung bên trong	Chịu va đập, không sợ ẩm, không cần nguồn	Phỏng vấn hiện trường, sân khấu, sự kiện
Nhạc cụ đầu nhỏ	Thân mảnh, lưới nhỏ, đáp tuyến nhấn dải trung	Đặt sát nguồn âm to mà không méo	Trống, loa amply, kèn
Variable-D	Nhiều cửa trễ âm dọc thân, mỗi cửa cho một dải tần	Triệt gần hết hiệu ứng gần, giọng ổn định khi đổi khoảng cách	Phòng phát thanh, thu lời bình
Kick drum / dải trầm	Màng lớn, hệ treo rất mềm, đáp tuyến nhấn trầm và hõm dải trung	Chịu áp suất cực cao ở dải trầm	Trống lớn, thùng bass
Đầu bọc chống ồn	Hai màng đối xứng triệt nhiễu đồng pha	Loại được tiếng ồn xung quanh rất mạnh	Bình luận thể thao, môi trường cực ồn
Không dây cầm tay	Đầu micro điện động ghép thân phát UHF	Không cần cáp, không cần phantom	Sân khấu, chương trình truyền hình trực tiếp

5.1.6 Lịch sử phát triển và những dòng máy kinh điển



Hình 5.4 Các mốc phát triển của micro điện động

Cần lưu ý rằng nhiều thiết kế ra đời từ thập niên 1960 hiện vẫn được sản xuất nguyên bản và bán chạy, nguyên nhân không nằm ở sự hoài cổ. Nguyên lý cơ học của micro điện động đã đạt tới giới hạn vật lý từ khá sớm, và âm sắc của những chiếc micro đó đã trở thành chuẩn tham chiếu của cả ngành, nên việc thay đổi chúng đồng nghĩa với việc thay đổi thứ mà mọi người đã quen.

Hình 5.5 cho thấy micro điện động cầm tay Shure SM58, dòng máy kinh điển với lưới cầu bảo vệ capsule và lớp chắn bật hơi bên trong.



Hình 5.5 Micro điện động cầm tay Shure SM58 với đầu lưới cầu.

Nguồn: Autom, CC BY-SA 4.0, Wikimedia Commons (truy cập 05/11/2026).

Bảng 5.2 Các dòng micro điện động kinh điển và lý do kỹ thuật khiến chúng trở thành chuẩn nghề

Hãng và dòng máy	Năm ra đời	Đặc điểm kỹ thuật nổi bật	Vị trí trong nghề
Shure SM57	1965	Đầu nhỏ, nhấn 5 – 7 kHz, chịu SPL rất cao	Chuẩn thu trống snare và loa amply guitar trên toàn thế giới
Shure SM58	1966	Cùng capsule với SM57, thêm lưới cầu và lớp lọc bật hơi	Micro cầm tay được bán nhiều nhất trong lịch sử
Shure SM7B	1973, bản B từ 2001	Chắn từ tốt, ba nấc chỉnh đáp tuyến, lọc gió lớn	Chuẩn thu lời bình và podcast hiện nay
Sennheiser MD421	1960	Năm nấc cắt trầm trên thân, màng lớn	Thường dùng trong phát thanh và thu tom trống
Sennheiser MD441	1971	Siêu cardioid, đáp tuyến gần phẳng — hiếm có ở họ điện động	Được coi là micro điện động chính xác nhất từng sản xuất
Electro-Voice RE20	1968	Variable-D, gần như không có hiệu ứng gần	Chuẩn phòng phát thanh và thu giọng đọc
AKG D112	1993	Màng lớn, đáp tuyến nhấn 60 – 100 Hz và 4 kHz	Chuẩn thu trống lớn
Beyerdynamic M88	1962	Siêu cardioid, đáp tuyến rộng bất thường	Thu giọng hát và trống lớn trong phòng thu
Sennheiser e906	2002	Thân dẹt treo trước loa không cần chân, ba nấc đáp tuyến	Thu loa amply guitar trên sân khấu

5.1.7 Bảo quản và sự cố thường gặp

Bảng 5.3 Sự cố thường gặp ở micro điện động: triệu chứng, nguyên nhân và cách xử lý

Triệu chứng	Nguyên nhân thường gặp	Cách xử lý
Không có tiếng, đo thông mạch không thông	Đứt cuộn dây âm do va đập mạnh hoặc do ăn mòn	Thay capsule; cuộn dây không quấn lại được tại chỗ
Tiếng nhỏ hẳn và mỏng đi so với chiếc cùng loại	Nam châm bị suy giảm do nhiệt hoặc va đập; hoặc màng bị thủng nhỏ	Soi màng dưới đèn; nếu nam châm yếu thì phải thay bộ từ
Tiếng rè, lạo xạo khi rung nhẹ micro	Mạt sắt bám vào khe từ khi tháo lưới ở nơi bụi kim loại	Tháo capsule, dùng băng dính dẻo lấy mạt ra; không dùng khí nén
Tiếng bí, mất dải cao dần theo thời gian	Lưới chắn và lớp lọc bọt xốp bám bẩn, nước bọt khô đóng cặn	Tháo lưới, ngâm nước ấm pha xà phòng loãng, phơi khô hoàn toàn
Hú rất dễ dù đặt đúng vị trí	Người dùng bịt tay quanh lưới, che lỗ trễ âm	Hướng dẫn lại tư thế cầm — nắm thân, không nắm lưới
Tiếng ù 50 Hz khi đứng gần đèn hoặc biến áp	Cuộn dây cảm ứng từ trường tản của thiết bị điện	Đổi vị trí hoặc hướng micro; chọn mẫu có chắn từ như SM7B
Tiếng ọc ọc, tiếng gió khi thu ngoài trời	Chưa có chắn gió phù hợp với tốc độ gió thực tế	Dùng chắn gió lông, không dùng bọt xốp mỏng khi gió mạnh

Về bảo quản, micro điện động là họ ít đòi hỏi nhất: không cần tủ chống ẩm, không chịu ảnh hưởng của nguồn phantom và không nhạy với nhiệt độ phòng. Cần giữ ba điều: để micro trong hộp có đệm khi vận chuyển, không tháo lưới ở nơi có bụi kim loại và vệ sinh lớp lọc định kỳ với micro dùng chung nhiều người.

5.1.8 Micro điện dung — nguyên lý và phương trình

Một màng rung cực mỏng được đặt song song và rất gần một bản cực kim loại cố định. Hai bản này tạo thành một tụ điện phẳng có điện dung:

$$C = \frac{\varepsilon_0 S}{d} \quad \text{(F)} \tag{5.3}$$

Trong đó S là diện tích đối diện của hai bản và d là khoảng cách giữa chúng. Khe khí d chỉ khoảng 20 – 50 micromet, mỏng hơn sợi tóc người. Sóng âm làm màng dịch chuyển, d thay đổi và điện dung thay đổi theo. Vì tụ được nạp qua một điện trở rất lớn cỡ gigaôm nên điện tích trên tụ gần như không kịp thay đổi, và hệ quả là hiệu điện thế giữa hai bản biến thiên:

$$\Delta v = -E_0 \frac{\Delta d}{d_0} \quad , \quad E_0 = \frac{Q}{C_0} \tag{5.4}$$

Trong đó E_0 là điện áp phân cực đặt sẵn, d_0 là khe khí ở trạng thái nghỉ, và Δd là độ dịch chuyển của màng. Đây là điểm khác biệt bản chất so với micro điện động: điện áp ra tỷ lệ với *độ dịch chuyển* của màng, không phải với vận tốc.

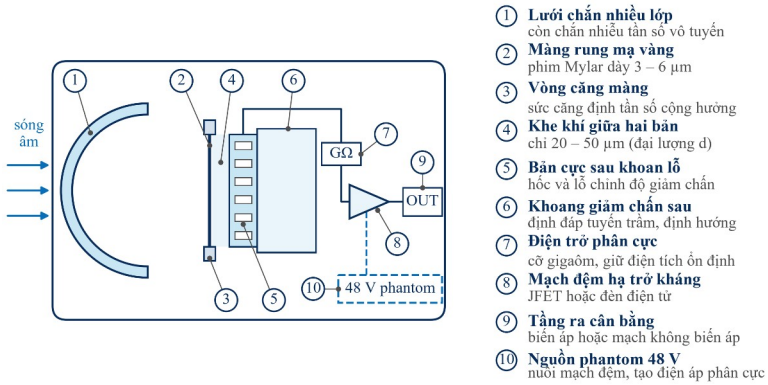
Hệ quả quan trọng là nếu màng rung đủ nhẹ và hệ treo được thiết kế sao cho vùng làm việc nằm dưới tần số cộng hưởng, độ dịch chuyển của màng tỷ lệ trực tiếp với áp suất âm ở mọi tần số. Do đó đáp tuyến phẳng là đặc tính tự nhiên của micro điện dung, không cần chỉnh sửa bằng khoang cộng hưởng như ở micro điện động.

Ưu điểm này phải đánh đổi bằng trở kháng: điện dung của một capsule chỉ khoảng 20 – 60 picofarad, nên trở kháng của nó ở dải trầm là:

$$|Z_c| = \frac{1}{2\pi f C} \quad ; \quad C \approx 20\text{–}60 \text{ pF} \tag{5.5}$$

Ở tần số 50 Hz với điện dung 30 pF, trở kháng lên tới hơn một trăm megaôm. Không đoạn cáp nào tải nổi một nguồn có trở kháng như vậy, và chỉ vài centimet dây đã đủ làm mất hết dải trầm. Vì thế micro điện dung phải có một mạch đệm hạ trở kháng đặt ngay sát capsule, và mạch đó cần có nguồn nuôi; các yêu cầu về nguồn 48 V phantom bắt nguồn từ chính con số trở kháng này.

5.1.9 Cấu tạo chi tiết từng bộ phận



Hình 5.6 Mặt cắt lớp của một micro điện dung với đầy đủ các bộ phận và vật liệu chế tạo

- **Màng rung.** Phim Mylar dày chỉ 3 – 6 micromet, được phủ một lớp vàng dày vài trăm nanomet bằng phương pháp phún xạ để dẫn điện. Một số mẫu cao cấp dùng lá nickel nguyên chất. Màng mỏng đến mức chỉ cần chạm nhẹ bằng ngón tay là hỏng vĩnh viễn.
- **Vòng căng màng.** Màng được căng lên vòng kim loại với sức căng được kiểm soát chặt chẽ. Sức căng quyết định tần số cộng hưởng của màng, và tần số này được đặt ở dải rất cao (thường 8 – 15 kHz), khác với micro điện động có tần số cộng hưởng nằm ở giữa dải.
- **Bản cực sau.** Đây là bộ phận tinh xảo nhất của micro. Bản cực không phải một tấm phẳng trơn mà có các hốc và lỗ khoan với đường kính, độ sâu và cách bố trí được tính toán kỹ, vì lớp khí bị nén giữa màng và bản cực đóng vai trò giảm chấn cho hệ. Nhà sản xuất điều chỉnh đáp tuyến chủ yếu bằng cách thay đổi các lỗ này.
- **Khoang giảm chấn phía sau.** Khoang này quyết định đáp tuyến dải trầm và đồ thị định hướng, tương tự vai trò của khoang sau ở micro điện động.

– **Điện trở phân cực.** Điện trở cỡ gigaôm giữ cho điện tích trên capsule gần như không đổi trong suốt chu kỳ dao động, và giá trị của nó cùng điện dung capsule ấn định điểm cắt trầm của micro.
– **Mạch đệm và tầng ra.** Mạch được đặt càng gần capsule càng tốt, dùng JFET hoặc đèn điện tử. Tầng này, chứ không phải màng rung, quyết định phần lớn self-noise và mức áp suất tối đa mà micro chịu được.

LƯU Ý 5.2

Không thổi vào micro điện dung để thử. Luồng hơi mang nước bọt vào khe khí 20 micromet, gây phóng điện thành tiếng lốp bốp và về lâu dài làm hỏng lớp mạ vàng trên màng. Để kiểm tra micro, nên nói vào micro hoặc vỗ tay nhẹ ở cách vài gang tay.

5.1.10 Ba cách phân loại micro điện dung

Catalogue của các hãng dùng ba trục phân loại chồng lên nhau nên người mới tiếp cận thường khó phân biệt. Ba trục này độc lập với nhau: một micro có thể đồng thời là loại màng lớn, electret và dùng JFET.

Hình 5.7 cho thấy một micro điện dung màng lớn được treo trên giá giảm chấn và đặt sau lưới chắn bật hơi trong phòng thu có tấm tiêu âm.



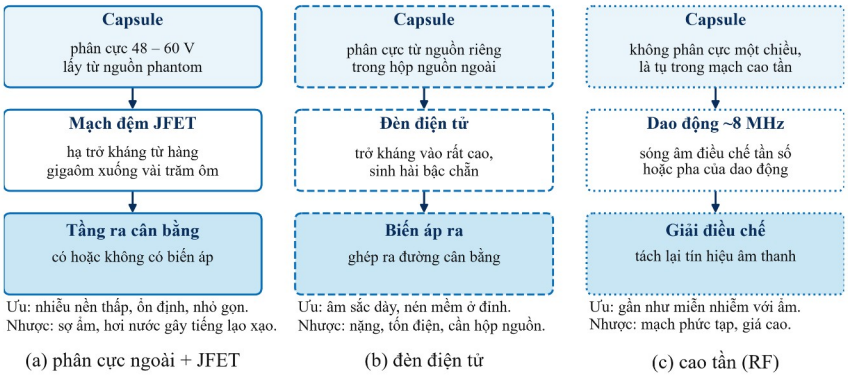
Hình 5.7 Micro điện dung màng lớn trên giá treo giảm chấn, kèm lưới chắn bật hơi.

Nguồn: Lucasbosch, CC BY-SA 3.0, Wikimedia Commons (truy cập 05/11/2026).

Trục thứ nhất: kích thước màng. Màng đường kính từ khoảng 25 mm trở lên là màng lớn. Diện tích lớn thu được nhiều năng lượng hơn nên cho tỷ số tín hiệu trên nhiễu cao và tiếng dày; đổi lại, khối lượng màng lớn hơn làm đồ thị định hướng kém ổn định theo tần số. Màng nhỏ khoảng 12 – 16 mm cho đáp tuyến phẳng hơn và đồ thị định hướng ổn định hơn, vì vậy micro đo lường, micro shotgun và micro thu dàn nhạc đều dùng màng nhỏ.

Trục thứ hai: cách tạo điện áp phân cực. Loại phân cực ngoài lấy điện áp 48 – 60 V từ nguồn phantom để nạp cho bản cực. Loại electret có sẵn một lớp vật liệu giữ điện tích vĩnh viễn ngay trên bản cực hoặc trên màng, nên nguồn 48 V chỉ còn nhiệm vụ nuôi mạch đệm. Electret thế hệ đầu có chất lượng kém, nhưng electret hiện đại, nhất là loại back-electret đặt lớp giữ điện tích trên bản cực thay vì trên màng, đã đạt chất lượng tương đương loại phân cực ngoài.

Trục thứ ba: kiểu mạch. Ba kiểu mạch cho ba đặc tính kỹ thuật khác nhau rõ rệt, được trình bày ở hình dưới đây.

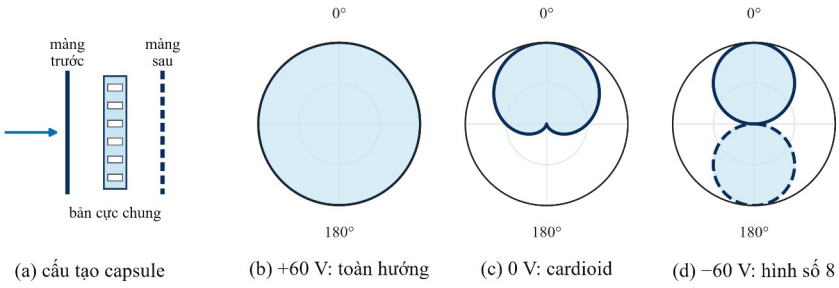


Hình 5.8 Ba kiểu mạch của micro điện dung: phân cực ngoài với JFET, đèn điện tử, và cao tần

Kiểu cao tần cần được chú ý riêng vì ít được biết đến ở Việt Nam. Trong kiểu này, capsule không được phân cực một chiều mà đóng vai trò tụ điện trong một mạch dao động cao tần khoảng 8 MHz; sóng âm làm điện dung thay đổi và do đó điều chế tần số của dao động, sau đó mạch giải điều chế tách lại tín hiệu âm thanh. Vì không có điện áp một chiều lớn trên khe khí nên hơi ẩm không gây phóng điện, nhờ đó micro shotgun dùng ngoài trời của dòng Sennheiser MKH bền hơn hẳn trong điều kiện khí hậu nóng ẩm như Việt Nam [13].

5.1.11 Capsule hai màng và đồ thị định hướng đổi được

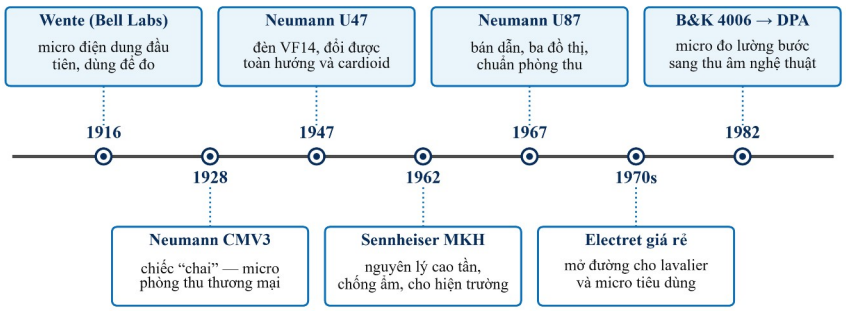
Nhiều micro phòng thu cho phép chuyển giữa toàn hướng, cardioid và hình số 8 bằng một công tắc. Cơ chế phía sau hoàn toàn thuộc về điện và không có chi tiết cơ khí nào chuyển động.



Hình 5.9 Capsule hai màng: đổi đồ thị định hướng bằng cách đổi điện áp phân cực đặt lên màng sau

Capsule gồm hai màng đặt hai bên một bản cực chung, trong đó màng trước luôn được phân cực. Điện áp đặt lên màng sau quyết định đồ thị định hướng: khi cùng dấu và cùng độ lớn thì hai tín hiệu cộng lại, cho đồ thị toàn hướng; khi bằng không thì chỉ màng trước làm việc, cho cardioid; khi ngược dấu thì hai tín hiệu trừ nhau, cho hình số 8. Điện áp trung gian cho các dạng ở giữa như supercardioid và hypercardioid.

5.1.12 Lịch sử phát triển và những dòng máy kinh điển



Hình 5.10 Các mốc phát triển của micro điện dung

Về mặt lịch sử, micro điện dung ra đời từ nhu cầu đo lường âm thanh trong phòng thí nghiệm của Bell Labs, rồi mới bước sang lĩnh vực nghệ thuật. Vì vậy đáp tuyến phẳng và tính trung thực luôn là giá trị cốt lõi của họ micro này, khác với micro điện động vốn sinh ra từ nhu cầu truyền thanh và luôn mang tính "tạo âm sắc".

