

MIKROFONY

na wesoło

Co to jest mikrofon? Do czego służy? Jak jest zbudowany? Jak się nim posługiwać? Zapewne jako stary fachowiec dżwisz się tym pytaniom, ale nie każdy czytelnik EdW potrafi na nie odpowiedzieć. Pozwól więc, że podam ci dwie definicje. Oto pierwsza:

Mikrofon jest to rurka – metalowa lub plastikowa – pomalowana na srebrzysty kolor stali lub na czarno. W rurze tej znajdują się jakieś druty, magnes znakomicie nadający się do zbierania igieł z podłogi, i coś co zwą membraną. Rurka ta zakończona jest sitkiem. Urządzeniem tym posługują się ludzie, którzy poprzez śpiew, mowę lub granie na instrumentach dają nam do zrozumienia, że czas przełączyć radio na inny zakres.

Jeżeli nie zadowala cię ta definicja, podam ci drugą:

Mikrofon jest przetwornikiem elektroakustycznym przetwarzającym energię akustyczną na elektryczną. Proces przemiany odbywa się w następującej kolejności: Źródło dźwięku (np. piosenkarz, któremu wydaje się, że umie śpiewać) – drgania powietrza – drgania membrany mikrofonu (drży z nerwów słuchając piosenkarza) – przebiegi elektryczne w mikrofonie. Drgania te powodują powstanie w obwodzie elektrycznym mikrofonu prądu zmiennego, o kształcie charakterystycznym dla danego dźwięku. Powstające prądy i napięcia mają wprawdzie bardzo małą wartość, ale za to ich kształt odzwierciedla zmiany ciśnienia związane z danym dźwiękiem.

Naucz się na pamięć tej definicji, która bardziej ci się podoba. Jak ważny jest mikrofon, chyba nikomu nie trzeba tłumaczyć. Bez niego nie mógłbyś słuchać nagrań swojego ulubionego artysty operowego, ewentualnie prelegenta w telewizji, mówiącego o wpływie deszczów podwrotnikowych na stonkę ziemniaczaną w Górnej Wolcie. Co gorsza, na koncertach musiałbyś stać w pierwszych rzędach (z dala od toalety) żeby cokolwiek słyszeć; bo na cóż potrzebne byłyby potężne wzmac-

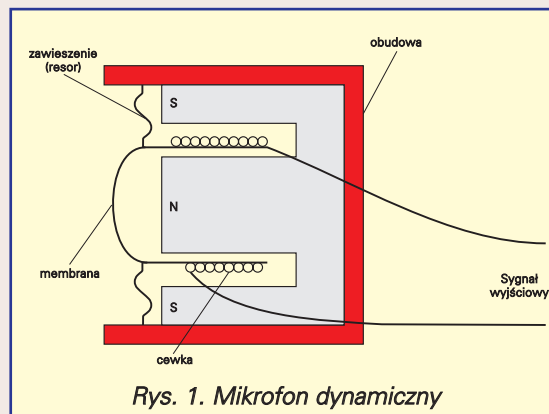


niacze z tysiącami watów, gdyby nie pomoc wszechobecnych mikrofonów. Właśnie dzięki nim „Śpiewać każdy może...”.

Aby nie doprowadzać cię do obłędu, w dalszej części artykułu celowo pominę wszelkie wzory, zależności i obliczenia. Pojawi się natomiast kilka charakterystyk, rysunków i zdjęć. Bez tego nie da się mówić o mikrofonach.

Wiem, że chciałbyś już mnie spytać: jak można sklasyfikować mikrofony i czym różnią się między sobą?

Mikrofony można sklasyfikować przynajmniej dwójako: ze względu na rodzaj przetwornika użytego do zamiany energii akustycznej na elektryczną, jak również ze względu na charakterystykę kierunkowości.



Rys. 1. Mikrofon dynamiczny

Ze względu na rodzaj przetwornika i sposób przetwarzania drgań membrany na sygnał foniczny, mikrofony dzielimy na:

- magnetoelektryczne (dynamiczne),
- pojemnościowe (elektrostatyczne),
- węglowe,
- piezoelektryczne.

