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

KỸ THUẬT AUDIO – VIDEO

CHƯƠNG 5 · BUỔI 3

Thiết bị điện thanh — Loa và hệ thống phát lại

Loa điện động · Các họ loa khác · Hộp loa · Rạp chiếu

5 tiết · Dành cho sinh viên Đạo diễn âm thanh, Quay phim, Đạo diễn điện ảnh – truyền hình, Dựng phim

Hà Nội – 2026

BẢN ĐỒ BUỔI HỌC

Buổi 3 — năm tiết về loa và hệ thống phát lại



Mỗi buổi khép lại bằng một bài thực hành có sản phẩm nộp

Tiết 10 và 11 đối xứng với tiết 1 và 2 của buổi 1; tiết 12 và 13 là hệ thống; tiết 14 là thực hành.

CÂU HỎI TẠI LỚP

Micro và loa dùng CÙNG một nguyên lý vật lý.

Vậy vì sao ở micro thì họ điện dung chiếm lĩnh phòng thu, còn ở loa thì họ điện động lại chiếm trên chín mươi phần trăm thị trường?

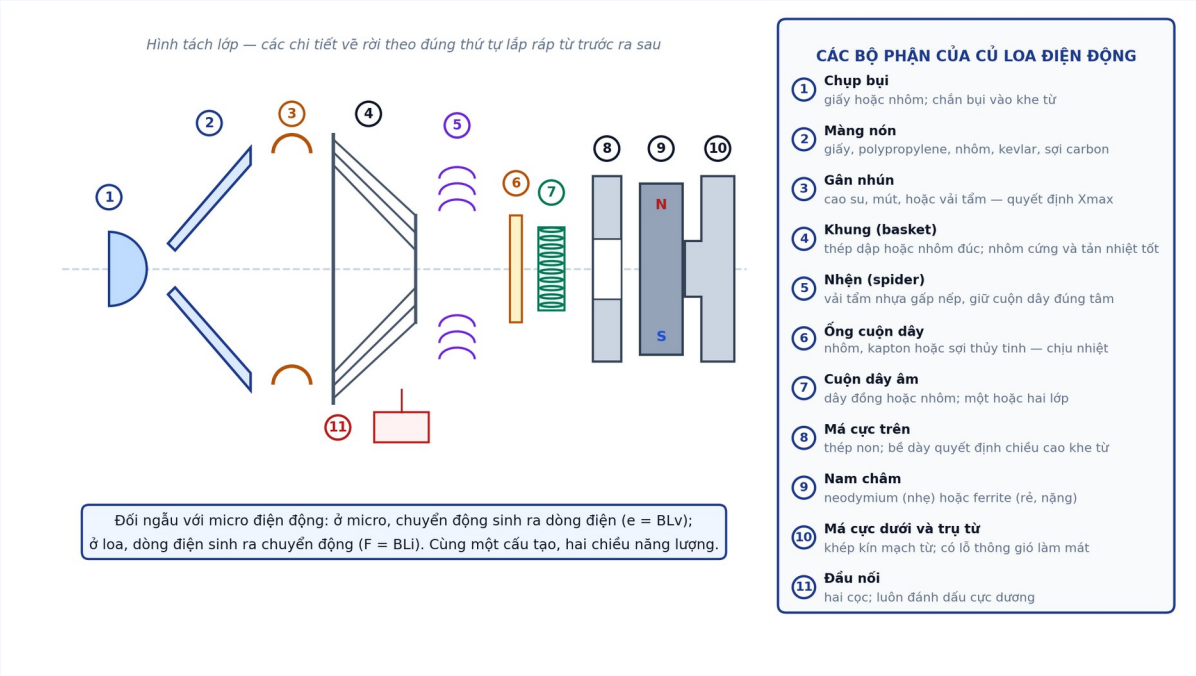
Gợi ý: micro và loa làm hai việc khác nhau về bản chất. Một bên CẢM NHẬN, một bên TẠO RA.

Suy nghĩ 30 giây — rồi trả lời

TIẾT 10

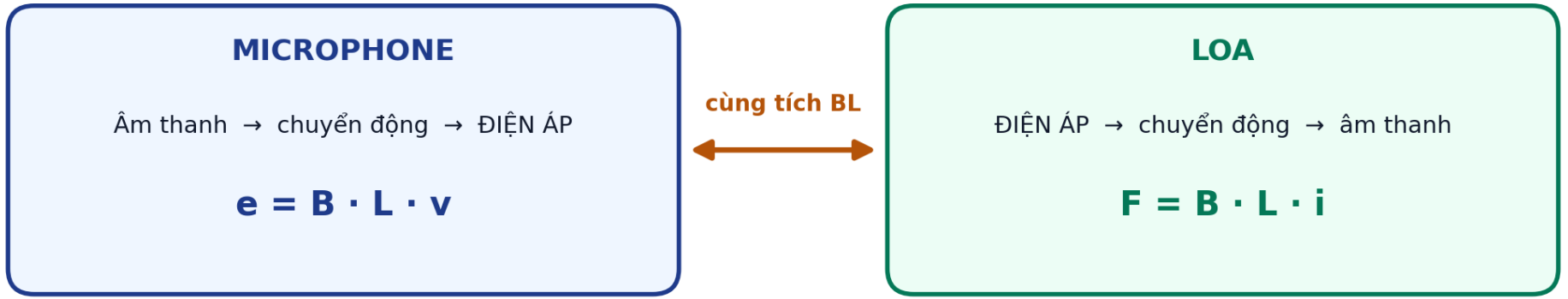
Loa điện động

- Cặp đối ngẫu: e = BLv ở micro, F = BLi ở loa
- Cấu tạo tách lớp và vật liệu màng
- Bài toán nhiệt và hiện tượng nén công suất
- Trở kháng thật và tham số Thiele–Small
- Lịch sử, thương hiệu và chẩn đoán sự cố



MỤC 5.10.1

Loa là micro chạy ngược — một cặp đối ngẫu hoàn chỉnh



Nhưng tỷ lệ sử dụng lại ĐẢO NGƯỢC

Micro chỉ CẢM NHẬN áp suất có sẵn → cần độ chính xác → họ điện dung thắng.

Loa phải TẠO RA áp suất → cần lực lớn → họ điện động thắng, chiếm trên 90 % thị trường.

Cùng tích BL. Một bên nhân với vận tốc cho ra điện áp; một bên nhân với dòng điện cho ra lực.

MỤC 5.10.1

Lực đẩy màng loa

Dòng điện chạy qua cuộn dây đặt trong khe từ sinh ra lực đẩy theo định luật Ampère. Ba đại lượng BL, Sd và Xmax quyết định củ loa đẩy được bao nhiêu không khí.

$$F = B L i \quad (\mathrm{N})$$

- **BL** (T·m) — tích cảm ứng từ với chiều dài dây trong khe. BL lớn nghĩa là củ loa "khỏe".
- **Sd** (m^2) — diện tích hữu ích của màng.
- **Xmax** (mm) — biên độ tuyến tính tối đa. Vượt quá thì lực đẩy không còn tỷ lệ với dòng điện, méo tăng vọt.

HỆ QUẢ

Vì sao không thể có tiếng trầm sâu từ một củ loa nhỏ

Thể tích không khí mà củ loa dịch chuyển được trong một nửa chu kỳ bằng diện tích màng nhân với biên độ. Đây là con số quyết định trực tiếp khả năng phát tiếng trầm.

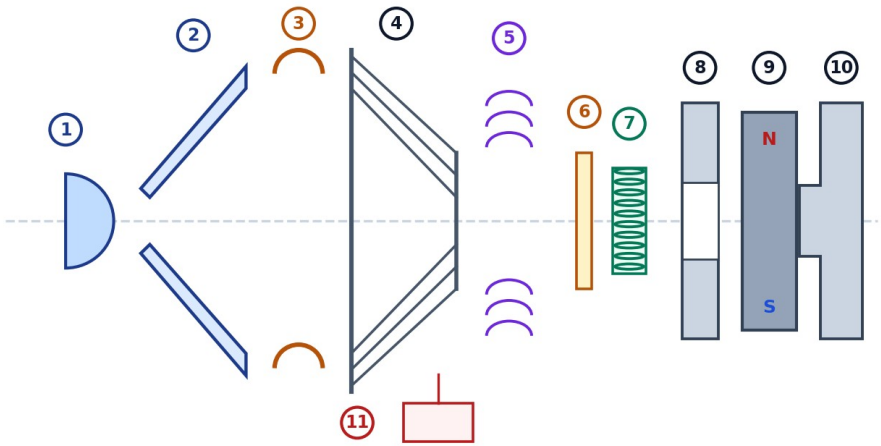
$$V_d = S_d \cdot X_{\max} \quad (\mathrm{m}^3)$$

- Muốn dịch chuyển cùng một thể tích không khí, **màng nhỏ phải đi xa hơn nhiều lần**.
- Nhưng quãng đi lại bị **Xmax chặn lại** — vượt quá là méo và có thể hỏng loa.
- Mọi quảng cáo về loa bluetooth bỏ túi cho "tiếng bass sâu" đều va vào đúng bức tường vật lý này.

MỤC 5.10.2

Cấu tạo tách lớp — mười một bộ phận

Hình tách lớp — các chi tiết vẽ rời theo đúng thứ tự lắp ráp từ trước ra sau



Đối ngẫu với micro điện động: ở micro, chuyển động sinh ra dòng điện (e = BLv); ở loa, dòng điện sinh ra chuyển động (F = BLi). Cùng một cấu tạo, hai chiều năng lượng.