Bảng 5.4 Các dòng micro điện dung kinh điển và lý do kỹ thuật khiến chúng trở thành chuẩn nghề

Hãng và dòng máy	Năm ra đời	Đặc điểm kỹ thuật nổi bật	Vị trí trong nghề
Neumann U47	1947	Màng lớn, đèn VF14, đổi được toàn hướng và cardioid	Micro giọng hát huyền thoại; bản gốc nay là đồ sưu tầm
Neumann U67	1960	Đèn EF86, ba đồ thị, có bộ cắt trầm và nút giảm 10 dB	Được coi là micro đèn cân bằng nhất từng sản xuất
Neumann U87	1967, bản Ai từ 1986	Bán dẫn, ba đồ thị, màng lớn K87	Chuẩn tham chiếu của phòng thu trên toàn thế giới
Neumann KM84 và KM184	1966 và 1993	Màng nhỏ, cardioid, thân bút chì	Chuẩn thu nhạc cụ mộc và dàn nhạc
AKG C414	1971 và nhiều bản sau	Chín đồ thị định hướng, nhiều nấc cắt trầm và giảm mức	Micro đa dụng phổ biến nhất trong phòng thu
Schoeps CMC + capsule rời	từ 1973	Hệ mô-đun: một thân dùng chung nhiều capsule	Thường dùng thu nhạc cổ điển
Sennheiser MKH 416	1970s	Cao tần, shotgun, cực bền với ẩm	Thường dùng thu giọng nói ngoài trời
Sennheiser MKH 50	1990s	Cao tần, siêu cardioid, đáp tuyến rất phẳng	Thu giọng nói trong phòng kín — nơi shotgun cho kết quả kém
DPA 4006 (tiền thân B\&K)	1982	Toàn hướng, gốc là micro đo lường, đáp tuyến chuẩn phòng đo	Thu dàn nhạc và làm micro tham chiếu khi hiệu chuẩn
DPA 4060 và dòng lavalier	1990s	Electret siêu nhỏ, self-noise thấp bất thường so với kích thước	Micro cài áo (lavalier) dùng phổ biến

Hãng và dòng máy	Năm ra đời	Đặc điểm kỹ thuật nổi bật	Vị trí trong nghề
Sanken CS-3e	1990s	Ba capsule xếp dọc thay cho ống giao thoa	Shotgun giữ được đáp tuyến đều khi nguồn âm lệch trục

5.1.13 Bảo quản và sự cố thường gặp

Bảng 5.5 Sự cố thường gặp ở micro điện dung: triệu chứng, nguyên nhân và cách xử lý

Triệu chứng	Nguyên nhân thường gặp	Cách xử lý
Tiếng lốp bốp, phóng điện ngẫu nhiên	Ẩm đọng trong khe khí giữa màng và bản cực	Để micro vào tủ chống ẩm 40 – 50 % trong vài giờ, không dùng máy sấy
Nhiễu nền tăng dần theo tháng, tiếng xì rõ	Bụi và nấm mốc bám trên màng; hoặc mạch đệm lão hóa	Gửi hãng vệ sinh capsule; không tự tháo — màng 5 µm không chịu được thao tác tay
Không có tín hiệu dù đã bật phantom	Cáp đứt một chấu; hoặc bàn trộn không đủ dòng phantom cho nhiều micro cùng lúc	Thử cáp khác và thử cắm riêng một micro; đo điện áp phantom thực tế
Tiếng méo ở nguồn âm to dù chưa quá Max SPL	Chưa bật nút giảm mức trên thân micro	Bật nút giảm 10 dB hoặc 20 dB; nút này đặt trước mạch đệm
Đáp tuyến trầm hụt hẳn so với thông số	Điện trở phân cực bị rò do ẩm hoặc bụi dẫn điện	Sấy khô trong tủ chống ẩm; nếu không cải thiện thì phải thay mạch
Tiếng ù và tiếng rít khi có điện thoại đặt gần	Lưới chắn cao tần kém hoặc cáp không đủ chắn	Đổi cáp có lưới bện đôi; giữ điện thoại cách micro trên một mét
Micro đèn có tiếng ồn tăng theo thời gian dùng	Đèn điện tử đã hết tuổi thọ	Thay đèn đúng chủng loại và cho hãng hiệu chuẩn lại

LƯU Ý 5.3

Ở khí hậu Việt Nam, tủ chống ẩm là thiết bị bắt buộc đối với micro điện dung. Độ ẩm khuyến nghị là 40 – 50 %, vì môi trường khô hơn sẽ làm giòn các chi tiết phi kim và làm tích điện tĩnh.

Không rút hoặc cắm cáp khi phantom đang bật. Xung điện áp lúc chấu tiếp xúc chập chờn có thể phá hỏng mạch đệm, và tiếng bụp lớn qua loa kiểm tra cũng đủ làm hỏng loa tần số cao.

5.1.14 So sánh trực tiếp hai họ

Bảng 5.6 Micro điện động và micro điện dung — so sánh theo mười tiêu chí nghề nghiệp

Tiêu chí	Micro điện động	Micro điện dung
Đại lượng sinh ra điện áp	Vận tốc của cuộn dây	Độ dịch chuyển của màng
Nguồn nuôi	Không cần	Bắt buộc — 48 V phantom hoặc nguồn riêng
Khối lượng bộ phận chuyển động	Lớn — màng dày 25 – 35 µm cộng cuộn dây	Rất nhỏ — chỉ màng dày 3 – 6 µm
Độ nhạy điển hình	1,5 – 3 mV/Pa	8 – 25 mV/Pa
Đáp tuyến tự nhiên	Phải hiệu chỉnh bằng khoang cộng hưởng phụ	Phẳng tự nhiên trên toàn dải nghe được
Đáp ứng xung	Chậm — làm mềm các đỉnh	Nhanh — bám sát chi tiết
Self-noise	Không công bố; thực tế rất thấp	7 – 26 dB-A tùy loại, do mạch đệm quyết định
Chịu áp suất	Rất cao, thường trên 150 dB	Cao nhưng có giới hạn; cần nút giảm mức
Nhạy cảm với môi trường	Gần như miễn nhiễm với ẩm và nhiệt	Sợ ẩm; cần tủ chống ẩm; loại cao tần thì bền hơn nhiều
Phạm vi sử dụng	Hiện trường khắc nghiệt, nguồn âm to, sân khấu	Thu giọng nói, phòng thu, đo lường, mọi việc cần chi tiết

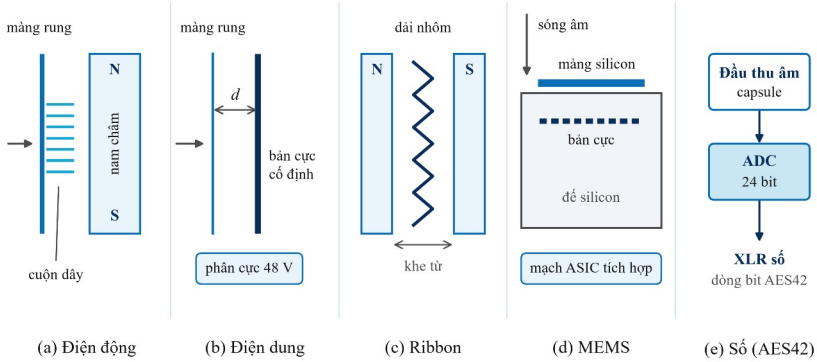
GHI NHỚ 5.1

Việc chọn giữa hai họ micro dựa trên ba câu hỏi: nguồn âm to hay nhỏ, môi trường khắc nghiệt hay được kiểm soát, và cần chi tiết hay cần độ dày.

Micro điện động phù hợp hơn khi áp suất rất cao, môi trường ẩm và bụi, hoặc khi cần một âm sắc dày sẵn. Micro điện dung phù hợp hơn ở những tình huống cần độ trung thực và dải động rộng, chẳng hạn thu giọng nói.

5.2 Ribbon, MEMS và micro số chuẩn AES42

Ba họ microphone còn lại không phổ biến bằng hai họ ở mục trước, nhưng mỗi họ giữ một vị trí riêng mà hai họ kia không thay thế được. Mục này trình bày ngắn gọn từng họ, rồi khép lại bằng bảng so sánh cả năm họ và hướng dẫn chọn micro theo tình huống thu âm.



Hình 5.11 Mặt cắt cấu tạo năm họ microphone đặt cạnh nhau, cùng tỷ lệ

5.2.1 Micro ribbon

Thay cho cuộn dây, bộ phận chuyển động là một dải nhôm gấp nếp dày chỉ vài micromet, treo tự do trong khe của một mạch từ mạnh. Dải nhôm vừa đóng vai trò màng rung vừa đóng vai trò dây dẫn: nó chuyển động trong từ trường và tự sinh ra điện áp theo phương trình (5.1). Về bản chất, ribbon là micro điện động có cuộn dây rút gọn thành một vòng duy nhất.

Hình 5.12 cho thấy một micro ruy-băng chủ động trên giá kẹp; phần lưới hình trụ che dải nhôm mỏng đặt giữa hai cực từ.



Hình 5.12 Micro ruy-băng Royer R-122 đặt trên giá kẹp trong phòng thu.

Nguồn: Alex Regan, CC BY 2.0, Wikimedia Commons (truy cập 05/11/2026). (đã cắt)

Vì dải nhôm hở cả hai mặt nên ribbon có đồ thị định hướng hình số 8 một cách tự nhiên, không cần khoang trễ âm như micro điện động thông thường. Khối lượng của dải nhôm nhỏ hơn nhiều so với cuộn dây nhưng vẫn lớn hơn màng điện dung, nên đáp ứng xung của ribbon nằm giữa hai họ kia.

Đặc điểm được giới phòng thu đánh giá cao nhất là đáp tuyến ở dải 5 – 10 kHz dịu xuống một cách tự nhiên, làm mềm những nguồn âm chói như kèn đồng, guitar điện méo và giọng hát gắt. Hiệu ứng này khó được bộ lọc số mô phỏng lại, vì nó không chỉ là một đường cong đáp tuyến mà còn phản ánh cách hệ cơ học phản ứng với từng đỉnh áp suất.

Về thương hiệu, RCA 44 và RCA 77 của thập niên 1930 – 1950 là các thiết kế gốc; ngày nay Royer R-121, AEA R84, Coles 4038 và Beyerdynamic M160 là những dòng thông dụng. Nhiều mẫu hiện đại có thêm mạch chủ động bên trong và các mẫu đó cần nguồn phantom, trái với ribbon cổ điển.

LƯU Ý 5.4

Điện áp 48 V phantom đặt sai cực có thể làm đứt dải nhôm của micro ribbon cổ điển chỉ trong một lần cắm. Nguyên tắc an toàn là tắt phantom trước khi cắm hoặc rút, và chỉ bật khi nhà sản xuất ghi rõ micro có mạch chủ động.

Ribbon rất nhạy với gió: một luồng gió mạnh, thậm chí hơi thở ở khoảng cách gần, có thể làm giãn vĩnh viễn dải nhôm. Khi cất giữ và vận chuyển, cần để micro theo đúng tư thế nhà sản xuất chỉ dẫn, thường là treo đứng, để dải nhôm không võng xuống theo thời gian.

5.2.2 Micro MEMS

MEMS là chữ viết tắt của Micro Electro-Mechanical Systems (hệ vi cơ điện tử). Toàn bộ màng rung, bản cực và mạch đệm được chế tạo trên một phiến silicon bằng chính công nghệ sản xuất vi mạch. Về nguyên lý, MEMS vẫn là micro điện dung, và điểm khác biệt nằm ở phương pháp chế tạo.

Phương pháp này mang lại hai ưu thế mà micro truyền thống không có. Ưu thế thứ nhất là kích thước: một micro MEMS chỉ vài milimét vuông, đủ nhỏ để giấu trong gọng kính, cúc áo hoặc xếp thành mảng hàng chục đơn vị. Ưu thế thứ hai là tính đồng nhất: các micro cắt ra từ cùng một phiến silicon có độ nhạy sai khác nhau dưới 1 dB, trong khi micro truyền thống thường lệch ±2 đến ±3 dB. Tính đồng nhất này cho phép làm mảng micro định hướng bằng thuật toán, hiện có trong mọi điện thoại thông minh và mọi hệ hội nghị truyền hình.

Giới hạn của MEMS nằm ở self-noise, thường trong khoảng 26 – 32 dB-A, cao hơn hẳn micro chuyên dụng, nên mức nhiễu nền này khó chấp nhận với bản thu giọng nói trong phòng yên tĩnh. Các hãng chính trong lĩnh vực này là Knowles, Infineon, TDK InvenSense và Cirrus Logic, đều là hãng bán dẫn thay vì hãng thiết bị âm thanh.

5.2.3 Micro số chuẩn AES42

Ở mọi họ kể trên, tín hiệu ra là tín hiệu tương tự và phải chạy qua một đoạn cáp trước khi được số hóa. Đoạn cáp này là nơi tín hiệu dễ nhiễm nhiễu nhất trong toàn bộ dây chuyền, đặc biệt khi mức tín hiệu micro rất thấp. Chuẩn AES42 giải quyết vấn đề bằng cách đặt luôn bộ biến đổi tương tự sang số vào trong thân micro, do đó đầu ra của micro đã là dòng bit [6].

Đi kèm với tín hiệu số là một kênh điều khiển hai chiều, cho phép người vận hành đặt gain, bật bộ cắt trầm, đổi đồ thị định hướng và đọc trạng thái của micro ngay từ bàn trộn mà không cần chạm vào micro. Nguồn nuôi trong chuẩn này là 10 V, gọi là digital phantom power, khác với 48 V quen thuộc. Neumann và Schoeps là hai hãng có dòng sản phẩm AES42 đầy đủ nhất.

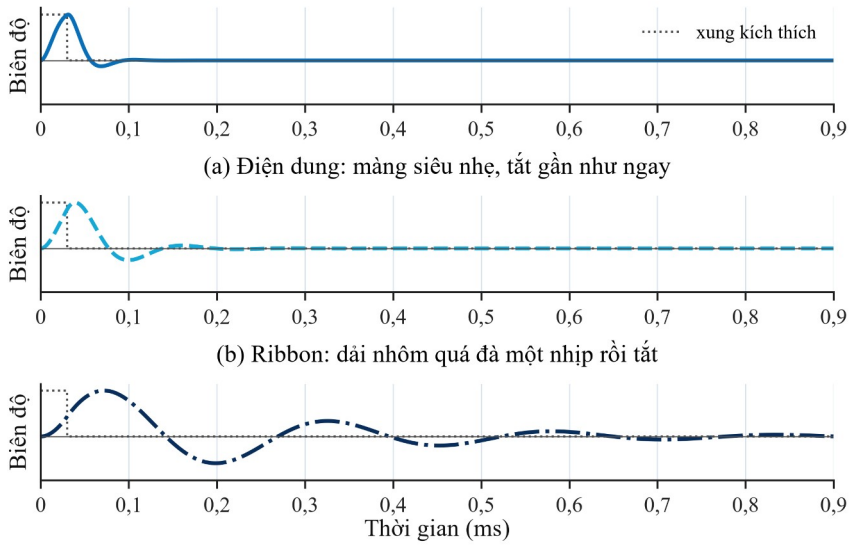
Micro AES42 hiện chủ yếu xuất hiện trong phòng thu lớn, nhà hát và hệ phát thanh, nơi khoảng cách từ micro tới phòng máy dài và môi trường nhiều nhiễu điện. Người đọc cần biết chuẩn này tồn tại để tránh nhầm lẫn khi gặp micro có đầu ra XLR nhưng cắm vào preamp thông thường thì không có tín hiệu.

5.2.4 So sánh năm họ và đáp ứng xung

Bảng 5.7 So sánh năm họ microphone theo tám tiêu chí nghề nghiệp

Tiêu chí	Điện động	Điện dung	Ribbon	MEMS	AES42
Nguyên lý	Cảm ứng điện từ	Biến thiên điện dung	Cảm ứng điện từ trên dải nhôm	Điện dung trên phiến silicon	Điện dung + ADC tích hợp
Nguồn nuôi	Không cần	48 V phantom	Thường không cần	1,8 – 3,3 V một chiều	10 V theo chuẩn AES42
Đáp ứng xung	Chậm nhất	Nhanh nhất	Trung bình	Nhanh	Nhanh
Chịu áp suất	Rất cao, trên 150 dB	Cao, 120 – 140 dB tùy mẫu	Trung bình, khoảng 135 dB	Thấp, 120 – 130 dB	Cao, 130 – 140 dB
Self-noise điển hình	—	7 – 18 dB-A	15 – 20 dB-A	26 – 32 dB-A	7 – 15 dB-A
Độ bền	Rất cao	Trung bình, sợ ẩm	Thấp, sợ gió và phantom sai	Cao	Trung bình
Giá tham khảo	Thấp đến trung bình	Trung bình đến rất cao	Cao đến rất cao	Rất thấp	Rất cao
Ứng dụng đặc trưng	Phỏng vấn ngoài trời, thu trống, loa amply	Thu giọng nói, thu nhạc cụ, đo lường	Kèn đồng, guitar điện, giọng hát trong phòng thu	Điện thoại, tai nghe, mảng micro, lavalier siêu nhỏ	Phòng thu lớn, nhà hát, hệ phát thanh

Khái niệm đáp ứng xung được nhắc lại ở đây theo nghĩa đơn giản nhất: dạng điện áp ra của micro khi đưa vào một xung áp suất cực ngắn. Micro lý tưởng trả về đúng một xung ngắn rồi dừng, còn micro thực luôn dao động thêm một lúc sau khi xung đã đi qua, vì bộ phận chuyển động có khối lượng và quán tính.



Hình 5.13 Đáp ứng xung của micro điện dung, ribbon và điện động trên cùng một trục thời gian

Hình 5.13 cho thấy rõ thứ tự: màng điện dung siêu nhẹ bám sát xung rồi tắt gần như ngay; dải nhôm của ribbon quá đà một nhịp rồi tắt; cuộn dây nặng của micro điện động còn dao động thêm nhiều nhịp nữa. Chính phần dao động dư đó là cái tai nghe được như "tiếng dày", "tiếng tròn" hoặc "thiếu chi tiết", tùy góc nhìn.

5.2.5 Chọn micro theo tình huống thu âm

Bảng dưới đây tổng hợp toàn bộ mục 5.1 và 5.2 thành công cụ tra cứu nhanh.

Hình 5.14 cho thấy một micro cài áo cỡ nhỏ có kẹp gắn vào trang phục, nối với bộ chuyển đổi ra đầu cắm 3,5 mm.



Hình 5.14 Micro cài áo (lavalier) có kẹp và bộ chuyển đổi đầu cắm.

Nguồn: Katie Chan, CC BY-SA 3.0, Wikimedia Commons (truy cập 05/11/2026).

Bảng 5.8 Bảng tra chọn micro theo tình huống thu âm

Tình huống	Họ micro nên dùng	Dòng máy tham khảo	Ghi chú đặt micro
Thu giọng nói trong phòng kín	Điện dung màng nhỏ, siêu cardioid	Sennheiser MKH 50, Schoeps CMC + MK41	Đặt micro phía trên, chếch về phía miệng người nói
Thu giọng nói ngoài trời	Điện dung cao tần, shotgun	Sennheiser MKH 416, Sanken CS-3e	Cần có chắn gió lông
Phỏng vấn hiện trường ồn và nhiều gió	Điện động cầm tay	Shure SM58, Sennheiser MD46	Cầm cách miệng 10 – 15 cm; không nắm vào lưới
Thu lời bình trong phòng cách âm	Điện động Variable-D hoặc điện dung màng lớn	Electro-Voice RE20, Shure SM7B, Neumann U87	Có màn chắn bật hơi; giữ khoảng cách cố định suốt buổi
Thu trống và nhạc cụ gõ mạnh	Điện động đầu nhỏ và điện động màng lớn	Shure SM57, Sennheiser MD421, AKG D112	Đặt sát mặt trống; chú ý pha giữa các micro
Thu kèn đồng và guitar điện méo	Ribbon	Royer R-121, Coles 4038	Đặt lệch trục để giảm chói; tắt phantom nếu là ribbon cổ điển
Thu dàn nhạc và hợp xướng	Điện dung màng nhỏ, toàn hướng hoặc cardioid	DPA 4006, Neumann KM184, Schoeps CMC	Cặp stereo treo cao; đo khoảng cách hai micro chính xác
Thu tiếng động và tiếng phòng	Điện dung màng nhỏ có self-noise rất thấp	Sennheiser MKH 8020, DPA 4006	Ghi một đoạn đủ dài ở mỗi địa điểm
Bàn tròn, hội thảo, tọa đàm	Điện dung biên (boundary)	Shure MX392, Crown PZM	Đặt giữa mặt bàn; một micro cho hai đến ba người

GHI NHỚ 5.2

Không có họ microphone nào tốt hơn họ khác một cách tuyệt đối. Mỗi họ có một đường cong đáp ứng riêng, và công việc của người làm âm thanh là chọn đường cong phù hợp với nguồn âm cụ thể.

Trước khi chọn micro cần trả lời ba câu hỏi: nguồn âm to hay nhỏ, môi trường ồn hay yên, và micro có thể đặt gần nguồn âm đến mức nào.

5.3 Đọc thông số kỹ thuật microphone — tám đại lượng

Mọi microphone bán trên thị trường đều đi kèm một bảng thông số. Người mới vào nghề thường chỉ xem hai dòng là dải tần và giá, trong khi người làm nghề đọc đủ tám đại lượng, vì mỗi đại lượng trả lời một câu hỏi khác nhau của công việc. Mục này trình bày lần lượt tám đại lượng đó, kèm câu hỏi nghề nghiệp tương ứng.

5.3.1 Độ nhạy

Độ nhạy cho biết microphone sinh ra bao nhiêu điện áp khi chịu một áp suất âm chuẩn. Áp suất chuẩn được lấy là 1 pascal, tương đương 94 dB SPL, mức của

một giọng nói bình thường ở khoảng cách một gang tay. Đơn vị thường gặp là milivôn trên pascal.

Nhiều catalogue ghi độ nhạy theo decibel so với 1 vôn trên pascal. Hai cách ghi quy đổi cho nhau theo công thức:

$$L_{\text{dBV/Pa}} = 20\log_{10}\frac{S_{\text{mV/Pa}}}{1000} \quad \text{(dBV/Pa)} \tag{5.6}$$

Ví dụ: microphone có độ nhạy 10 mV/Pa tương đương −40 dBV/Pa. Giá trị điển hình của micro điện dung nằm trong khoảng 8 – 25 mV/Pa; micro điện động thấp hơn nhiều, thường 1,5 – 3 mV/Pa như đã trình bày ở mục 5.1.1.

