

Mikrofony (1)

Mikrofony są przetwornikami elektroakustycznymi zamieniającymi energię akustyczną na energię elektryczną. W swojej budowie mikrofon jest zbliżony do głośnika, jednak jego działanie jest odwrotne.

Mikrofon jest zbudowany z dwóch zasadniczych części: membrany i elementu przetwarzającego. Membrana wykonuje ruchy drgające zgodnie ze zmianami ciśnienia akustycznego. Element przetwarzający zamienia drgania membrany na sygnał elektryczny.

Wartość amplitudy sygnału uzyskiwanego z przetwornika może zależeć od częstotliwości drgań lub od amplitudy jej wychylenia.

Mikrofony można podzielić ze względu na sposób oddziaływania fal dźwiękowych na membranę lub ze względu na rodzaj zastosowanego przetwornika. Obie te cechy będą wpływały na parametry mikrofonu.

Parametry mikrofonów

Do najważniejszych parametrów mikrofonów można zaliczyć:

- ☐ skuteczność mikrofonu,
- ☐ jego charakterystykę częstotliwościową,
- ☐ zniekształcenia nieliniowe,
- ☐ zakłócenia i szumy,
- ☐ kierunkowość i jej zależność od częstotliwości.

Skuteczność mikrofonu jest związana ze sprawnością przetwarzania energii akustycznej w elektryczną. Definiowana jest jako stosunek siły elektromotorycznej na zaciskach wyjściowych mikrofonu do ciśnienia akustycznego działającego na membranę. Liczbowo sku-

Mikrofon to czułe "ucho" układu elektroakustycznego. Specjalne jego odmiany umożliwiają usłyszenie dźwięków normalnie niesłyszalnych

teczność jest określana w mV/Pa lub dB w odniesieniu do wartości 1 V/Pa ($1 \text{ Pa} = 1 \text{ N/m}^2$). Przykładowo, skuteczność -40 dB odpowiada skuteczności 10 mV/Pa .

Skuteczność mikrofonu zależy od jego impedancji, częstotliwości i kąta padania fali dźwiękowej. Pożądane jest, żeby skuteczność była jak największa, co związane jest ze zmniejszeniem szumów i zakłóceń w dalszych stopniach toru elektroakustycznego.

Charakterystyka częstotliwościowa dobrych mikrofonów obejmuje zwykle całe pasmo akustyczne. Typowo od 20 Hz do 20 kHz , a zdarza się, że osiąga nawet 40 kHz .

Zniekształcenia nieliniowe większości typów mikrofonów są niewielkie i nie przekraczają 1% . Typowa wartość to $0,5\%$.

Zakłócenia i szumy wprowadzane przez mikrofony powstają głównie w wyniku oddziaływania zakłócających zmiennych pól elektromagnetycznych na przewody sygnałowe. Są one skutecznie eliminowane przez staranne ekranowanie przewodów oraz prowadzenie linii symetrycznych. Szumy własne mikrofonu są na ogół niewielkie. O wierności przetwarzania

fal dźwiękowych na odpowiadające im sygnały elektryczne decydują więc, oprócz charakterystyki częstotliwościowej, właściwości kierunkowe mikrofonu.

Charakterystyka kierunkowości mikrofonu dla określonej częstotliwości jest to zależność jego skuteczności od kąta padania fal dźwiękowych. Jest to bardzo ważna cecha mikrofonów, szczególnie istotna przy dobieraniu mikrofonów do konkretnych zastosowań.

Ze względu na właściwości kierunkowe mikrofony można podzielić na trzy zasadnicze grupy:

- ☐ mikrofony wszechkierunkowe,
- ☐ mikrofony dwukierunkowe,
- ☐ mikrofony jednokierunkowe.

Mikrofony wszechkierunkowe

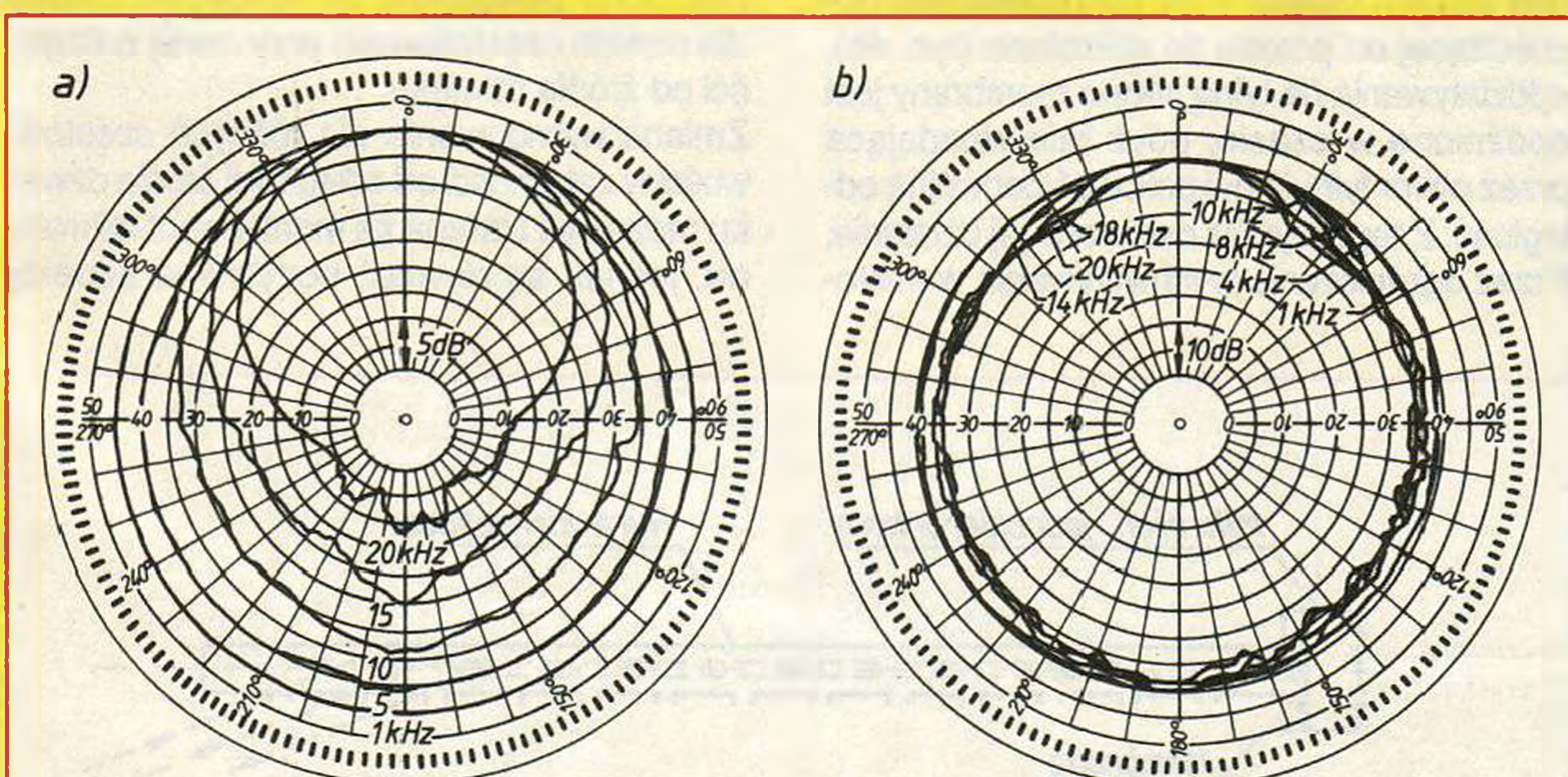
Mikrofony wszechkierunkowe wykazują jednakową skuteczność bez względu na kierunek padania fal dźwiękowych. Tego rodzaju mikrofonem jest tzw. mikrofon ciśnieniowy – zamknięte "pudełko", którego jedną ścianką jest membrana reagująca na zmiany ciśnienia fali dźwiękowej bez względu na kierunek jej padania. W rzeczywistości jednak obecność pudełka mikrofonu zaburza nieco rozchodzenie się fal. Przy częstotliwościach małych i średnich kierunek padania fal jest w zasadzie obojętny, ale przy zwiększaniu częstotliwości daje się zauważyć pewną kierunkowość działania mikrofonu. Poprawę w tym zakresie uzyskuje się poprzez założenie specjalnej nakładki.

