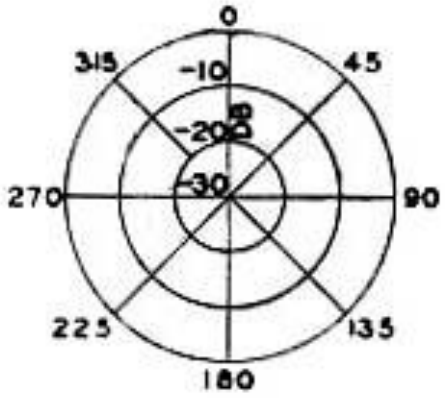
نمودار قطبی صدا (Sound Polar Diagram)

تالیف و ترجمه: فرزاد میلانی (کارشناس فیزیک صوت)

شدت صدای ساتع شده از یک منبع صدا (مثلا ساز موسیقی) با توجه به موقعیت شنونده نسبت به منبع تغییر می‌کند. معمولا این تغییر وابسته به فرکانس تولید شده از منبع می‌باشد. به عنوان مثال در موسیقی اگر یک ساز خاص را بررسی کنیم، خواهیم دید که برای هریک از نتهای نواخته شده از این ساز (که طبعا فرکانسهای متفاوتی خواهند داشت) شدتهای متفاوتی در موقعیتهای مختلف نسبت به نقطه انتشار صدا وجود دارد. با کمی دقت مشاهده می‌شود که این رفتار را می‌توان با در نظر گرفتن دو المان زاویه و فاصله مورد بررسی قرار داد. بدین شکل که نقطه مرکزی را منطبق بر نقطه تولید صدا در نظر می‌گیریم و فاصله را نسبت به این نقطه می‌سنجیم و همچنین با درنظر گرفتن محوری که از این نقطه می‌گذرد (به عنوان زاویه صفر درجه) زوایا را نسبت به این محور تعیین خواهیم کرد.

بدیهی‌ست که با زیادتر شدن فاصله از منبع، شدت صدا برای شنونده کمتر خواهد شد. لذا می‌توان شدت صدا را با همین تناسب به فاصله ارتباط داد. با اختیار دایره‌هایی متحدالمرکز، که هریک نشان‌دهنده افت ۱۰ دسیبلی شدت صدا هستند و محورهایی با زاویه ۴۵درجه نسبت به یکدیگر که در نقطه مرکزی متقاطع می‌باشند، چیزی شبیه به شکل زیر پدید خواهد آمد.

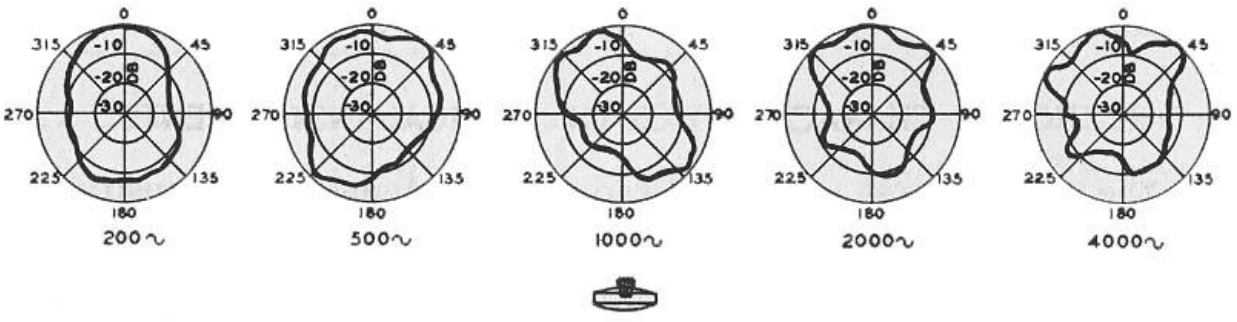


به این شکل، یک فضای قطبی گویند که در اندازه‌گیری‌های صوتی کاربردهای فراوانی دارد. در این نمودار، شمالی‌ترین زاویه بعنوان مبدا (زاویه صفر) فرض می‌شود و بقیه زوایا بصورت ساعتگرد در کنار یکدیگر چیده شده‌اند.