CÁC BỘ PHẬN CỦA CỦ LOA ĐIỆN ĐỘNG

1. **Chụp bụi** — giấy hoặc nhôm; chắn bụi vào khe từ
2. **Màng nón** — giấy, polypropylene, nhôm, kevlar, sợi carbon
3. **Gân nhún** — cao su, mút, hoặc vải tẩm — quyết định Xmax
4. **Khung (basket)** — thép dập hoặc nhôm đúc; nhôm cứng và tản nhiệt tốt
5. **Nhện (spider)** — vải tẩm nhựa gấp nếp, giữ cuộn dây đúng tâm
6. **Ống cuộn dây** — nhôm, kapton hoặc sợi thủy tinh — chịu nhiệt
7. **Cuộn dây âm** — dây đồng hoặc nhôm; một hoặc hai lớp
8. **Má cực trên** — thép non; bề dày quyết định chiều cao khe từ
9. **Nam châm** — neodymium (nhẹ) hoặc ferrite (rẻ, nặng)
10. **Má cực dưới và trụ từ** — khép kín mạch từ; có lỗ thông gió làm mát
11. **Đầu nối** — hai cọc; luôn đánh dấu cực dương

Các chi tiết vẽ rời theo đúng thứ tự lắp ráp từ trước ra sau.

MỤC 5.10.3

Màng loa: nhẹ và cứng — hai yêu cầu mâu thuẫn

Nếu màng không đủ cứng, ở dải cao nó không còn dao động như một khối mà **gãy thành nhiều vùng dao động riêng** — hiện tượng gọi là gãy dạng (break-up).

- Gãy dạng gây méo và tạo các **đỉnh nhọn** trên đáp tuyến.
- Toàn bộ cuộc chạy đua vật liệu màng loa là để **đẩy điểm gãy dạng lên cao hơn**.
- Nón dùng cho 20 Hz – 5 kHz; vòm cho 2 – 25 kHz. **Diện tích nhỏ thì không làm được trầm** — quay lại công thức Vd vừa học.
- Vật liệu càng cứng thì điểm gãy dạng càng cao, nhưng khi gãy thì gãy càng dữ dội — nên vẫn cần bộ lọc chặn phía trên.



Bốn hình dạng màng: nón, vòm lồi, vòm lõm và phẳng — mỗi hình dạng cho một dải tần.

MỤC 5.10.3

Vật liệu màng loa — bảy loại thường gặp

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

Nhìn cột "ưu và nhược" sẽ thấy quy luật: không có vật liệu nào vừa cứng vừa tự tắt dao động tốt. Đó là đánh đổi cơ bản của thiết kế màng loa.

Một củ loa 200 W thực chất là một cái lò sưởi 196 W có kèm chút âm thanh.

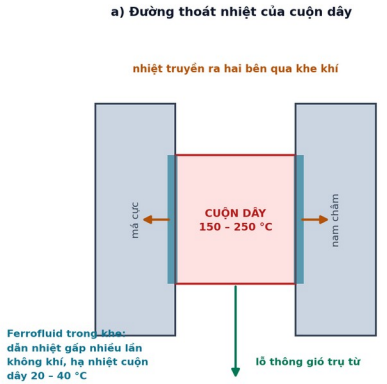
Hiệu suất của củ loa điện động thông thường chỉ 0,5 – 2 phần trăm. Hơn 98 phần trăm công suất đưa vào biến thành nhiệt ngay tại cuộn dây.

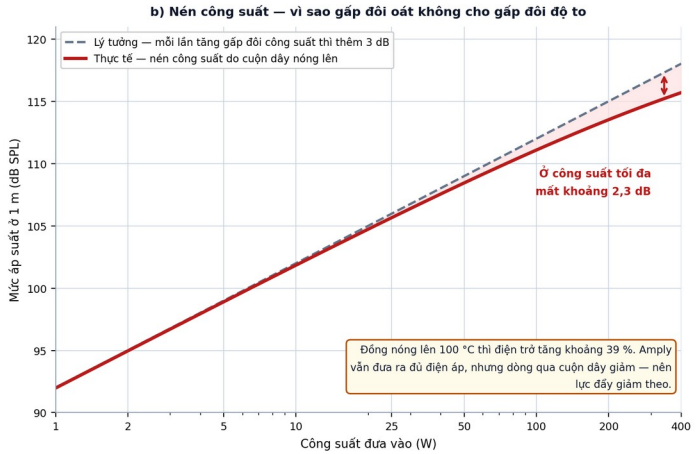
MỤC 5.10.4

Nén công suất — vì sao gấp đôi oát không cho gấp đôi độ to

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.

- Hệ số nhiệt của đồng ≈ 0,00393/°C → nóng lên 100 °C thì **điện trở tăng gần 40 %**.
- Amply vẫn đưa ra đủ điện áp, nhưng **dòng qua cuộn dây giảm** → lực đẩy giảm theo.
- Ba biện pháp tản nhiệt: **ferrofluid** trong khe từ (hạ 20 – 40 °C), **lỗ thông gió** dọc trụ từ, **khung nhôm đúc** có cánh tản nhiệt.
- Hệ quả vận hành: khi loa nóng dần trong buổi diễn, tiếng nhỏ dần đi mà không ai chạm vào núm âm lượng nào cả.





Trái: đường thoát nhiệt. Phải: đường thực tế tách dần khỏi đường lý tưởng khi công suất tăng.

MỤC 5.10.5

Độ nhạy quan trọng hơn công suất

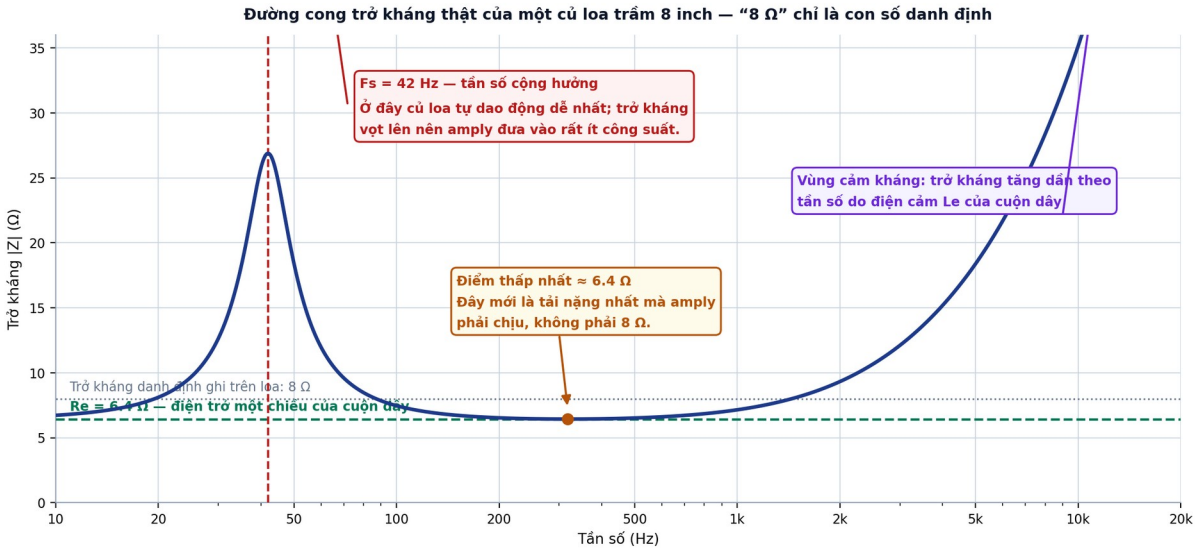
Độ nhạy là mức áp suất âm đo được ở khoảng cách 1 mét khi đưa vào công suất 1 oát.

$$N = \frac{P_o}{\sqrt{P}} \; ; \qquad L_{\text{sens}} = \text{dB SPL @ 1 W/1 m}$$

- Loa **96 dB/1 W/1 m** phát ra âm thanh to gấp **bốn lần** về công suất âm so với loa 90 dB ở cùng công suất điện.
- Khi tính công suất amply cho một phòng, luôn bắt đầu từ **độ nhạy và mức áp suất mong muốn** — không bao giờ bắt đầu từ con số oát ghi trên thùng loa.
- Đó là lý do hai loa cùng ghi 100 W lại nghe to nhỏ khác nhau rõ rệt: công suất là điện năng ĐƯA VÀO, độ to là âm thanh PHÁT RA.

MỤC 5.10.6

"8 Ω" chỉ là con số danh định



Đường cong trở kháng thật của một củ loa trầm 8 inch.

Trở kháng thật của một củ loa thay đổi mạnh theo tần số. Đường cong có ba đặc điểm cần đọc được.

- Ở tần số rất thấp, trở kháng bằng **Re** — điện trở một chiều của cuộn dây, **luôn nhỏ hơn** trở kháng danh định.
- Tại **Fs** — tần số cộng hưởng — trở kháng vọt lên một đỉnh cao: 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.
- Điểm THẤP NHẤT của đường cong, chứ không phải con số danh định, mới là tải nặng nhất mà amply phải chịu. Loa ghi "8 Ω" có thể tụt xuống 5 Ω.

MỤC 5.10.7

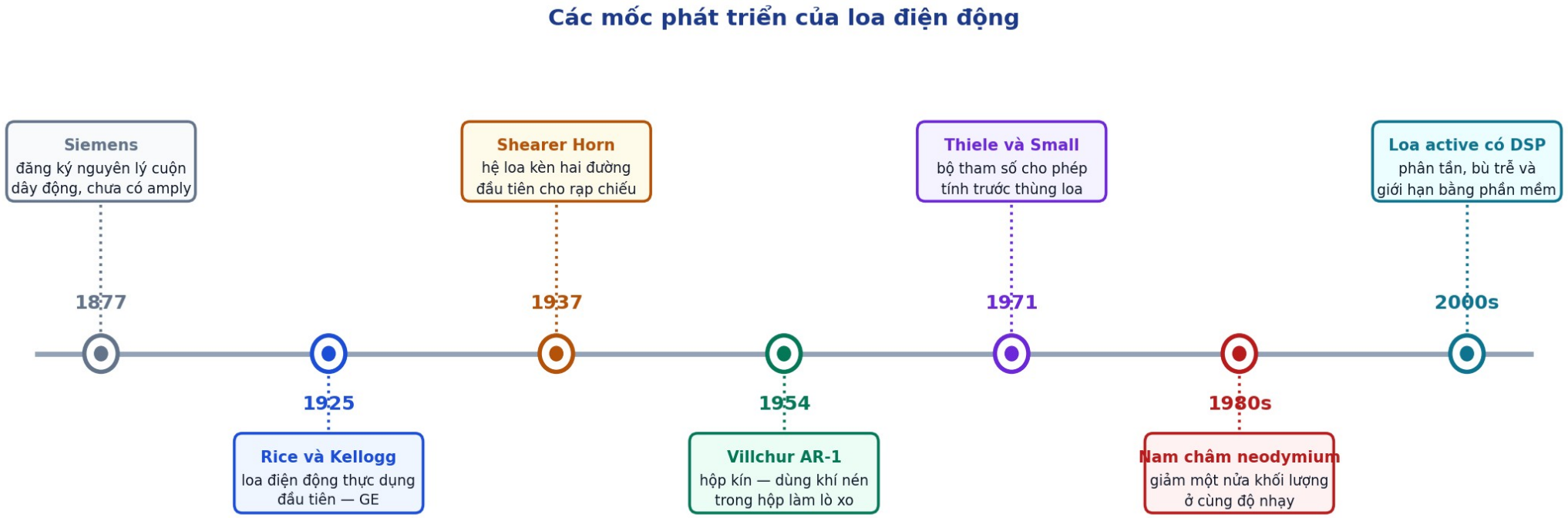
Tám tham số Thiele–Small

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

Quy tắc kinh nghiệm: Qts dưới 0,4 hợp hộp thùng hơi · Qts 0,4 – 0,7 hợp hộp kín · Qts trên 0,7 hợp hộp hở.