Cần lưu ý dung sai chế tạo: nhà sản xuất thường ghi ±2 dB hoặc ±3 dB, nên hai microphone cùng model có thể chênh nhau tới 6 dB ở trường hợp xấu nhất, đủ để một cặp stereo bị lệch hẳn về một bên nếu không được kiểm tra trước. Đó cũng là lý do micro MEMS với dung sai dưới 1 dB có vai trò quan trọng khi xây dựng mảng micro.

5.3.2 Self-noise

Self-noise, còn gọi là mức nhiễu tương đương, là tiếng ồn do chính microphone sinh ra khi đặt trong một môi trường hoàn toàn im lặng. Nguồn gốc của nó là chuyển động nhiệt của phân tử khí quanh màng và nhiễu của mạch điện tử bên trong, chính là mạch đệm đã nói ở mục 5.1.9; vì vậy đây là thông số quan trọng nhất đối với microphone thu thoại.

Có hai thang đo và phải phân biệt rõ:

- **Thang A (dB-A).** Trọng số theo cảm nhận của tai người ở mức nghe nhỏ, là con số hầu hết catalogue công bố; dưới 15 dB-A là tốt, và micro màng lớn phòng thu tốt đạt khoảng 7 dB-A.
- **Thang ITU-R BS.468-4.** Trọng số nhấn mạnh dải 5 – 8 kHz, nơi tai nhạy nhất với tiếng xì, nên con số theo thang này luôn cao hơn thang A khoảng 11 – 12 dB và mức dưới 25 – 30 dB là tốt. Khi so sánh hai microphone, phải bảo đảm đang so cùng một thang [7].

Khi microphone nối với một preamp, sàn nhiễu tổng là tổng năng lượng của hai nguồn nhiễu độc lập, cộng theo quy tắc cộng mức đã học ở Chương 1:

$$L_{\Sigma} = 10\log_{10}\left(10^{L_{\text{mic}}/10} + 10^{L_{\text{pre}}/10}\right) \quad \text{(dB-A)} \tag{5.7}$$

5.3.3 Mức áp suất âm tối đa

Max SPL là mức áp suất mà microphone chịu được trước khi méo vượt ngưỡng cho phép, nên con số này chỉ có nghĩa khi đi kèm mốc méo. Nhà sản xuất nghiêm túc luôn công bố hai mốc:

- Tại THD 1%: ngưỡng bắt đầu nghe thấy méo, là mốc dùng để tính dải động và để quyết định trong công việc.
- Tại THD 10%: giá trị cực đại trước khi tín hiệu hỏng hẳn, thường trên 140 dB, là con số dùng để quảng cáo.

Một microphone ghi "Max SPL 140 dB" mà không nêu mốc méo thì thông số ấy không có ý nghĩa, vì vậy khi so sánh hai microphone phải quy cả hai về cùng một mốc.

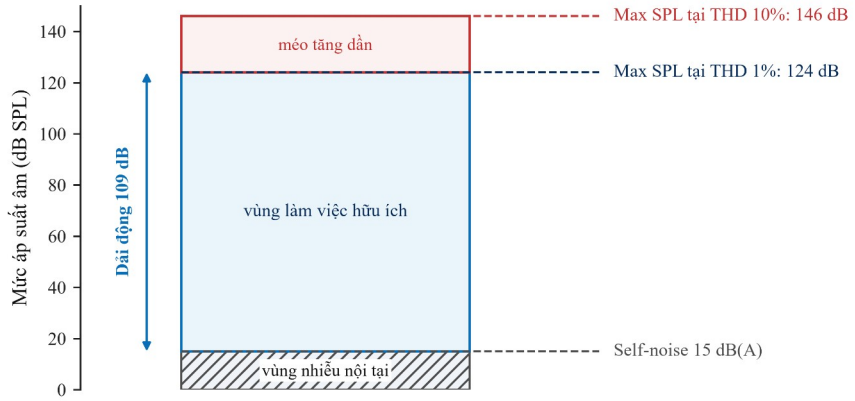
5.3.4 Tổng méo hài

Tổng méo hài, viết tắt THD, là tỷ lệ năng lượng nằm ở các hài không có trong tín hiệu gốc so với năng lượng của tín hiệu gốc. Microphone càng bị đẩy tới giới hạn thì THD càng tăng, ban đầu chậm rồi tăng vọt sau một điểm gãy. Chính vì đường cong có điểm gãy nên nhà sản xuất chọn hai mốc 1% và 10% để mô tả: mốc thứ nhất nằm trước điểm gãy, mốc thứ hai nằm sau.

5.3.5 Dải động

Dải động của microphone là khoảng cách giữa mức to nhất nó ghi được không méo và mức nhỏ nhất nó phân biệt được khỏi nhiễu của chính nó:

$$\mathrm{DR} = \mathrm{SPL}_{\max(\mathrm{THD}\,1\%)} - L_{\mathrm{self}} \quad (\mathrm{dB}) \tag{5.8}$$



Hình 5.15 Thang năng lượng của một microphone: self-noise, vùng làm việc, ngưỡng THD 1% và ngưỡng THD 10%

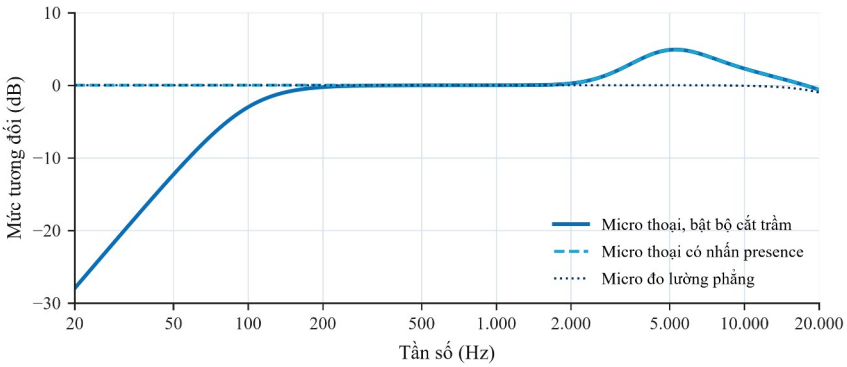
Giá trị điển hình nằm trong khoảng 80 dB với lavalier siêu nhỏ tới trên 130 dB với microphone đo lường tốt. Khái niệm dải động ở đây là khái niệm đã gặp ở Chương 2 khi bàn về mức tín hiệu, nay được áp dụng cho một thiết bị cụ thể.

5.3.6 Đáp tuyến tần số

Đáp tuyến tần số cho biết microphone thu dải tần nào và thu có đều hay không. Ở đây cần phân biệt hai cách ghi có giá trị thông tin rất khác nhau:

- Ghi "20 Hz – 20 kHz" đơn thuần: chỉ cho biết microphone có đáp ứng trong dải đó mà không nêu mức độ đồng đều, nên gần như không có giá trị thông tin.
- Ghi "20 Hz – 20 kHz ±2 dB": cho biết trong toàn dải, mức thu không lệch quá 2 dB, đây mới là thông tin dùng được.

Đường cong quan trọng hơn con số đơn lẻ, nên hình dưới đây đặt chồng ba kiểu đáp tuyến hay gặp để người đọc tập đọc.



Hình 5.16 Ba đường đáp tuyến đặt chồng: microphone đo lường phẳng, microphone thoại có nhấn presence, và microphone bật bộ cắt trầm

Đoạn nhấn nhẹ vài decibel trong khoảng 3 – 8 kHz được gọi là nhấn presence: nó làm phụ âm rõ hơn và giúp giọng nói nổi lên khỏi nền. Đoạn dốc xuống ở dưới 100 Hz là bộ cắt trầm, dùng để loại tiếng ù, tiếng rung sàn và tiếng gió. Microphone đo lường có đáp tuyến phẳng suốt dải, vì nhiệm vụ của nó là phản ánh trung thực tín hiệu chứ không phải tô điểm âm sắc.

5.3.7 Trở kháng

Cần phân biệt hai con số thường bị nhầm lẫn. Trở kháng danh định của microphone là trở kháng ra của chính nó, thường 50 – 200 Ω với microphone chuyên nghiệp; đó là trở kháng ra sau mạch đệm, không phải trở kháng gigaôm của bản thân capsule điện dung. Trở kháng tải tối thiểu là con số mà preamp phải bảo đảm, thường được ghi "≥ 1 kΩ". Quy tắc phối ghép điện áp cầu đã học ở Chương 2 áp dụng nguyên vẹn ở đây.

Vi phạm quy tắc này không làm hỏng thiết bị nhưng làm mất dải trầm và giảm mức tín hiệu, và đây là lỗi khó chẩn đoán vì máy vẫn chạy bình thường.

5.3.8 CMRR và chiều dài cáp cho phép

CMRR là khả năng triệt nhiễu đồng pha của đường truyền cân bằng, đã trình bày ở Chương 2. Với microphone, thông số này quyết định độ dài cáp có thể kéo mà không nhiễm nhiễu. CMRR tốt là trên 60 dB trong toàn dải 50 Hz – 20 kHz; nhiều microphone có CMRR tốt ở dải giữa nhưng suy giảm ở dải cao, và đó là lý do có bản thu bị lẫn tiếng "tít" của thiết bị số đặt gần.

Về chiều dài cáp, với micro điện dung có mạch đệm khỏe thì cáp cân bằng 100 m vẫn dùng tốt, còn với micro điện động nhạy thấp, quá 50 m đã bắt đầu mất dải cao do điện dung phân bố của cáp.

Bảng 5.9 Tám thông số kỹ thuật, đơn vị, giá trị điển hình theo ba nhóm microphone và câu hỏi nghề tương ứng

Thông số	Đơn vị	Màng lớn phòng thu	Shotgun hiện trường	Lavalier	Câu hỏi nghề
Độ nhạy	mV/Pa	20 – 25	15 – 20	5 – 10	Cần bao nhiêu gain?
Self-noise	dB-A	7 – 12	12 – 16	20 – 26	Có thu được nguồn âm nhỏ trong môi trường yên tĩnh không?
Max SPL (THD 1%)	dB SPL	130 – 140	120 – 130	110 – 120	Có chịu được nguồn âm to không?
THD tại mức làm việc	%	dưới 0,5	dưới 0,5	dưới 1	Tiếng có sạch không?
Dải động	dB	120 – 133	105 – 118	85 – 100	Một microphone có thu được cả âm nhỏ lẫn âm to không?
Đáp tuyến	Hz	20 – 20 k ±2 dB	40 – 20 k ±3 dB	50 – 18 k ±4 dB	Tiếng có tự nhiên không?
Trở kháng ra	Ω	50 – 200	25 – 200	200 – 600	Preamp nào dùng được?
CMRR	dB	trên 60	trên 60	40 – 55	Kéo cáp được bao xa?

GHI NHỚ 5.3

Không có microphone tốt cho mọi việc mà chỉ có microphone phù hợp với từng việc: thu tiếng thì thầm cần self-noise thấp, còn thu tiếng nổ hoặc tiếng động cơ cần Max SPL cao. Hai yêu cầu này gần như không bao giờ cùng nằm trên một sản phẩm.

Khi đọc catalogue, cần kiểm tra ba điều: con số ghi ở thang nào, đo tại mốc méo nào và dung sai bằng bao nhiêu. Thiếu một trong ba điều đó thì con số chưa dùng để so sánh được.

5.4 Tính định hướng và hiệu ứng gần

Đồ thị định hướng cho biết microphone thu mạnh ở hướng nào và triệt ở hướng nào. Khi thu âm, đây là thông số quyết định vị trí đặt microphone, và do đó quyết định tỷ lệ giữa âm thanh cần thu và tiếng môi trường xung quanh trong bản thu. Cơ chế vật lý tạo ra tính định hướng đã trình bày ở mục 5.1.4 với micro điện động và ở mục 5.1.11 với capsule điện dung hai màng; mục này đi vào phần định lượng.

5.4.1 Phương trình dựng đồ thị định hướng

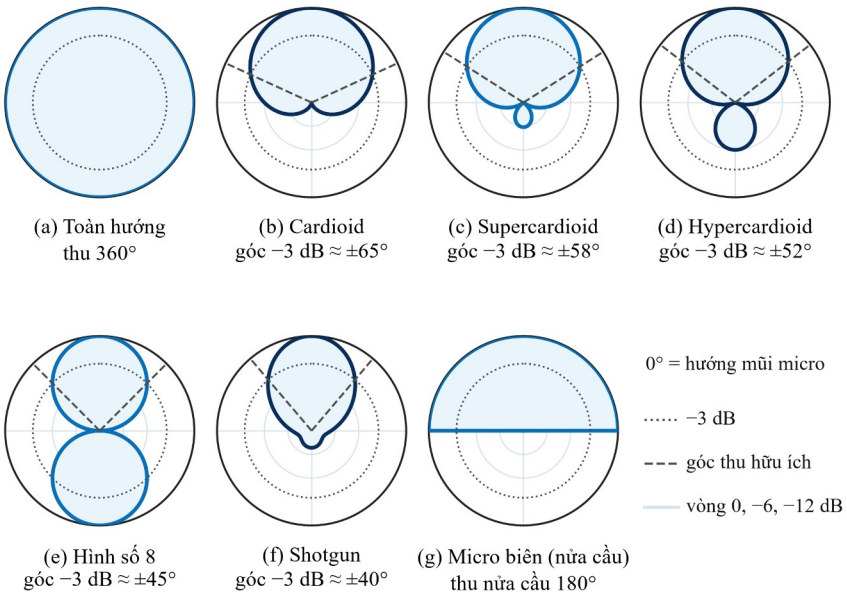
Toàn bộ họ đồ thị định hướng cổ điển được sinh ra từ một phương trình duy nhất, trong đó θ là góc lệch so với trục chính của microphone:

$$r(\theta) = A + B\cos\theta \quad , \quad A + B = 1 \tag{5.9}$$

Thành phần A là phần đáp ứng theo áp suất, thu đều mọi hướng; thành phần B là phần đáp ứng theo gradient áp suất, thu theo hình số 8. Ràng buộc A + B = 1 bảo đảm đáp ứng trên trục luôn bằng 1. Khi thay đổi tỷ lệ giữa A và B sẽ thu được toàn bộ họ đồ thị:

Bảng 5.10 Bảy dạng định hướng: tham số phương trình, góc thu hữu ích, chỉ số triệt sau, chỉ số khoảng cách và tình huống sử dụng

Dạng định hướng	A	B	Góc thu −3 dB	Triệt sau (dB)	DF	Tình huống sử dụng
Toàn hướng	1,00	0,00	360°	0	1,0	Thu tiếng phòng, micro cài áo (lavalier)
Cardioid	0,50	0,50	±65°	−25	1,7	Phỏng vấn, thu nhạc cụ, microphone cầm tay
Supercardioid	0,37	0,63	±57°	−12	1,9	Thu giọng nói trong phòng có tiếng vang vừa phải
Hypercardioid	0,25	0,75	±52°	−6	2,0	Thu giọng nói trong phòng nhiều tiếng vang, cần triệt hai bên
Hình số 8	0,00	1,00	±45°	0 (thu bằng)	1,7	Phỏng vấn hai người đối diện, kỹ thuật Mid-Side
Shotgun	—	—	±40°	−15	2,5 – 3,0	Thu ngoài trời, môi trường ồn
Microphone biên	—	—	180° nửa cầu	—	1,4	Đặt trên bàn, trên sàn



Hình 5.17 Bảy đồ thị định hướng dựng theo phương trình, cùng tỷ lệ, đánh dấu góc thu hữu ích −3 dB

5.4.2 Chỉ số khoảng cách

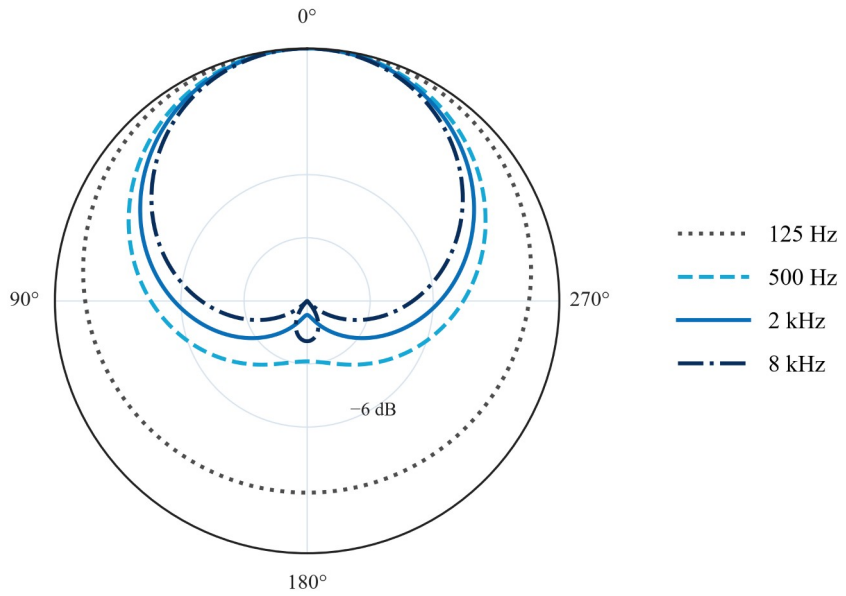
Chỉ số khoảng cách, ký hiệu DF, cho biết một microphone định hướng có thể đặt xa hơn microphone toàn hướng bao nhiêu lần mà vẫn giữ nguyên tỷ lệ giữa tiếng trực tiếp và tiếng vang. Nó bằng căn bậc hai của hệ số định hướng Q:

$$\mathrm{DF} = \sqrt{Q} \quad , \quad Q = \frac{1}{A^2 + \dfrac{B^2}{3}} \tag{5.10}$$

Con số này giải thích vì sao trong một không gian ồn, có thể chọn shotgun đặt cách 1,5 m thay vì cardioid đặt cách 0,7 m: hai cách cho cùng tỷ lệ tiếng trực tiếp trên tiếng vang, nhưng cách thứ nhất cho phép đặt microphone xa nguồn âm hơn.

5.4.3 Đồ thị định hướng biến đổi theo tần số

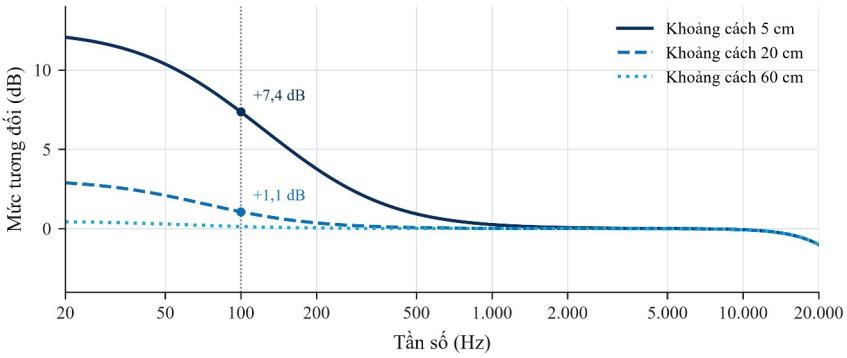
Bảng và hình ở trên trình bày đồ thị định hướng như thể nó cố định, nhưng thực tế không phải vậy. Mọi microphone đều mất tính định hướng ở dải trầm và trở nên định hướng hẹp bất thường ở dải rất cao. Nguyên nhân là kích thước vật lý của microphone so với bước sóng: khi bước sóng lớn hơn nhiều so với thân microphone, sóng âm đi vòng qua thân như không có vật cản.



Hình 5.18 Đồ thị định hướng của một microphone cardioid tại 125 Hz, 500 Hz, 2 kHz và 8 kHz đặt chồng

5.4.4 Hiệu ứng gần

Mọi microphone có thành phần gradient áp suất, tức mọi dạng trừ toàn hướng, đều tăng đáp ứng dải trầm khi nguồn âm lại gần. Hiện tượng này gọi là hiệu ứng gần. Ở khoảng cách dưới 20 cm, mức tăng có thể tới 6 – 10 dB ở dải 100 Hz.



Hình 5.19 Hiệu ứng gần: ba đường đáp tuyến của cùng một microphone ở khoảng cách 5 cm, 20 cm và 60 cm

Hiệu ứng gần vừa là công cụ vừa là điểm bất lợi. Nó là công cụ khi cần giọng đọc lời bình dày và ấm, vì người đọc chỉ cần lại gần microphone. Nó là điểm bất lợi khi người nói di chuyển, vì khoảng cách thay đổi liên tục và âm sắc của giọng thay đổi theo: cùng một câu nói, đầu câu ấm nhưng cuối câu mỏng. Cách xử lý là giữ khoảng cách từ nguồn âm đến microphone ổn định trong suốt quá trình thu.