توجه داشته باشید که نمودار مذکور، محدود به دو بعد (صفحه) می‌باشد و برای بررسی دقیقتر جهت‌های انتشار صدا، باید بجای نمودار قطبی از نمودار کروی استفاده نمود تا بتوان سه بعد مکان را پوشش داد، که در حوصله این مقاله نمی‌باشد.

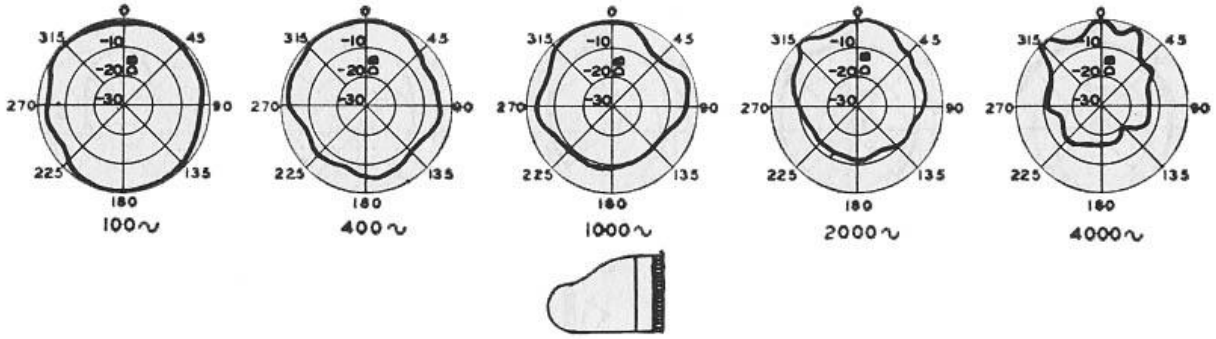
یکی از کاربردهای این نمودار، نمایش خصوصیات جهتی (Directional Characteristics) سازهای موسیقی است. در واقع این نمودار، نشان‌دهنده میزان شدت دریافتی صوت (برحسب dB) توسط شنونده، در زوایای مختلف نسبت به منبع صوتی (ساز موسیقی) می‌باشد. بدین ترتیب که دایره‌ای به مرکز محل ساز و شعاعی دلخواه در نظر گرفته می‌شود و شنونده در امتداد این دایره حرکت می‌کند، طبعا شدتهای مختلفی را در زوایای متفاوت نسبت به منبع صوتی، دریافت خواهد کرد. با مشخص کردن زاویه صفر درجه (که نحوه قرار گرفتن ساز در این زاویه، معمولا با شکلی در زیر نمودار نشان داده می‌شود)، می‌توان نمودار قطبی ساز مذکور را رسم کرد. بدیهی‌ست که اگر از محل تقاطع زاویه معینی با منحنی رسم شده، بر روی امتداد انتخاب شده، به‌اندازه فاصله یک دایره تا دایره بعدی، به سمت نقطه مرکزی پیش برویم، به اندازه 10dB به صدای دریافتی اضافه خواهد شد و بالعکس اگر در همان امتداد از نقطه مرکزی به همان اندازه دور شویم، 10dB از شدت صدای دریافتی کم خواهد شد.

بوسیله این نمودار می‌توان الگوی جهتی سازهای مختلف را در فرکانس‌های بالا، میانی و پائین مورد مقایسه قرار داد. مثلا نمودارهای قطبی شکل زیر، نشان‌دهنده رفتار جهتی ویلن در محدوده‌های فرکانسی مختلف (200Hz، 500Hz، 1000Hz، 2000Hz و 4000Hz) می‌باشد. با نگاهی به این شکل، می‌بینیم که در محدوده پائین–فرکانس، نمودار قطبی، شکل 8لاتین را تداعی می‌کند که نشان می‌هد سیستم در این محدوده، قرینه اکوستیکی می‌باشد، چراکه بالا و پائین ساز، تقریبا با فاز برابری ارتعاش می‌کنند (چون در محدوده پائین–فرکانس جفت شدگی مناسبی بین بالا و پائین بدنه بوجود می‌آید). در محدوده میان–فرکانس، بنظر می‌رسد که بین قسمتهای بالا و پائین بدنه ساز، اختلاف فاز وجود دارد، بدلیل اینکه نمودار قطبی، چندین برآمدگی را نمایش می‌دهد. در ناحیهٔ بالا–فرکانس، بیشتر تشعشعات صوتی از بالای بدنه خارج می‌شود. چون محدوده مرزی مشخص شده در نمودار قطبی، بیشتر متمایل به قسمتهای فوقانی‌ست. (چراکه در فرکانسهای بالا، جفت شدگی بسیار کمی بین بالا و پائین بدنه بوجود می‌آید و در نتیجه ارتعاشات صوتی هدایت شده به پائین، بسیار اندک هستند)