Najbardziej popularne z nich są **mikrofony dynamiczne**. Zasadę ich pracy omawia **rysunek 1**. W mikrofonie dynamicznym elementem ruchowym jest przewód zwinięty w cewkę lub w kształcie wstęgi, poruszający się w pierścieniowej szczelnie magnesu trwałego. Cewka jest mechanicznie połączona z membraną mikrofonu. Działanie wszystkich mikrofonów dynamicznych jest oparte na następującej zasadzie: fala dźwiękowa porusza membranę, do której przymocowana jest cewka. Dzięki temu przewód elektryczny porusza się w polu magnesu trwałego, prostopadle do strumienia magnetycznego i indukuje się w nim siła elektromotoryczna czyli napięcie, inaczej mówiąc powstają przebiegi elektryczne o kształcie odwzorowującym zmiany ciśnienia fali akustycznej.

Odmianą mikrofonu dynamicznego jest **mikrofon wstęgowy**. Wstęga jest równocześnie membraną mikrofonu. Jeżeli chodzi o mikrofon wstęgowy, to trzeba stwierdzić, że wstęga jest dużo lżejsza od membrany i cewki zwykłego mikrofonu dynamicznego, przez co może zapewnić znacznie lepszą jakość dźwięku. Z tego powodu stosowane są chętnie w studiach nagraniowych.

W takim razie, dlaczego mikrofony wstęgowe są mało popularne w porównaniu z dynamicznymi? Powód jest prosty. Mikrofon wstęgowy jest bardziej delikatny a ponadto nie jest odporny na ... grypę. Tak, tak. Zdarzało się, że wstęgę uszkadzał nawet mocniejszy kaszel twojego ulubionego artysty operowego. Artysta zakaszał i mikrofon ... nieboszczyk. Trzeba jednak uczciwie stwierdzić, że aktualnie produkuje się mikrofony wstęgowe odporne

Nagłaśnianie

na tego typu niespodzianki. Poza tym również mikrofony dynamiczne mają bardzo dobre parametry: szerokie pasmo przenoszenia, odpowiednią czułość, różne charakterystyki kierunkowe. Gdy dodamy do tego stosunkowo niską cenę, odporność na warunki klimatyczne – to zrozumiemy, dlaczego cieszą się one dużą popularnością.

Rysunek 1 udowadnia, że mikrofon dynamiczny jest zbudowany podobnie jak głośnik (dynamiczny). Nie jest to przypadek. Oba urządzenia działają na tej samej zasadzie, różnią się tylko kierunkiem zamiany energii: głośnik zamienia energię elektryczną na akustyczną (na drgania powietrza), a mikrofon odwrotnie.

Jeśli jeszcze nie wiesz, to zdradzę ci sekret: każdy, nawet najzwyklejszy głośnik może służyć jako mikrofon. Jeśli nie wierzysz, to sprawdź przy najbliższej okazji. Czasem głośnik rzeczywiście wykorzystywany jest w roli mikrofonu, choćby w niektórych radiotelefonach.

Teoretycznie również mikrofon mógłby służyć jako głośnik. Jeśli masz w domu mikrofon dynamiczny, to podłącz go do źródła jakiegoś niewielkiego sygnału (ale nie do kilku- czy kilkudziesięciowatowego wzmacniacza) i wtedy usłyszysz ciche dźwięki.

Chyba nie trzeba ci tłumaczyć, że w większości przypadków nie warto stosować głośników w roli mikrofonów i odwrotnie, bo uzyskane parametry będą mierne lub nawet beznadziejnie kiepskie.

A jak jest zbudowany i jak działa mikrofon pojemnościowy?