MỤC 5.10.8

Lịch sử: khác với micro, loa vẫn đang tiến hóa liên tục



Khác với micro, loa vẫn đang tiến hóa liên tục: vật liệu màng, nam châm và nhất là phần xử lý số đã thay đổi hẳn chất lượng loa phổ thông trong hai mươi năm gần đây.

Vật liệu màng, nam châm neodymium và nhất là phần xử lý số đã thay đổi hẳn chất lượng loa phổ thông trong hai mươi năm gần đây.

MỤC 5.10.9

Chẩn đoán sự cố loa điện động

Triệu chứng	Nguyên nhân	Xử lý
Không kêu, đo không thông mạch	Cháy đứt cuộn dây do quá công suất hoặc amply bị xén	Thay củ loa hoặc quấn lại tại xưởng chuyên
Rè, xé, nhất là ở dải trầm	Cuộn dây cọ vào má cực do keo bong hoặc nhện đã rão	Đẩy nhẹ màng bằng hai tay xem có tiếng cọ; có thì phải thay
Lụp bụp khi mở nhạc to	Cuộn dây chạm đáy vì vượt Xmax — thường do vặn tăng trầm quá tay	Giảm mức dải trầm; bật cắt trầm thấp hơn hộp loa
Mất trầm dần theo năm tháng	Gân nhún bằng mút đã mục — rất hay gặp ở khí hậu nóng ẩm	Thay gân nhún; sửa chữa phổ biến và không quá tốn kém
Hai loa nghe lệch, trầm yếu hẳn	Đấu ngược cực một bên — hai loa đẩy ngược chiều nhau	Kiểm tra cực dây; dùng pin 1,5 V chạm nhanh xem màng đẩy ra hay hút vào
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

Kẻ thù lớn nhất của loa ở Việt Nam là độ ẩm và côn trùng làm mục gân nhún bằng mút. Loa để lâu không dùng nên bọc kín và định kỳ bật nhỏ vài chục phút.

CHỐT LẠI MỤC 5.10

Chốt lại tiết 10

Loa là **micro chạy ngược**: e = BLv ở micro, **F = BLi** ở loa. Cùng tích BL, hai chiều năng lượng.

Độ nhạy quan trọng hơn công suất. Chênh 6 dB độ nhạy tương đương bốn lần công suất amply.

Vd = Sd × Xmax là con số quyết định khả năng phát trầm — và là bức tường vật lý của mọi loa nhỏ.

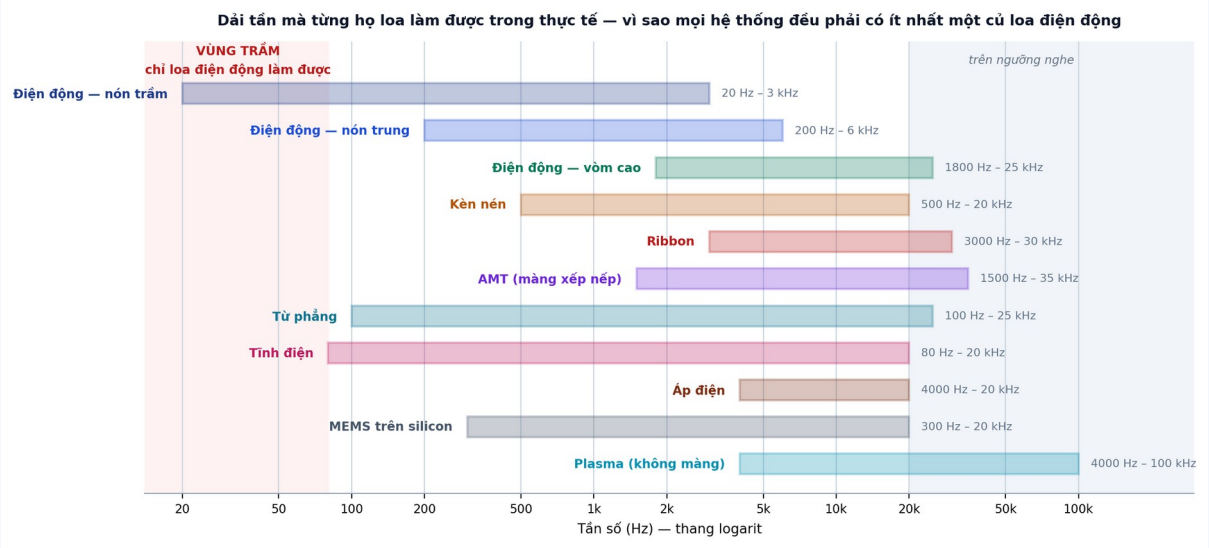
Trở kháng thật thay đổi mạnh theo tần số — **điểm thấp nhất** mới là tải nặng nhất mà amply phải chịu.

Hơn **98 % công suất biến thành nhiệt**. Nhiệt làm điện trở tăng → **nén công suất** → gấp đôi oát không cho gấp đôi độ to.

TIẾT 11

Các họ loa khác

- Trả lời dứt điểm: vì sao tỷ lệ đảo ngược so với micro
- Kèn nén — bộ phối hợp trở kháng âm học
- Tĩnh điện, ribbon, AMT, từ phẳng
- Áp điện, MEMS và plasma
- Bảng đối chiếu micro ↔ loa



MỤC 5.11.1

Đáp án: lực tĩnh điện quá yếu trên một đơn vị diện tích

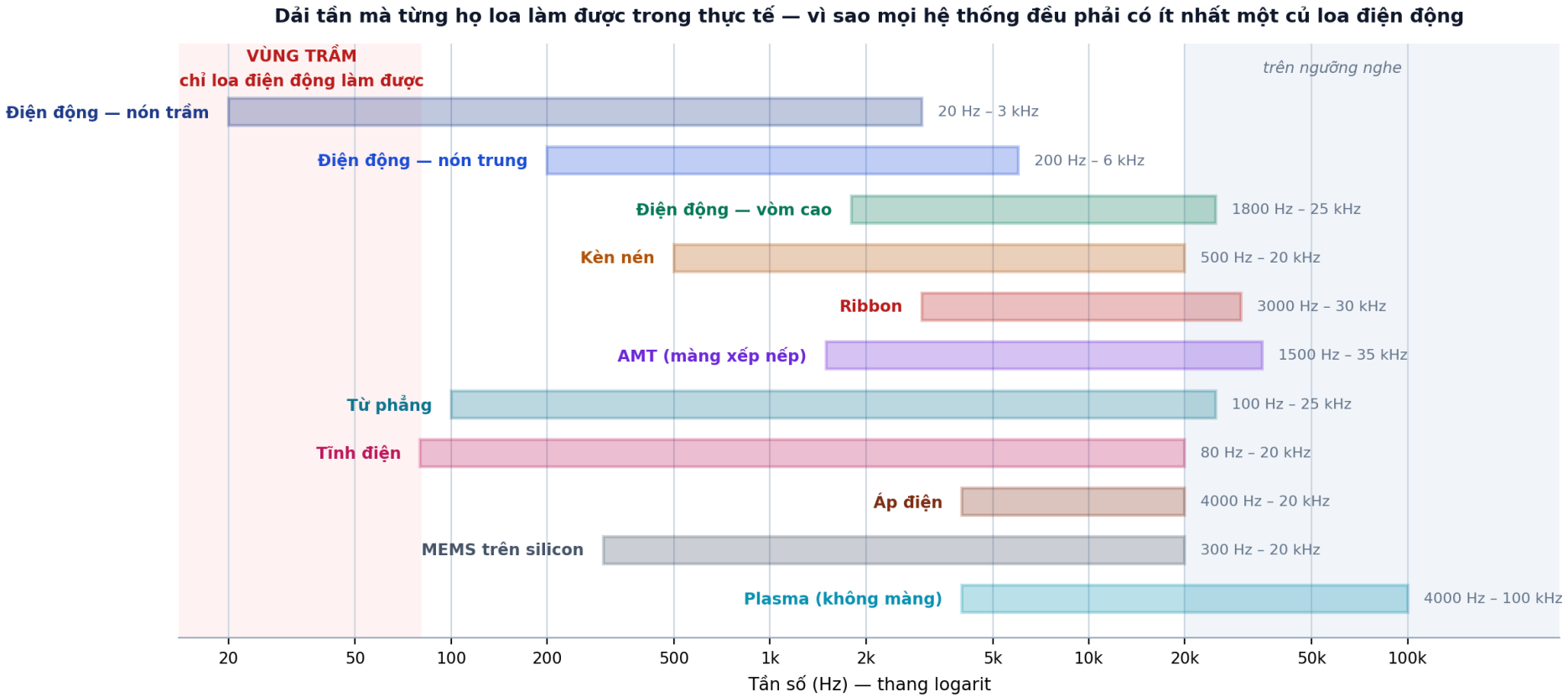
Microphone chỉ cần **CẢM NHẬN** một áp suất đã có sẵn; nó không phải sinh công. Loa thì phải **TẠO RA** áp suất — đẩy khối lượng không khí có thật và sinh công liên tục hàng trăm oát.