Cấu tạo Variable-D nhắc ở mục 5.1.5 chính là giải pháp cơ khí cho vấn đề này: nhiều cửa trễ âm bố trí dọc thân micro, mỗi cửa phụ trách một dải tần, khiến quãng trễ hiệu dụng thay đổi theo tần số và triệt được gần hết hiệu ứng gần. Do đó micro phòng phát thanh cho giọng ổn định dù người dẫn thay đổi khoảng cách trước micro.

5.4.5 Microphone shotgun và ống giao thoa

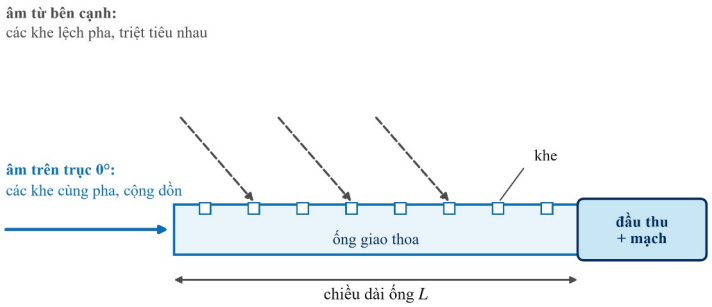
Microphone shotgun không phải là một dạng định hướng cổ điển mới mà là một microphone cardioid hoặc supercardioid gắn thêm một ống có nhiều khe dọc thân. Âm đến đúng trục đi thẳng vào các khe, tới màng rung cùng pha và cộng dồn, trong khi âm đến từ bên cạnh phải đi qua các khe với quãng đường khác nhau nên tới màng lệch pha và triệt tiêu lẫn nhau.

Hình 5.20 cho thấy thân dài của micro shotgun Sennheiser MKH 416 với các khe bên trên ống giao thoa.



Hình 5.20 Micro shotgun Sennheiser MKH 416; các khe dọc thân là cửa vào của ống giao thoa.

Nguồn: Galak76, CC BY-SA 3.0, Wikimedia Commons (truy cập 05/11/2026).



Hình 5.21 Cấu tạo ống giao thoa của microphone shotgun và cơ chế triệt âm đến từ bên cạnh

LƯU Ý 5.5

Ống giao thoa chỉ có tác dụng ở những tần số có bước sóng ngắn hơn chiều dài ống, nên một shotgun dài 25 cm hầu như không định hướng dưới 1,4 kHz. Vì vậy shotgun không "thu xa" như tên gọi gợi ý mà chỉ triệt tốt hơn ở dải trung và cao.

Trong phòng kín nhiều bề mặt phản xạ, shotgun thường cho kết quả kém hơn hypercardioid vì các phản xạ đến từ mọi phía làm mất tác dụng của ống giao thoa, đồng thời tạo âm sắc lạ ở dải trung.

5.5 Thực hành 1 — đo đáp tuyến và dựng đồ thị định hướng

Bài thực hành này khép lại phần microphone của chương. Mục tiêu không phải là có được phép đo chính xác như phòng thí nghiệm, mà là để người đọc tự tay quan sát những gì bốn mục lý thuyết vừa trình bày: đáp tuyến không phẳng, đồ thị định hướng có hình dạng cụ thể, và hiệu ứng gần là có thật, đo được.

5.5.1 Thiết bị và phần mềm

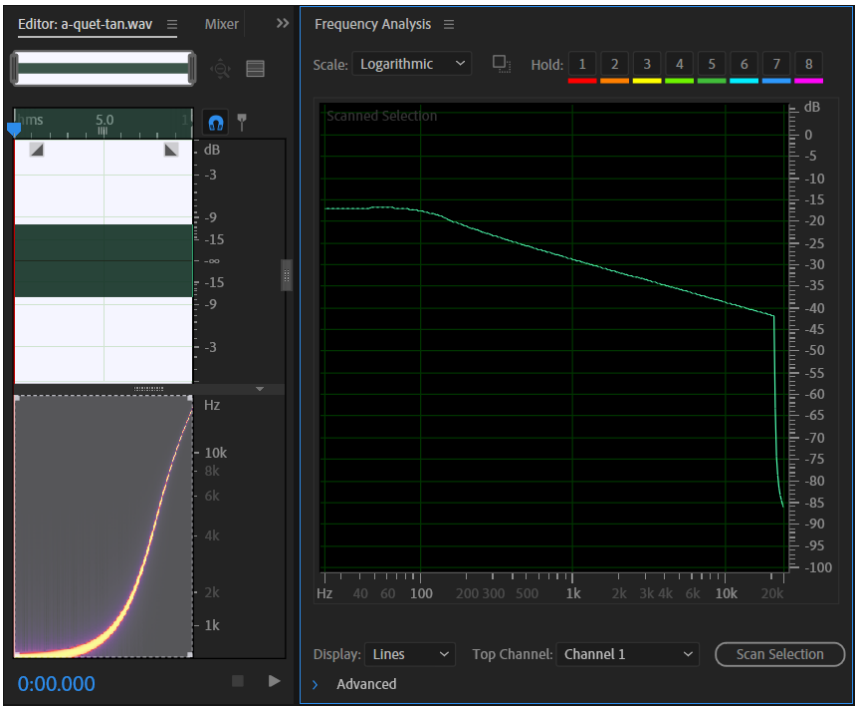
Bảng 5.11 Thiết bị và phần mềm cho Thực hành 1

Hạng mục	Yêu cầu tối thiểu
Microphone	Ba chiếc khác họ và khác dạng định hướng: một điện động cardioid, một điện dung màng nhỏ, một shotgun
Giao diện âm thanh	Hai đầu vào microphone có phantom 48 V, ghi 24 bit / 48 kHz
Loa kiểm tra	Một loa active dải rộng làm nguồn phát
Phần mềm đo	REW (Room EQ Wizard) — miễn phí, hoặc phần mềm đo tương đương
Phụ kiện	Chân microphone có thước đo góc, thước dây, giấy kẻ ô cực

5.5.2 Các bước tiến hành

Bước 1: Chuẩn bị phòng. Chọn phòng ít vang nhất có thể. Đo mức nền bằng phần mềm và ghi lại; nếu mức nền trên 40 dB SPL thì kết quả đo ở dải trầm sẽ không dùng được và phải ghi chú điều đó cùng kết quả đo.

Hình 5.22 cho thấy cửa sổ Frequency Analysis của Adobe Audition sau khi quét toàn bộ một tín hiệu quét tần dài mười giây; đường cong là đáp tuyến của chuỗi tín hiệu, và phổ đồ bên trái cho thấy tần số của tín hiệu tăng dần theo thời gian.

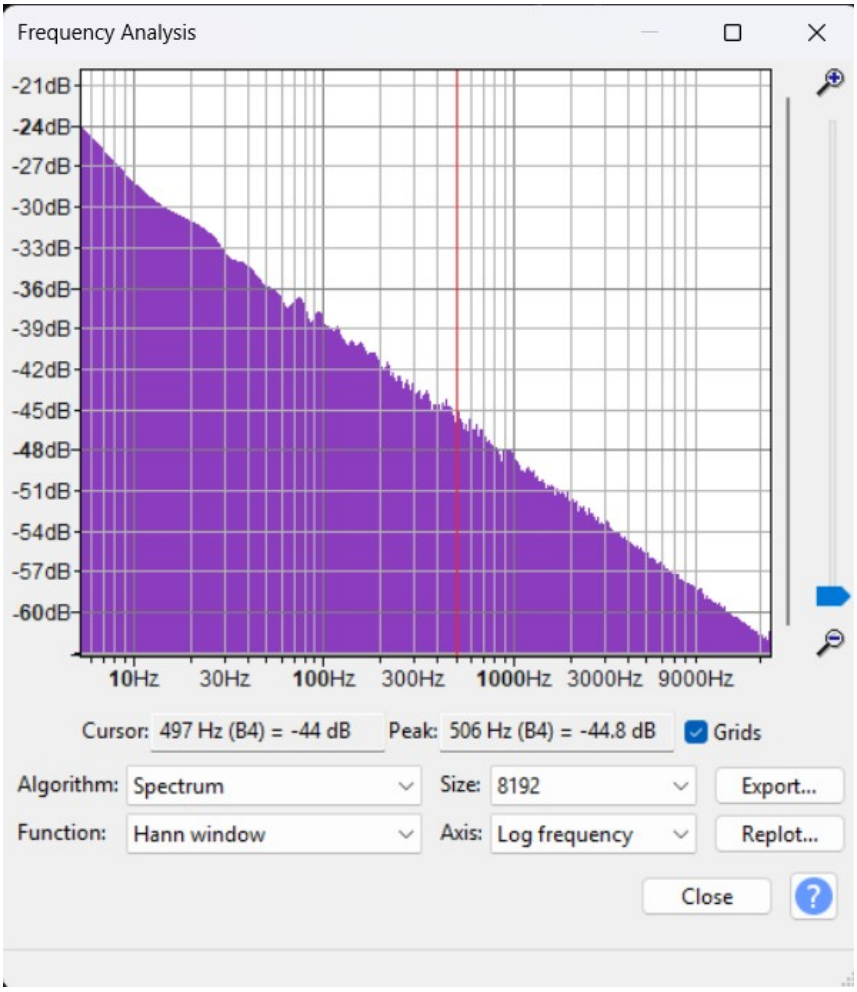


Hình 5.22 Phổ tần của tín hiệu quét tần mẫu (tệp tổng hợp) trong cửa sổ Frequency Analysis của Adobe Audition

Nguồn: ảnh chụp màn hình do người soạn thực hiện (Adobe Audition 2026, bản 26.5), 07/11/2026.

Bước 2: Đo đáp tuyến tần số. Đặt microphone cách loa đúng 1 m, đúng trục, rồi phát tín hiệu quét tần từ 20 Hz đến 20 kHz. Ghi lại đường cong của cả ba microphone trên cùng một biểu đồ để so sánh trực tiếp, đồng thời xem micro điện động có hụt dải trên 12 kHz đúng như lý thuyết ở mục 5.1.3 hay không.

Hình 5.23 là phổ của một đoạn tiếng ồn hồng dài 10 giây, đo bằng Plot Spectrum của Audacity với FFT 8192 và trục tần số lôgarit: mức giảm đều đặn theo tần số là đặc trưng của tín hiệu hồng, làm chuẩn để đối chiếu đáp tuyến của chuỗi thu.



Hình 5.23 Phổ của tín hiệu tiếng ồn hồng trong Audacity (FFT 8192, cửa sổ Hann, trục tần số lôgarit)

Nguồn: ảnh chụp màn hình do người soạn thực hiện (Audacity 3.7.7), 07/11/2026.

Bước 3: Dựng đồ thị định hướng. Giữ nguyên khoảng cách 1 m. Xoay microphone theo từng nấc 15° từ 0° đến 180°, mỗi vị trí đo mức tại ba tần số 250 Hz, 1 kHz và 4 kHz. Ghi thành bảng, sau đó dựng ba đồ thị cực trên giấy kẻ ô.

Bước 4: Đo hiệu ứng gần. Với microphone cardioid, đo đáp tuyến ở ba khoảng cách 5 cm, 20 cm và 60 cm, sau đó đặt ba đường cong chồng lên nhau và đọc mức chênh tại 100 Hz.

Bước 5: Kiểm chứng vai trò của lỗ trễ âm. Với micro điện động cardioid, đo lại đồ thị định hướng tại 1 kHz trong hai trường hợp: bình thường, và khi dùng băng dính bịt kín các lỗ trễ âm trên thân. So sánh hai đồ thị và đối chiếu với lý thuyết ở mục 5.1.4.

Bước 6: Đối chiếu. So sánh đồ thị vừa dựng với đồ thị nhà sản xuất công bố và giải thích những chỗ lệch, trong đó phần giải thích quan trọng hơn phần số liệu.

THỰC HÀNH 5.1 — KẾT QUẢ CẦN CÓ

– Biểu đồ đáp tuyến của ba microphone đặt chồng, có ghi rõ điều kiện đo và mức nền phòng.

– Ba đồ thị cực tại 250 Hz, 1 kHz và 4 kHz cho mỗi microphone, kèm bảng số liệu thô.
– Biểu đồ hiệu ứng gần với số đo chênh lệch tại 100 Hz.
– Hai đồ thị định hướng của micro điện động trước và sau khi bịt lỗ trễ âm, kèm giải thích bằng lập luận vật lý.
– Một trang nhận xét nêu mỗi microphone phù hợp với tình huống thu âm nào và vì sao, viết bằng lập luận dựa trên số liệu vừa đo.

5.6 Truyền dẫn không dây: analog và số

Từ mục này, chương chuyển từ bản thân microphone sang đường đi của tín hiệu sau microphone. Microphone gắn người thường truyền không dây, nên việc hiểu cơ chế truyền dẫn không dây là điều kiện để chẩn đoán sự cố.

5.6.1 Vì sao truyền không dây khó

Một đường truyền có dây chỉ phải xử lý hai vấn đề là phối hợp trở kháng và chống nhiễu cảm ứng, còn đường truyền không dây phải xử lý thêm ba vấn đề nữa. Thứ nhất, dải động của tín hiệu âm thanh khoảng 100 dB, trong khi một kênh sóng vô tuyến hẹp chỉ tải được khoảng 50 – 60 dB. Thứ hai, sóng phản xạ từ tường và vật kim loại đến bộ thu chậm hơn sóng đi thẳng và triệt pha với nó, gây mất sóng cục bộ. Thứ ba, phổ tần số là tài nguyên chung, phải chia sẻ với truyền hình, mạng di động và các bộ không dây khác đang hoạt động cùng lúc.

Hai thế hệ thiết bị giải quyết ba vấn đề này theo hai hướng hoàn toàn khác nhau.

5.6.2 Bộ không dây analog và kỹ thuật nén — giãn

Bộ không dây analog dùng điều tần trên sóng mang UHF. Vì kênh sóng không tải nổi dải động 100 dB, thiết bị nén dải động trước khi phát và giãn ra sau khi thu; kỹ thuật này gọi là companding, ghép từ hai chữ compressing và expanding.

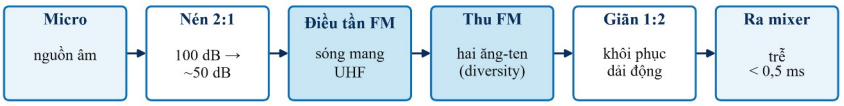
Bộ nén ở phía phát ép theo tỷ lệ 2:1, tức cứ hai decibel ở đầu vào thì còn một decibel ở đầu ra, đưa dải động từ 100 dB xuống khoảng 50 dB để vừa với kênh sóng. Bộ giãn ở phía thu làm ngược lại với tỷ lệ 1:2 và trả lại dải động ban đầu.

Hạn chế của phương pháp này là hai bộ không bao giờ khớp nhau tuyệt đối, vì chúng phản ứng theo thời gian chứ không tức thời. Ở những đoạn tín hiệu chuyển nhanh từ to sang nhỏ, sai lệch giữa hai bộ nghe thành tiếng nền phập phồng theo giọng nói, và giới làm nghề gọi hiện tượng đó là “tiếng thở”.

5.6.3 Bộ không dây số

Bộ không dây số biến tín hiệu thành dòng bit 24 bit ngay tại thân phát rồi truyền dòng bit đó bằng điều chế số. Vì bit không có khái niệm dải động hạn chế nên không cần nén – giãn; toàn bộ 100 dB dải động đi qua nguyên vẹn, và chất âm không đổi khi cự ly thay đổi, chừng nào còn thu được bit.

Đổi lại, quá trình biến đổi và mã hóa mất thời gian, với độ trễ điển hình 2 – 4 mili giây và không thể loại bỏ. Ngoài ra, khi tín hiệu yếu đến ngưỡng, bộ thu không rè dần mà im bặt đột ngột, khiến người thu thanh mất khoảng thời gian cảnh báo mà bộ analog vẫn cung cấp.



(a) bộ không dây analog, có nén – giãn (companding)



(b) bộ không dây số, không cần nén – giãn

Hình 5.24 Sơ đồ khối bộ không dây analog có companding so với bộ không dây số

Bảng 5.12 So sánh bộ không dây analog và bộ không dây số theo bảy tiêu chí nghề nghiệp

Tiêu chí	Analog (companding)	Số
Dải động truyền được	Khoảng 100 dB nhưng đã qua nén — giãn	Toàn bộ dải động của bộ biến đổi 24 bit
Độ trễ	Dưới 0,5 ms, coi như không có	2 – 4 ms, cố định
Bảo mật	Không có; bất kỳ máy thu cùng tần số nào cũng nghe được	Có mã hóa AES; chỉ bộ thu đã ghép cặp mới giải mã được
Chất âm khi tín hiệu yếu	Nhiễu nền tăng dần, nghe rè — vẫn dùng tạm được	Giữ nguyên chất lượng cho tới khi mất hẳn, im bặt đột ngột
Số kênh đồng thời trong một băng	Ít hơn; cần khoảng cách tần số rộng để tránh xuyên điều chế	Nhiều hơn ở cùng bề rộng băng tần
Giá thiết bị	Thấp hơn ở cùng phân khúc	Cao hơn
Độ phức tạp vận hành	Đơn giản; chỉnh gain và tần số là đủ	Cần ghép cặp, cần hiểu độ trễ và cách bù trễ

5.6.4 Độ trễ và hiện tượng triệt pha

Vấn đề nghiêm trọng nhất của độ trễ số không nằm ở bản thân độ trễ, vì vài mili giây thì tai người không nhận ra, mà nằm ở việc trộn chung một đường có trễ với một đường không trễ.

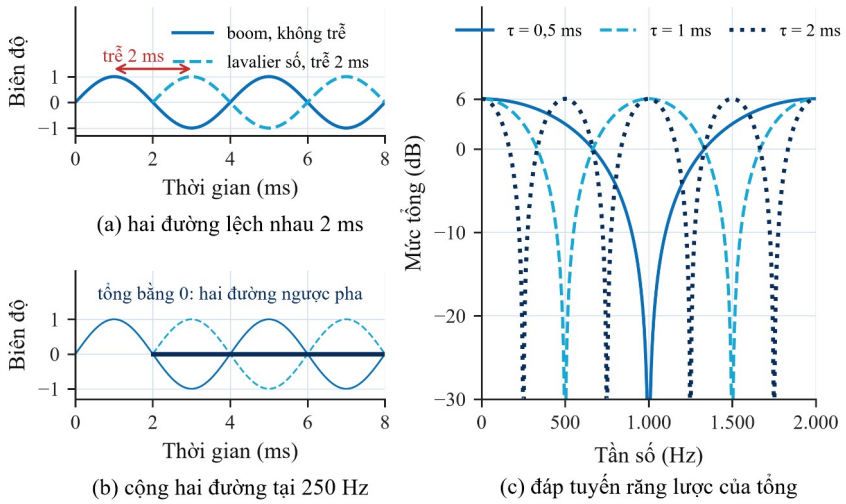
Hình 5.25 phóng dạng sóng của hai rãnh tới mức thấy từng chu kỳ: rãnh boom bắt đầu từ mẫu 0, rãnh lavalier bắt đầu muộn hơn; vùng chọn từ đầu đến điểm khởi đầu của rãnh lavalier rộng 602 mẫu, tức khoảng 12,5 ms ở tần số lấy mẫu 48 kHz.



Hình 5.25 Đo độ lệch thời gian giữa rãnh boom và rãnh lavalier (tệp mẫu tổng hợp) bằng vùng chọn tính theo mẫu trong Adobe Audition

Nguồn: ảnh chụp màn hình do người soạn thực hiện (Adobe Audition 2026, bản 26.5), 07/11/2026.

Giả sử một người nói được thu đồng thời bằng micro boom có dây (không trễ) và lavalier không dây số (trễ 2 ms). Hai đường mang cùng một câu nói nhưng lệch nhau 2 mili giây. Khi cộng lại, ở những tần số mà 2 ms đúng bằng nửa chu kỳ, hai đường ngược pha và triệt tiêu nhau; ở những tần số mà 2 ms đúng bằng một chu kỳ, chúng cộng dồn. Kết quả là một đáp tuyến hình răng lược, và tai nghe thấy giọng nói "rỗng", như nói trong ống.



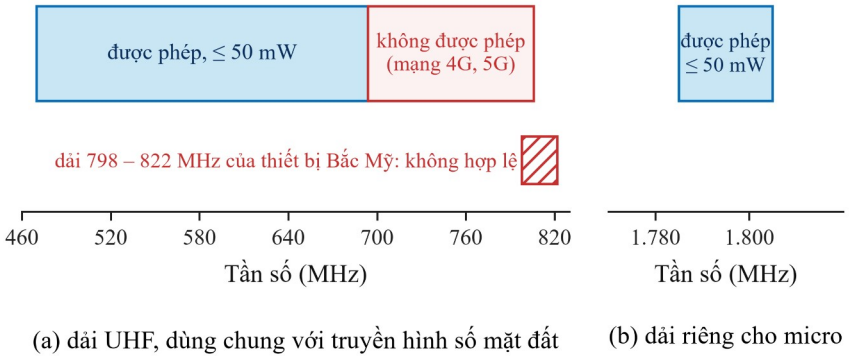
Hình 5.26 Hiện tượng triệt pha khi trộn một đường trễ với một đường không trễ, và đáp tuyến răng lược sinh ra

5.7 Quy hoạch và phối hợp tần số

Mục này có tính pháp lý và tính thực hành cao nhất của chương, được biên soạn theo các văn bản pháp quy đang có hiệu lực của Việt Nam.