Mikrofon pojemnościowy (elektrostatyczny) składa się z dwóch elektrod stanowiących okładziny kondensatora (spójrz na **rysunek 2**). Jedną z elektrod jest membrana z folii plastikowej pokryta jednostronnie metalizowanym tworzywem lub nawet warstwą złota (uprzedzam, że odzysk złota jest nieopłacalny nawet

jeżeli ktoś kupi kilka ton mikrofonów). Podczas drgań akustycznych, membrana zbliżając się i oddalając od elektrody stałej zmienia pojemność tak zbudowanego kondensatora. Zmiany pojemności odpowiadające zmianom ciśnienia akustycznego wykorzystuje się do wytworzenia sygnału fonicznego.

Jak się słusznie domyślasz, pojemność takiego kondensatora jest bardzo mała, rzędu pikofaradów. Być może znasz wzór na reaktancję czy impedancję (ogólnie biorąc – oporność) kondensatora – mała pojemność daje dużą oporność (impedancję). Właśnie ta duża impedancja kondensatora mikrofonu powoduje, że nie można dołączyć do niego bezpośrednio kabla mikrofonowego. Dlatego obciążeniem wkładki (kondensatora) mikrofonu pojemnościowego jest rezystor R o bardzo dużej rezystancji, który współpracuje lub jest częścią specjalnego wzmacniacza przymikrofonowego. Zadaniem tego wzmacniacza jest przekształcenie dużej impedancji wkładki na małą impedancję wyjściową mikrofonu.

Na domiar złego, aby z takiego małego kondensatora uzyskać sygnał o przyzwoitej amplitudzie, kondensator trzeba konieczności spolaryzować napięciem stałym o wartości 40...100V. Dlatego mikrofon pojemnościowy zazwyczaj zawiera także przetwornicę niezbędną do uzyskania tego napięcia polaryzującego.

Mikrofon ten wymaga więc niezbędnych napięć stałych zasilających jego wkładkę i układ elektroniczny.

Gdy mówimy o „prawdziwym” mikrofonie pojemnościowym, zazwyczaj mamy na myśli całość, to znaczy nie tylko wkładkę pojemnościową ale także wzmacniacz i przetwornicę napięcia. Wzmacniacz i przetwornica są wbudowane w obudowę mikrofonu pojemnościowego.

Czy słyszałeś już określenie „phantom” (czytaj: fantom) w związku z mikrofonami?

6–woltową? A przyjrzałeś się schematowi połączeń przewodu prowadzącego ze wzmacniacza? Mikrofony takie mogą być zasilane z baterii, albo zdalnie przez kabel. Do zasilania wymagana jest oddzielna żyła w kablu. Jak wiesz, wszystkie lepsze mikrofony pracują w układzie symetrycznym, to znaczy, że do przesłania sygnału potrzebne są dwie żyły (nie połączone z masą). Do tego dochodzi masa – ekran kabla, a we wspomnianych krajowych mikrofonach jeszcze jeden przewód do zasilania. Tymczasem typowe kable mikrofonowe mają tylko dwie żyły plus ekran. I właśnie system phantom pozwala zasilić mikrofon przez te dwie żyły, z zachowaniem pełnej symetrii połączenia mikrofonu. **Rysunek 3** pokazuje ideę zasilania mikrofonu w systemie phantom.

Niemal każdy profesjonalny mikser zawiera przycisk(i) oznaczony PHANTOM, który pozwala zasilić mikrofony przez gojące przewody kabla mikrofonowego.