Przykładowe charakterystyki kierunkowości dla mikrofonu ciśnieniowego przedstawiono na rys. 1a, natomiast na rys. 1b – charakterystyki tego samego mikrofonu ze specjalną nakładką. Kołowa charakterystyka kierunkowości jest często niekorzystna, gdyż potęguje i zniekształca zjawiska pogłosowe. Może to powodować wrażenie nienaturalnego pogłosu pomieszczenia.

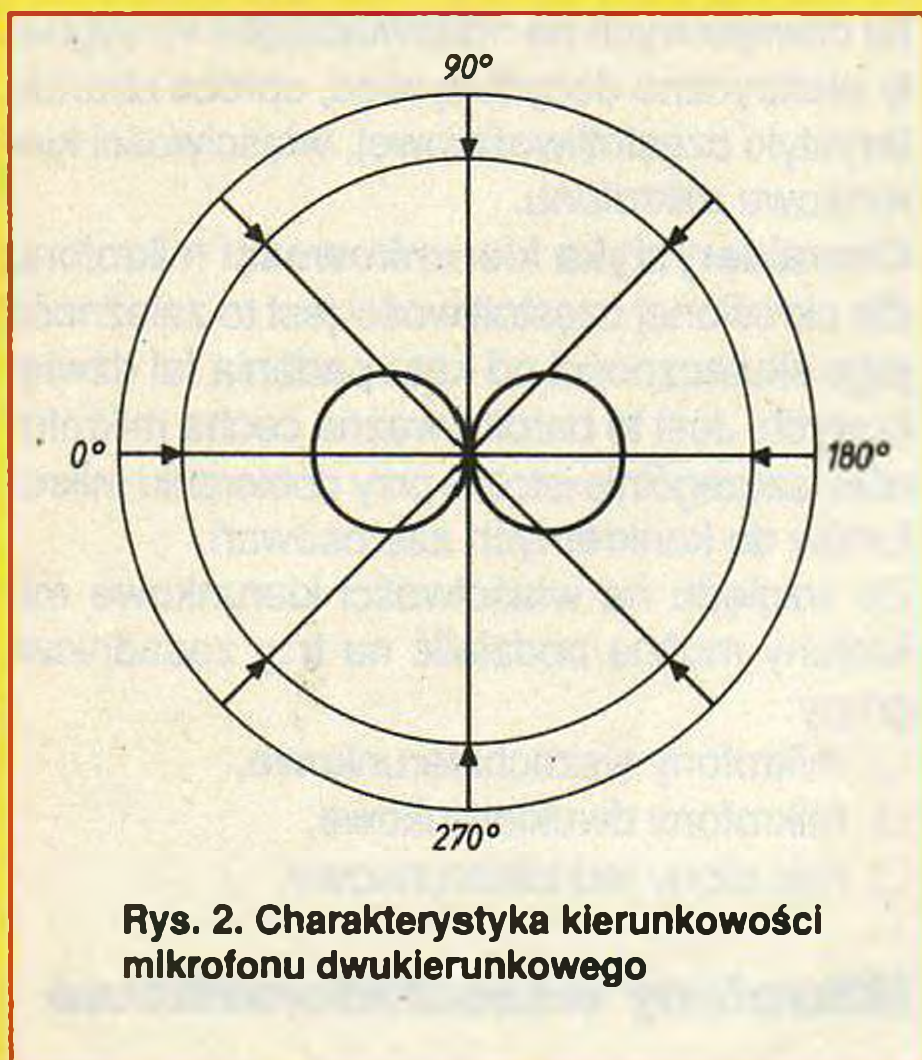
Zalety mikrofonu wszechkierunkowego są szczególnie dostrzegane przy małej odległości od źródła dźwięku, np. przy wzmacnianiu głosu solisty. Ma on bardziej wyrównaną charakterystykę częstotliwościową niż mikrofon kierunkowy. Jest również znacznie mniej wrażliwy na odgłosy oddechu oraz na wstrząsy mechaniczne niż jego odpowiednik kierunkowy.

Mikrofony dwukierunkowe

Mikrofony dwukierunkowe, zwane również gradientowymi, mają membranę otwartą dwustronnie. Zmiana położenia membrany wynika z różnicy ciśnień po obu jej stronach. Przyczyną tego może być zmiana kształtu fali akustycznej opływającej mikrofon, wskutek różnicy długości dróg, osłabienia fali dźwiękowej docierającej do membrany z drugiej strony itp. Fala dźwiękowa docierająca prostopadle do obudowy mikrofonu nie poruszy membrany, gdyż wartości ciśnienia akustycznego po obu jej stronach będą jednakowe. Mikrofon tłumi więc dźwięki docierające z boku, co w pewnych przypadkach może być zaletą.



Rys. 1. Charakterystyki kierunkowości mikrofonów dla różnych częstotliwości
a – bez nakładki rozpraszającej, b – z nakładką