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

- Với điện áp vài kilôvôn và khoảng cách vài milimét, lực tĩnh điện chỉ vào cỡ **vài chục pascal** — nhỏ hơn lực điện động **hàng trăm lần**.
- Muốn có trầm bằng nguyên lý tĩnh điện thì phải bù bằng **diện tích**.
- Đó là lý do một tấm loa tĩnh điện phải cao trên 1,5 m mới xuống được 80 Hz, trong khi một củ loa điện động đường kính 20 cm xuống thoải mái tới 35 Hz.

HÌNH QUAN TRỌNG NHẤT CỦA TIẾT

Dải tần mà từng họ loa làm được trong thực tế



Vùng trầm là độc quyền của loa điện động. Mọi họ khác chỉ phủ được từ dải trung trở lên.

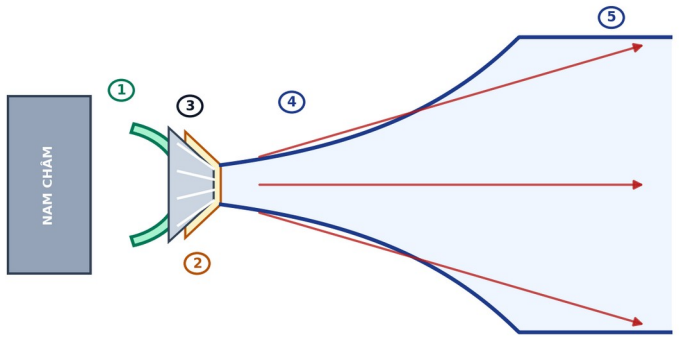
MỤC 5.11.2

Kèn nén — bộ phối hợp trở kháng âm học

Vẫn là nguyên lý điện động, nhưng 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 cái kèn loe dần.

- Bản chất cái kèn là **bộ phối hợp trở kháng âm học** — cùng vai trò với biến áp trong mạch điện.
- **Nút chia pha** chia đường đi sao cho mọi phần màng tới họng kèn **cùng pha**.
- Hiệu suất **10 – 25 %**, gấp mười lần loa nón; độ nhạy **trên 105 dB/1 W/1 m**.
- Góc phủ **kiểm soát chính xác** bằng hình dạng kèn — rất quan trọng khi thiết kế rạp.
- Hạn chế: muốn xuống trầm thì kèn phải rất lớn, vì miệng kèn cần cỡ bằng bước sóng.

Kèn là bộ phối hợp trở kháng giữa màng loa và không khí



CẤU TẠO MỘT ĐƯỜNG TIẾNG KIỂU KÈN NÉN

1. **Màng vòm kim loại** — titan, nhôm hoặc berylli; đường kính 25 – 100 mm
2. **Khoang nén** — thể tích rất nhỏ — tỷ số nén 5:1 đến 10:1
3. **Nút chia pha (phase plug)** — chia đường đi để mọi phần màng tới họng cùng pha
4. **Họng kèn (throat)** — tiết diện nhỏ — nơi trở kháng âm học cao nhất
5. **Loe kèn (mouth)** — mở dần ra; hình dạng quyết định góc phủ

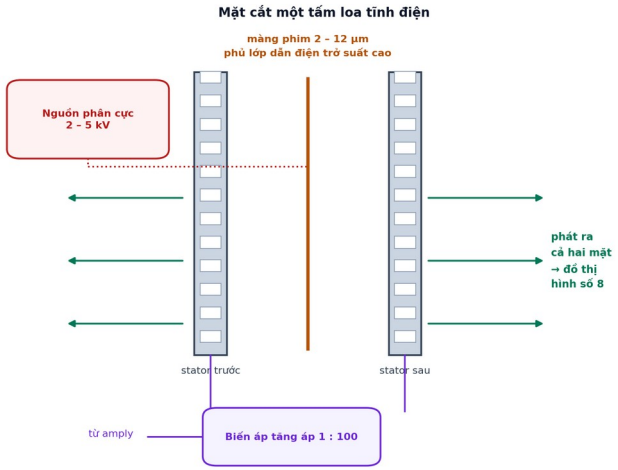
Màng đẩy vào một khoang khí rất nhỏ nên "ăn" được vào không khí hiệu quả hơn nhiều lần so với màng hở. Hiệu suất đạt 10 – 25 %, gấp mười lần loa nón; độ nhạy thường trên 105 dB/1 W/1 m.

Màng vòm, khoang nén, nút chia pha, họng kèn và loe kèn.

MỤC 5.11.3

Loa tĩnh điện — 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 đặt lên hai lưới theo chiều ngược nhau, hút màng về một bên rồi bên kia.



Nguyên lý
Màng mang điện tích cố định, đặt giữa hai tấm lưới. Tín hiệu âm thanh đặt lên hai lưới theo chiều ngược nhau, hút màng về một bên rồi bên kia.

Ưu điểm
Màng nhẹ hơn cả không khí nó đẩy → đáp ứng xung tốt nhất trong mọi họ loa. Lực phân bố đều toàn màng nên gần như không có méo do gãy dạng màng.

Giới hạn
Lực tĩnh điện rất yếu trên một đơn vị diện tích. Muốn có trầm phải làm tấm rất lớn — thường cao 1,5 m trở lên. Cần nguồn cao áp, sợ ẩm và sợ bụi; trở kháng tụt rất thấp ở dải cao nên kén amply.

- Ưu điểm vật lý là tuyệt đối: màng **nhẹ hơn cả khối không khí nó đẩy** → đáp ứng xung tốt nhất trong mọi họ loa.
- Lực phân bố **đều trên toàn bộ diện tích màng** chứ không tập trung ở một cuộn dây → gần như không có méo do gãy dạng.
- Cái giá: cần tấm rất lớn mới có trầm; cần **nguồn cao áp 2 – 5 kV** và biến áp tăng áp nên **rất kén amply**; sợ ẩm và bụi.
- Phát ra cả hai mặt nên có đồ thị hình số 8 tự nhiên — đòi hỏi phòng nghe phải xử lý tường sau.

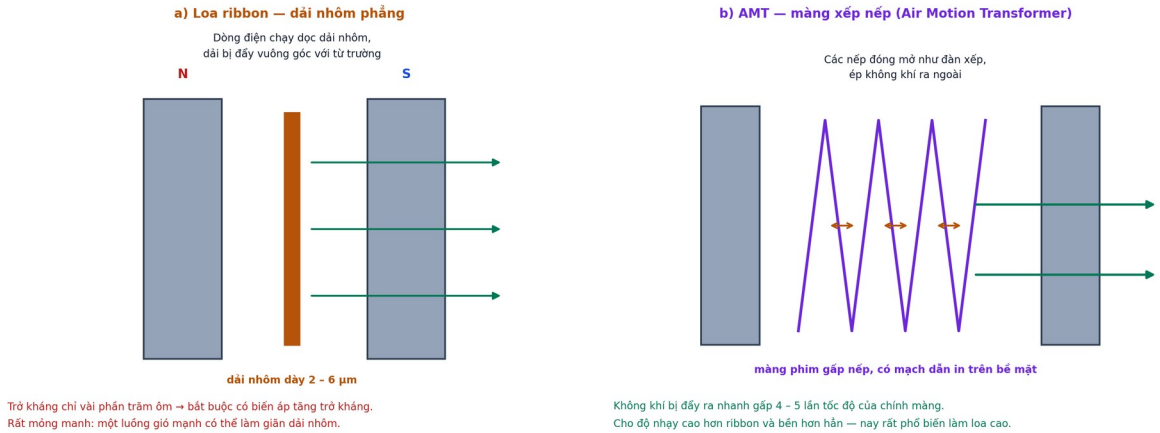
Quad ESL của Anh là thiết kế kinh điển từ 1957; Martin Logan hiện là hãng phổ biến nhất.

MỤC 5.11.4

Ribbon và AMT — hai cách dùng một dải kim loại nhẹ

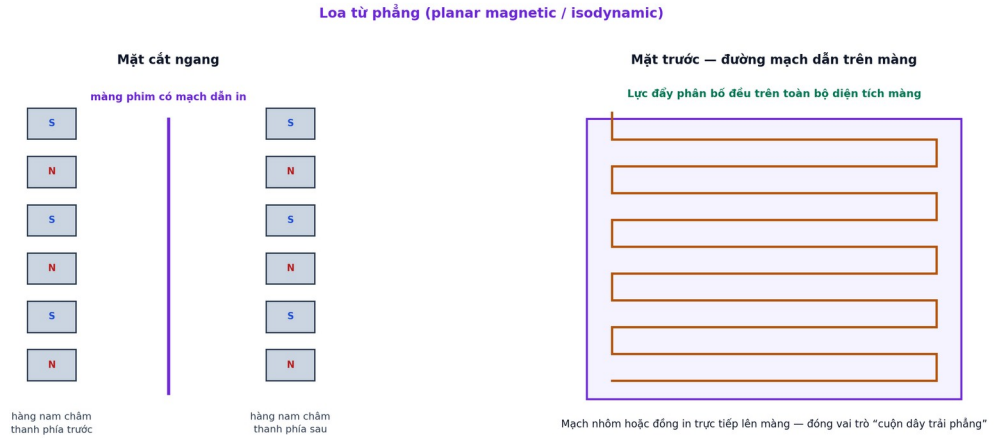
Loa ribbon là bản đối ngẫu của micro ribbon. AMT là một cải tiến rất thông minh của cùng ý tưởng đó.