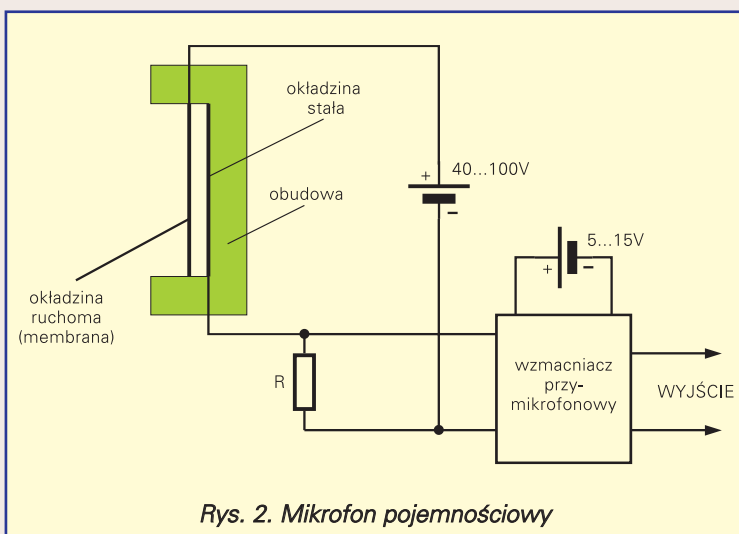
Odmianą mikrofonów pojemnościowych są **mikrofony elektretowe**. Membrana mikrofonu elektretowego też jest kondensatorem, gdzie dielektrykiem (izolatorem) jest specjalny rodzaj ceramiki. Ceramika ta jest trwale spolaryzowana elektrycznie, czyli kondensator zachowuje się dokładnie tak, jakby do jego okładzin było przyłożone napięcie stałe. Jak się domyślasz, mikrofon elektretowy nie wymaga stałego napięcia polaryzującego.

Ale co to znaczy, że dielektryk jest trwale spolaryzowany?

A bawiłeś się kiedyś magnese? To jest coś podobnego jak w magnesie trwałym. Tylko w magnesie wytworzone jest stałe pole magnetyczne, a w elektrecie – pole elektryczne.

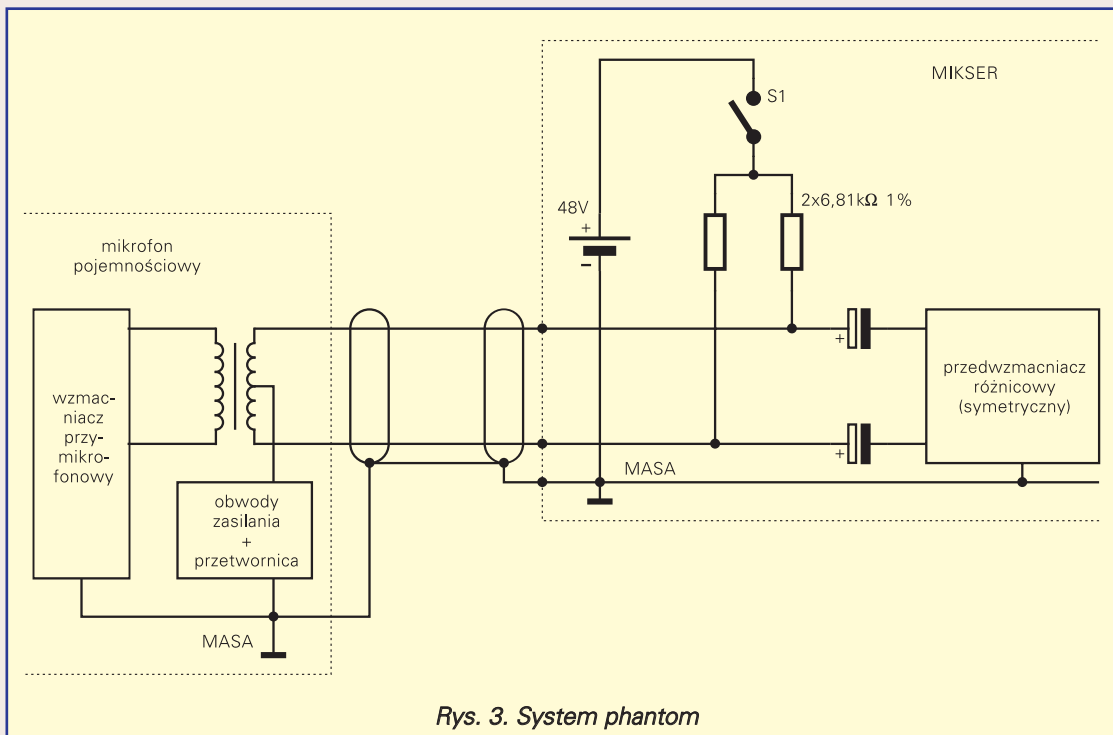
Choć taki elektret nie wymaga zasilania dużym stałym napięciem polaryzującym, to jednak również ma bardzo małą pojemność, a tym samym ogromną oporność (impedancję) i również musi być wyposażony we wzmacniacz przymikrofonowy, czy inaczej – układ transformujący impedancję. Taki wzmacniacz jest zwykle bardzo prosty i zawiera tranzystor polowy złączony z kanałem n. Na **rysunku 4** możesz zobaczyć typowe schematy wewnętrzne mikrofonów elektretowych dwu- i trzykońcówkowych.