5.7.1 Băng tần được phép sử dụng tại Việt Nam

Theo Thông tư 08/2021/TT-BTTTT [1] của Bộ Thông tin và Truyền thông quy định danh mục thiết bị vô tuyến điện được miễn giấy phép sử dụng tần số, microphone không dây được miễn giấy phép khi đồng thời thỏa mãn các điều kiện về băng tần và về công suất phát.



(a) dải UHF, dùng chung với truyền hình số mặt đất (b) dải riêng cho micro

Hình 5.27 Quy hoạch băng tần microphone không dây tại Việt Nam trên trục tần số

Bảng 5.13 Các băng tần microphone không dây miễn giấy phép tại Việt Nam và điều kiện kèm theo

Băng tần	Công suất phát tối đa	Ghi chú sử dụng
470 – 694 MHz	50 mW	Dùng chung với truyền hình số mặt đất. Bắt buộc quét phổ tại địa điểm sử dụng để tránh các kênh truyền hình đang phát.
1785 – 1805 MHz	50 mW	Băng dành riêng cho microphone không dây, phổ sạch hơn. Cự ly ngắn hơn và bị vật cản chắn mạnh hơn so với UHF.
694 – 806 MHz	Không được phép	Đã quy hoạch cho mạng thông tin di động 4G và 5G. Phát vào dải này gây nhiễu mạng viễn thông và bị xử lý theo quy định.

LƯU Ý 5.6

Nhiều bộ không dây bán trên thị trường quốc tế, nhất là hàng sản xuất cho thị trường Bắc Mỹ, đặt sẵn dải làm việc ở khoảng 798 – 822 MHz, và dải đó không hợp lệ tại Việt Nam. Vì vậy, khi mua thiết bị cần yêu cầu đúng phiên bản băng tần dành cho khu vực châu Á.

Ngoài băng tần và công suất, thiết bị còn phải có chứng nhận hợp quy theo Thông tư 02/2024/TT-BTTTT [2]. Trước khi ký hợp đồng mua cần kiểm tra ba điều: tần số nằm trong dải hợp lệ, công suất phát không quá 50 mW và có giấy chứng nhận hợp quy.

5.7.2 Xuyên điều chế và vì sao không chọn tần số cách đều

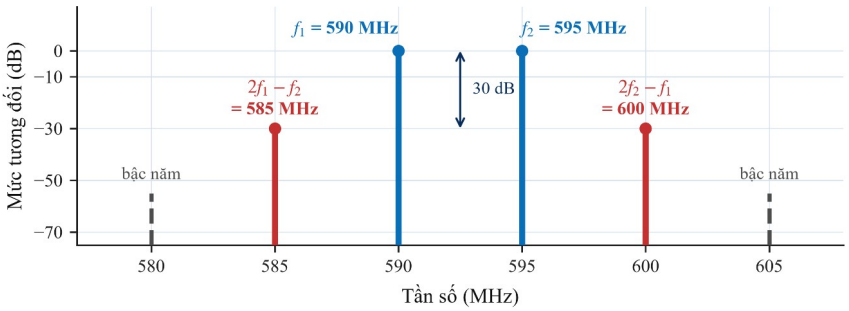
Khi hai máy phát cùng hoạt động gần nhau, mạch điện tử phi tuyến trong máy thu và trong chính các máy phát sinh ra những tần số mới không có ở đầu vào; hiện tượng này gọi là xuyên điều chế. Các sản phẩm nguy hiểm nhất là sản phẩm bậc ba, vì chúng nằm rất gần các tần số gốc và có mức chỉ thấp hơn khoảng 30 dB, đủ mạnh để chặn hẳn một kênh microphone.

Với hai sóng mang, sản phẩm bậc ba tính theo:

$$f_{IM3} = 2f_1 - f_2 \quad \text{và} \quad f_{IM3} = 2f_2 - f_1 \tag{5.11}$$

Với ba sóng mang, còn thêm một họ sản phẩm nữa:

$$f_{IM3} = f_1 + f_2 - f_3 \tag{5.12}$$



Hình 5.28 Sản phẩm xuyên điều chế bậc ba của hai sóng mang 590 MHz và 595 MHz sinh ra 585 MHz và 600 MHz

Hình 5.28 chỉ ra ngay vì sao không được chọn các tần số cách đều nhau. Nếu đặt ba kênh tại 590, 595 và 600 MHz, sản phẩm bậc ba của cặp thứ nhất rơi đúng vào 600 MHz — tức đúng kênh thứ ba. Bộ tần số dùng được bắt buộc phải có khoảng cách không đều.

Điều kiện an toàn tối thiểu áp dụng cho mọi cặp:

$$|f_{IM} - f_{ch}| \geq 250 \text{ kHz} \tag{5.13}$$

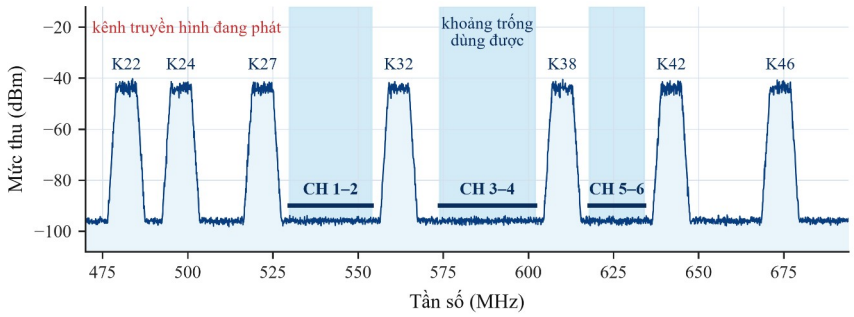
Bảng 5.14 Ví dụ bảng phối hợp tần số cho một bộ sáu kênh trong băng 470 – 694 MHz

Kênh	Tần số chọn (MHz)	Một số sản phẩm bậc ba sinh ra (MHz)	Khoảng cách tới kênh gần nhất (MHz)
CH 1	536,200	—	—
CH 2	539,500	532,900 · 542,800	3,300
CH 3	544,900	550,300 · 530,100	5,400
CH 4	551,700	558,500 · 537,900	6,800
CH 5	559,300	566,900 · 544,100	7,600
CH 6	568,100	576,900 · 550,500	8,800

Bảng phối hợp trên minh họa nguyên tắc: khoảng cách giữa các kênh tăng dần chứ không đều nhau, và mọi sản phẩm bậc ba đều lệch khỏi các tần số đang dùng ít nhất 250 kHz. Bảng chỉ dùng để tham khảo cách bố trí, còn tần số cụ thể trong mỗi lần sử dụng phải được xác định lại theo kết quả quét phổ tại chỗ.

5.7.3 Quét phổ tại hiện trường

Bộ thu chuyên nghiệp thường có chức năng quét phổ. Trước mỗi lần sử dụng nên thực hiện bốn bước: tắt toàn bộ máy phát của mình; quét toàn dải để thấy các kênh truyền hình và các nguồn phát khác đang hoạt động; chọn các khoảng trống; sau đó bật lần lượt từng máy phát và kiểm tra lại từng kênh.



Hình 5.29 Bản quét phổ hiện trường: các kênh truyền hình đang phát và các khoảng trống dùng được

5.8 Thực hành 2 — triển khai bộ không dây nhiều kênh

Bài thực hành này gồm các việc chuẩn bị trước một buổi thu dùng microphone không dây: quét phổ, chọn tần số, kiểm tra từng kênh, rồi thu thử một cảnh có thoại.

5.8.1 Thiết bị

Bảng 5.15 Thiết bị cho Thực hành 2

Hạng mục	Yêu cầu tối thiểu
Bộ không dây	Bốn bộ trở lên, cùng băng tần, có chức năng quét phổ trên bộ thu
Microphone có dây	Một shotgun trên cần boom làm đường tham chiếu không trễ
Máy ghi	Bộ ghi từ sáu rãnh trở lên, có phát và nhận timecode
Tai nghe	Tai nghe kín
Phần mềm	Phần mềm phối hợp tần số của hãng thiết bị, hoặc bảng tính tự lập

5.8.2 Các bước tiến hành

Bước 1 — Quét phổ. Tắt toàn bộ máy phát, quét toàn dải trên một bộ thu và chụp lại màn hình, sau đó ghi ra giấy các khoảng tần số đang bị chiếm và các khoảng trống.

Bước 2 — Lập bảng phối hợp tần số. Chọn bốn tần số nằm trong khoảng trống, tự tính toàn bộ sản phẩm bậc ba của sáu cặp có thể có, lập bảng theo mẫu ở mục 5.7.2 và kiểm tra điều kiện cách 250 kHz; nếu vi phạm thì chọn lại.

Bước 3 — Cài đặt và kiểm tra từng kênh. Bật lần lượt từng máy phát, mỗi lần bật thêm một máy thì nghe lại tất cả các kênh đã bật, rồi ghi lại kênh nào bắt đầu có tiếng lạ và ở bước thứ mấy.

Bước 4 — Kiểm tra vùng phủ sóng. Người đeo máy phát đi hết phạm vi sử dụng dự kiến, kể cả sau các vật cản, và đánh dấu trên sơ đồ mặt bằng những vị trí tín hiệu yếu hoặc mất sóng.

Bước 5 — Thu thử. Thu đồng thời một micro có dây và ba micro cài áo không dây cho một đoạn hội thoại ngắn, ghi riêng từng rãnh; sau đó trộn thử micro có dây với một micro không dây và nghe kỹ hiện tượng triệt pha do lệch trễ.

Bước 6 — Đo và bù trễ. Trong phần mềm dựng, đo độ lệch thời gian giữa rãnh boom và rãnh lavalier bằng cách phóng to dạng sóng của một phụ âm bật, dịch rãnh boom đi đúng lượng đó rồi nghe lại bản trộn.

THỰC HÀNH 5.2 — KẾT QUẢ CẦN CÓ

- Ảnh chụp màn hình quét phổ, có đánh dấu khoảng trống đã chọn.
- Bảng phối hợp tần số tự tính, trình bày đủ phép tính bậc ba của cả sáu cặp.
- Sơ đồ mặt bằng có đánh dấu các vị trí tín hiệu yếu.
- Tệp WAV đa rãnh của đoạn thu thử, đặt tên rõ ràng theo ngày và lần thu.
- Hai bản trộn: một bản chưa bù trễ và một bản đã bù trễ, cùng nhận xét bằng chữ về khác biệt nghe được.

5.9 Loa điện động

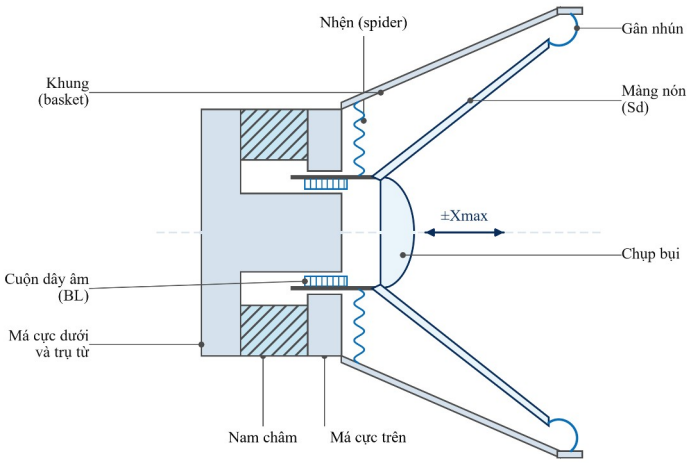
Từ mục này, chương chuyển sang nửa còn lại của dây chuyền: từ tín hiệu điện trở lại thành âm thanh. Cấu trúc của hai mục 5.9 và 5.10 được xây dựng tương ứng với hai mục 5.1 và 5.2, trong đó mục 5.9 đi sâu vào họ loa chiếm hơn chín mươi phần trăm thị trường và mục 5.10 giới thiệu các họ còn lại, nhờ đó người đọc thấy rõ sự tương ứng giữa hai nửa của chương.

5.9.1 Nguyên lý và tính đối ngẫu với micro điện động

Củ loa điện động về bản chất là micro điện động hoạt động theo chiều ngược lại, với cùng cấu tạo và cùng mạch từ, chỉ khác chiều chuyển hóa năng lượng. Ở micro, chuyển động của cuộn dây sinh ra điện áp; ở loa, dòng điện chạy qua cuộn dây sinh ra lực đẩy theo định luật Ampère [19]:

$$F = B L i \quad \text{(N)} \tag{5.14}$$

Đặt cạnh phương trình của micro điện động ở mục 5.1.1, hai công thức tạo thành một cặp đối ngẫu hoàn chỉnh: cùng tích BL, một bên nhân với vận tốc cho ra điện áp, một bên nhân với dòng điện cho ra lực. Đây là một trong những điểm tiêu biểu nhất của toàn cuốn sách và đáng được ghi nhớ.



Hình 5.30 Mặt cắt củ loa điện động với chú thích BL, Sd và Xmax

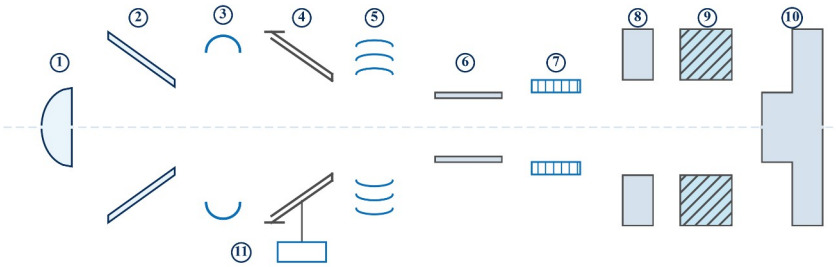
Ba đại lượng quyết định lượng không khí mà củ loa đẩy được là:

- **BL, đơn vị tesla·mét.** Đây là tích của cảm ứng từ trong khe với chiều dài đoạn dây nằm trong khe, và lực đẩy bằng BL nhân với cường độ dòng điện. BL lớn nghĩa là củ loa "khỏe", tức cùng một dòng điện thì đẩy màng mạnh hơn.
- **Sd, đơn vị mét vuông.** Diện tích hữu ích của màng.
- **Xmax, đơn vị milimét.** Đây là biên độ tuyến tính tối đa của cuộn dây, tức khoảng dịch chuyển mà cuộn dây còn nằm trọn trong vùng từ trường đều. Khi vượt quá Xmax, lực đẩy không còn tỷ lệ với dòng điện, méo tăng vọt và củ loa có thể hỏng.

Hai đại lượng sau nhân với nhau cho thể tích không khí mà củ loa dịch chuyển được trong một nửa chu kỳ, và đó là con số quyết định trực tiếp khả năng phát tiếng trầm:

$$V_d = S_d \cdot X_{\max} \quad (\mathrm{m}^3) \tag{5.15}$$

5.9.2 Cấu tạo chi tiết từng bộ phận

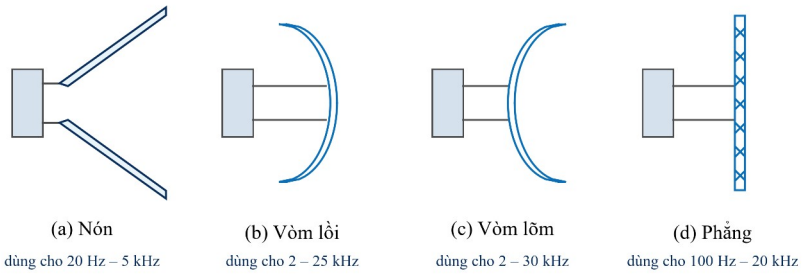


Hình 5.31 Hình tách lớp một củ loa điện động với đầy đủ các bộ phận và vật liệu chế tạo

Khi so sánh với hình tách lớp của micro điện động ở mục 5.1.2, người đọc sẽ nhận ra gần như mỗi bộ phận đều có bộ phận tương ứng. Khác biệt nằm ở kích thước và vật liệu: mọi thành phần trong củ loa đều phải lớn hơn và chắc hơn, vì củ loa phải sinh ra công suất chứ không chỉ cảm nhận tín hiệu.

- **Hệ treo gồm hai bộ phận.** Gân nhún ở mép ngoài giữ mép màng, còn nhện ở phía trong giữ cho cuộn dây luôn đúng tâm khe từ. Micro chỉ cần gân nhún vì biên độ dao động cực nhỏ; loa phải có cả hai vì cuộn dây dịch chuyển tới cả chục milimét và sẽ cháy ngay khi chạm vào thành khe.
- **Ống cuộn dây là chi tiết chịu nhiệt**, được làm bằng nhôm, kapton hoặc sợi thủy tinh. Đây là bộ phận hỏng đầu tiên khi loa quá tải: keo dán bong ra ở nhiệt độ cao, khiến cuộn dây trượt khỏi vị trí rồi cọ vào má cực.
- **Khung loa không chỉ có chức năng lắp ráp.** Khung nhôm đúc cứng hơn khung thép dập nên không cộng hưởng theo màng, đồng thời dẫn nhiệt từ mạch từ ra ngoài; đây cũng là một trong những chi tiết giúp phân biệt loa chất lượng thấp và loa chất lượng cao bằng mắt thường.
- **Trụ từ thường có lỗ thông gió.** Lỗ khoan dọc trục cho không khí ra vào theo nhịp màng, vừa làm mát cuộn dây vừa giảm cộng hưởng của khoang khí phía sau chụp bụi.

5.9.3 Màng loa: hình dạng và vật liệu



Hình 5.32 Bốn hình dạng màng loa: nón, vòm lồi, vòm lõm và phẳng

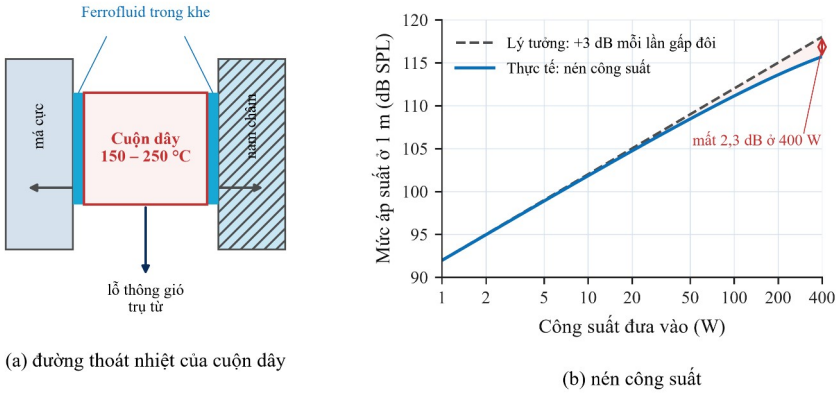
Màng loa phải đồng thời nhẹ và cứng, hai yêu cầu mâu thuẫn nhau. Nếu không đủ cứng, ở dải cao màng sẽ không còn dao động như một khối mà tách thành nhiều vùng dao động riêng, hiện tượng gọi là gãy dạng (break-up), gây méo và tạo các đỉnh nhọn trên đáp tuyến. Vì vậy, việc phát triển vật liệu màng loa nhằm mục tiêu đẩy điểm gãy dạng lên cao hơn.

Bảng 5.16 Vật liệu màng loa: đặc tính và ứng dụng

Vật liệu	Đặc tính	Ưu và nhược	Thường dùng cho
Giấy (bột giấy ép)	Nhẹ, tự tắt dao động tốt	Rẻ, âm sắc tự nhiên; hút ẩm, biến đổi theo thời tiết	Củ trầm và trung phổ thông, loa nhạc cụ
Polypropylene	Nhẹ, không hút ẩm, tự tắt dao động rất tốt	Bền với thời tiết; kém cứng nên hạn chế ở dải cao	Loa ngoài trời, loa xe hơi, củ trung
Nhôm và magiê	Rất cứng	Đẩy điểm gãy dạng lên rất cao; khi gãy thì gãy dữ dội, cần bộ lọc chặn	Củ trung cao cấp, vòm cao
Kevlar và sợi thủy tinh	Cứng, tự tắt dao động khá	Cân bằng tốt giữa cứng và tắt; giá cao	Củ trung của loa nghe nhạc cao cấp
Sợi carbon và nhôm tổ ong	Cứng nhất trên một đơn vị khối lượng	Chỉ tiêu kỹ thuật tốt nhất; rất đắt	Loa kiểm tra phòng thu, loa cao cấp
Lụa tẩm nhựa	Mềm, tự tắt dao động rất tốt	Không có đỉnh gãy dạng nhọn, tiếng dịu; kém chi tiết hơn kim loại	Vòm cao của loa nghe nhạc
Berylli	Cứng gấp nhiều lần nhôm, rất nhẹ	Điểm gãy dạng vượt hẳn ngưỡng nghe; rất đắt và độc khi gia công	Vòm cao và màng kèn nén cao cấp

5.9.4 Cuộn dây và bài toán nhiệt

Đây là phần khác biệt lớn nhất giữa loa và micro, đồng thời là phần ít được đề cập nhất. Micro nhận vào vài microoát, còn loa nhận vào hàng chục đến hàng trăm oát, trong đó hơn 98 phần trăm biến thành nhiệt ngay tại cuộn dây; một củ loa 200 W thực chất là một nguồn nhiệt 196 W kèm một phần nhỏ năng lượng âm thanh.