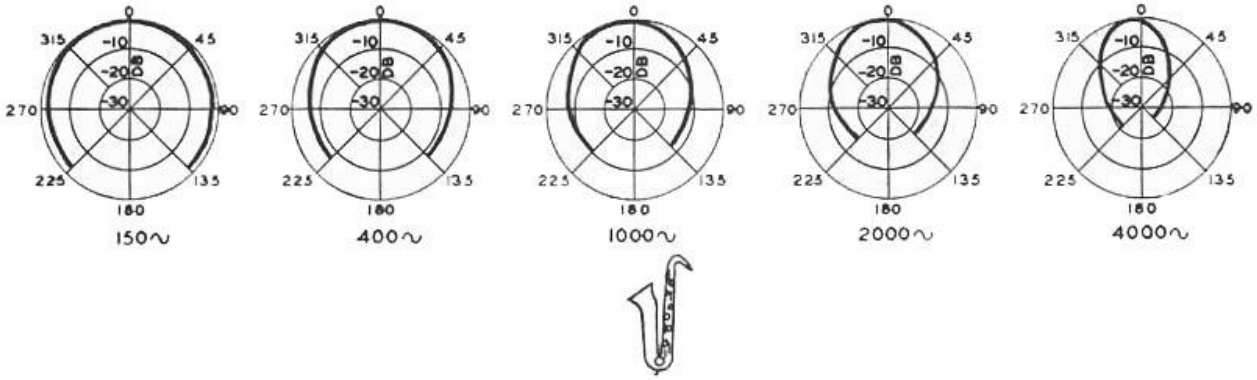


نمودارهای قطبی (الگوهای جهتی) برای سازهای هم‌خانواده ویلن (ویولا، ویلنسل و کنترباس) نیز تقریبا شبیه ویلن است. با این تفاوت که محدوده‌های فرکانسی مورد بررسی، به‌ترتیب (بصورت خطی) کوچکتر میشوند. (بدلیل بم‌تر شدن محدوده‌های صدادهی این سازها نسبت به ویلن)

این بررسی را برای یک گراند پیانو با درپوش باز، برای فرکانسهای ۱۰۰، ۴۰۰، ۱۰۰۰ و ۲۰۰۰ هرتز، تکرار می‌کنیم. در محدوده پائین–فرکانس، صدای خروجی برای زوایای مختلف، زیاد تفاوت نمی‌کند (100Hz). اما در محدوده میان و بالا–فرکانس، این درپوش ساز است که نقش هدایت کننده صدا را روبه جلو بازی می‌کند. لذا نمودار به سمت بالا متمایل خواهد شد.