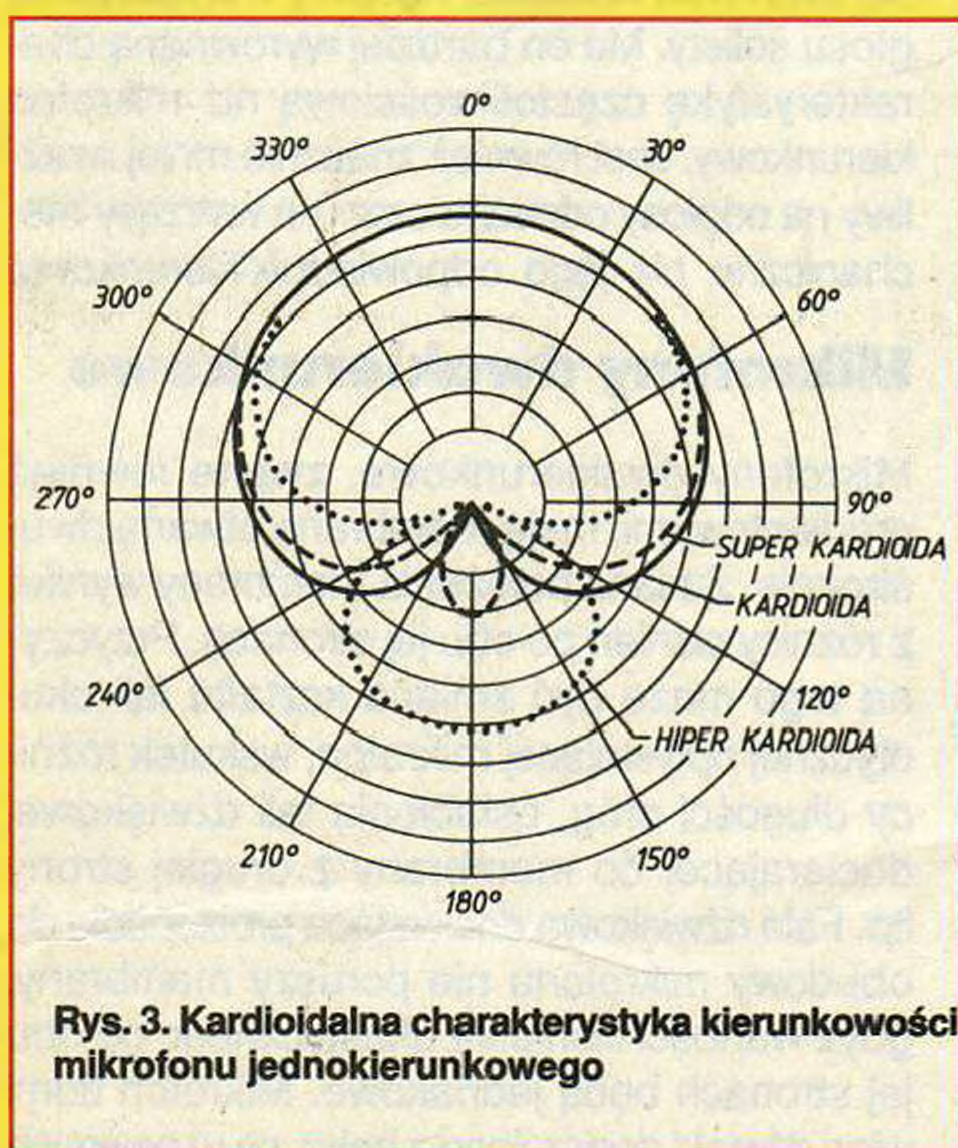
Charakterystyka kierunkowości mikrofonu dwukierunkowego jest przedstawiona na rys. 2.

Mikrofony jednokierunkowe

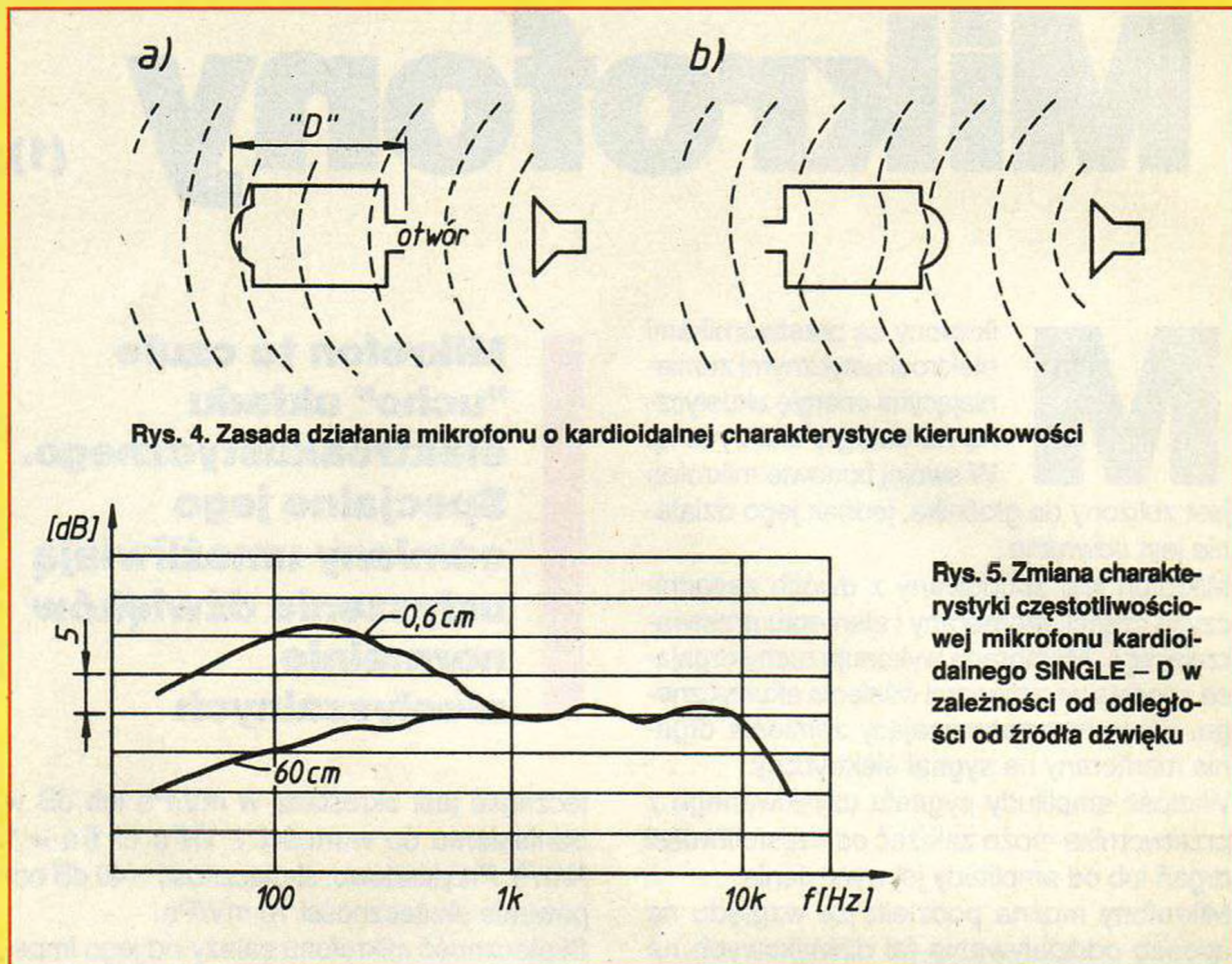
Połączenie zasady działania przetworników ciśnieniowych (wszechkierunkowych) z gradientowymi (dwukierunkowymi) daje w wyniku kardoidalną jednokierunkową charakterystykę kierunkowości (rys. 3).

Mikrofony jednokierunkowe mają największą skuteczność dla fal biegnących w kierunku membrany wzdłuż osi mikrofonu. Fale padające pod innymi kątami są tłumione w większym lub mniejszym stopniu.