(a) đường thoát nhiệt của cuộn dây

(b) nén công suất

Hình 5.33 Đường thoát nhiệt của cuộn dây và hiện tượng nén công suất

Nhiệt độ cuộn dây khi làm việc liên tục ở công suất cao có thể lên 150 – 250 °C. Điện trở của đồng tăng theo nhiệt độ:

$$R_e(T) = R_{e0}[1 + \alpha(T - T_0)] \quad , \quad \alpha_{Cu} \approx 0{,}00393\ \mathrm{K}^{-1} \tag{5.16}$$

Với hệ số nhiệt của đồng khoảng 0,00393 trên mỗi độ, cuộn dây nóng lên 100 °C thì điện trở tăng gần 40 phần trăm. Amply vẫn đưa ra đủ điện áp nhưng dòng qua cuộn dây giảm, nên lực đẩy giảm theo. Hiện tượng này gọi là nén công

suất: càng tăng công suất đưa vào thì phần công suất thực sự biến thành âm thanh càng ít.

Ba biện pháp tản nhiệt thường gặp trong thiết kế:

- Ferrofluid là chất lỏng từ tính giữ trong khe từ, dẫn nhiệt gấp nhiều lần không khí và hạ nhiệt cuộn dây 20 – 40 °C; nhược điểm là khô dần sau nhiều năm nên phải thay.
- Lỗ thông gió dọc trụ từ cho không khí lưu thông theo chính nhịp dao động của màng.
- Khung nhôm đúc và má cực có cánh tản nhiệt được dùng cho loa công suất lớn.

LƯU Ý 5.8

Hai con số công suất ghi trên loa hoàn toàn khác nhau và thường bị nhầm lẫn. Công suất liên tục (RMS hoặc AES) là mức chịu được lâu dài và là con số dùng để tính toán, còn công suất đỉnh hoặc "công suất âm nhạc" chỉ là mức chịu được trong vài mili giây, thường được ghi gấp bốn lần để quảng cáo.

5.9.5 Độ nhạy và hiệu suất

Độ nhạy của loa là mức áp suất âm đo được ở khoảng cách 1 mét khi đưa vào công suất 1 oát, với đơn vị là dB SPL trên mỗi oát ở mỗi mét:

$$L_{\text{sens}} = \text{dB SPL @ 1 W / 1 m} \tag{5.17}$$

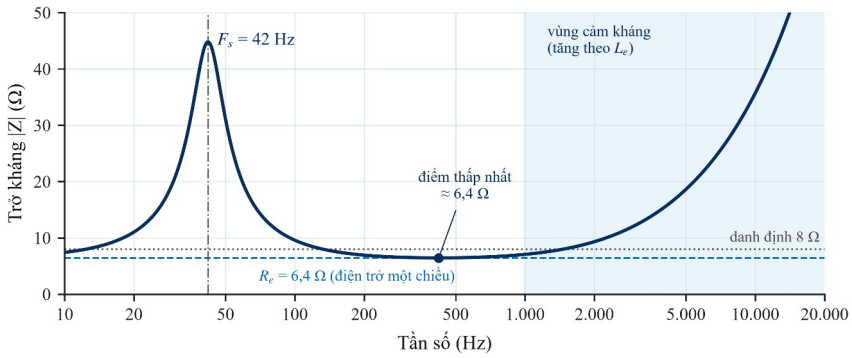
Hiệu suất là tỷ lệ giữa công suất âm phát ra và công suất điện đưa vào:

$$D = \frac{P_a}{P} \times 100 \quad (\%) \tag{5.18}$$

Con số này thường gây bất ngờ cho người mới học: hiệu suất của một củ loa điện động thông thường chỉ khoảng 0,5 – 2 phần trăm. Loa kèn có hiệu suất cao hơn hẳn, tới 10 – 25 phần trăm, nên vẫn được dùng cho các hệ thống công suất lớn; cơ chế được giải thích ở mục 5.10.1.

5.9.6 Đường cong trở kháng

Con số "8 Ω" hay "4 Ω" ghi trên loa chỉ là trở kháng danh định, còn trở kháng thật thay đổi mạnh theo tần số.



Hình 5.34 Đường cong trở kháng thật của một củ loa trầm 8 inch, đánh dấu đỉnh cộng hưởng Fs và vùng cảm kháng

Đường cong có ba đặc điểm cần đọc được. Ở tần số rất thấp, trở kháng bằng Re, là điện trở một chiều của cuộn dây và luôn nhỏ hơn trở kháng danh định. Tại tần số cộng hưởng Fs, trở kháng tăng vọt lên một đỉnh cao vì ở đó củ loa tự dao động dễ nhất nên amply đưa vào rất ít công suất. Từ dải trung trở lên, trở kháng tăng dần theo tần số do điện cảm của cuộn dây.

LƯU Ý 5.9

Điểm thấp nhất của đường cong, không phải con số danh định, mới là tải nặng nhất mà amply phải chịu. Một loa ghi "8 Ω" có thể giảm xuống 5 Ω ở một dải tần nào đó, nên khi đấu song song nhiều loa phải tính theo giá trị thấp nhất này, nếu không amply sẽ vào chế độ bảo vệ hoặc hỏng.

5.9.7 Tham số Thiele–Small

Thiele và Small là hai kỹ sư đã đưa ra bộ tham số mô tả đầy đủ hành vi của một củ loa ở dải trầm, cho phép tính trước đáp tuyến khi lắp củ loa vào hộp. Trước công trình của hai ông, thiết kế thùng loa chủ yếu dựa trên thử và sai [8], [9].

Bảng 5.17 Tham số Thiele–Small: ký hiệu, đơn vị, ý nghĩa và giá trị điển hình

Ký hiệu	Đơn vị	Ý nghĩa	Củ trầm 8 inch	Củ trung 5 inch
Fs	Hz	Tần số cộng hưởng của củ loa khi để tự do	35 – 45	70 – 90
Qts	—	Hệ số phẩm chất tổng, quyết định kiểu hộp phù hợp	0,35 – 0,45	0,45 – 0,60
Qes	—	Phần hệ số phẩm chất do mạch điện quyết định	0,38 – 0,50	0,50 – 0,70
Qms	—	Phần hệ số phẩm chất do ma sát cơ học quyết định	3,0 – 6,0	2,5 – 5,0
Vas	lít	Thể tích không khí có độ đàn hồi bằng độ đàn hồi của hệ treo	40 – 90	6 – 14
Xmax	mm	Biên độ tuyến tính tối đa	5 – 9	3 – 5
Sd	cm²	Diện tích màng hữu ích	210 – 230	78 – 90
BL	T·m	Tích cảm ứng từ với chiều dài dây trong khe	9 – 14	5 – 8

Trong tám tham số, hai tham số quyết định việc chọn kiểu hộp là Qts và Vas. Theo quy tắc kinh nghiệm, Qts dưới 0,4 hợp với hộp thùng hơi, Qts từ 0,4 đến 0,7 hợp với hộp kín, còn Qts trên 0,7 hợp với hộp hở hoặc không cần hộp.

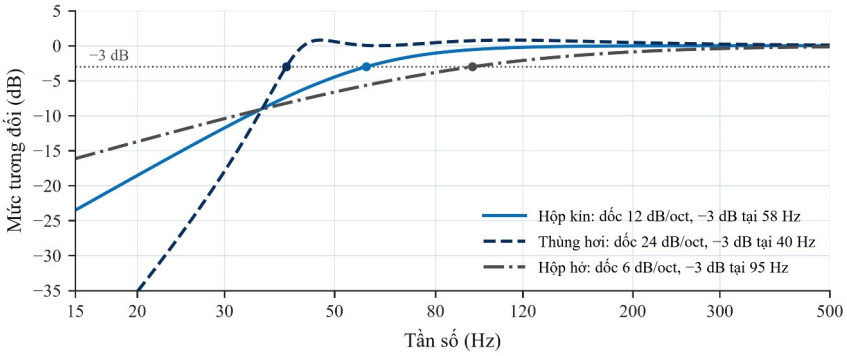
Khi lắp củ loa vào một hộp kín thể tích Vb, không khí bị nén trong hộp đóng vai trò một lò xo phụ, làm tăng cả tần số cộng hưởng lẫn hệ số phẩm chất:

$$F_c = F_s\sqrt{1+\frac{V_{as}}{V_b}} \quad ; \quad Q_{tc} = Q_{ts}\sqrt{1+\frac{V_{as}}{V_b}} \tag{5.19}$$

Với hộp thùng hơi, ống thông hơi cùng thể tích hộp tạo thành một hệ cộng hưởng Helmholtz có tần số riêng:

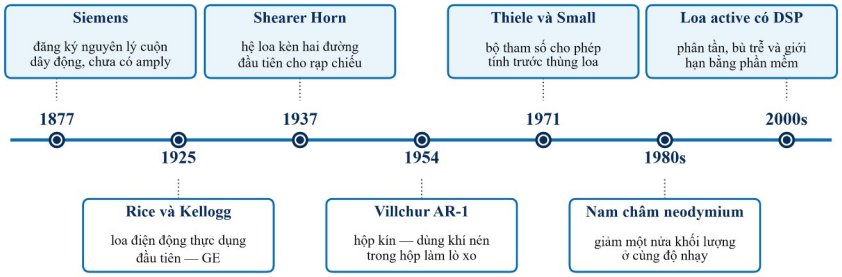
$$F_b = \frac{c}{2\pi}\sqrt{\frac{S_v}{V_b L_v}} \quad \text{(Hz)} \tag{5.20}$$

Trong công thức trên, Sv là tiết diện ống, Lv là chiều dài ống và Vb là thể tích hộp. Người thiết kế chọn Fb sao cho nằm gần Fs của củ loa; khi đó ống phát ra năng lượng mặt sau đúng pha với mặt trước ở dải trầm, mở rộng thêm được gần một quãng tám.



Hình 5.35 Ba đáp tuyến trầm của cùng một củ loa lắp trong hộp kín, hộp thùng hơi và hộp hở

5.9.8 Lịch sử phát triển và những dòng máy kinh điển



Hình 5.36 Các mốc phát triển của loa điện động

Loa có một điểm khác biệt đáng chú ý so với micro. Ở micro, nhiều thiết kế từ thập niên 1960 vẫn được sản xuất nguyên bản vì nguyên lý đã chạm giới hạn vật lý; ngược lại, loa vẫn tiến hóa liên tục. Vật liệu màng, nam châm neodymium và nhất là phần xử lý số đã thay đổi hẳn chất lượng của loa phổ thông chỉ trong hai mươi năm gần đây: một cặp loa kiểm tra tầm trung hôm nay đo được phẳng hơn loa cao cấp của thập niên 1990 [16].

Hình 5.37 cho thấy một loa kiểm âm active nhỏ gọn của hãng Genelec, gồm củ trầm và củ cao đặt trên cùng mặt trước, kê trên chân đệm giảm rung.



Hình 5.37 Loa kiểm âm active hai đường tiếng Genelec 8010A trên chân đệm.

Nguồn: TaurusEmerald, CC BY-SA 4.0, Wikimedia Commons (truy cập 05/11/2026). (đã cắt)

Bảng 5.18 Các hãng loa tiêu biểu theo phân khúc và lĩnh vực

Hãng	Lĩnh vực mạnh	Dòng sản phẩm tiêu biểu
JBL	Khán phòng lớn, sân khấu, phòng thu	Dòng loa kèn nén công suất lớn
Meyer Sound	Sân khấu và khán phòng lớn	Loa active có DSP; tiên phong đưa xử lý số vào loa chuyên nghiệp
Genelec	Loa kiểm tra phòng dựng	Vỏ nhôm đúc bo tròn, hệ tự cân chỉnh theo phòng
Neumann (KH)	Loa kiểm tra phòng dựng	Kế thừa công nghệ Klein + Hummel
Adam Audio	Loa kiểm tra	Dùng màng AMT làm đường tiếng cao
Yamaha	Loa kiểm tra và sân khấu	Dòng NS-10 từng là chuẩn tham chiếu của cả một thế hệ phòng thu

Hãng	Lĩnh vực mạnh	Dòng sản phẩm tiêu biểu
Tannoy	Loa đồng trục	Củ cao đặt đúng tâm củ trầm — một nguồn âm duy nhất
Bowers & Wilkins	Loa nghe nhạc và phòng thu	Tiên phong dùng kevlar và berylli làm màng
Electro-Voice và RCF	Hệ lưu động và sự kiện	Loa active công suất lớn, bền với vận chuyển
Bose	Hệ lắp đặt và tiêu dùng	Loa cột nhiều củ nhỏ; ống dẫn sóng thay cho củ trầm lớn

5.9.9 Bảo quản và sự cố thường gặp

Bảng 5.19 Sự cố thường gặp ở loa điện động: triệu chứng, nguyên nhân và cách xử lý

Triệu chứng	Nguyên nhân thường gặp	Cách xử lý
Không kêu, đo thông mạch không thông	Cháy đứt cuộn dây do quá công suất hoặc do amply bị xén nặng	Thay củ loa hoặc quấn lại cuộn dây tại xưởng chuyên
Tiếng rè, xé, nhất là ở dải trầm	Cuộn dây cọ vào má cực do keo bong hoặc do nhện đã rão	Đẩy nhẹ màng bằng hai tay xem có tiếng cọ; nếu có thì phải thay củ
Tiếng lụp bụp khi mở nhạc to	Cuộn dây chạm đáy vì vượt Xmax — thường do bật bộ tăng trầm quá tay	Giảm mức dải trầm; bật bộ cắt trầm ở tần số thấp hơn hộp loa
Mất trầm dần theo năm tháng, tiếng mỏng đi	Gân nhún bằng mút đã mục — rất hay gặp ở khí hậu nóng ẩm	Thay gân nhún; đây là sửa chữa phổ biến và không quá tốn kém
Loa bên trái và bên phải nghe lệch, trầm yếu hẳn	Đấu ngược cực một bên — hai loa đẩy ngược chiều nhau	Kiểm tra lại cực dây; dùng pin 1,5 V chạm nhanh xem màng đẩy ra hay hút vào
Tiếng ù trầm khi vặn to, hết khi vặn nhỏ	Ống thông hơi bị bịt, hoặc thùng loa hở mối ghép	Thông ống; bơm keo kín các mối ghép của thùng
Loa nóng rực và nhỏ tiếng dần trong buổi diễn	Nén công suất — cuộn dây đã quá nhiệt	Giảm mức; tăng số lượng loa thay vì đẩy mạnh vài chiếc

Về bảo quản, yếu tố gây hại lớn nhất cho loa ở Việt Nam là độ ẩm và côn trùng làm mục gân nhún bằng mút. Loa để lâu không dùng nên được bọc kín, đặt nơi khô thoáng và định kỳ bật nhỏ vài chục phút để hệ treo không bị cứng lại ở một vị trí.

5.10 Các họ loa khác

Mục này giữ đúng vai trò của mục 5.2 ở nửa micro: giới thiệu các họ còn lại, rồi khép lại bằng bảng so sánh và bảng tra chọn. Trước đó cần trả lời một câu hỏi then chốt để hiểu toàn bộ mục: vì sao ở micro thì họ điện dung chiếm lĩnh phòng thu, còn ở loa thì họ điện động chiếm hơn chín mươi phần trăm thị trường, dù hai nguyên lý này là một cặp đối ngẫu? [20]

5.10.1 Vì sao tỷ lệ sử dụng ở loa lại đảo ngược so với micro

Câu trả lời nằm ở một khác biệt tưởng nhỏ nhưng mang tính quyết định. Microphone chỉ cần *cảm nhận* một áp suất đã có sẵn trong không khí mà không phải sinh công, nên màng càng nhẹ, càng mỏng, càng nhỏ thì càng chính xác; nguyên lý điện dung, vốn cho lực rất yếu nhưng độ nhạy rất cao, vì vậy chiếm ưu thế tuyệt đối.

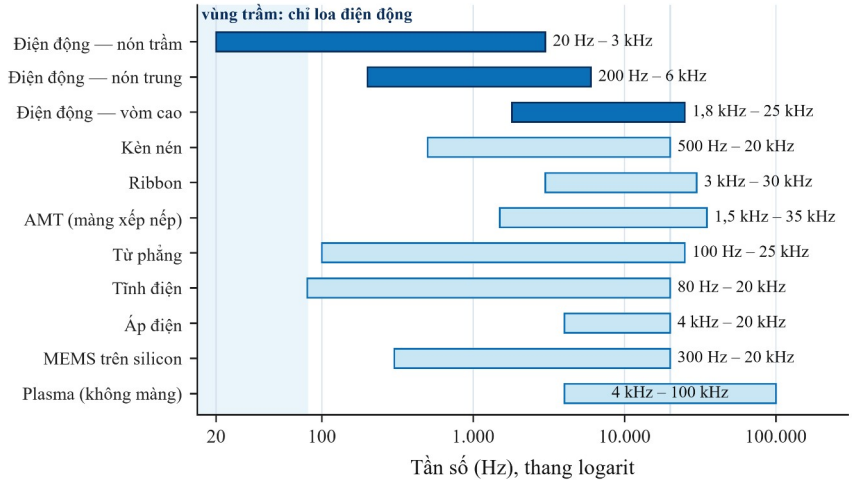
Loa thì phải *tạo ra* áp suất: phải đẩy một khối lượng không khí có thật, sinh công liên tục hàng trăm oát và tản được lượng nhiệt lớn đi kèm. Lực tĩnh điện trên một đơn vị diện tích tính theo:

$$\frac{F}{A} = \frac{\varepsilon_0 V^2}{2d^2} \quad \text{(Pa)} \tag{5.21}$$

Với điện áp vài kilôvôn và khoảng cách vài milimét, lực này chỉ vào cỡ vài chục pascal, nhỏ hơn lực điện động hàng trăm lần. Muốn có tiếng trầm bằng nguyên lý tĩnh điện, phải bù bằng diện tích: một tấm loa tĩnh điện phải cao trên một mét rưỡi mới xuống được 80 Hz, trong khi một củ loa điện động đường kính 20 cm xuống được tới 35 Hz.

GHI NHỚ 5.4

Nguyên lý điện động cho lực lớn trong một thể tích nhỏ, còn nguyên lý điện dung cho độ chính xác cao với lực rất nhỏ. Micro cần độ chính xác, loa cần lực; cùng một cặp nguyên lý nhưng hai yêu cầu ngược nhau nên cho hai kết quả ngược nhau.



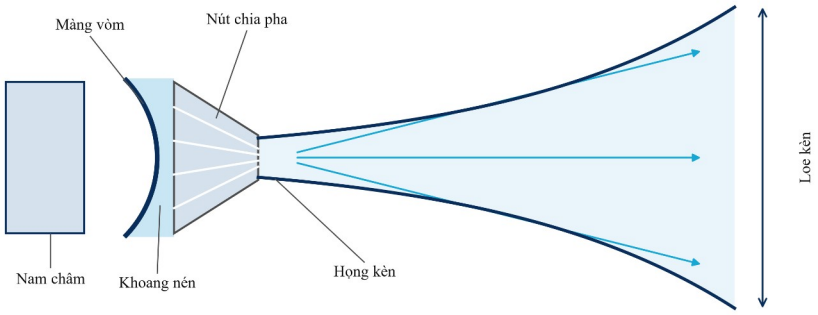
Hình 5.38 Dải tần mà từng họ loa làm được trong thực tế

Biểu đồ trên là hình quan trọng nhất của mục này. Biểu đồ cho thấy mọi họ loa khác đều chỉ phủ được từ dải trung trở lên, còn vùng trầm thuộc về loa điện động. Vì vậy trong thực tế, các họ loa khác gần như luôn xuất hiện dưới dạng đường tiếng cao ghép chung với một củ trầm điện động, hiếm khi đứng một mình.

5.10.2 Kèn nén

Kèn nén vẫn dùng nguyên lý điện động nhưng cách ghép với không khí hoàn toàn khác, nên được coi là một họ riêng. Thay vì để màng đẩy thẳng vào

không khí trống, người ta cho màng đẩy vào một khoang khí rất nhỏ rồi dẫn qua một kèn loe dần.