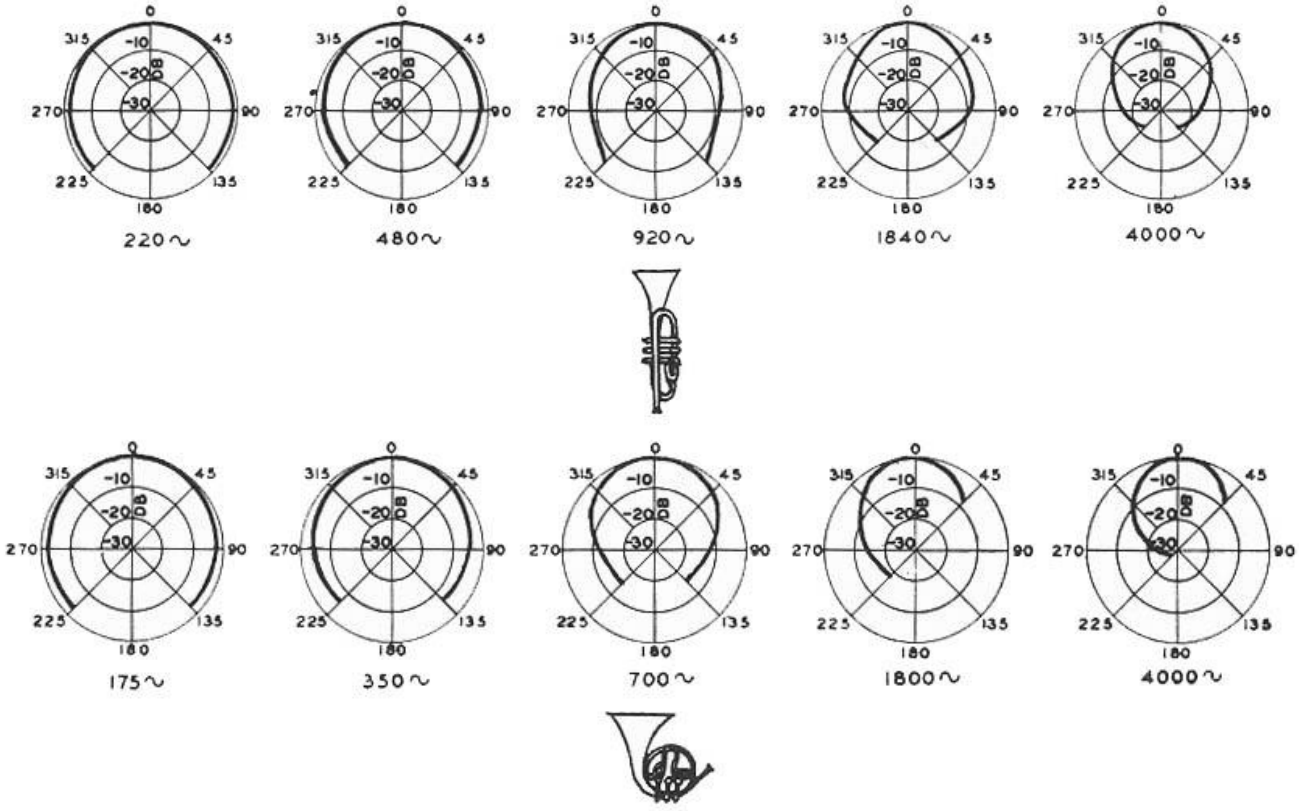
برای ساکسوفون آلتو، الگوی تشعشعات بالا–فرکانس بسیار باریک است ولی در محدوده میان–فرکانس، الگوی جهتی بازتر می‌شود.



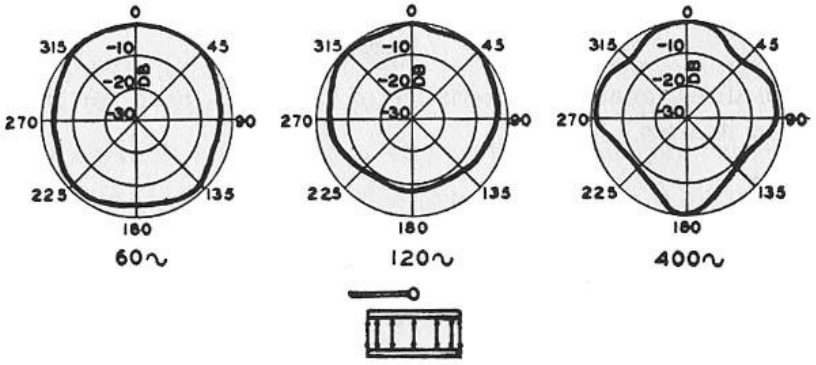
برای فلوت و پیکولو، بدلیل وجود پایانه‌های باز کوچک (در مقایسه با طول موجهای تولیدی) در ساز، ارتعاش صدای خروجی از دهانه، زیاد با تغییر جهت تفاوت نمی‌کند. البته بعلت وجود برخی حفره‌های باز، سیستم مانند منابع صوتی چندگانه عمل خواهد کرد و در نتیجه برآمدگی‌هایی در نمودار قطبی دیده خواهد شد.