Nie wiem czy wiesz, że wielkość sygnału uzyskiwanego z mikrofonu dwukońcówkowego nie jest stała, tylko zależy od rezystancji obciążenia. Czym większa rezystancja obciążenia, tym większy sygnał wyjściowy. Ale nie można tu przesadzić. Jak widzisz na rysunku 4a i 4b przez tranzystor polowy musi płynąć jakiś prąd stały, a sygnał zmienny z mikrofonu modulu-

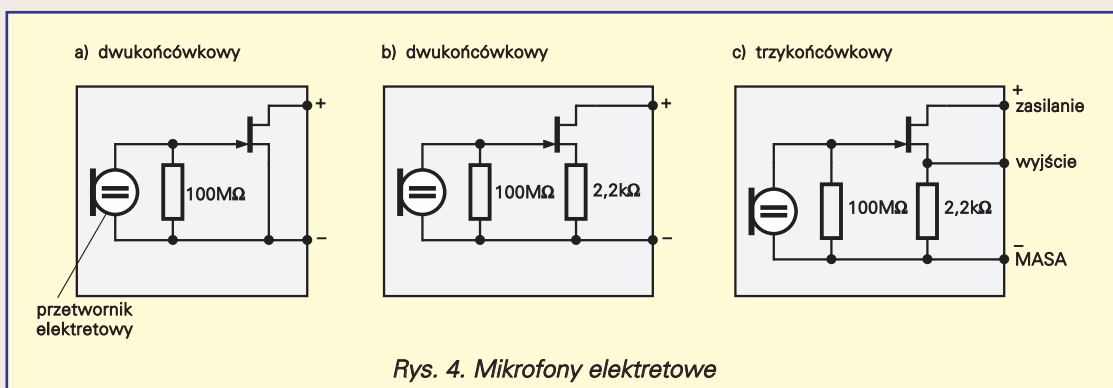


Rys. 2. Mikrofon pojemnościowy

P r z e d chwilą dowiedziałeś się, że mikrofony pojemnościowe wymagają zasilania. Być może widziałeś już z bliska krajowy mikrofon pojemnościowy MCO-52 czy M C U - 5 3 . Zauważyłeś pojemniczek na baterii



Rys. 3. System phantom



Rys. 4. Mikrofony elektretowe

ła prądowego, więc ma bardzo dużą oporność. Ten sygnał z dodatniej szyny zasilającej przenosi się na punkt A, gdzie po prostu dodaje się do sygnału użytecznego mikrofonu. W rezultacie do wzmacniacza podawana jest taka mieszanka sygnałów. Efektem może być zwiększony poziom szumów, a niekiedy wzmacniacz może się nawet wzbudzić. Nie wchodząc dalej w przyczyny i możliwe skutki, trzeba tylko przypomnieć, że dla uniknięcia takich przykrych niespodzianek proste dwukońcówkowe mikrofony trzeba zawsze włączać w układzie pokazanym na **rysunku 6b**, zawierającym obwód R1C1, filtrujący śmieci mogące przedostawać się przez obwód zasilania (uwaga, na rysunku podano przykładowe wartości elementów R i C, często stosowane w praktyce).