Hình 5.39 Cấu tạo một đường tiếng kiểu kèn nén: màng vòm, khoang nén, nút chia pha và kèn

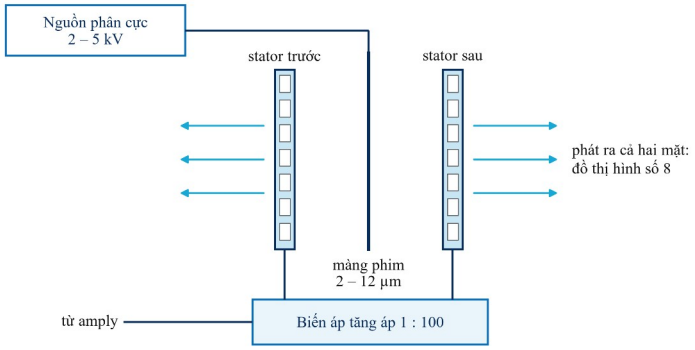
Bản chất của kèn là một bộ phối hợp trở kháng âm học, cùng vai trò với biến áp trong mạch điện. Không khí là môi trường có trở kháng rất thấp so với màng loa, nên nếu màng đẩy thẳng vào không khí thì phần lớn năng lượng không truyền đi được. Khoang nén và họng kèn nâng trở kháng mà màng "nhìn thấy" lên nhiều lần, khiến việc truyền năng lượng hiệu quả hơn hẳn.

Nút chia pha là chi tiết tinh xảo nhất: nút chia đường đi từ các phần khác nhau của màng vòm sao cho mọi phần tới họng kèn cùng pha. Nếu thiếu nút này, các phần của màng sẽ triệt nhau ở dải cao.

- **Ưu thế:** hiệu suất 10 – 25 phần trăm, gấp mười lần loa nón; độ nhạy thường trên 105 dB/1 W/1 m; góc phủ kiểm soát được chính xác bằng hình dạng kèn, điều rất quan trọng khi thiết kế hệ thống âm thanh cho không gian lớn.
- **Hạn chế:** muốn xuống trầm thì kèn phải rất lớn vì miệng kèn cần cỡ bằng bước sóng; méo cao hơn loa nón do khí bị nén mạnh trong khoang; âm sắc dễ bị "có màu" nếu kèn thiết kế kém.

5.10.3 Loa tĩnh điện

Họ này là bản đối ngẫu trực tiếp của micro điện dung. Một màng phim cực mỏng mang điện tích cố định được treo giữa hai tấm lưới kim loại đục lỗ; tín hiệu âm thanh đặt lên hai lưới theo chiều ngược nhau, hút màng về một bên rồi bên kia.



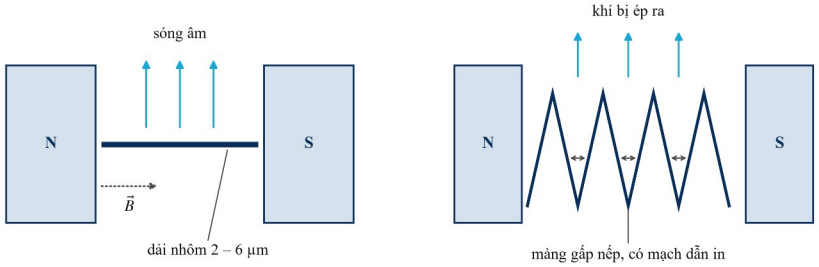
Hình 5.40 Mặt cắt một tấm loa tĩnh điện và các đặc điểm của họ loa này

Ưu điểm về mặt vật lý là tuyệt đối: màng nhẹ hơn cả khối không khí mà nó đẩy nên có đáp ứng xung tốt nhất trong mọi họ loa, và lực phân bố đều trên toàn bộ diện tích màng thay vì tập trung ở một cuộn dây nên gần như không có méo do gãy dạng.

Cái giá phải trả cũng tương xứng: cần tấm rất lớn mới có trầm; cần nguồn cao áp 2 – 5 kV và biến áp tăng áp nên rất kén amply; trở kháng giảm xuống rất thấp ở dải cao; dễ hỏng do ẩm và bụi. Vì phát ra cả hai mặt nên loa có đồ thị hình số 8 tự nhiên, đòi hỏi phòng nghe phải xử lý tường sau.

Về thương hiệu, Quad ESL của Anh là thiết kế kinh điển từ năm 1957; Martin Logan hiện là hãng phổ biến nhất, thường ghép tấm tĩnh điện cho dải trung cao với một củ trầm điện động cho dải thấp, đúng như biểu đồ dải tần đã chỉ ra.

5.10.4 Loa ribbon và loa màng xếp nếp



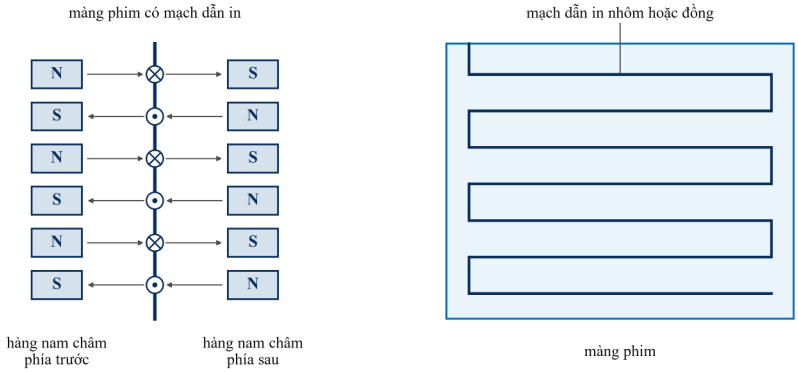
Hình 5.41 Loa ribbon dải nhôm phẳng và loa AMT màng xếp nếp

Loa ribbon là bản đối ngẫu của micro ribbon: một dải nhôm dày 2 – 6 micromet treo trong khe từ, dòng điện chạy dọc dải và đẩy dải vuông góc với từ trường. Trở kháng của dải nhôm chỉ vài phần trăm ôm nên bắt buộc phải có biến áp tăng trở kháng. Ưu điểm là khối lượng cực nhỏ cho đáp ứng dải cao rất trơn; nhược điểm là mỏng manh và chỉ làm được từ khoảng 3 kHz trở lên.

Loa AMT (Air Motion Transformer, do Oskar Heil phát minh năm 1972) [18] là một cải tiến hiệu quả của ý tưởng ribbon. Màng phim có in mạch dẫn được gấp thành nhiều nếp như đàn xếp; khi dòng điện chạy qua, các nếp đóng mở đồng thời và ép không khí ra ngoài với tốc độ nhanh gấp bốn đến năm lần tốc độ của chính màng. Nhờ vậy loa có độ nhạy cao hơn ribbon, chịu công suất tốt hơn và bền hơn đáng kể.

AMT hiện được dùng phổ biến làm đường tiếng cao cho loa kiểm tra phòng dựng và loa sân khấu; Adam Audio là hãng gắn liền nhất với công nghệ này.

5.10.5 Loa từ phẳng



Hình 5.42 Loa từ phẳng: mặt cắt ngang và đường mạch dẫn in trên màng

Loa từ phẳng, còn gọi là isodynamic, có vị trí trung gian giữa ribbon và điện động. Màng là một tấm phim mỏng có in sẵn mạch dẫn hình ziczac, đặt giữa hai hàng nam châm thanh, nên về bản chất là một cuộn dây được trải phẳng trên toàn bộ diện tích màng.

Nhờ cấu tạo này, lực đẩy phân bố đều như ở loa tĩnh điện nên méo rất thấp mà không cần nguồn cao áp, nhưng đổi lại hiệu suất khá thấp và giá thành cao. Họ loa này hiện chiếm ưu thế ở mảng tai nghe cao cấp và có mặt trong một số loa dạng tấm như Magnepan.

5.10.6 Áp điện, MEMS và plasma

- **Loa áp điện.** Một phiến gốm áp điện biến dạng khi có điện áp đặt vào và kéo theo một màng nhỏ. Loa có giá thành rất thấp và không cần phân tần vì bản thân đã chặn dải trầm, nhưng méo cao và âm sắc thô; ứng dụng thực tế là còi báo, đồ chơi và tweeter của loa giá thấp.
- **Loa MEMS.** Đây là đối ngẫu trực tiếp của micro MEMS, với toàn bộ cấu trúc được chế tạo trên phiến silicon và là công nghệ mới nhất trong danh sách, hiện dùng cho tai nghe không dây. Ưu thế là kích thước siêu nhỏ và độ đồng nhất tuyệt đối giữa các đơn vị; giới hạn là chưa làm được dải trầm và chưa chịu được công suất lớn.
- **Loa plasma.** Loa không có màng rung: một hồ quang điện làm nóng và giãn nở không khí trực tiếp theo tín hiệu. Vì không có khối lượng nào phải dịch chuyển, đáp ứng xung hoàn hảo về lý thuyết và dải tần lên tới trên 100 kHz; tuy nhiên loa sinh ozone độc, chỉ làm được dải cao và có giá thành rất cao, nên chủ yếu tồn tại như một minh chứng kỹ thuật.

5.10.7 Bảng đối chiếu micro và loa

Bảng dưới đây tổng hợp toàn bộ tính đối ngẫu giữa hai nửa của chương. Người đọc nên thử tự điền lại bảng này từ trí nhớ như một cách tự kiểm tra nhanh.

Bảng 5.20 Đối chiếu các họ microphone và các họ loa theo nguyên lý chuyển đổi

Nguyên lý	Ở microphone	Ở loa	Nhận xét về tỷ lệ sử dụng
Điện động (cuộn dây động)	Phổ biến, nhưng không phải số một	Áp đảo — trên 90 % thị trường	Cho lực lớn trong thể tích nhỏ: hợp với loa hơn micro
Điện dung / tĩnh điện	Chuẩn của phòng thu	Rất hiếm, chỉ ở phân khúc cao cấp	Cho độ chính xác cao nhưng lực yếu: hợp với micro hơn loa
Ribbon (dải nhôm)	Micro ribbon phòng thu	Tweeter ribbon, khá phổ biến	Cả hai phía đều chỉ hợp với dải cao
Màng xếp nếp (AMT)	Không có bản tương ứng	Đường tiếng cao của nhiều loa kiểm tra	Giải pháp riêng của phía loa để tăng hiệu suất
Từ phẳng (planar)	Không có bản tương ứng	Loa tấm và tai nghe cao cấp	Cuộn dây trải phẳng — ý tưởng chỉ có nghĩa khi cần lực phân bố đều
Áp điện	Micro tiếp xúc	Tweeter giá rẻ và còi báo	Hai phía đều nằm ở phân khúc thấp
MEMS trên silicon	Micro điện thoại và mảng micro	Loa tai nghe không dây, còn mới	Phía micro đã trưởng thành, phía loa mới bắt đầu
Không màng (plasma)	Không có bản tương ứng	Loa plasma dải cao	Chỉ khả thi ở phía loa, vì loa mới cần tạo ra áp suất
Kèn nén	Ống giao thoa của micro shotgun	Kèn nén của loa khán phòng lớn và sân khấu	Hai cách dùng khác nhau của cùng một ý tưởng dẫn sóng

5.10.8 Chọn loa theo tình huống sử dụng

Bảng 5.21 Bảng tra chọn loa theo tình huống sử dụng

Tình huống	Kiểu loa nên dùng	Lý do kỹ thuật
Phòng dựng hậu kỳ, kiểm tra bản trộn	Loa active hai hoặc ba đường, có DSP cân chỉnh theo phòng	Cần đáp tuyến phẳng và ổn định hơn cần độ to; DSP bù được ảnh hưởng của phòng
Sân khấu ngoài trời, sự kiện lớn	Loa dàn hàng (line array) active, màng polypropylene	Cần công suất lớn, kiểm soát góc phủ theo chiều dọc, chịu được thời tiết
Loa theo dõi trên sân khấu cho người biểu diễn	Loa nón đồng trục, thùng nghiêng	Nguồn âm điểm giúp giảm hú; thùng nghiêng chiếu đúng vào tai người biểu diễn
Phòng học, hội trường nhỏ, hệ thông báo	Loa cột nhiều củ nhỏ hoặc loa trần	Ưu tiên độ rõ tiếng nói và phủ đều, không cần dải trầm sâu
Phòng nghe nhạc tại nhà, ưu tiên chi tiết	Loa thụ động hai đường có vòm lụa hoặc AMT	Đáp ứng xung tốt ở dải cao; không cần công suất lớn
Tai nghe kiểm tra khi làm việc ngoài hiện trường	Tai nghe từ phẳng hoặc điện động kín	Từ phẳng cho méo rất thấp; kiểu kín chặn tiếng ồn xung quanh
Thu tiếng động và kiểm tra tại chỗ	Loa nón đơn giản chạy pin	Chỉ cần nghe lại nội dung, không dùng để đánh giá chất lượng

GHI NHỚ 5.5

Hình 5.43 cho thấy một cụm loa dàn hàng (line array) gồm nhiều module xếp chồng, treo thẳng đứng và có thể điều chỉnh góc giữa các module.



Hình 5.43 Cụm loa dàn hàng treo gồm sáu module.

Nguồn: Epolk, CC BY-SA 4.0, Wikimedia Commons (truy cập 05/11/2026).

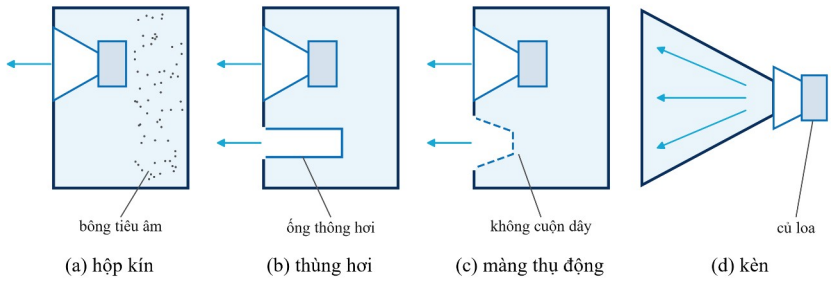
Quy tắc chung cho cả mục: mọi hệ thống phát lại đều phải có ít nhất một củ loa điện động, vì không họ nào khác làm được dải trầm, còn các họ khác xuất hiện để làm tốt hơn một đoạn dải tần cụ thể chứ không nhằm thay thế.

Khi xem xét một công nghệ loa mới, câu hỏi đầu tiên cần đặt ra là công nghệ đó phủ được dải tần nào, vì câu trả lời gần như luôn cho biết nó sẽ được ghép với loại củ loa nào.

5.11 Hộp loa, phân tần và khuếch đại

5.11.1 Vì sao củ loa phải có hộp

Một củ loa để trần phát ra sóng ở cả hai mặt màng, và hai sóng này ngược pha nhau. Ở dải cao, bước sóng ngắn hơn kích thước củ loa nên hai sóng không gặp nhau; ở dải trầm, bước sóng dài hơn nhiều nên sóng mặt sau vòng ra trước và triệt tiêu sóng mặt trước. Kết quả là củ loa để trần gần như không có tiếng trầm, và nhiệm vụ đầu tiên của hộp loa là ngăn hai mặt sóng gặp nhau [17].



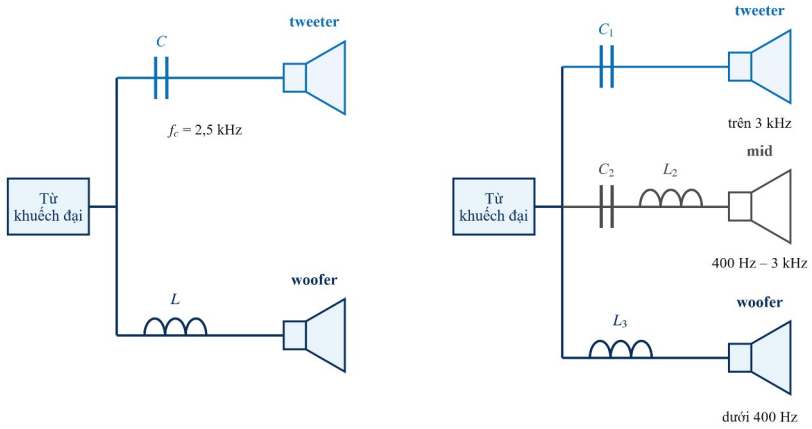
Hình 5.44 Bốn kiểu hộp loa vẽ mặt cắt: hộp kín, thùng hơi, màng thụ động và kèn

Bảng 5.22 So sánh bốn kiểu hộp loa

Kiểu hộp	Đáp tuyến trầm	Hiệu suất	Đáp ứng xung	Kích thước	Ứng dụng
Hộp kín	Xuống nông, dốc thoải 12 dB/oct	Thấp nhất	Gọn nhất	Nhỏ	Loa kiểm tra phòng dựng, loa cần tiếng trầm chắc
Thùng hơi	Xuống sâu hơn gần một quãng tám, dốc 24 dB/oct	Cao hơn hộp kín 3 – 6 dB	Kém gọn hơn	Trung bình	Loa sàn, loa sân khấu, loa siêu trầm
Màng thụ động	Gần giống thùng hơi	Tương đương thùng hơi	Tương đương thùng hơi	Nhỏ hơn	Loa di động, loa gắn tường không đủ chỗ đặt ống
Kèn	Hạn chế ở dải rất trầm trừ khi kèn rất lớn	Cao nhất, 10 – 25 %	Tốt	Lớn	Hệ công suất lớn, loa ngoài trời

5.11.2 Phân tần

Không củ loa nào phát tốt toàn dải 20 Hz – 20 kHz: củ trầm có màng lớn và nặng nên không theo kịp dải cao, còn củ cao có màng nhỏ và nhẹ nên không đẩy nổi không khí ở dải trầm. Vì vậy loa thực tế luôn có từ hai củ trở lên và cần một mạch chia dải tần cho từng củ, gọi là phân tần.



Hình 5.45 Sơ đồ phân tần thụ động hai đường và ba đường

Phân tần thụ động đặt sau amply và được làm bằng cuộn cảm và tụ điện. Cuộn cảm có trở kháng tăng theo tần số nên chặn dải cao và cho dải trầm đi qua, còn tụ điện hoạt động theo chiều ngược lại. Tần số cắt và giá trị linh kiện tính theo:

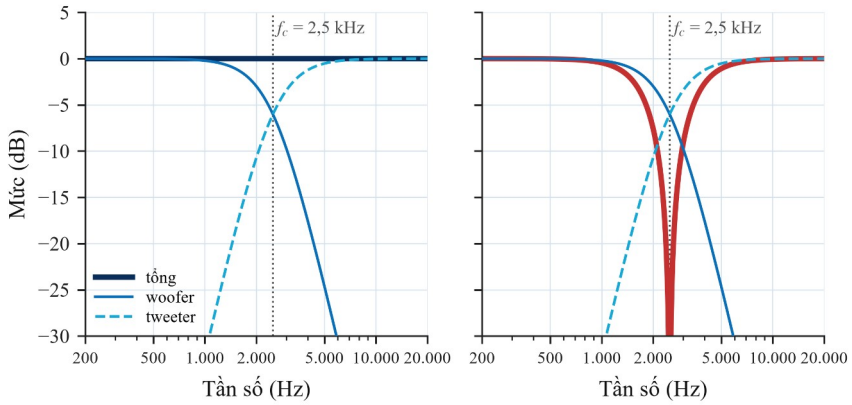
$$f_c = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \quad ; \quad L = \frac{R}{2\pi f_c} \quad , \quad C = \frac{1}{2\pi f_c R} \tag{5.22}$$

GHI NHỚ 5.6

Phân tần chính là bốn bộ lọc đã trình bày ở Chương 4 (thấp qua, cao qua, dải thông và chắn dải), chỉ khác ở chỗ được thực hiện bằng cuộn cảm và tụ điện thay vì bằng mã. Nhận ra mối liên hệ này giữa hai chương là một mục tiêu quan trọng của cả cuốn sách.

5.11.3 Pha tại tần số cắt

Ở vùng quanh tần số cắt, cả hai củ loa cùng phát, và kết quả phụ thuộc vào quan hệ pha giữa chúng.



(a) đấu đúng pha: tổng phẳng (b) đảo pha tweeter: hõm tại f_c

Hình 5.46 Đáp tuyến của hai củ loa và tổng khi đấu đúng pha và khi đảo pha tại tần số cắt

Với bộ lọc Linkwitz–Riley dốc 24 dB/quãng tám, loại phổ biến nhất hiện nay, hai củ đấu đúng pha cho tổng phẳng qua vùng cắt. Nếu đảo hai đầu dây của củ cao, tổng xuất hiện một hõm sâu ngay tại tần số cắt, thường là 2 – 3 kHz, tức đúng vùng quan trọng nhất của giọng nói.