- **Ribbon:** dải nhôm dày 2 – 6 µm trong khe từ. Trở kháng chỉ vài phần trăm ôm nên **bắt buộc có biến áp**. Mượt ở dải cao nhưng mỏng manh, và chỉ làm được từ ≈ 3 kHz trở lên.
- **AMT** (Air Motion Transformer, Oskar Heil 1972): 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, **ép không khí ra nhanh gấp 4 – 5 lần tốc độ của chính màng**.
- Kết quả: độ nhạy cao hơn ribbon, chịu công suất tốt hơn, bền hơn hẳn. AMT nay rất phổ biến làm đường tiếng cao cho loa kiểm tra — Adam Audio là hãng gắn liền nhất.



Trái: ribbon dải nhôm phẳng. Phải: AMT màng xếp nếp.

Từ phẳng, áp điện, MEMS và plasma



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

Loa từ phẳng (planar magnetic) đứng giữa ribbon và điện động: màng phim in mạch dẫn hình ziczac đặt giữa hai hàng nam châm thanh. Về bản chất là **một cuộn dây trải phẳng** trên toàn bộ màng.

- Lực phân bố đều như loa tĩnh điện → **méo rất thấp**, mà không cần nguồn cao áp. Đang thống trị mảng **tai nghe cao cấp**.
- **Áp điện:** phiến gốm biến dạng khi có điện áp. Rất rẻ, không cần phân tần; nhưng méo cao và âm sắc thô. Chỗ đứng: còi báo, tweeter loa giá rất rẻ.
- **MEMS:** đối ngẫu trực tiếp của micro MEMS, chế tạo trên phiến silicon. Công nghệ mới nhất, dùng cho **tai nghe không dây**; chưa làm được trầm.
- **Plasma:** không có màng rung nào — hồ quang điện làm nóng và giãn nở không khí trực tiếp. Đáp ứng xung hoàn hảo về lý thuyết, dải tần trên 100 kHz. Nhưng sinh **ozone độc** và cực đắt.

MỤC 5.11.7

Bảng đối chiếu micro ↔ loa theo nguyên lý

Nguyên lý	Ở microphone	Ở loa	Nhận xét
Điện động	Phổ biến, không phải số một	Áp đảo — trên 90 %	Lực lớn trong thể tích nhỏ: hợp loa hơn micro
Điện dung / tĩnh điện	Chuẩn phòng thu và thoại phim	Rất hiếm, chỉ cao cấp	Chính xác nhưng lực yếu: hợp micro hơn loa
Ribbon	Micro ribbon phòng thu	Tweeter ribbon, khá phổ biến	Cả hai phía đều chỉ hợp dải cao
Màng xếp nếp (AMT)	Không có bản tương ứng	Đường tiếng cao loa kiểm tra	Giải pháp riêng của phía loa để tăng hiệu suất
Từ phẳng	Không có bản tương ứng	Loa tấm và tai nghe cao cấp	Cuộn dây trải phẳng — chỉ có nghĩa khi cần lực đều
MEMS trên silicon	Micro điện thoại, mảng micro	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

Nên yêu cầu sinh viên tự điền lại bảng này từ trí nhớ như một bài kiểm tra nhanh cuối chương.

CHỐT LẠI MỤC 5.11

Chốt lại tiết 11

Micro cần **độ chính xác** → điện dung thắng. Loa cần **lực** → điện động thắng. Cùng cặp nguyên lý, hai yêu cầu ngược nhau.

Vùng trầm là độc quyền của loa điện động. Mọi họ khác chỉ phủ từ dải trung trở lên, nên luôn xuất hiện dưới dạng đường tiếng cao ghép với củ trầm điện động.

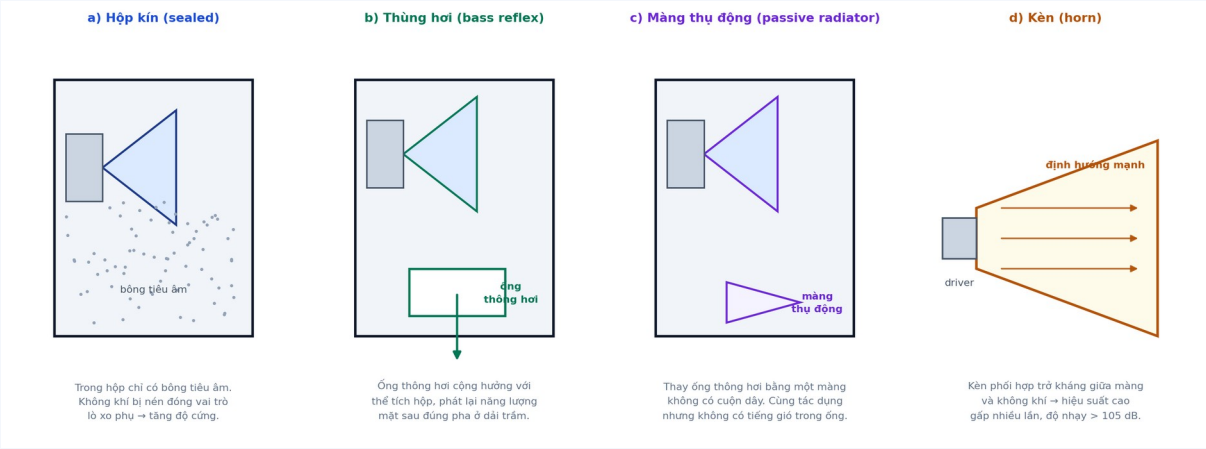
Kèn nén là bộ phối hợp trở kháng âm học — hiệu suất gấp mười lần loa nón, độ nhạy trên 105 dB.

Khi đọc quảng cáo về công nghệ loa mới, câu hỏi đầu tiên: **nó phủ được dải tần nào?**

TIẾT 12

Hộp loa, phân tần và khuếch đại

- Vì sao củ loa để trần gần như không có tiếng trầm
- Bốn kiểu hộp và đánh đổi của từng kiểu
- Phân tần chính là bốn bộ lọc của Chương 4
- Pha tại tần số cắt — lỗi đảo dây rất khó phát hiện
- Ba lớp khuếch đại và loa active có DSP



MỤC 5.12.1

Vì sao củ loa phải có hộp

Một củ loa để trần phát ra sóng ở **cả hai mặt màng**, và hai sóng đó **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, sóng mặt sau **vòng ra trước và triệt tiêu** sóng mặt trước.
- Kết quả: củ loa để trần **gần như không có tiếng trầm**.
- Nhiệm vụ đầu tiên của hộp loa là ngăn hai mặt gặp nhau. Mọi thứ khác — cộng hưởng, ống thông hơi — chỉ là tối ưu hóa thêm.

MỤC 5.12.1

Bốn kiểu hộp loa và đánh đổi của từng kiểu

Kiểu hộp	Đáp tuyến trầm	Hiệu suất	Đáp ứng xung	Ứng dụng
Hộp kín	Xuống nông, dốc thoải 12 dB/oct	Thấp nhất	Gọn nhất	Loa kiểm tra phòng dựng
Thùng hơi	Sâu hơn gần một quãng tám, dốc 24 dB/oct	Cao hơn 3–6 dB	Kém gọn hơn	Loa sàn, sân khấu, siêu trầm
Màng thụ động	Gần giống thùng hơi	Tương đương	Tương đương	Loa di động, không đủ chỗ đặt ống
Kèn	Hạn chế ở rất trầm trừ khi kèn rất lớn	Cao nhất 10–25 %	Tốt	Rạp chiếu, hệ công suất lớn

Quy tắc chọn: Qts dưới 0,4 hợp thùng hơi · 0,4 – 0,7 hợp hộp kín · trên 0,7 hợp hộp hở. Đây là lúc tham số Thiele–Small ở tiết 10 được dùng.

MỤC 5.12.2

Phân tần chính là bốn bộ lọc của Chương 4

Không củ loa nào phát tốt toàn dải 20 Hz – 20 kHz. Vì vậy loa thực tế luôn có từ hai củ trở lên, và cần một mạch chia dải tần cho từng củ.

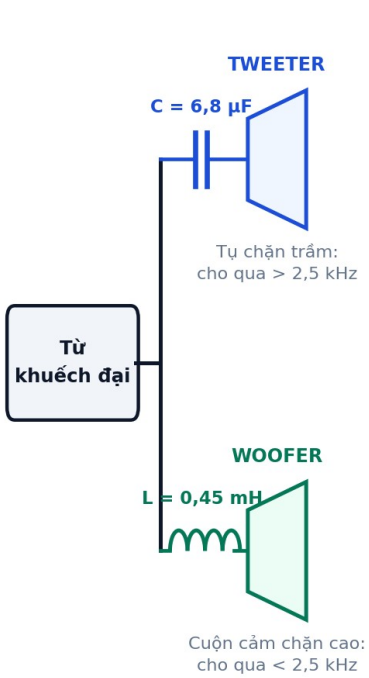
$$f_c = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}\ ; \qquad L = \frac{R}{2\pi f_c}\ , \qquad C = \frac{1}{2\pi f_c R}$$

- **Cuộn cảm** có trở kháng tăng theo tần số → chặn dải cao, cho dải trầm đi qua.
- **Tụ điện** thì ngược lại → chặn dải trầm, cho dải cao đi qua.
- Đây chính là bốn bộ lọc đã học ở Chương 4 — thấp qua, cao qua, dải thông, chắn dải — chỉ khác là thực hiện bằng cuộn cảm và tụ điện thay vì bằng mã.

MỤC 5.12.2

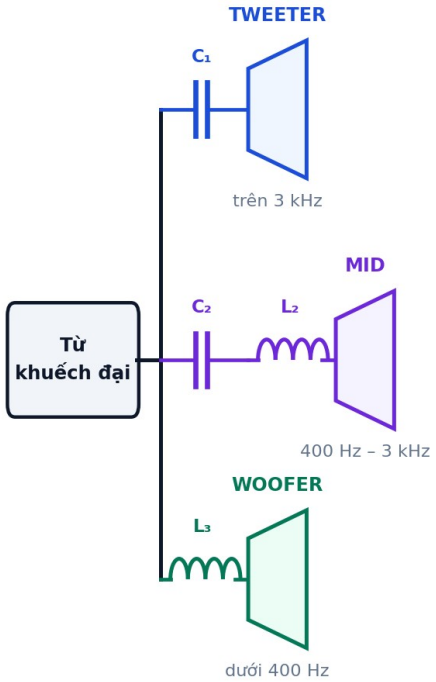
Phân tần thụ động hai đường và ba đường

a) Phân tần hai đường (2-way)



Tần số cắt fc = 2,5 kHz. Một tụ và một cuộn cảm — bậc một, dốc 6 dB/quãng tám.

b) Phân tần ba đường (3-way)



Đường giữa cần cả tụ và cuộn — đó chính là bộ lọc dải thông đã học ở Chương 4.