Mikrofony elektretowe mają wiele innych zalet, takich

je ten prąd stały. Dlatego stosując mikrofon elektretowy dwukońcówkowy w układzie z **rysunku 5** musisz pamiętać, że ten prąd stały wywoła spadek napięcia na rezystancji obciążenia RL. Ten spadek napięcia nie może być zbyt duży, bo uniemożliwi pracę tranzystora. Jeśli nie wiesz, o co tu chodzi, zapamiętaj tylko końcowy wniosek: na pracującym mikrofonie elektretowym musi występować napięcie UM nie mniejsze niż 1...2V. W praktyce oznacza to, że rezystancja obciążenia RL nie może być zbyt duża – w praktyce maksymalna wartość tej rezystancji wynosi 4,7k, rzadko 10k lub więcej.

Dobrze, żebyś kiedyś sam przekonał się o tym ograniczeniu. Weź kilka dwukońcówkowych mikrofonów elektretowych i zbadaj oscyloskopem ich sygnał wyjściowy w układzie z rysunku 5, przy napięciu zasilania 5V i różnych wartościach rezystancji RL w zakresie 100Ω...47kΩ. Żeby wytworzyć w miarę czystą sinusoidę polecam ci stary sprawdzony sposób: zagwizdź spokojnie, ale koniecz-

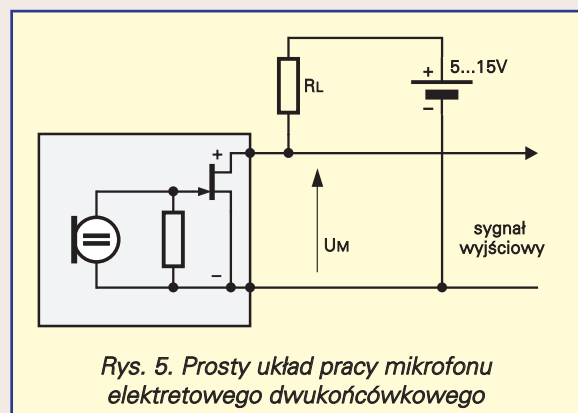
nie na wdechu, a nie wydechu. Dokładnie sprawdź oscyloskopem, czy kształt sygnału zmienia się zależnie od odległości mikrofonu od ust. Jeśli oprócz amplitudy, zmienia się też kształt (spłaszczenie jednej strony sinusoidy), oznacza to pojawienie się zniekształceń.

Przy okazji jeszcze jedna bardzo ważna sprawa.

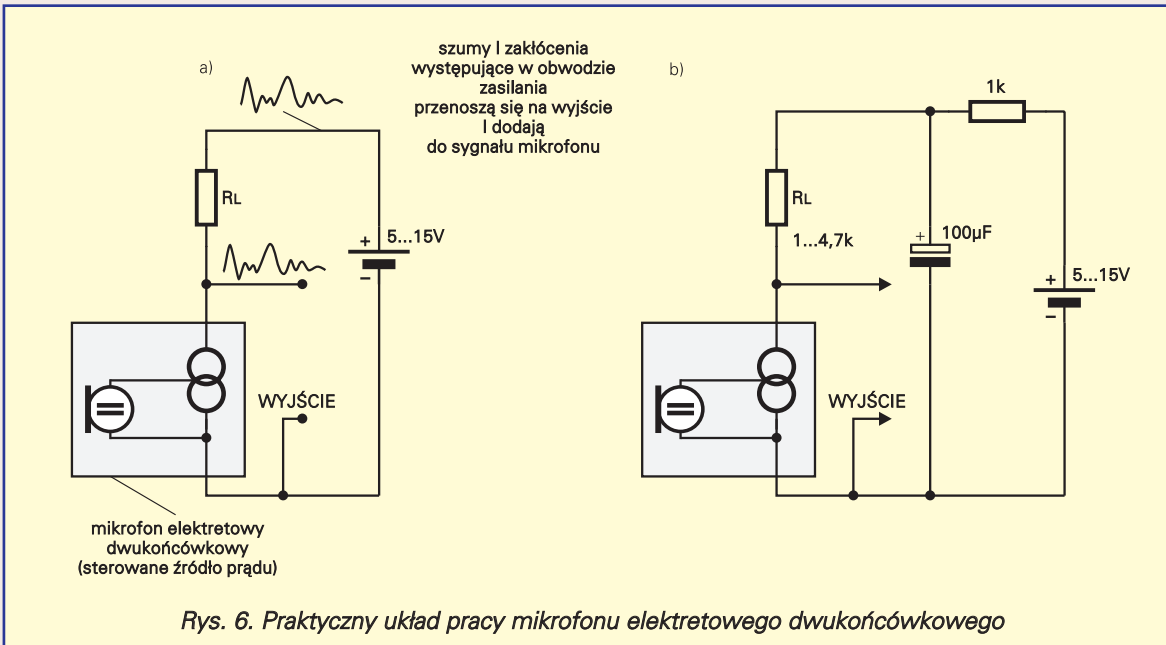
W praktycznych układach napięcie zasilające nie jest zwykle idealnie odfiltrowane. Przyczyną jest nie tylko niedoskonałe tłumienie przez zasilacz tętnień i innych śmieci przedostających się z sieci energetycznej, ale również chwilowe zmiany poboru prądu przez układ.

