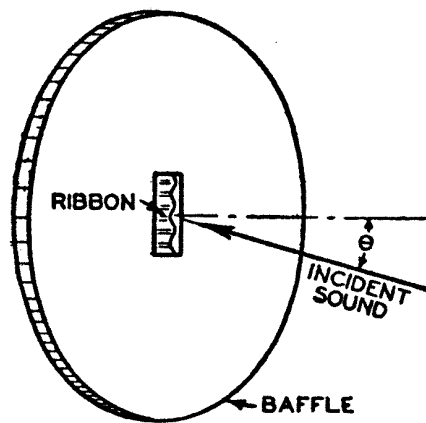
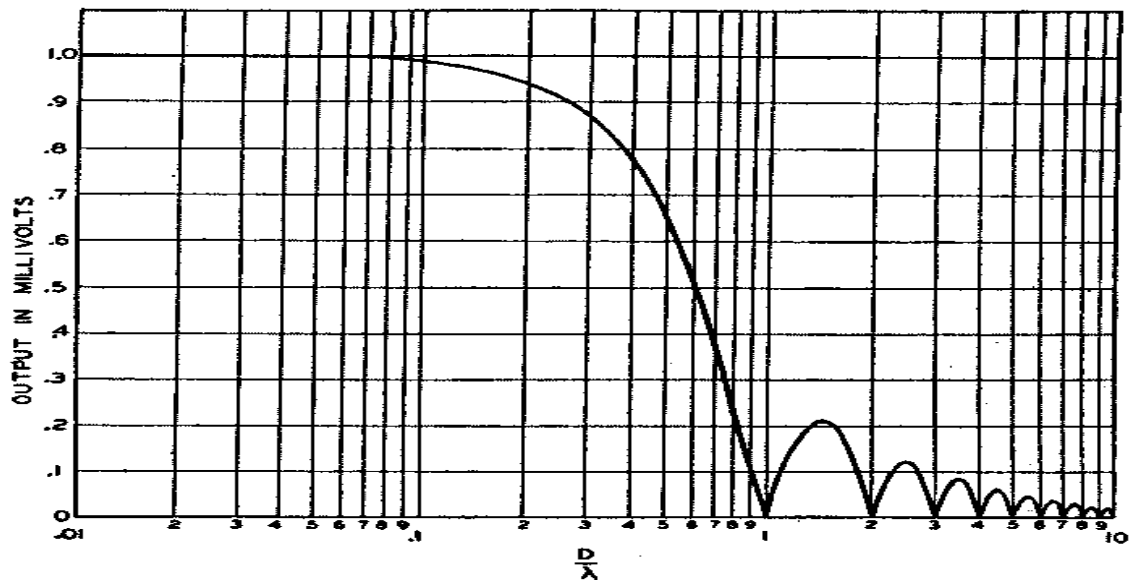