در مورد سازهای ترومپت، ترومبون و فرنچ هورن، بدلیل اینکه تمامی تشعشعات صوتی از دهانه شیپوری شکل خارج می‌گردد، الگوی جهتی نرم و خالی از برآمدگی‌های فرعی را شاهد خواهیم بود که با زیاد شدن فرکانس، به طرف بالا تیزتر می‌شود. (با توجه به اینکه این سه ساز تقریبا از یک خانواده

هستند، لذا الگوهایی کاملا شبیه به هم دارند. تنها تفاوت مشهود این است که محدوده فرکانسی مورد بررسی، با بزرگتر شدن بدنه ساز، بصورت خطی بم می‌شود.)

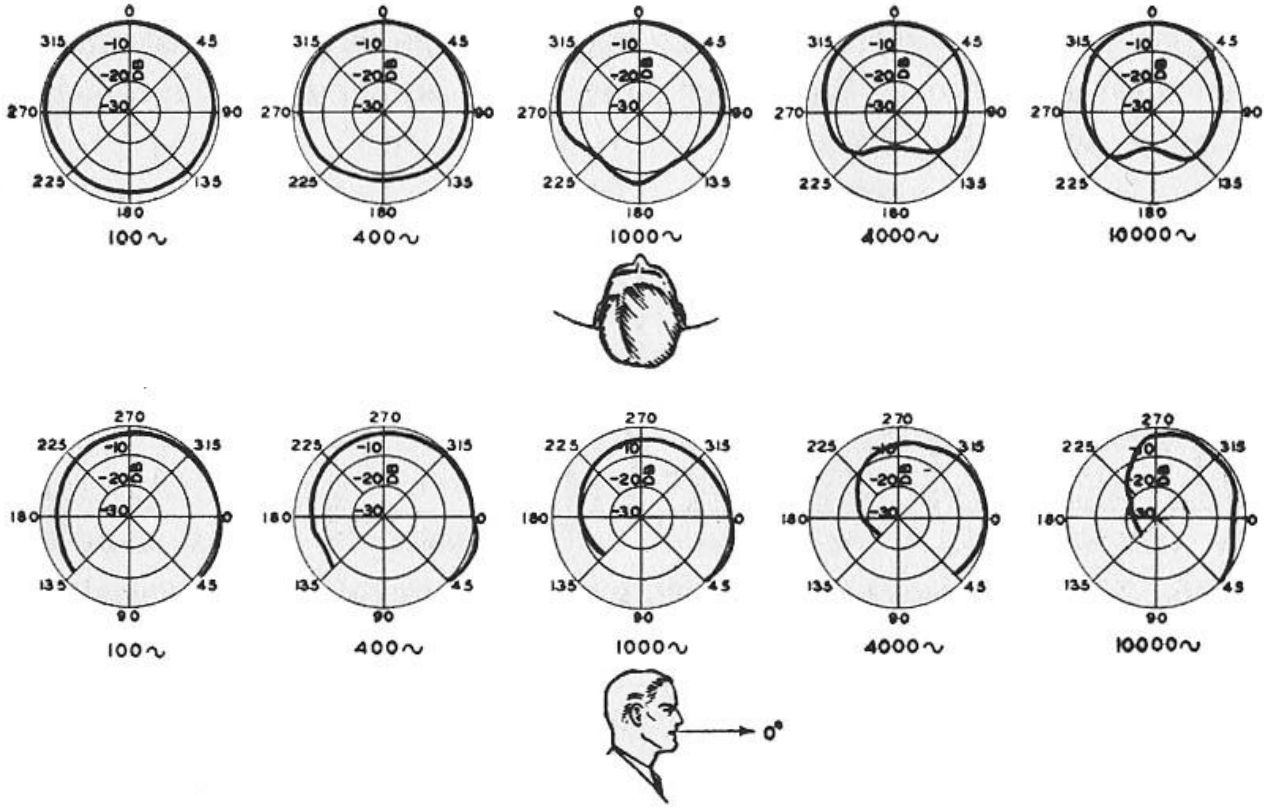


این بررسی را برای یک ساز کوبه‌ای نیز می‌توان انجام داد. به عنوان مثال، باس درام، یک تشعشع کننده صوتی دو وجهی‌ست، به این معنی که دارای دو پوسته مرتعش است که لزوما همفاز ارتعاش نمی‌کنند. بنابراین در نمودار قطبی، شاهد برآمدگی‌های فرعی بسیاری خواهیم بود. در شکل زیر، نمودارهای قطبی در فرکانسهای ۶۰، ۱۲۰ و ۴۰۰ هرتز را برای یک باس درام ۲۶اینچ ملاحظه می‌کنید.