W rezultacie na dodatniej szynie zasilającej (w stosunku do masy) występują jakieś przebiegi zmienne. Pokazano to na **rysunku 6a**. Ponieważ dla przebiegów zmiennych mikrofon jest rodzajem źród-

ła jak: bardzo niska cenę, niewrażliwość na wilgoć, małą wrażliwość na wstrząsy i dużą odporność mechaniczną. Nie ma również niebezpieczeństwa przebicia szczeliny powietrznej między okładzinami, ponieważ ładunek elektryczny związany jest z elektretem. Popularne dwukońcówkowe „elektrety” są też bardzo tanie i często można je kupić w cenie poniżej 1zł.



Rys. 5. Prosty układ pracy mikrofonu elektretowego dwukońcówkowego



Rys. 6. Praktyczny układ pracy mikrofonu elektretowego dwukońcówkowego

tuje się właściwości niektórych kryształów i materiałów ceramicznych, polegające na wytwarzaniu napięcia między elektrodami nałożonymi na płytkach z tych materiałów pod wpływem odkształcenia mechanicznego. Płytkę z materiału piezoelektrycznego może być poddana drganiom bezpośrednio przez oddziaływanie fal dźwięko-

Może dlatego w świadomości wielu elektroników określenie „mikrofon elektretowy” jest synonimem tandety. Ale powinieneś wiedzieć, że mikrofony elektretowe są też używane w studiach radiowych i telewizyjnych. Oczywiście nie są to mikrofony pochodzące z Dalekiego Wschodu i kosztujące złotówkę za sztukę, tylko wyroby znanych firm. Przykładowo Tonsil produkuje przyzwoite i niedrogie mikrofony elektretowe, wyposażone dodatkowo w indywidualnie zmierzoną częstotliwościową charakterystykę przenoszenia obejmującą zakres 20Hz...20kHz.

Jednakże omówione wcześniej „prawdziwe” mikrofony pojemnościowe z polaryzacją zewnętrzną przewyższają mikrofon elektretowy znacznie większą wiernością przetwarzania dźwięku, jak również większą czułością i odpornością na przesterowania.

A co powiedzieć o **mikrofonach węglowych**? Nie jest prawdą, że ze względu na nazwę są szczególnie ulubionymi mikrofonami w kopalniach i elektrociepłowniach. Nie jest także prawdą, że mogą służyć jako opał. Ale mimo tej poważnej wady mają (a właściwie miały) kilka zalet: są dość odporne mechanicznie, wyróżniają się wyjątkowo dużą skutecznością (czyli bardzo dużym sygnałem wyjściowym), prostotą konstrukcji oraz niską ceną. Te właściwości sprawiły, że przez dziesięciolecia znajdowały zastosowanie w urządzeniach telefonicznych. Jednak ze względu na duży poziom szumów, spiekanie się proszków węglowych i niestabilność pracy nigdy nie były używane w torach fonicznych wysokiej jakości.