Đường giữa của phân tần ba đường cần cả tụ và cuộn — đó chính là bộ lọc dải thông đã học ở Chương 4.

CÂU HỎI TẠI LỚP

Một kỹ thuật viên lắp lại củ loa cao cho một cặp loa. Nghe riêng từng củ thì đều kêu bình thường.

Nhưng nghe cả loa thì giọng hát bị lõm và mỏng hẳn. Lỗi nằm ở đâu?

Gợi ý: ở vùng quanh tần số cắt, CẢ HAI củ loa cùng phát. Điều gì quyết định kết quả khi hai nguồn cùng phát?

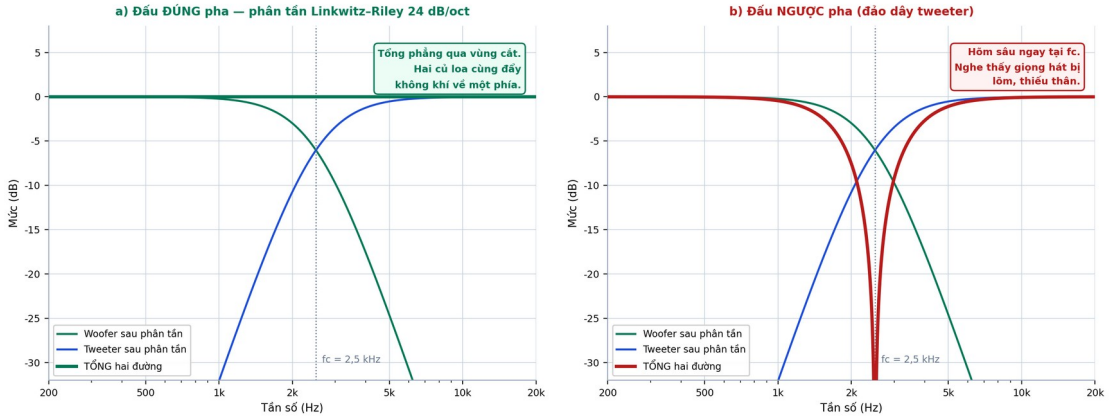
Suy nghĩ 30 giây — rồi trả lời

GIẢI THÍCH

Đảo dây củ cao — hai củ ngược pha tại tần số cắt

Củ cao bị đấu ngược cực. Với phân tần Linkwitz–Riley 24 dB/oct, hai củ đấu đúng pha cho tổng phẳng; đảo hai đầu dây thì tổng xuất hiện một hõm sâu ngay tại tần số cắt.

- Tần số cắt thường **2 – 3 kHz** — đúng vùng quan trọng nhất của giọng nói.
- Từng củ vẫn kêu bình thường vì bản thân củ không hỏng — **vấn đề nằm ở quan hệ pha** giữa hai củ.
- Cách kiểm tra chắc chắn: **đo đáp tuyến tổng**, không phải nghe từng củ.
- Lưu ý ngược: một số thiết kế phân tần bậc lẻ lại YÊU CẦU đấu ngược pha mới cho tổng phẳng. Luôn theo sơ đồ nhà sản xuất, không suy đoán.



MỤC 5.12.4

Ba lớp khuếch đại công suất

Lớp	Hiệu suất	Nhiệt tỏa	Khối lượng	Ứng dụng
A	20 – 30 %	Rất lớn	Rất nặng	Amply nghe nhạc cao cấp, phòng thu nhỏ
AB	50 – 65 %	Lớn	Nặng	Amply gia đình, amply phòng thu
D	trên 90 %	Nhỏ	Nhẹ	Loa active, hệ lưu động, siêu trầm, rạp chiếu

Hệ số suy giảm DF = Z_tải / Z_ra của amply. Trên 100 là đủ tốt; 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.

MỤC 5.12.5

Loa active có DSP — vì sao nó đo được phẳng hơn



Loa active đặt phân tần **trước** amply và thực hiện nó bằng phần mềm. Cách này có ba ưu thế mà loa thụ động không thể có.

- Dốc lọc và tần số cắt **đặt tùy ý**, không bị giới hạn bởi giá trị cuộn cảm và tụ có trên thị trường.
- Trễ giữa hai củ loa **bù được chính xác tới từng mẫu** → hai củ phát đúng pha ở mọi tần số.
- Bộ giới hạn **biết trước đúng củ loa nào đang gắn phía sau** → 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 nó nhiều lần — và vì sao loa kiểm tra phòng dựng ngày nay gần như đều là loa active.

Vào → A/D → phân tần số → cân chỉnh trễ → giới hạn → hai amply lớp D.

CHỐT LẠI MỤC 5.12

Chốt lại tiết 12

Củ loa để trần **không có trầm** vì hai mặt màng triệt nhau. Nhiệm vụ đầu tiên của hộp là ngăn chúng gặp nhau.

Đảo dây một củ loa cho **hõm sâu tại tần số cắt** — nghe từng củ riêng không phát hiện được, phải đo tổng.

Hộp kín dốc thoải, xung gọn; **thùng hơi** xuống sâu hơn nhưng xung kém gọn. "Sâu hơn" không tự động nghĩa là "tốt hơn".

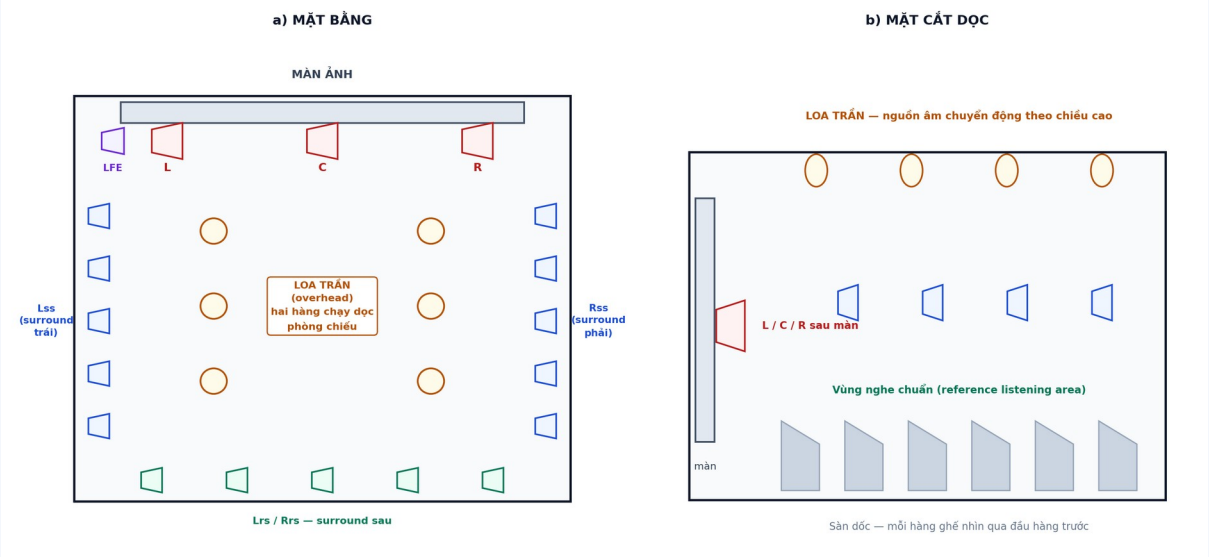
Loa active có DSP đo được phẳng hơn vì dốc lọc đặt tùy ý, trễ bù chính xác, và limiter biết trước củ loa phía sau.

Phân tần chính là bốn bộ lọc của Chương 4, thực hiện bằng cuộn cảm và tụ điện thay vì bằng mã.