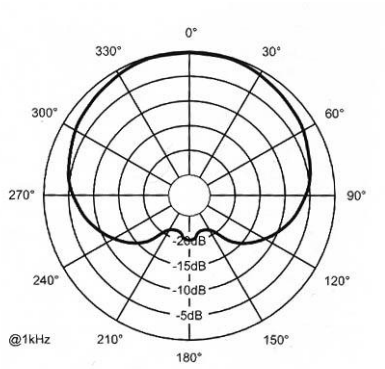


خصوصیات جهتی صدای انسان را می‌توان برای دو راستای افقی و عمودی برای سر (در حقیقت برای محل واقع شدن دهان) مورد بررسی قرار داد. در شکل، نمودارهای قطبی فرکانسهای ۱۰۰، ۴۰۰،

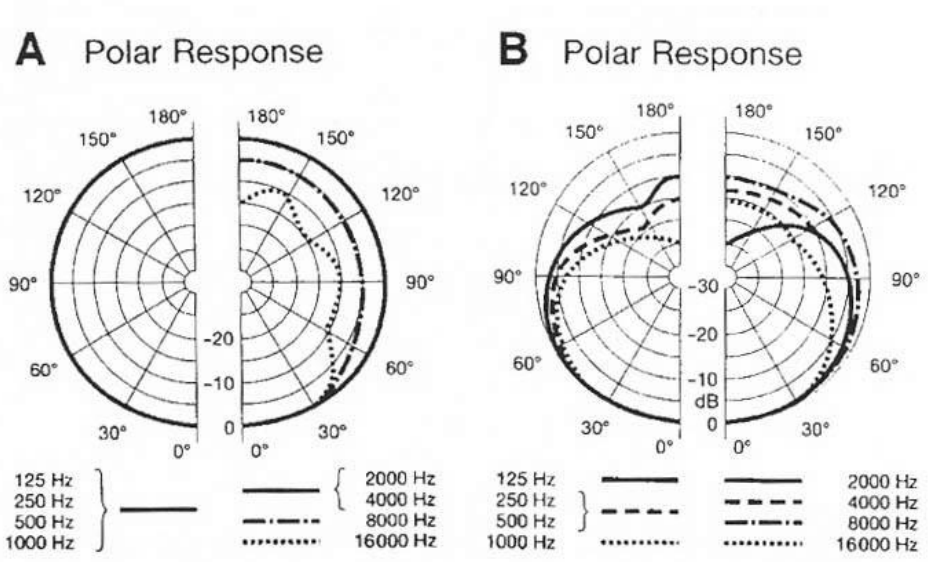
۱۰۰۰، ۴۰۰۰ و ۱۰۰۰۰ هرتز نمایش داده شده‌اند. (توجه دارید که در حالت عمودی، زاویهٔ صفر درجه در طرف راست نمودار قرار دارد.) ملاحظه می‌شود که در هر دو حالت، فقدان تشعشع نسبتا زیادی در قسمتهای پشتی نمودار وجود دارد. و همچنین با مقایسه این دو حالت، اهمیت تاثیر چرخش سر نسبت به مبدا (برای یک سخن‌ران یا خواننده) در شکل الگوی جهتی حاصل و در نتیجه ماهیت صدای دریافتی توسط شنونده، بخوبی احساس می‌شود.