Efekt charakterystyki kardoidalnej uzyskano wprowadzając niewielki, precyzyjnie usytuowany otwór, w tylnej ścianie mikrofonu ciśnieniowego. Ciśnienie akustyczne ma w związku z tym możliwość oddziaływania na membranę zarówno z przodu, jak i z tyłu. Przez odpowiedni dobór parametrów elementów toru akustycznego można wyrównać wpływ obu czynników, tj. ciśnienia i różnicy ciśnień oraz uzyskać wymagany przebieg charakterystyki kierunkowości.

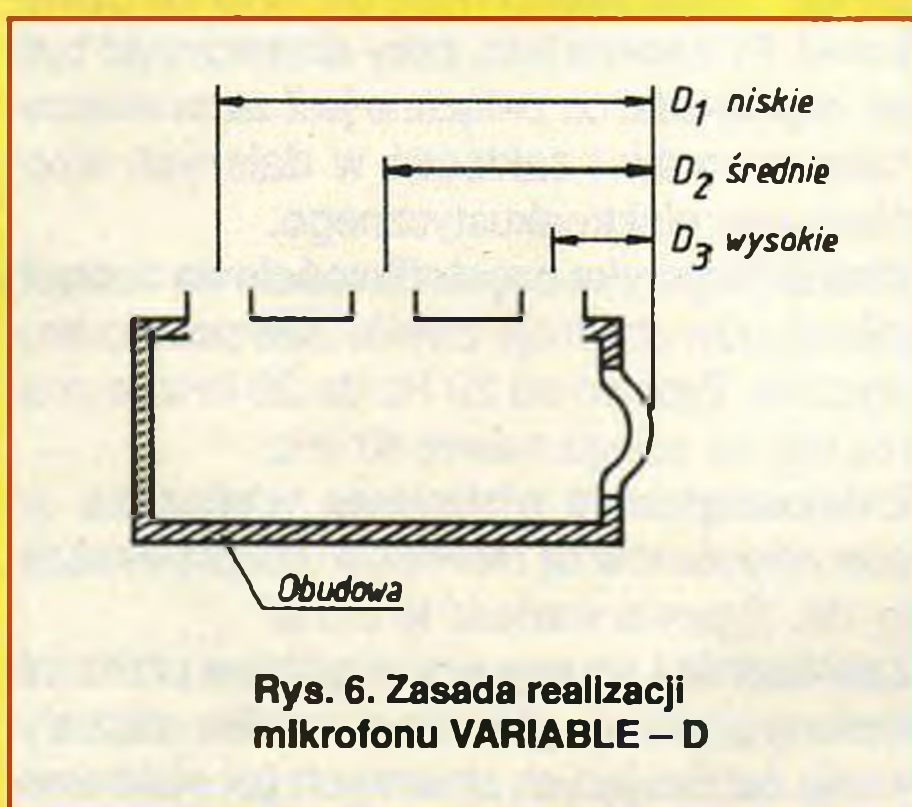


Rys. 3. Kardoidalna charakterystyka kierunkowości mikrofonu jednokierunkowego



Rys. 4. Zasada działania mikrofonu o kardoidalnej charakterystyce kierunkowości

Rys. 5. Zmiana charakterystyki częstotliwościowej mikrofonu kardoidalnego SINGLE - D w zależności od odległości od źródła dźwięku



Rys. 6. Zasada realizacji mikrofonu VARIABLE - D

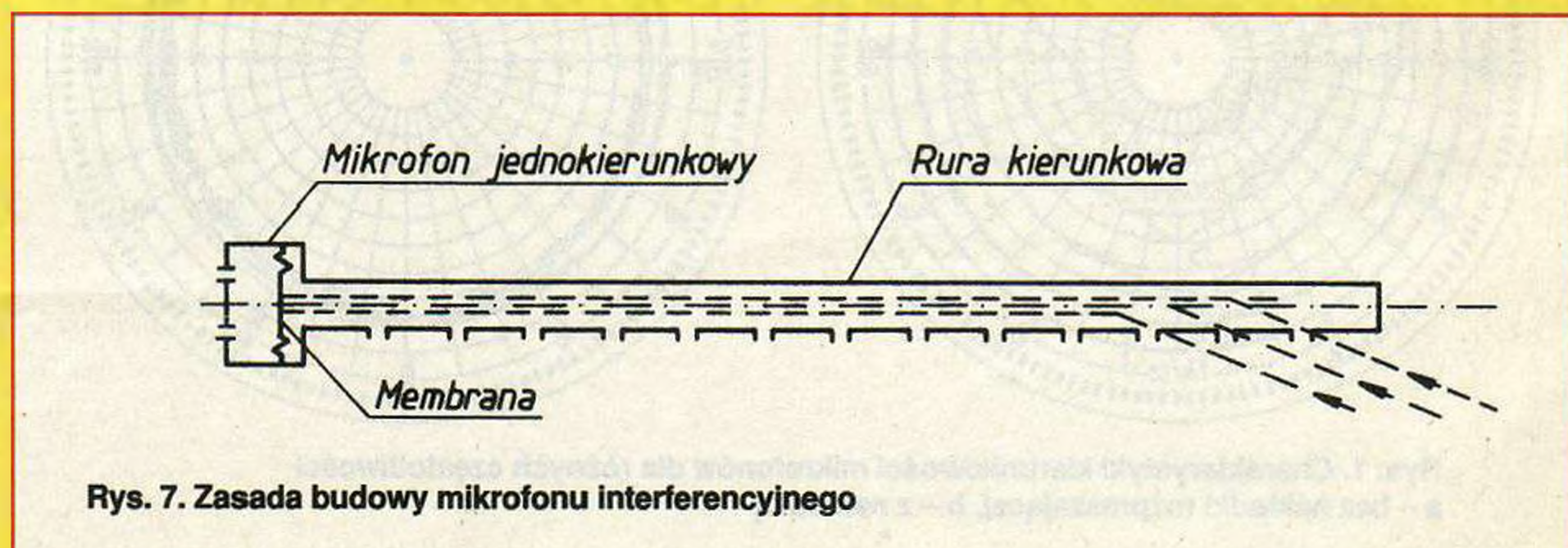
Przy dochodzeniu fali dźwiękowej z tyłu mikrofonu (rys. 4a) ruch membrany jest neutralizowany jednakowymi w fazie ciśnieniami akustycznymi oddziałującymi na membranę w tym samym czasie. Przy fali dźwiękowej dochodzącej od przodu do mikrofonu (rys. 4b), oddziaływanie na tylną stronę membrany jest opóźnione w czasie, gdyż fala wpadająca przez otwór tylny musi pokonać podwójną odległość. Z tego wynika osłabienie jej działania. Przez ograniczenie wychwytywania w mikro-

fonie dźwięków bocznych – nieosiowych, mikrofon kierunkowy redukuje amplitudy dźwięków niepożądanych, takich jak hałasy, pogłos czy muzyka z towarzyszącego instrumentu. Mikrofony kardoidalne mogą mieć również charakterystyki hiperkardoidalne i superkardoidalne.