Zasada pracy mikrofonu węglowego przedstawiona jest na **rysunku 7**. Działanie jego oparte jest na zmianach rezystancji proszku węglowego pod wpływem ucisku wywieranego przez membranę. Przez komorę z proszkiem węglowym i uzwojenie pierwotne transformatora jest przepuszczony prąd stały z pomocniczego źródła (kolejny mikrofon, który wymaga zasilania, i to dość dużym prądem). Wskutek zmian rezystancji proszku węglowego wartość prądu ulega wahaniam w takt drgań membrany. W uzwojeniu wtórnym transformatora występuje napięcie zmienne – sygnał foniczny. Polecam ci ten mikrofon, jeżeli nie umiesz zbyt dobrze śpiewać. Zawsze potem możesz zwalić winę na mikrofon.

Ale mikrofonu takiego chyba nie kupisz już w żadnym sklepie – musisz wydłubać wkładkę mikrofonową ze starego aparatu telefonicznego.

Pozostał nam jeszcze **mikrofon piezoelektryczny**. W mikrofonie tym wykorzysta-

wych lub pośrednio przez zastosowanie pomocniczej membrany połączonej z nią mechanicznie.

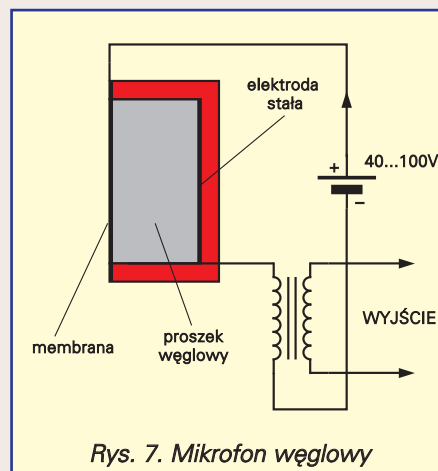
Dawniej przetworniki piezoelektryczne stosowane były w tańszych gramofonach. Były to tak zwane przetworniki krystaliczne (w odróżnieniu od dużo lepszych – magnetycznych). Mikrofony piezoelektryczne nie zdobyły szerszej popularności. Jeśli nie jesteś i nie będziesz elektroakustykiem, być może nigdy w życiu nie spotkasz się z prawdziwymi mikrofonami z przetwornikiem piezoelektrycznym.

Mikrofony piezoelektryczne znajdują ograniczone zastosowanie w urządzeniach wysokiej jakości za względu na wpływ wilgoci i zależność od temperatury. Zbyt duża temperatura powoduje trwałe zmiany w ich działaniu. Ponadto wykazują bardzo dużą impedancję wewnętrzną o charakterze pojemnościowym, co utrudnia łączenie ich długimi przewodami i obciążenie małymi impedancjami. Szeroko natomiast stosowane są jako mikrofony, a ściślej biorąc – przetworniki, w instrumentach akustycznych. Takie przetworniki mogą zupełnie nie przypominać znanych nam mikrofonów.

Skorzystaj z tych mikrofonów, gdy w wolnych chwilach od czytania EdW pragniesz głośno pograć na swojej gitarze, trąbie lub ulubionym przez sąsiadów puzonie.

Słusznie domyślasz się, że mikrofonem jest też każda membranka piezo od przetwornika sygnalizacyjnego. Pamiętaj o tym, bo może czasem wykorzystasz ją w nietypowej roli mikrofonu a nie sygnalizatora.

Ciąg dalszy w kolejnym numerze EdW.
Zbigniew Orłowski



Rys. 7. Mikrofon węglowy