TIẾT 13

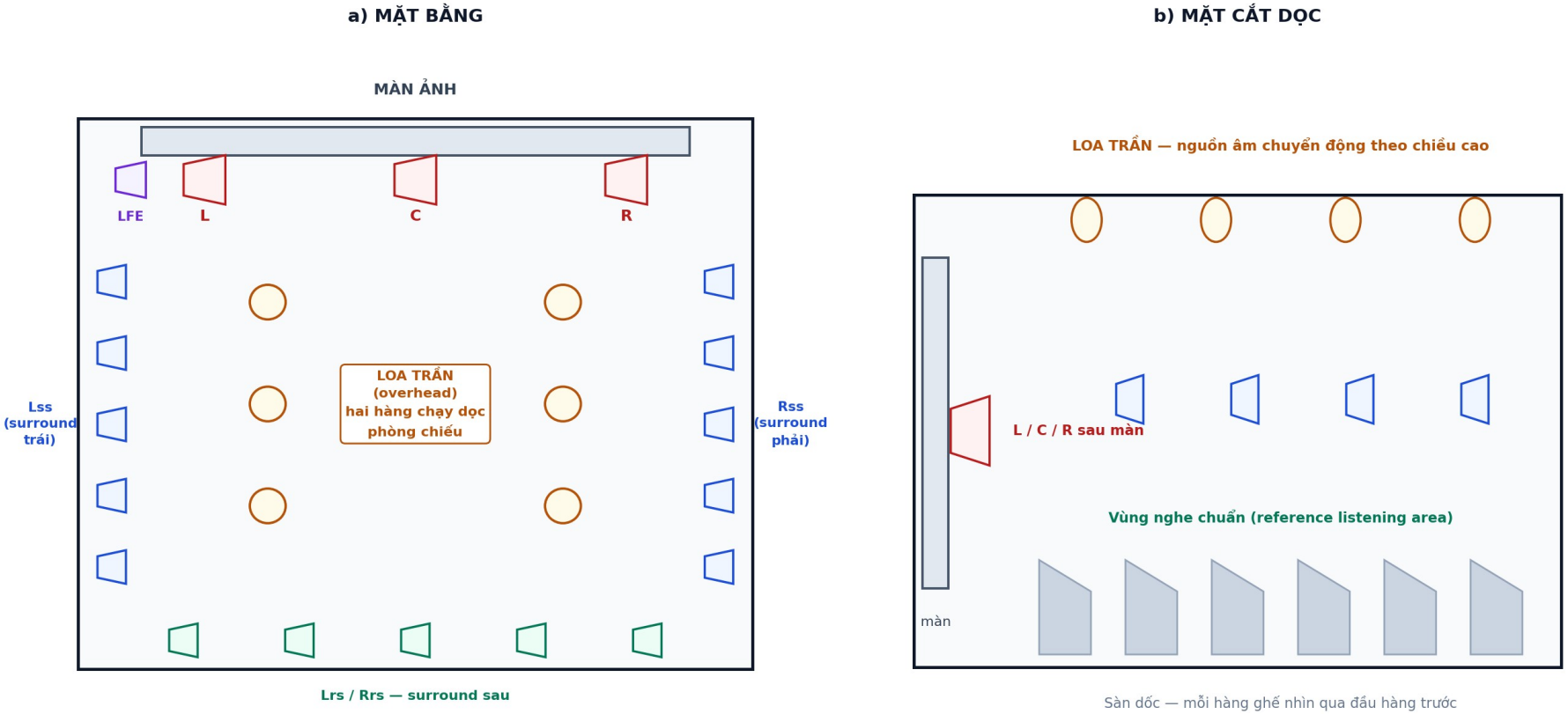
Hệ thống rạp chiếu và audio mạng

- Bố trí loa trong rạp Dolby Atmos
- Đường cong X — vì sao rạp không cân chỉnh phẳng
- Màn ảnh đục lỗ và đường bù
- Dante và AES67 — cáp mạng thay cáp analog



MỤC 5.13.1

Bố trí loa trong rạp Dolby Atmos



Khác biệt cốt lõi so với 5.1 và 7.1: có thêm hàng loa trên trần, và âm thanh được mô tả như đối tượng có tọa độ trong không gian.

MỤC 5.13.1

Thông số các nhóm loa trong rạp Atmos

Nhóm loa	Vị trí	Mức SPL liên tục	Dải tần	Ghi chú
Màn ảnh L, C, R	Sau màn, ngang tầm 2/3 chiều cao màn	105 dB mỗi kênh	40 Hz – 16 kHz	Kênh C mang phần lớn thoại
Surround hai bên	Dọc hai tường, cách đều nhau	99 dB mỗi kênh	80 Hz – 16 kHz	Số lượng theo chiều dài phòng
Surround sau	Trên tường sau	99 dB mỗi kênh	80 Hz – 16 kHz	Tối thiểu bốn loa
Loa trần	Hai hàng chạy dọc phòng chiếu	99 dB mỗi kênh	80 Hz – 16 kHz	Yếu tố phân biệt Atmos với 7.1
Siêu trầm LFE	Sau màn ảnh	115 dB	20 – 120 Hz	Kênh hiệu ứng tần số thấp

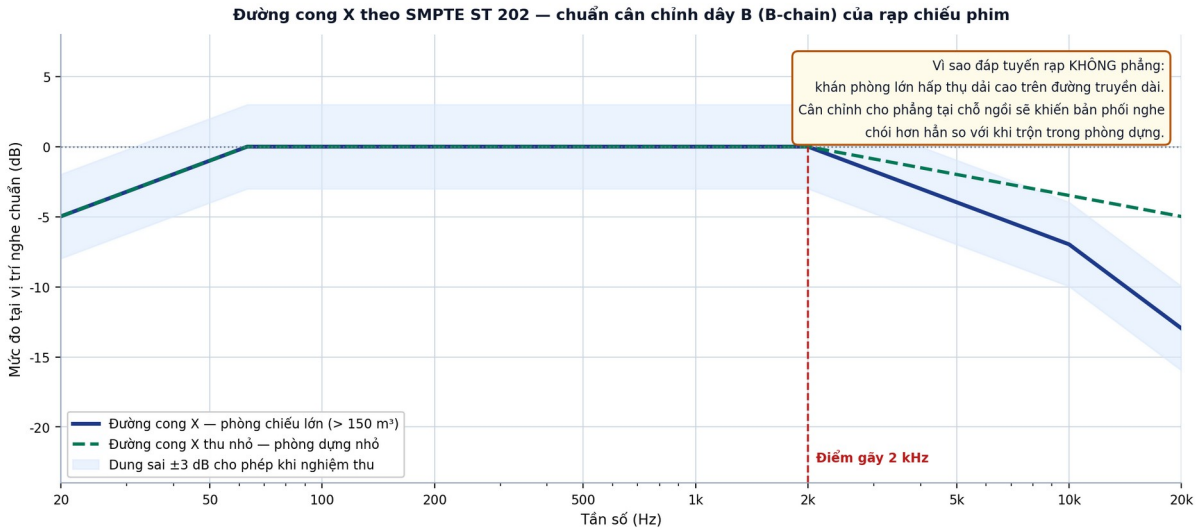
Theo tài liệu Dolby Atmos Specifications Issue 5, tháng 10 năm 2025. Con số 105 dB SPL liên tục của loa màn ảnh là căn cứ để tính công suất amply và số lượng loa khi thiết kế rạp.

MỤC 5.13.2

Đường cong X — vì sao rạp KHÔNG cân chỉnh phẳng

Toàn bộ phần từ đầu ra bộ xử lý rạp tới tai khán giả — amply, loa, màn ảnh, âm học phòng — gọi là **dây B**. Cân chỉnh dây B là công việc bắt buộc khi nghiệm thu một phòng chiếu.

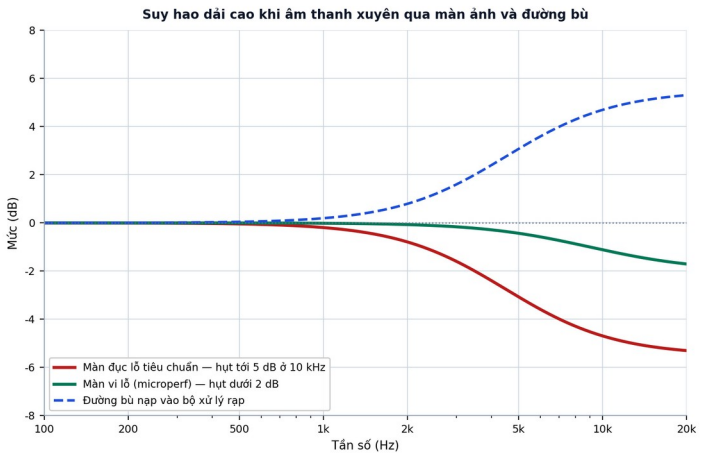
- Điều làm nhiều người ngạc nhiên: đáp tuyến mục tiêu **không phẳng** — từ 2 kHz trở lên nó dốc xuống khoảng **3 dB mỗi quãng tám**.
- Lý do thuộc về vật lý: trong khán phòng lớn, đường truyền dài hàng chục mét, và **không khí cùng vật liệu hấp thụ dải cao mạnh hơn dải thấp**.
- Nếu cân chỉnh cho phẳng tại chỗ ngồi, bản phối sẽ **nghe chói hơn hẳn** so với khi trộn trong phòng dựng nhỏ.
- Dung sai khi nghiệm thu: ±3 dB so với đường cong X. Mức tham chiếu kênh màn ảnh: 85 dB SPL thang C, đo tại 2/3 chiều dài phòng.

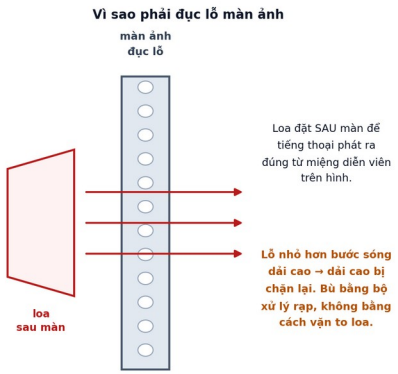


Đường cong X theo SMPTE ST 202 — chuẩn cân chỉnh dây B của rạp chiếu phim.

MỤC 5.13.3

Màn ảnh đục lỗ — và cách bù đúng





Suy hao dải cao do màn đục lỗ và đường bù tương ứng.

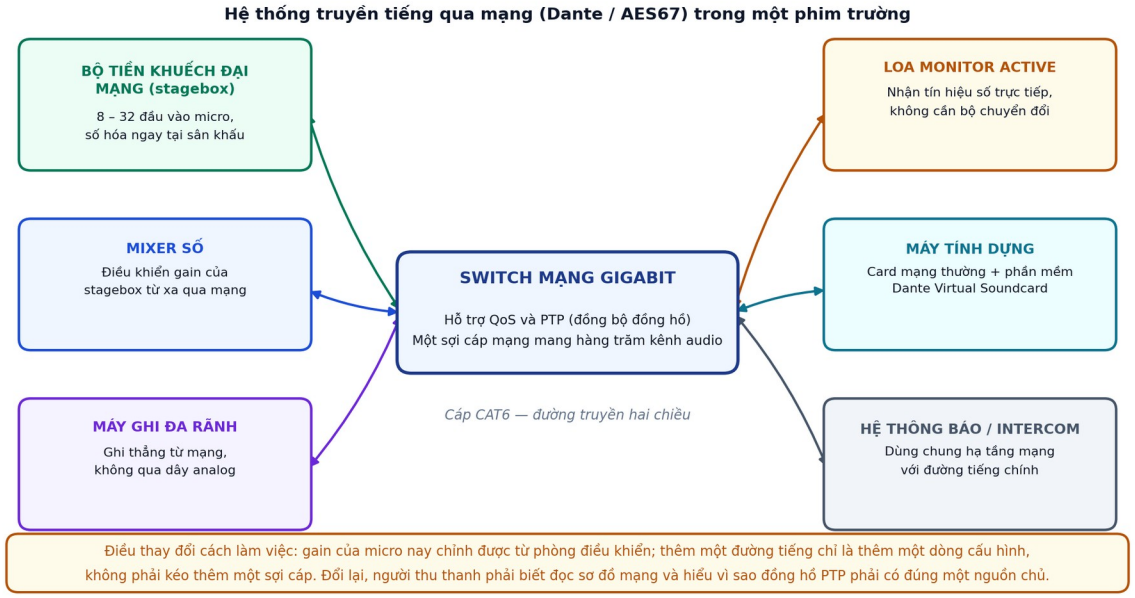
Loa màn ảnh phải đặt **sau màn** để tiếng thoại phát ra đúng từ vị trí miệng diễn viên trên hình. Vì vậy màn ảnh rạp luôn có lỗ để âm thanh xuyên qua.