Mikrofony superkardoidalne i hiperkardoidalne mają większe ogólne tłumienie w tylnej części swojej półkuli kierunkowości i większe ogólne tłumienie przypadkowych dźwięków bocznych, ale ich wadą jest występowanie w charakterystyce kierunkowej "listka" tylnego. Szczególnie dotyczy to mikrofonu hiperkardoidalnego, w wyniku czego jest on mniej powszechny w użyciu.

Mikrofony kardoidalne mają również pewne charakterystyczne właściwości, do których należy "efekt zbliżeniowy". Jest to właściwość mikrofonu polegająca na wzroście czułości dla niskich częstotliwości przy małej odległości od źródła dźwięku.

Zmiana wzmocnienia dla różnych częstotliwości w zależności od odległości źródła dźwięku może być uznana za mankament mikrofonu, jednak są również pozytywne aspekty



Rys. 7. Zasada budowy mikrofonu interferencyjnego

"efektu zbliżeniowego". Tym pozytywnym aspektem jest możliwość kontroli barwy dźwięku przez wokalistę. Na przykład, dla spotęgowania atmosfery intymności należy podnieść nieco poziom niskich częstotliwości, a w tym przypadku wystarczy zbliżyć mikrofon do ust. Przykład zmiany charakterystyki częstotliwościowej w zależności od odległości od źródła dźwięku jest przedstawiony na rys. 5.

Efekt zbliżeniowy najsilniej uwydatnia się w tzw. mikrofonach SINGLE – D (pojedynczej odległości), ponieważ występuje tu tylko jedna odległość między tylnym wejściem dla dźwięku a membraną. Mimo swoich specyficznych zalet, mikrofon ten nie zapewnia najwyższej czystości dźwięku. Dlatego w niektórych przypadkach jest zastępowany mikrofonem VARIABLE – D (zmienna odległość). W mikrofonie tym wykonano więcej otworów w obudowie. Wysokie częstotliwości wnikają przez otwór najbliższy membrany, średnie w połowie długości obudowy, niskie przez najdalej położony. Zasada realizacji mikrofonu tego typu jest przedstawiona na rys. 6. W mikrofonach VARIABLE – D osłabiony jest efekt zbliżeniowy, natomiast poprawiona czystość dźwięku. Charakterystyka kierunkowa mikrofonu kardioidalnego, względnie nieaktywna po bokach i z tyłu umożliwia zwiększenie "odległości mikrofonowej", tj. odległości między źródłem dźwięku a mikrofonem. Wzrost odległości w stosunku do mikrofonu wszechkierunkowego wynosi teoretycznie od 1 ÷ 1,7 przy zachowaniu tej samej skuteczności.

Należy się liczyć jednak z wystąpieniem pewnych niepożądanych zjawisk, jak:

- ❑ wzrost pogłosu,
- ❑ zbyt głośnych przypadkowych hałasów,
- ❑ sprzężenia mikrofonu z zespołami głośnikowymi.

Szczególnie to ostatnie zjawisko jest groźne, gdyż może prowadzić do uszkodzenia sprzętu. Jednak w sytuacjach na pograniczu sprzężenia, mikrofon kardioidalny umożliwia wytworzenie wyższego poziomu dźwięku w pomieszczeniu.

Mikrofony Interferencyjne

Mikrofony interferencyjne są mikrofonami wybitnie kierunkowymi. Przeznaczone są do odbioru dźwięków pochodzących z odległych źródeł. Stosowane są głównie w filmie i w telewizji, ale mogą być przydatne do podsłuchu rozmowy między sędzią piłkarskim a zawodnikami na środku stadionu.

Mikrofony tego typu wykorzystują przystonę akustyczną w postaci długiej rury (odległość do 1 m), wzdłuż której znajdują się otwory z odpowiednio dobranymi filtrami akustycznymi (rys. 7).

Fale dźwiękowe nie padające wzdłuż osi rury ulegają silnemu tłumieniu.

Wadami mikrofonów interferencyjnych są duże wymiary oraz znaczne różnice charakterystyki częstotliwościowej zależnej od kierunku padania fali dźwiękowej.

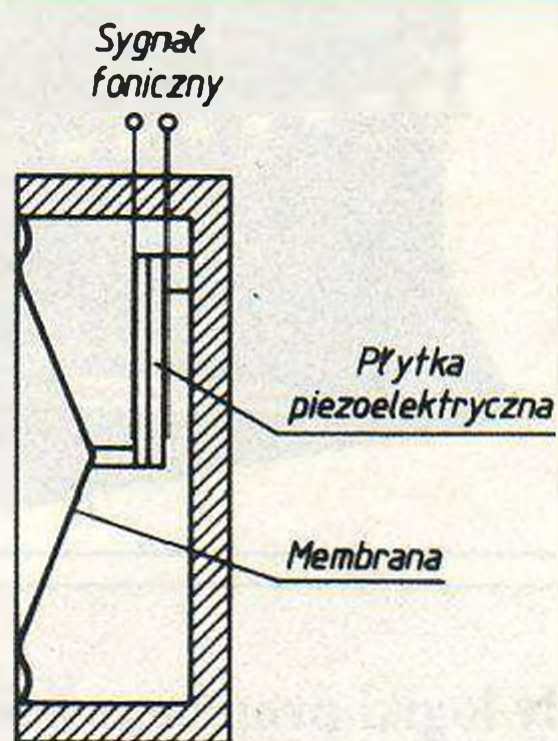
Maciej Feszczuk



Mikrofony (2)