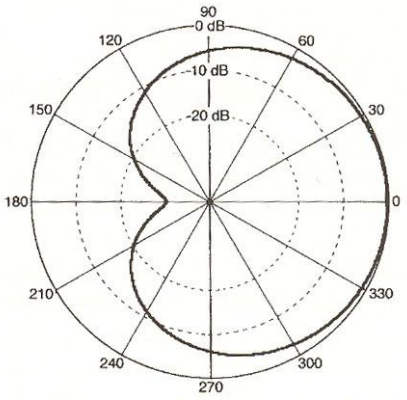
از دیگر کاربردهای نمودار قطبی، نمایش پاسخ قطبی میکروفن‌ها می‌باشد. اگر پیشتر تجربه خرید یک میکروفن را داشته باشید، مشاهده کرده‌اید که دفترچه‌ای حاوی مشخصات میکروفن به شما داده خواهد شد که همان شناسنامه میکروفن است. اگر به درون آن نگاهی بیندازید، نمودار پاسخ قطبی میکروفن (Polar Response) را حتما خواهید یافت. در این نمودار چند خط مرزی وجود دارد که احتمالا با نقطه‌چین از یکدیگر متمایز شده‌اند. هر یک از این خطوط، مربوط به فرکانسی مشخص می‌باشد. وضعیت، مشابه چیزی‌ست که پیشتر گفته شد، فقط این‌بار خطوط مرزی، آستانه تحریک میکروفن‌ها را در جهات مختلف نمایانگر هستند. این نمودار، امکان انتخاب میکروفن مناسب و همچنین تعیین مکان صحیح قرار گرفتن میکروفن را برای هریک از سازهای موسیقی، به صدابردار می‌دهد.



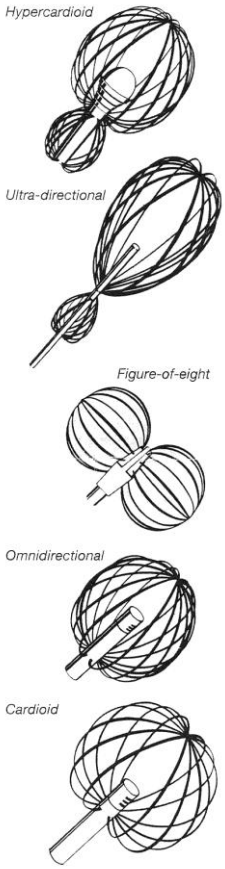
برای نمایش فرکانسهای بیشتر در یک نمودار پاسخ قطبی، معمولا از دو نیم‌دایره بجای یک دایره کامل استفاده می‌شود. که باید هر نیم‌دایره را همراه با قرینه خود در نظر گرفت.