- Nhưng **lỗ nhỏ hơn bước sóng của dải cao**, nên dải cao bị chặn lại một phần.
- Màn đục lỗ tiêu chuẩn làm **hụt tới 5 dB ở 10 kHz**; màn vi lỗ hiện đại giữ mức hụt **dưới 2 dB**.
- Phần hụt được bù bằng **bộ xử lý rạp** trong quá trình cân chỉnh dây B.
- Bù bằng bộ lọc — KHÔNG BAO GIỜ bằng cách vặn to loa lên. Vặn to chỉ làm to đều cả dải, không sửa được hình dạng đường cong.

Dante và AES67 — cáp mạng thay cáp analog

Trong phim trường và phòng thu hiện đại, tín hiệu âm thanh ngày càng ít chạy trên cáp analog riêng cho từng kênh. Thay vào đó nó được **số hóa ngay tại nguồn** rồi truyền trên hạ tầng Ethernet thông thường.

- Hai điều kiện kỹ thuật bắt buộc: **chất lượng dịch vụ (QoS)** để gói tin âm thanh được ưu tiên, và **đồng bộ đồng hồ theo PTP**.
- Trong một mạng chỉ được có **đúng một nguồn đồng hồ chủ**.
- Điều thay đổi cách làm việc: **gain của micro chỉnh được từ phòng điều khiển**; thêm một đường tiếng chỉ là thêm một dòng cấu hình, không phải kéo thêm một sợi cáp.
- Đổi lại, người thu thanh phải biết đọc sơ đồ mạng. Sự cố mạng biểu hiện thành tiếng lách tách hoặc mất tiếng từng đợt — triệu chứng rất giống lỗi thiết bị nhưng nguyên nhân hoàn toàn khác.



Micro, mixer, máy ghi và loa kiểm tra nối qua một switch mạng gigabit.

CHỐT LẠI MỤC 5.13

Chốt lại tiết 13

Atmos khác 5.1 và 7.1 ở hai điểm: **có loa trần**, và âm thanh là **đối tượng có tọa độ** chứ không phối vào kênh cố định.

Màn đục lỗ hụt tới 5 dB ở 10 kHz — bù bằng **bộ lọc**, không bao giờ bằng cách vặn to loa.

Loa màn ảnh phải đạt **105 dB SPL liên tục** — con số căn cứ để tính công suất amply và số lượng loa khi thiết kế rạp.

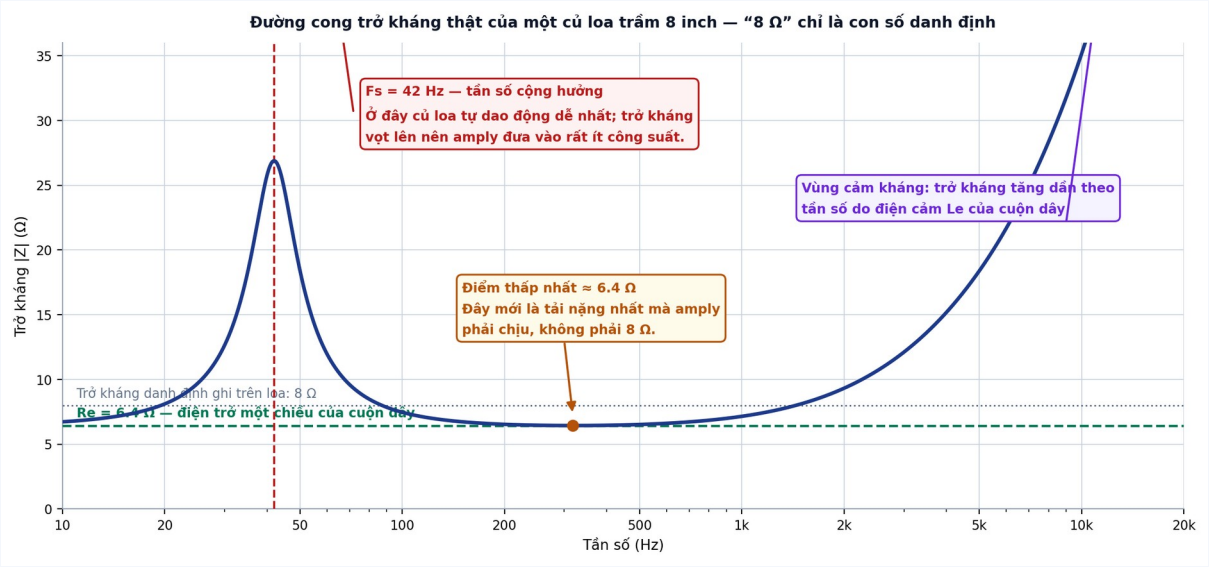
Dante và AES67: hai điều kiện bắt buộc là QoS và **đúng một nguồn đồng hồ chủ PTP**.

Đường cong X: đáp tuyến mục tiêu của rạp KHÔNG phẳng, dốc 3 dB/quãng tám từ 2 kHz vì khán phòng lớn hấp thụ dải cao.

TIẾT 14

Thực hành 3 — Đo loa và tham số Thiele–Small

- Đo đường cong trở kháng bằng điện trở chuẩn
- Tính Qms, Qes, Qts từ đỉnh cộng hưởng
- Xác định Vas bằng phương pháp thêm khối lượng
- Tính thể tích hộp và kích thước ống thông hơi
- Sản phẩm: báo cáo 6 – 8 trang



Thiết bị cần có

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	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

Củ loa hỏng cũng dùng được cho bài này, miễn là cuộn dây còn thông mạch — thậm chí còn hay hơn vì so sánh được củ tốt với củ đã rão.

Sáu bước tiến hành

Tình huống: Từ một củ loa rời và một điện trở chuẩn, xác định toàn bộ tám tham số Thiele–Small rồi tính thể tích hộp kín và kích thước ống thông hơi phù hợp.

1. **Đo đường cong trở kháng.** Mắc củ loa nối tiếp với điện trở chuẩn, phát quét tần, đo điện áp trên hai phần tử. Đọc trực tiếp: **Re** ở tần số rất thấp và **Fs** tại đỉnh cộng hưởng.
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 hỗ trợ. Ghi lại cả giá trị trung gian.
3. **Xác định Vas bằng phương pháp thêm khối lượng.** Gắn một khối lượng đã biết lên màng, đo lại Fs. Từ độ dịch của tần số cộng hưởng, tính khối lượng động của hệ và suy ra Vas.
4. **Tính thể tích hộp kín** cho hệ số phẩm chất tổng mong muốn bằng 0,707, dùng công thức đã học ở tiết 10.
5. **Tính kích thước ống thông hơi** cho phương án thùng hơi, chọn Fb gần Fs của củ loa.
6. **Đối chiếu và đo loa active.** So tám tham số với datasheet, giải thích chỗ lệch. Sau đó đo đáp tuyến cặp loa kiểm tra trong phòng và chỉ ra ảnh hưởng của âm học phòng.

Kết luận nghề: Từ một phép đo chỉ cần một điện trở, sinh viên tính ra được toàn bộ thông số thiết kế của một thùng loa. Đó là điều bài thực hành này muốn chứng minh.

NỘP BÀI

Yêu cầu sản phẩm — báo cáo 6 đến 8 trang

Nộp bản in và bản điện tử. Báo cáo phải có đủ sáu phần sau.

- **Đường cong trở kháng** của hai củ loa, 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.

- Trang kết luận là phần được chấm nặng nhất: nó cho thấy sinh viên đã biến số liệu thành quyết định thiết kế hay chưa.

Trong nghề, phép đo trở kháng là công cụ chẩn đoán nhanh nhất khi nghi một củ loa hỏng.

Cuộn dây chạm hoặc đứt một phần sẽ làm thay đổi hẳn hình dạng đỉnh cộng hưởng, dù nghe bằng tai vẫn chưa thấy gì bất thường. Kỹ năng học hôm nay dùng được ngay ngày mai.

CHỐT LẠI MỤC 5.14

Chốt lại buổi 3

Loa là **micro chạy ngược**: F = BLi. Nhưng tỷ lệ sử dụng đảo ngược vì micro cần **độ chính xác**, loa cần **lực**.

Phân tần là bốn bộ lọc của Chương 4 làm bằng linh kiện. Đảo dây một củ cho hõm sâu tại tần số cắt.

Hơn **98 % công suất thành nhiệt** → nén công suất. Muốn to hơn thì **tăng số lượng loa**, không đẩy mạnh vài chiếc.

Rạp chiếu cân chỉnh theo **đường cong X**, không phẳng — vì khán phòng lớn hấp thụ dải cao.

Vùng trầm là độc quyền của loa điện động. Mọi họ khác chỉ là đường tiếng cao ghép vào.

Ba lần trong chương này ta gặp cùng một nguyên lý **giao thoa triệt tiêu**: củ loa để trần, lệch trễ khi trộn, và đảo pha tại tần số cắt.

Kết thúc Chương 5 —
và kết thúc phần âm thanh của học phần

Bốn chương đầu đi theo đường đi của tín hiệu: không khí, dây dẫn, bộ nhớ, miền tần số. Chương 5 gắn tất cả vào thiết bị cầm được trên tay. Từ đây trở đi, mỗi lần các em cầm một chiếc micro hay đứng trước một dàn loa, sẽ biết bên trong nó đang xảy ra chuyện gì.