Mikrofony krystaliczne i ceramiczne

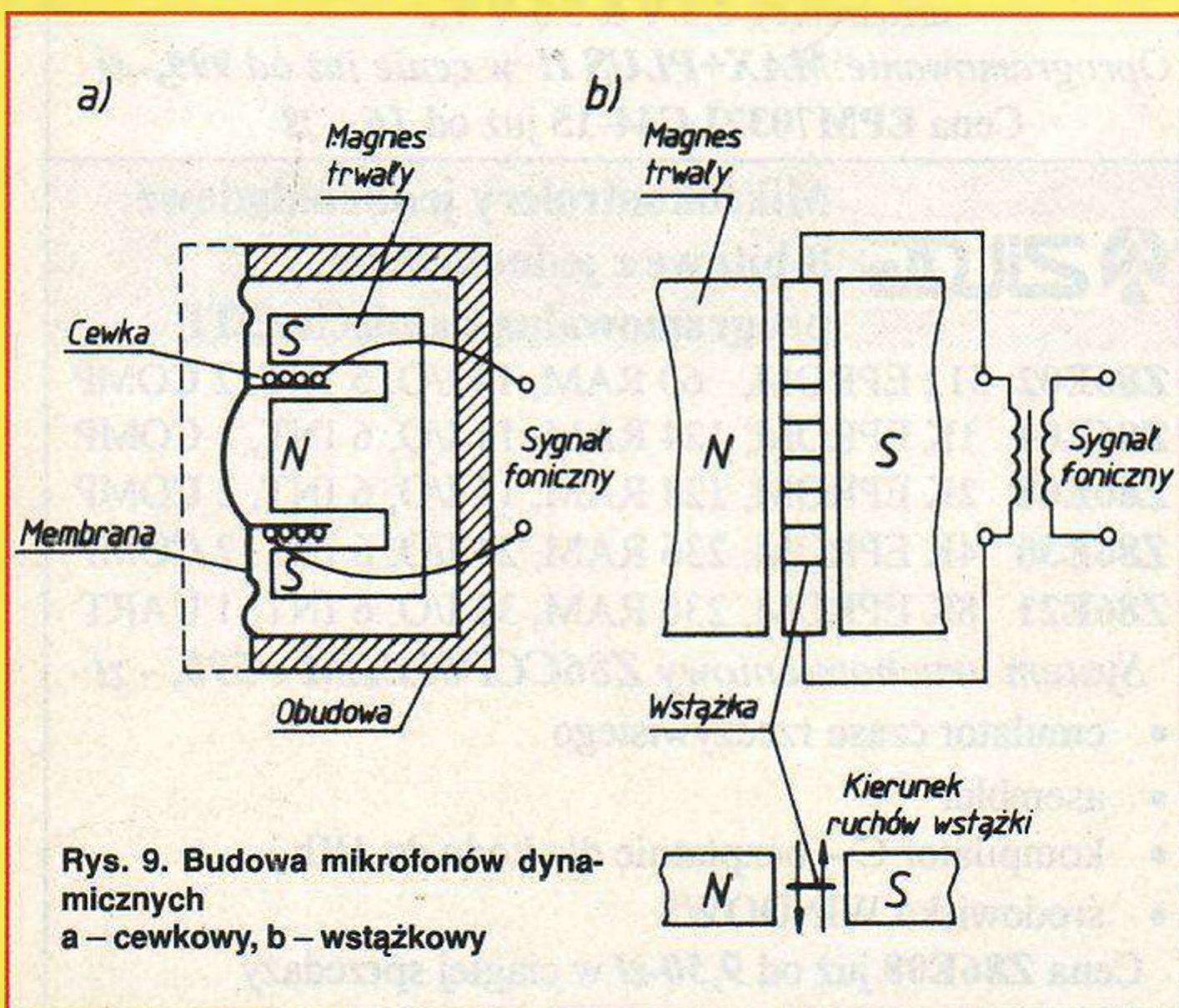
Membrana mikrofonu krystalicznego (ceramicznego) jest przymocowana do materiału o właściwościach piezoelektrycznych, który przy odkształceniu wytwarza na wyjściu napięcie elektryczne (rys. 8). Materiałem takim jest np. kryształ winianu sodowo-potasowego, tzw. sól Rochelle'a oraz materiały ceramiczne. Ponieważ właściwości materiałów piezoelektrycznych zależą od temperatury i wilgotności, ich zastosowanie ogranicza się do tanich urządzeń powszechnego użytku.



Rys. 8. Zasada działania mikrofonu krystalicznego

Mikrofony dynamiczne

W mikrofonach dynamicznych elementem przetwarzającym jest cewka przymocowana do membrany i poruszająca się w polu magnesu stałego lub wstążka, która jest jednocześnie membraną (rys. 9). Działanie mikrofonów dynamicznych jest oparte na, znanej z fizyki, za-



Rys. 9. Budowa mikrofonów dynamicznych
a – cewkowy, b – wstążkowy

Typ mikrofonu określa rodzaj elementów przetwarzających. W zależności od zastosowanego przetwornika mikrofony różnią się znacznie między sobą pod względem przenoszonego pasma częstotliwości, wierności przetwarzania, odporności mechanicznej, trwałości itp.

sadzie, że w przewodzie elektrycznym poruszającym się w polu magnesu stałego prostopadle do strumienia magnetycznego indukuje się siła elektromotoryczna. Siła ta jest wprost proporcjonalna do prędkości przemieszczania się tego przewodu, czyli w przypadku mikrofonu szybkości drgań membrany.

Mikrofony pojemnościowe

Mikrofon pojemnościowy jest w istocie kondensatorem o specjalnej budowie. Jedną z okładek kondensatora jest nieruchoma, natomiast drugą stanowi napięta membrana wykonana

z materiału nieprzewodzącego, pokryta cienką warstwą złota. Tak wykonany kondensator o niewielkiej pojemności, rzędu 100 pF, stanowi serce mikrofonu pojemnościowego. Podczas drgań wywołanych falą akustyczną zmienia pojemności ΔC , odpowiadająca zmianom ciśnienia akustycznego, jest przetwarzana na odpowiadający jej sygnał elektryczny. Możliwe są tutaj trzy przypadki: praca z polaryzacją zewnętrzną, wewnętrzną lub układem w.c.z. Polaryzacja zewnętrzna polega na przyłączeniu do kondensatora mikrofonu napięcia stałego, poprzez rezystor o dużej wartości, rzędu 100 M Ω (rys. 10a).

Zmiana pojemności kondensatora przy stałym ładunku spowoduje zmianę napięcia zgodnie z zależnością:

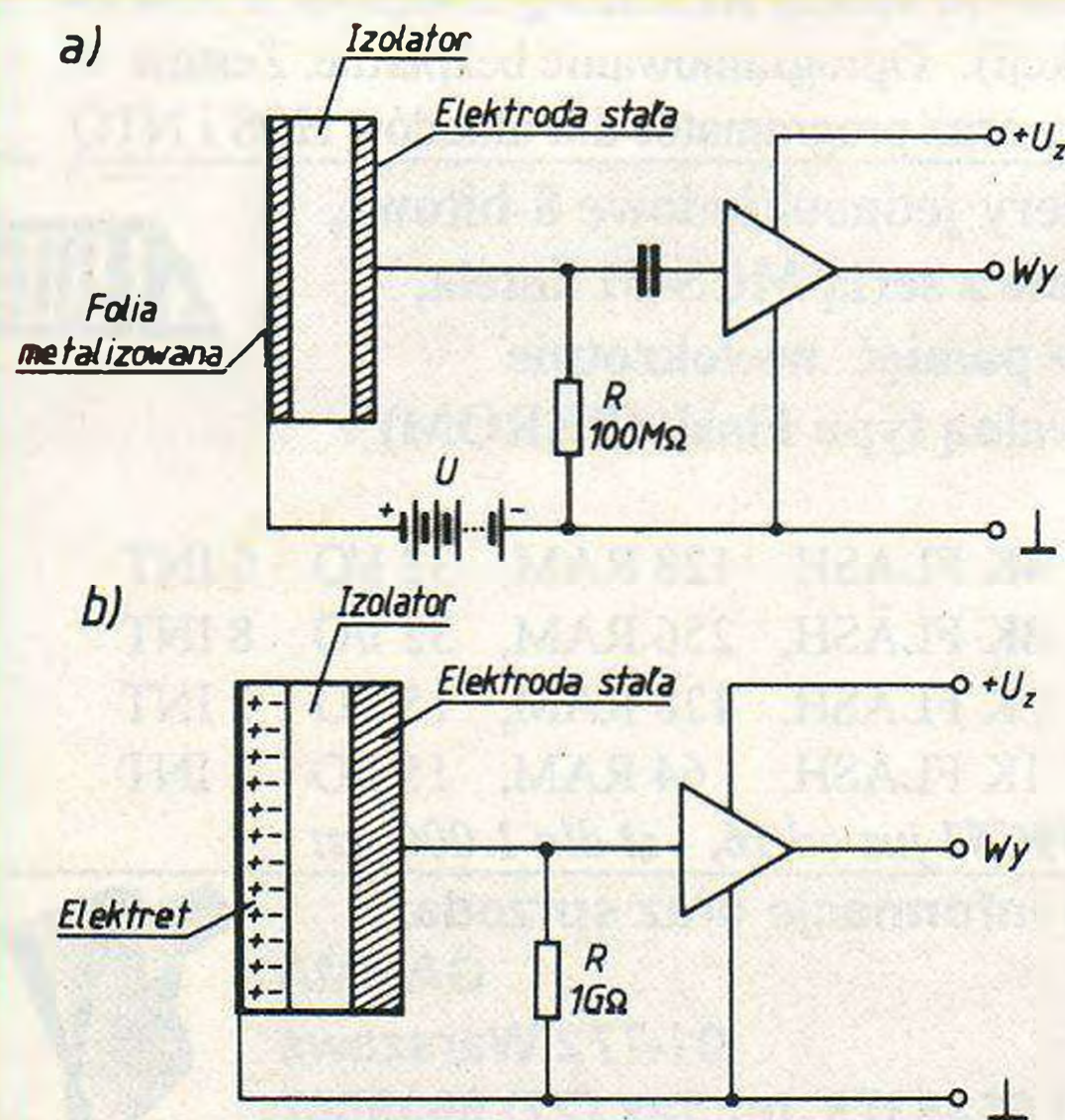
$$U_0 \pm \Delta U = Q / (C_0 + \Delta C)$$