LƯU Ý 5.10

Đảo dây một củ loa trong hộp là lỗi lắp ráp rất khó phát hiện bằng cách nghe từng củ riêng vì từng củ vẫn phát bình thường; chỉ khi nghe cả loa mới thấy giọng hát bị lõm và mỏng. Cách kiểm tra chắc chắn là đo đáp tuyến tổng.

Ngược lại, một số thiết kế phân tần bậc lẻ yêu cầu đấu ngược pha mới cho tổng phẳng, do đó cần luôn tuân theo sơ đồ của nhà sản xuất và không suy đoán.

5.11.4 Khuếch đại công suất

Bảng 5.23 So sánh ba lớp khuếch đại công suất

Lớp	Hiệu suất	Nhiệt tỏa	Khối lượng	Chất âm	Ứng dụng
A	20 – 30 %	Rất lớn	Rất nặng	Méo thấp nhất, âm sắc được ưa chuộng	Amply nghe nhạc cao cấp, phòng thu nhỏ
AB	50 – 65 %	Lớn	Nặng	Rất tốt, có méo chuyển tiếp nhỏ	Amply gia đình, amply phòng thu
D	trên 90 %	Nhỏ	Nhẹ	Rất tốt ở thiết kế hiện đại	Loa active, hệ lưu động, loa siêu trầm

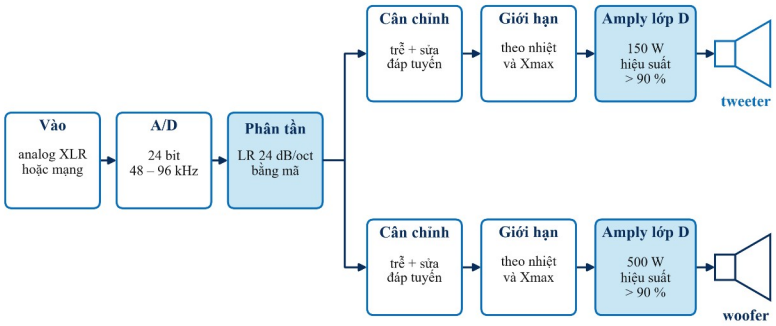
Một thông số của amply cần đọc kèm là hệ số suy giảm, tỷ số giữa trở kháng tải và trở kháng ra của amply:

$$\mathrm{DF} = \frac{Z_{\mathrm{load}}}{Z_{\mathrm{out}}} \tag{5.23}$$

Hệ số suy giảm cao nghĩa là trở kháng ra của amply rất nhỏ, nên amply kiềm chế được màng loa và không để màng dao động tự do sau khi tín hiệu đã dứt. Giá trị trên 100 là đủ tốt cho hầu hết ứng dụng; con số vài nghìn mà nhà sản xuất

quảng cáo không mang thêm ý nghĩa thực tế, vì điện trở của chính dây loa đã lớn hơn trở kháng ra của amply.

5.11.5 Loa active có xử lý số



Hình 5.47 Sơ đồ khối một loa active có xử lý số: vào, phân tần số, cân chỉnh trễ, giới hạn và hai khuếch đại lớp D

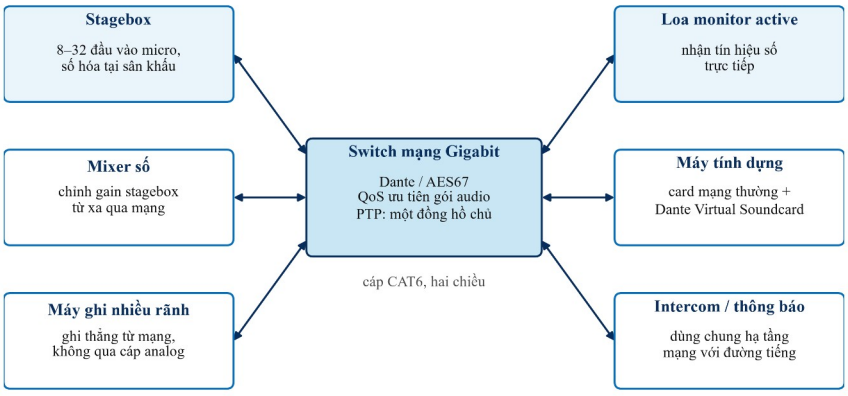
Loa active đặt phân tần trước amply và thực hiện bằng phần mềm, với ba ưu thế. Thứ nhất, dốc lọc và tần số cắt đặt tùy ý, không bị giới hạn bởi giá trị cuộn cảm và tụ điện có trên thị trường. Thứ hai, trễ giữa hai củ loa được bù chính xác tới từng mẫu nên hai củ phát đúng pha ở mọi tần số. Thứ ba, bộ giới hạn biết trước củ loa nào đang gắn phía sau nên bảo vệ được theo cả nhiệt lẫn Xmax.

Đó là lý do một loa active tầm trung thường đo được phẳng hơn một loa thụ động đắt hơn nhiều lần, và cũng là lý do loa kiểm tra trong phòng dựng ngày nay gần như đều là loa active.

5.12 Truyền tiếng qua mạng: Dante và AES67

Mục cuối phần lý thuyết giới thiệu hạ tầng truyền tín hiệu âm thanh qua mạng, đang thay thế dần cáp analog riêng cho từng kênh.

Trong các hệ thống âm thanh hiện đại, tín hiệu ngày càng ít chạy trên cáp analog riêng cho từng kênh; thay vào đó, tín hiệu được số hóa ngay tại nguồn rồi truyền trên hạ tầng mạng Ethernet thông thường. Dante là giao thức thương mại phổ biến nhất, còn AES67 là chuẩn mở cho phép các hệ khác nhau tương tác với nhau.



Hình 5.48 Hệ thống truyền tiếng qua mạng: microphone, mixer, máy ghi và loa kiểm tra nối qua một switch mạng

Hai điều kiện kỹ thuật bắt buộc của hạ tầng này là chất lượng dịch vụ và đồng bộ đồng hồ. Chất lượng dịch vụ bảo đảm gói tin âm thanh được ưu tiên hơn các loại dữ liệu khác trên cùng đường truyền, còn đồng bộ đồng hồ theo giao thức PTP bảo đảm mọi thiết bị lấy mẫu đúng cùng một nhịp; trong một mạng chỉ được có đúng một nguồn đồng hồ chủ.

5.13 Thực hành 3 — đo loa và tham số Thiele–Small

Bài thực hành cuối chương yêu cầu người đọc tự tay đo một củ loa, tính ra tham số Thiele–Small và từ đó tính thể tích hộp phù hợp. Đây là bài có tính kỹ thuật cao nhất của chương, đồng thời cho thấy rõ rằng thiết kế âm thanh có nền tảng tính toán được chứ không dựa vào cảm tính.

5.13.1 Thiết bị

Bảng 5.24 Thiết bị cho Thực hành 3

Hạng mục	Yêu cầu tối thiểu
Củ loa mẫu	Hai củ khác cỡ, ví dụ một củ trầm 8 inch và một củ trung 5 inch, tháo rời khỏi thùng
Giao diện âm thanh	Có đầu vào và đầu ra, dùng cho phép đo trở kháng
Điện trở chuẩn	Một điện trở 100 Ω sai số 1 %, dùng làm điện trở mẫu trong mạch đo
Phần mềm	REW hoặc phần mềm đo trở kháng tương đương
Vật tư	Một lượng đất nặn hoặc các quả cân nhỏ để làm phép đo thêm khối lượng
Loa active mẫu	Một cặp loa kiểm tra để đo đáp tuyến và so sánh

5.13.2 Các bước tiến hành

Bước 1 — Đo đường cong trở kháng. Mắc củ loa nối tiếp với điện trở chuẩn, phát tín hiệu quét tần và đo điện áp trên hai phần tử, rồi dựng đường cong trở kháng theo tần số. Đọc trực tiếp trên đường cong hai giá trị: Re ở tần số rất thấp và Fs tại đỉnh cộng hưởng.

Bước 2 — Tính Qms, Qes và Qts. Từ độ cao và bề rộng của đỉnh cộng hưởng, tính ba hệ số phẩm chất theo quy trình chuẩn mà phần mềm đo hỗ trợ, và ghi lại cả giá trị trung gian chứ không chỉ kết quả cuối.

Bước 3 — Xác định Vas bằng phương pháp thêm khối lượng. Gắn thêm một khối lượng đã biết lên màng loa và đo lại Fs; từ độ dịch của tần số cộng hưởng, tính ra khối lượng động của hệ và suy ra Vas.

Bước 4 — Tính thể tích hộp. Dùng công thức (5.19) tính thể tích hộp kín cho hệ số phẩm chất tổng mong muốn bằng 0,707, sau đó dùng công thức (5.20) tính kích thước ống thông hơi cho phương án thùng hơi.

Bước 5 — Đối chiếu với thông số nhà sản xuất. So sánh tám tham số vừa đo với datasheet và giải thích các chỗ lệch, có thể do sai số phép đo, độ rão của hệ treo theo thời gian sử dụng hoặc nhiệt độ phòng.

Bước 6 — Đo một cặp loa active. Đo đáp tuyến của cặp loa kiểm tra trong phòng dựng, so sánh với đường cong nhà sản xuất công bố và chỉ ra những chỗ lệch do âm học phòng gây ra.

THỰC HÀNH 5.3 — KẾT QUẢ CẦN CÓ

- Đường cong trở kháng của hai củ loa, có đánh dấu Re, Fs và điểm trở kháng thấp nhất.
- Bảng tám tham số Thiele–Small đo được, đặt cạnh giá trị nhà sản xuất công bố, kèm cột chênh lệch.
- Phần tính toán thể tích hộp kín và kích thước ống thông hơi, trình bày đủ các bước thay số.
- Biểu đồ đáp tuyến cặp loa kiểm tra trong phòng, có nhận xét về ảnh hưởng của âm học phòng.
- Một trang kết luận: với củ loa đã đo, nên chọn kiểu hộp nào và vì sao, lập luận dựa trên Qts và Vas đo được.

TÓM TẮT CHƯƠNG 5

Chương 5 khép lại phần âm thanh của cuốn sách bằng cách gắn mọi khái niệm lý thuyết của bốn chương trước vào thiết bị cụ thể. Mười bảy điểm sau đây là những nội dung cần ghi nhớ lâu dài, kể cả khi tên gọi và model thiết bị đã thay đổi:

1. Microphone là bộ chuyển đổi năng lượng, và sai sót ở khâu chuyển đổi không thể khắc phục ở các khâu sau.
2. Micro điện động sinh điện áp tỷ lệ với *vận tốc* của cuộn dây, còn micro điện dung sinh điện áp tỷ lệ với *độ dịch chuyển* của màng; sự khác biệt này giải thích gần như toàn bộ các khác biệt còn lại giữa hai họ.
3. Tính định hướng của micro điện động không nằm ở màng rung mà nằm ở khoang sau và các lỗ trễ âm, nên bịt tay quanh lưới chắn sẽ làm hỏng chính tính định hướng đó.
4. Đáp tuyến phẳng là đặc tính *tự nhiên* của micro điện dung, nhưng ở micro điện động phải hiệu chỉnh bằng khoang cộng hưởng phụ.
5. Trở kháng gigaôm của capsule điện dung là lý do bắt buộc phải có mạch đệm trong thân micro, và do đó là lý do tồn tại của nguồn 48 V phantom.
6. Khối lượng của bộ phận chuyển động quyết định đáp ứng xung, và đáp ứng xung quyết định âm sắc; vì vậy không có họ microphone nào tốt hơn một cách tuyệt đối.
7. Trong tám thông số của microphone, self-noise là thông số quyết định đối với nguồn âm nhỏ như lời thoại, còn Max SPL là thông số quyết định đối với

nguồn âm lớn; hai yêu cầu này hiếm khi được đáp ứng đồng thời trên cùng một sản phẩm.

8. Mọi con số kỹ thuật chỉ có ý nghĩa khi đi kèm điều kiện đo, gồm thang đo áp dụng, mốc méo được chọn và dung sai cho phép.
9. Toàn bộ họ đồ thị định hướng được sinh ra từ một phương trình chung; đồ thị định hướng luôn biến đổi theo tần số, và mọi microphone đều mất dần tính định hướng ở dải trầm.
10. Truyền không dây phải giải quyết ba bài toán mà truyền có dây không gặp phải, gồm nén dải động, chống triệt pha do phản xạ và chia sẻ phổ tần với các thiết bị khác.
11. Băng tần hợp lệ tại Việt Nam là 470 – 694 MHz và 1785 – 1805 MHz với công suất không quá 50 mW, trong khi dải 694 – 806 MHz đã được dành cho mạng di động nên không được phép sử dụng.
12. Các tần số cách đều nhau luôn sinh ra sản phẩm xuyên điều chế rơi vào kênh đang dùng, vì vậy một bộ tần số dùng được bắt buộc phải có khoảng cách không đều.
13. Ở phía phát lại, độ nhạy quan trọng hơn công suất, trở kháng thực quan trọng hơn trở kháng danh định, và bộ phân tần chính là bốn bộ lọc của Chương 4 được thực hiện bằng linh kiện thay vì bằng mã.
14. Micro và loa là một cặp đối ngẫu với e = BLv ở micro và F = BLi ở loa, nhưng tỷ lệ sử dụng lại đảo ngược: micro cần độ chính xác còn loa cần lực, và hai nguyên lý được dùng cho hai mục đích đó ở hai mức khác nhau.
15. Hơn 98 phần trăm công suất đưa vào loa biến thành nhiệt; nhiệt làm điện trở cuộn dây tăng và gây nén công suất, do đó gấp đôi số oát không bao giờ cho độ to gấp đôi.
16. Vùng trầm thuộc về loa điện động, vì mọi họ loa khác chỉ phủ được từ dải trung trở lên, nên chúng luôn xuất hiện dưới dạng đường tiếng cao ghép với một củ trầm điện động.

5.14 Câu hỏi ôn tập

Câu 1. Giải thích vì sao microphone điện động có đáp ứng xung kém gọn hơn microphone điện dung, và vì sao đặc tính đó lại có lợi khi thu trống.

Câu 2. Vẽ lại mặt cắt một micro điện động và ghi tên mười một bộ phận đã học, kèm vật liệu chế tạo của màng rung, cuộn dây và nam châm.

Câu 3. Một người bịt kín các lỗ trễ âm trên thân một micro điện động cardioid rồi đo lại đồ thị định hướng. Dự đoán kết quả và giải thích bằng cơ chế âm học đã học.

Câu 4. Một capsule điện dung có điện dung 30 pF. Tính trở kháng của capsule ở 50 Hz và ở 10 kHz, rồi từ hai kết quả đó giải thích vì sao không thể nối thẳng capsule vào một đoạn cáp dài.

Câu 5. Phân biệt ba trục phân loại micro điện dung: kích thước màng, cách tạo điện áp phân cực và kiểu mạch. Cho một ví dụ micro thuộc đồng thời nhóm màng nhỏ, back-electret và JFET.

Câu 6. Giải thích vì sao micro điện dung cao tần (RF) bền hơn hẳn trong điều kiện khí hậu nóng ẩm, nêu một dòng máy tiêu biểu và tình huống thu nên chọn dòng máy đó.

Câu 7. Một micro điện dung phòng thu bắt đầu có tiếng lốp bốp ngẫu nhiên sau mùa nồm. Chẩn đoán nguyên nhân, nêu cách xử lý đúng và lý do không được dùng máy sấy.

Câu 8. Một microphone có độ nhạy 12 mV/Pa. Tính độ nhạy theo dBV/Pa.

Câu 9. Microphone A có self-noise 14 dB-A và Max SPL 132 dB tại THD 1%, còn microphone B có self-noise 22 dB-A và Max SPL 140 dB tại THD 1%. Tính dải động của mỗi chiếc và cho biết chiếc nào phù hợp hơn để thu tiếng nói thì thầm trong phòng câm.

Câu 10. Dựng đồ thị định hướng của một microphone supercardioid từ phương trình (5.4) với A = 0,37 và B = 0,63, rồi xác định góc thu −3 dB.

Câu 11. Giải thích vì sao một microphone cardioid vẫn thu gần như đầy đủ tiếng ù 50 Hz phát ra từ phía sau.

Câu 12. Nêu ba lý do khiến truyền dẫn không dây khó hơn truyền dẫn có dây, và cách bộ không dây analog và bộ không dây số giải quyết từng lý do.

Câu 13. Một buổi thu dùng một micro có dây và một micro không dây số có độ trễ 3 ms cho cùng một nguồn âm. Tính tần số đầu tiên bị triệt hoàn toàn khi trộn hai đường và đề xuất cách khắc phục.

Câu 14. Cho ba kênh không dây tại 542,000 MHz, 547,000 MHz và 552,000 MHz. Tính các sản phẩm xuyên điều chế bậc ba của cả ba cặp và chỉ ra vì sao bộ tần số này không dùng được.

Câu 15. Chọn micro cho ba tình huống sau và giải thích lựa chọn bằng thông số kỹ thuật, gồm thu lời thoại trong phòng nhỏ nhiều vang (a), phỏng vấn trên bãi biển gió mạnh (b) và thu tiếng chũm chọe trong phòng thu (c).

Câu 16. Vẽ sơ đồ thu thanh cho một buổi thu hai người nói ngồi trong không gian có nhạc nền phát từ loa, và giải thích lựa chọn microphone cùng cách ghi các rãnh.

Câu 17. Một củ loa có Fs = 40 Hz, Qts = 0,38 và Vas = 60 lít. Tính thể tích hộp kín để hệ số phẩm chất tổng đạt 0,707 và cho biết tần số cộng hưởng mới của hệ.

Câu 18. Giải thích vì sao hai loa cùng ghi công suất 100 W lại có thể cho mức to nhỏ khác nhau rõ rệt, và cho biết đại lượng nào quyết định sự khác biệt đó.

Câu 19. Nêu lợi ích của việc truyền tín hiệu âm thanh qua mạng Ethernet (Dante, AES67) so với dùng cáp analog riêng cho từng kênh.

TÀI LIỆU THAM KHẢO CHƯƠNG 5

[1] Bộ Thông tin và Truyền thông (2021), Thông tư 08/2021/TT-BTTTT quy định Danh mục thiết bị vô tuyến điện được miễn giấy phép sử dụng tần số vô tuyến điện, điều kiện kỹ thuật và khai thác kèm theo, Hà Nội.

[2] Bộ Thông tin và Truyền thông (2024), Thông tư 02/2024/TT-BTTTT quy định Danh mục sản phẩm, hàng hóa có khả năng gây mất an toàn thuộc trách nhiệm quản lý của Bộ Thông tin và Truyền thông, Hà Nội.

[3] Dolby Laboratories (2025), Dolby Atmos Specifications, Issue 5, San Francisco.

[4] SMPTE (2010), ST 202:2010 — Dubbing Stages (Mixing Rooms), Screening Rooms and Indoor Theaters — B-Chain Electroacoustic Response, White Plains, New York.

[5] SMPTE (2017), RP 2096-1:2017 — Cinema Sound System Verification, White Plains, New York.

[6] AES (2019), AES42-2019 — AES standard for acoustics: Digital interface for microphones, Audio Engineering Society, New York.

[7] ITU-R (1986), Recommendation BS.468-4 — Measurement of audio-frequency noise voltage level in sound broadcasting, Geneva.

[8] Thiele, A. N. (1971), Loudspeakers in Vented Boxes, Journal of the Audio Engineering Society, Vol. 19.

[9] Small, R. H. (1972), Direct-Radiator Loudspeaker System Analysis, Journal of the Audio Engineering Society, Vol. 20.

[10] Eargle, J. (2004), The Microphone Book, 2nd edition, Focal Press, Oxford.

[11] Bauer, B. B. (1941), A Century of Microphones, Proceedings of the IRE — tài liệu gốc về nguyên lý khoang trễ âm của micro cardioid màng đơn.

[12] Wuttke, J. (2005), Microphones and Wind, Journal of the Audio Engineering Society, Vol. 40 — cơ sở kỹ thuật của chắn gió và của micro điện dung cao tần.

[13] Sennheiser (2020), RF Condenser Technology — White Paper, Wedemark, Đức.

[14] Rumsey, F. and McCormick, T. (2021), Sound and Recording: Applications and Theory, 8th edition, Routledge, London.

[15] Holman, T. (2010), Sound for Film and Television, 3rd edition, Focal Press, Burlington.

[16] Rice, C. W. and Kellogg, E. W. (1925), Notes on the Development of a New Type of Hornless Loudspeaker, Transactions of the AIEE — công trình gốc của loa điện động hiện đại.

[17] Villchur, E. (1954), Revolutionary Loudspeaker and Enclosure, Audio Magazine — giới thiệu nguyên lý hộp kín.

[18] Heil, O. (1972), Air Motion Transformer, United States Patent 3,636,278.

[19] Beranek, L. L. and Mellow, T. J. (2019), Acoustics: Sound Fields, Transducers and Vibration, 2nd edition, Academic Press, London.

[20] Colloms, M. and Darlington, P. (2018), High Performance Loudspeakers, 7th edition, Wiley, Chichester.