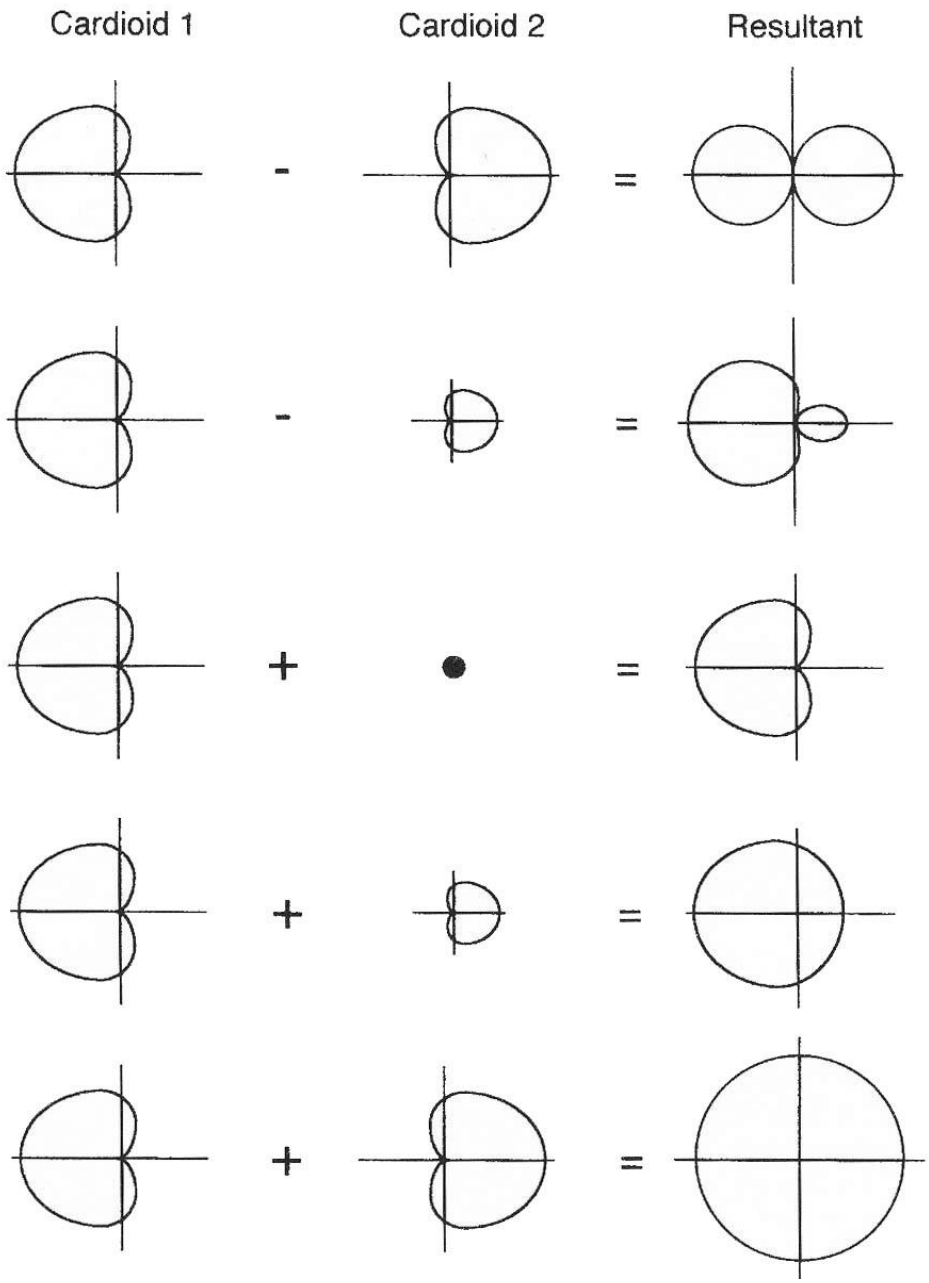
با دانستن نمودار پاسخ قطبی یک میکروفن، می‌توان نوع آن را تشخیص داد. مثلا نمودار قطبی یک میکروفن کاردیوئید به شکل زیر است.



همچنین میتوانید شکل سه‌بعدی پاسخ قطبی (در واقع پاسخ کروی) میکروفن‌های نوع Cardioid، Omnidirectional، Figure-of-eight، Ultra-directional و Hypercardioid شرکت AKG را در زیر مشاهده نمایید.



هنگام ضبط استریو (با دو میکروفن)، در حقیقت دو سیگنال خروجی از این دو میکروفن با هم ترکیب می‌شوند. لذا می‌توان با دانستن نمودار قطبی هر یک از میکروفن‌ها و جمع کردن شکل این دو نمودار بایکدیگر، به شکل قطبی ترکیبی جدیدی دست یافت (که در واقع نمودار پاسخ قطبی میکروفن استریوی جدید ما می‌باشد). شکل زیر، نمودار حاصل از ترکیب دو میکروفن کاردیوئید (پشت به پشت) را در حالتهای مختلف نشان می‌دهد. (مکان میکروفن کاردیوئید اول ثابت است)



بهار۱۳۸۶

منابع:

Music, Physics & Engineering by: HARRY F. OLSON
The Microphone Book by: John Eargle
www.IranAcoustic.com