Zmiany napięcia, będące elektrycznym odzwierciedleniem sygnału akustycznego, są wzmacniane w dalszych częściach toru.

Z uwagi na bardzo dużą rezystancję wyjściową przetwornika, sygnał nie może być przesyłany kablem, lecz musi być zastosowany specjalny wzmacniacz pełniący funkcję transformatora impedancji.

W mikrofonach z polaryzacją wewnętrzną (rys. 10b) membrana jest wytworzona z folii poliestrowej, metalizowanej z jednej strony i trwale spolaryzowanej elektrycznie, jest to tzw. elektret. Działanie mikrofonu jest identyczne jak mikrofonu z polaryzacją zewnętrzną. Drgania membrany powodują zmiany pojemności, a co za tym idzie, zmiany napięcia na okładkach kondensatora. Podobnie jak poprzednio, z uwagi na bardzo dużą rezystancję wyjściową przetwornika elektretowego, konieczne jest zastosowanie transformatora impedancji.

Z uwagi na prostą konstrukcję ten typ mikrofonów pojemnościowych rozpowszechniony jest najbardziej. Na rys. 11 przedstawiono widok elektretowego przetwornika pojemnościowego firmy Bruel & Kjaer. Współpraca mikrofonu pojemnościowego z układem w.c.z. polega na przestrajaniu obwodu rezonansowego przez pojemność mikrofonu o zmiennej warto-



Rys. 10. Mikrofon pojemnościowy:
a – z polaryzacją zewnętrzną napięciem U,
b – z przetwornikiem elektretowym



Rys. 11. Widok elektretowego przetwornika firmy Bruel & Kjaer

Współczesne mikrofony pojemnościowe typu elektretowego cechuje odporność mechaniczna porównywalna z mikrofonami dynamicznymi. Są to jednocześnie mikrofony przenoszące najszersze pasmo częstotliwości i z najbardziej wyrównaną charakterystyką fazową. Gładka charakterystyka częstotliwościowa w połączeniu ze znakomitą charakterystyką fazową powodują, że mikrofony te przetwarzają dźwięk na sygnał elektryczny bardzo czysto i bez podkolorowań.

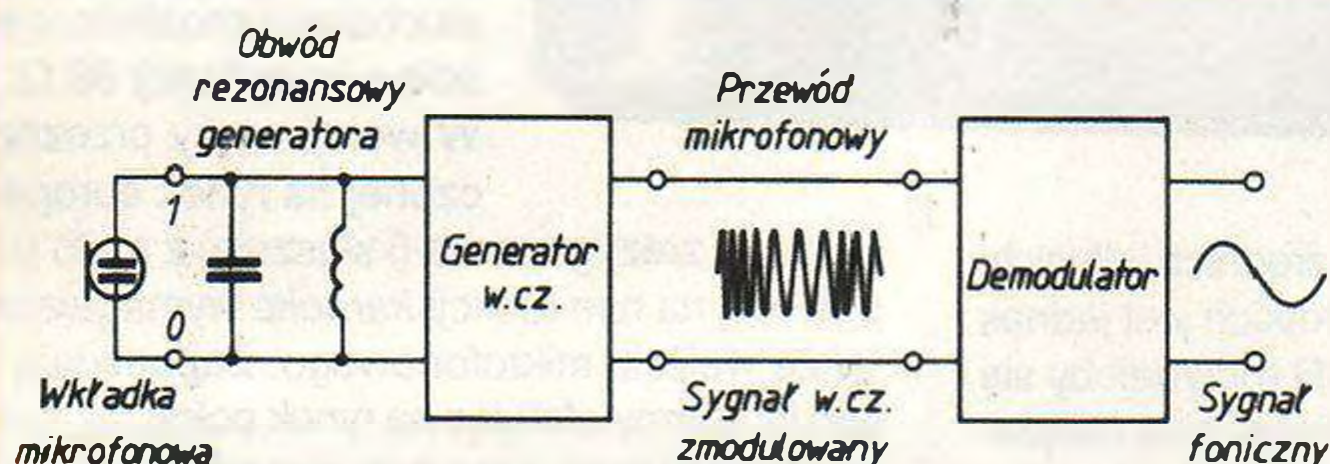
Przykładowy przebieg charakterystyki częstotliwościowej w przypadku odbioru fali dźwiękowej biegnącej równolegle do osi oraz padającej pod kątem przedstawiono na rys. 13a, natomiast na rys. 13b przedstawiono przebieg charakterystyki fazowej. Jak widać, w zakresie do 30 kHz przebieg jest niemal idealny.

Pewnym problemem jest konieczność dostarczania do mikrofonu pojemnościowego napięcia zasilającego. Sprawa ta jest rozwiązywana w różny sposób, najczęściej za pomocą zasilania typu „phantom” (rys. 14). Kłopoty z zasilaniem oraz niewygodą związana z „plączącymi się” kablami skłaniają producentów do konstrukcji mikrofonów bezprzewodowych (rys. 15), z wykorzystaniem nadajników UKF. Do zasilania stosowane są lekkie baterijki, których pojemność wystarcza na kilka godzin pracy.

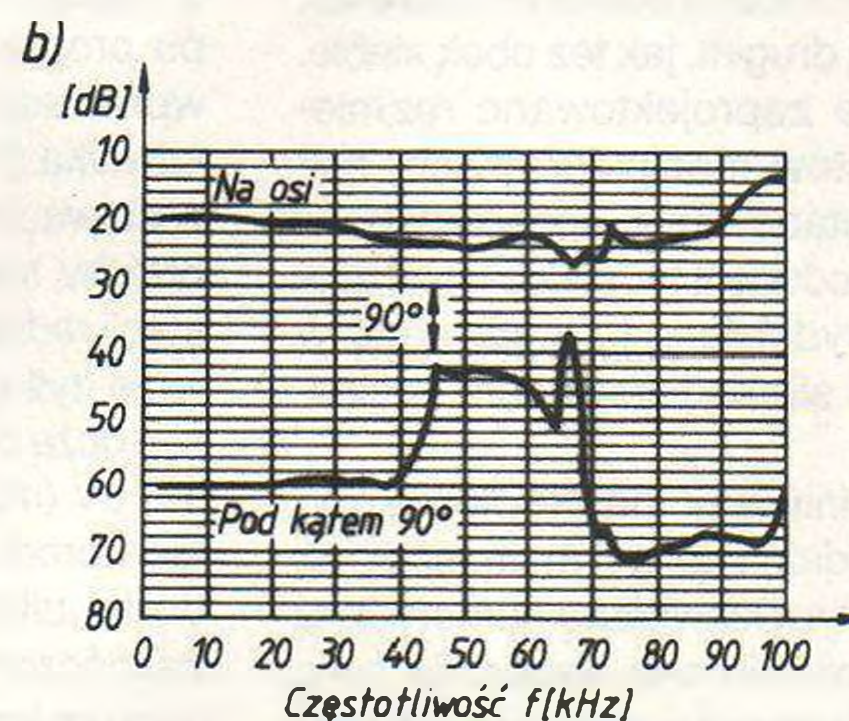
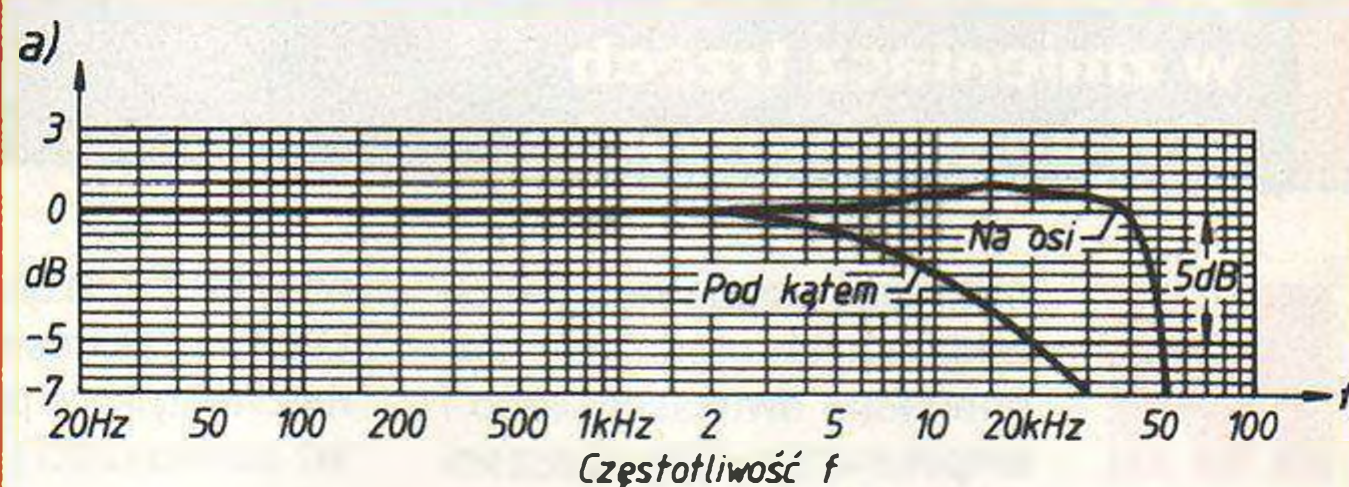
Maciej Feszczuk

Słowa kluczowe: MIKROFONY. BUDOWA I WŁAŚCIWOŚCI

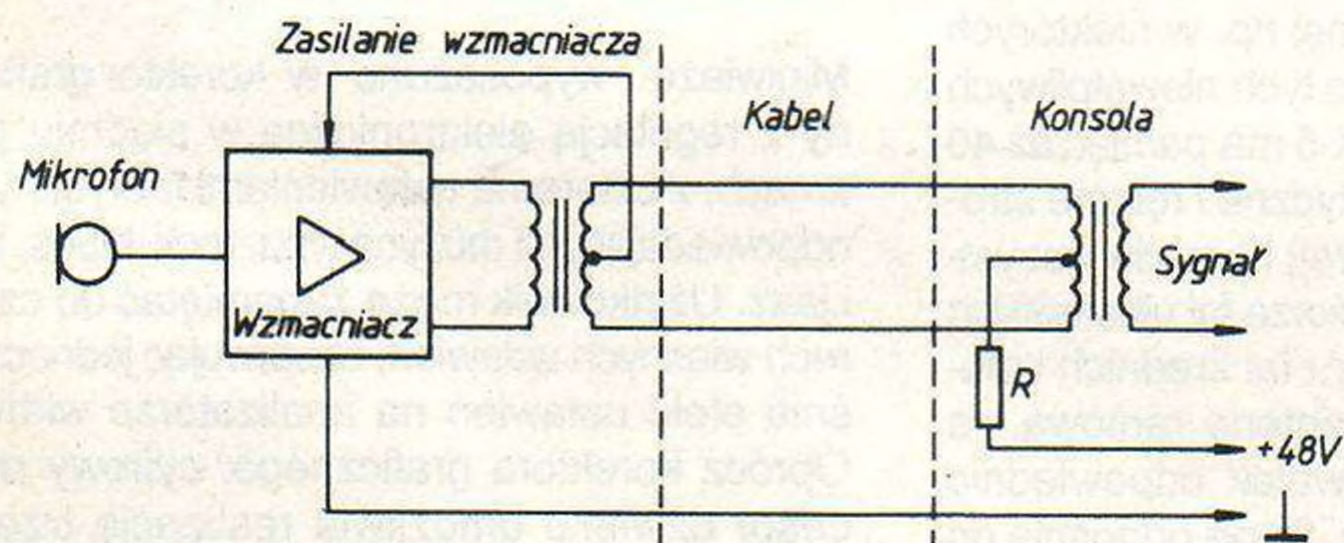
ści, stanowiącą część składową generatora w.cz. Przebieg w.cz. generatora jest zmodulowany sygnałem fonicznym odzyskiwanym po demodulacji (rys. 12).



Rys. 12. Zasada współpracy mikrofonu pojemnościowego z układem w.cz.



Rys. 13. Przebieg charakterystyki częstotliwościowej (a) oraz fazowej (b) mikrofonu pojemnościowego dobrej klasy



Rys. 14. Zasilanie typu „phantom” mikrofonu pojemnościowego

Rys. 15. Widok mikrofonu bezprzewodowego firmy AKG