Kapitola 6: Návrh magnetického obvodu páskového rychlostního mikrofonu

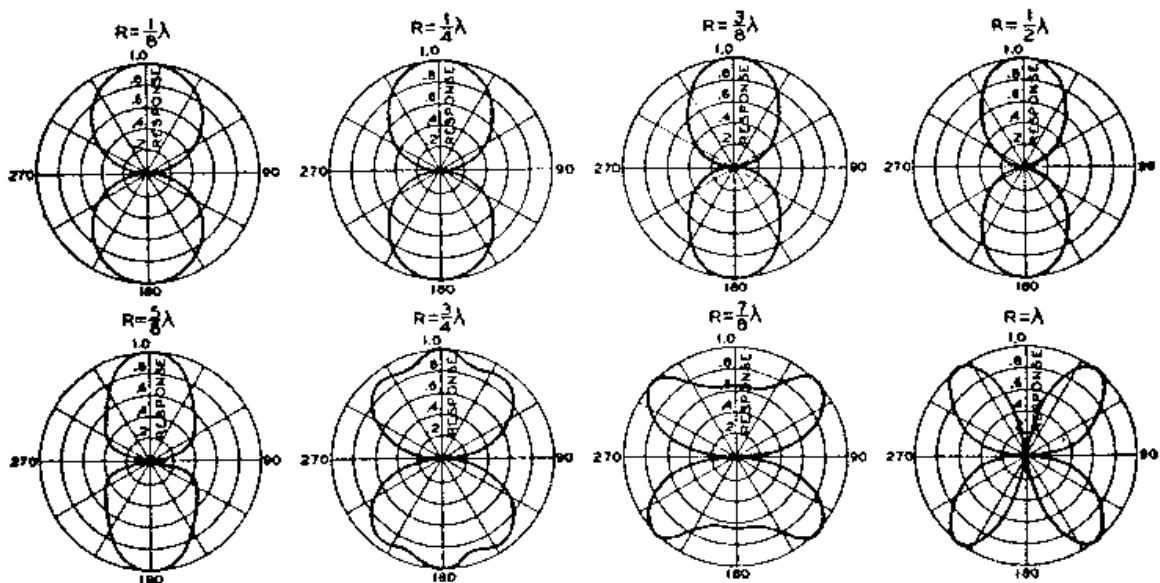
Magnetický obvod páskového mikrofonu zastává dvě funkce. Koncentruje magnetické pole ve směru kolmém na směr pohybu pásku a provádí rychlostní transformaci. To vše pouze tehdy, jsou-li jeho rozměry menší, než je vlnová délka nejvyššího přenášeného kmitočtu. V opačném případě vnucuje pásku uzel rychlosti a působí úbytek vysokých kmitočtů. V literatuře^[20] je popsán vliv kruhové ozvučnice na kmitočtovou a směrovou charakteristiku malého pásku v jejím středu:



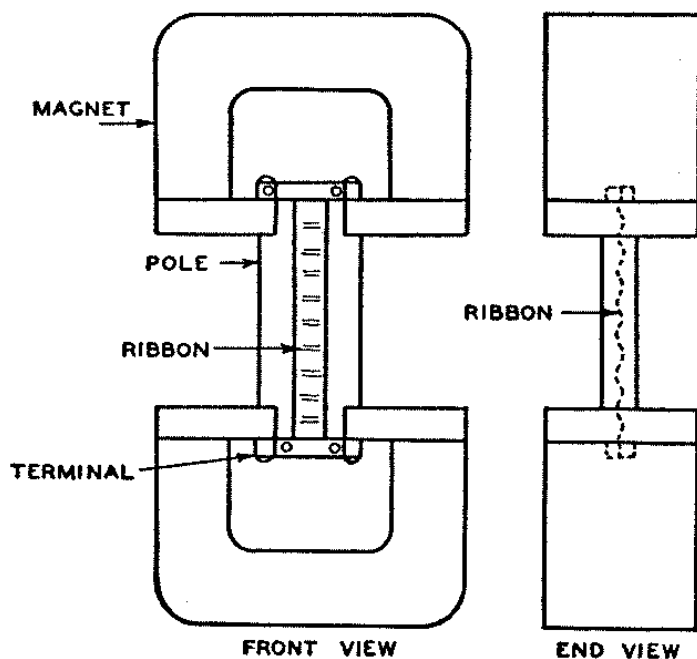
Kmitočtová charakteristika normovaná k akustickému průměru kruhové ozvučnice je na následujícím grafu:



Dochází též k deformaci směrového vyzařovacího diagramu:

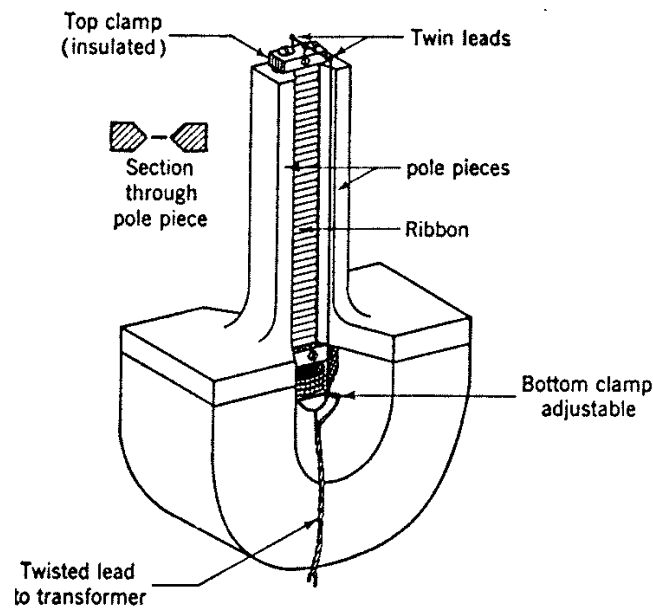


Aby se těmto jevům zabránilo, užívají se vhodné magnetické obvody. Následující konstrukce obvodů jsou spíše historické a vycházejí z použití materiálu AlNiCo pro permanentní magnet. Striktně rozdělují magnetický obvod na část zdrojovou (magnet) a koncentrační (pólový nástavec). Současné konstrukce využívají výhod magnetů vyrobených práškovou metalurgií z materiálu FeNdB, které je dobré upravit již ve formě pólových nástavců. Progresivní magnetické obvody používá například firma Royer. Připomínám, že magnetické obvody jsou nelineární a anizotropní. Pomocí vztahů, které platí v lineárních magnetických obvodech (Hopkinsonův zákon), je jednoduše řešit nelze. Dopusud rozšířená konstrukce magnetického obvodu je se dvěma magnety:

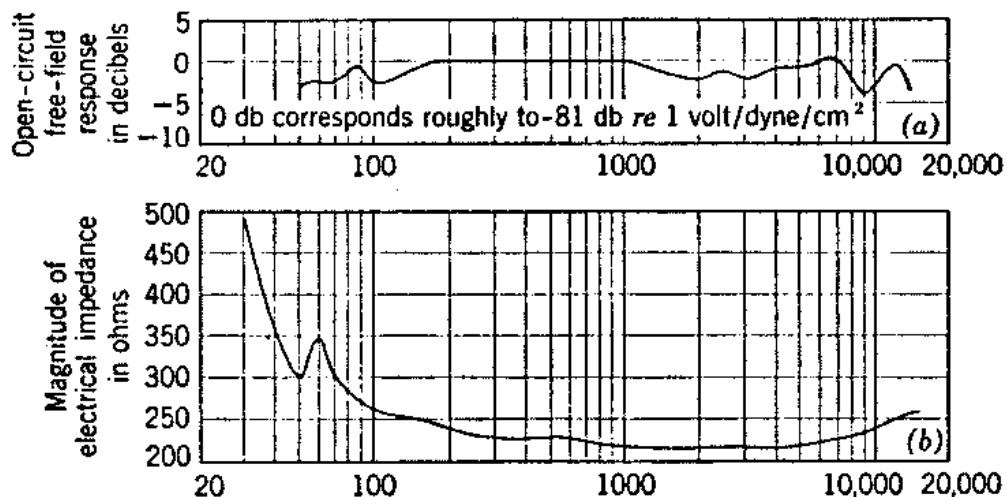


Tuto konstrukci měly rychlostní mikrofony firmy RCA (44-BX). Dosažitelná indukce v mezeře byla až 0,9 T. Podobnou konstrukci mají rychlostní jednotky mikrofonu ALTEC 639A (jen s magnety nakloněnými do zadní části).

Mikrofony s pomocnými akustickými obvody a proměnnou směrovou charakteristikou (RCA 77-DX) používaly spíše magnet na jedné straně. S touto soustavou se dosahovalo poněkud menší indukce (0,5 T), avšak jednotka byla menší a lehčí. Rychlostní mikrofon s takovým magnetem ^{/4/} je na následujícím obrázku:

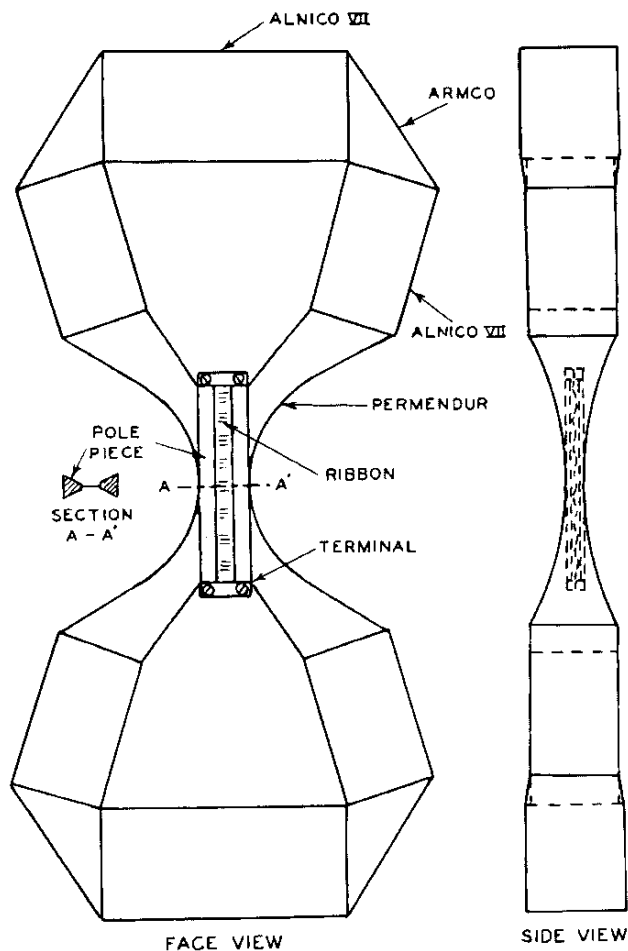


Důležitým konstrukčním prvkem páskového mikrofonu je astatizace vnějších rušivých magnetických polí, která je zde provedena zdvojením přívodu k hornímu kontaktu pásku. Další konstrukčně zajímavou částí je provedení pólových nástavců, které upravuje kmitočtovou charakteristiku v horní části kmitočtového pásma. Kmitočtová charakteristika přenosu a vstupní impedance systému mikrofon- transformátor je na následujícím obrázku:



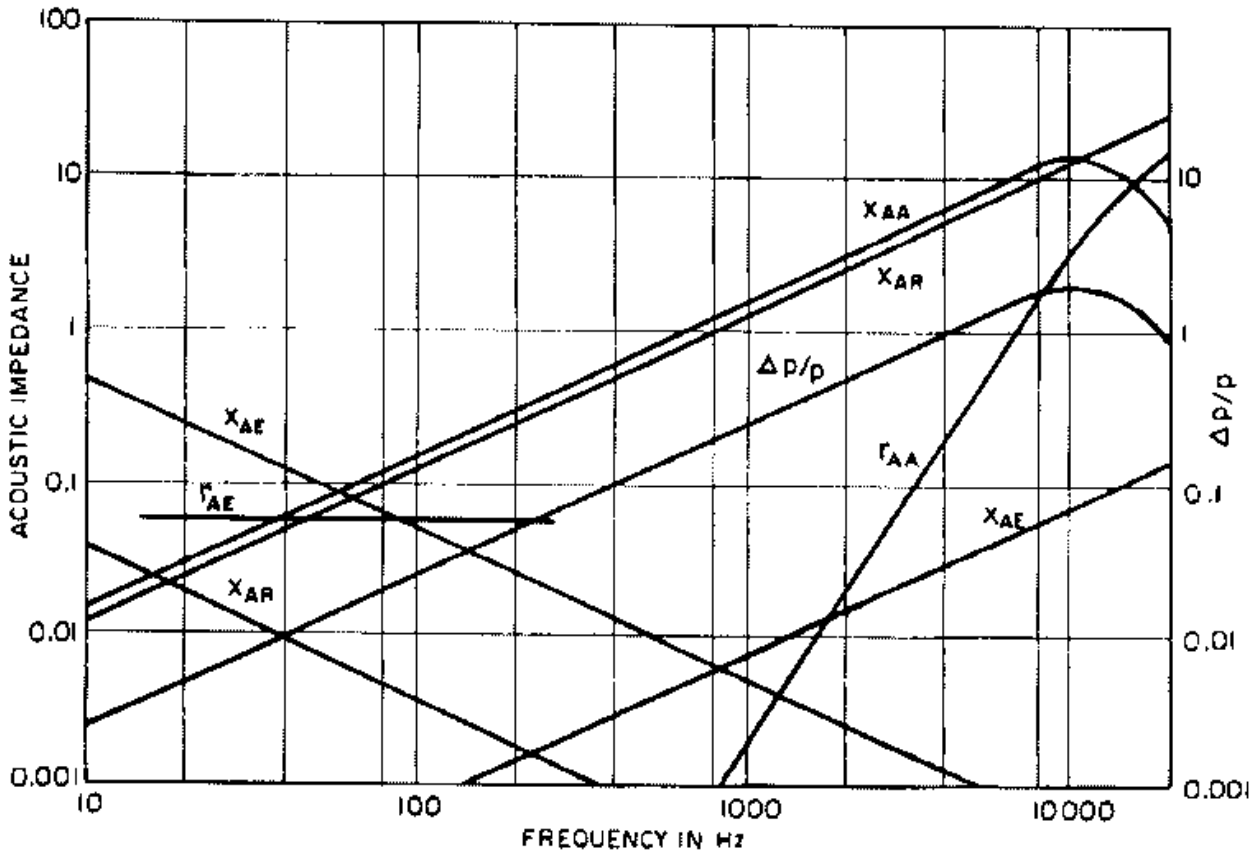
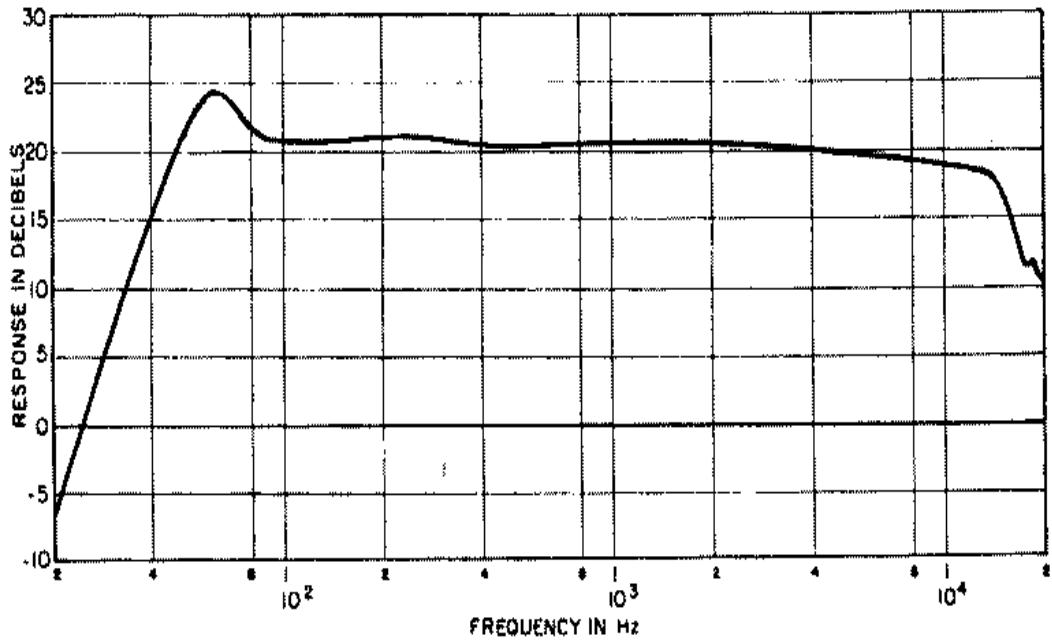
Převýšení v dolní části charakteristiky impedance je základní rezonance systému mikrofon- transformátor, která určuje dolní mezní kmitočet.

Nejlepší jednotky používají většinou uspořádání s dvěma magnety a speciální materiál Permendur (50% FeCo). Tento materiál vyžaduje speciální tepelnou úpravu (žhánění v H_2), a jeho dostupnost je nízká (Vyrábí jej několik málo firem na světě v malých sériích – např. Vakuumschmelze Hannau v SRN, nebo Carpenter ve Velké Británii). Velká magnetická indukce však nepříznivě ovlivňuje dolní rezonanci pásku, protože zvyšujeme-li citlivost zvětšením magnetické indukce v mezeře a vstupní indukčnost transformátoru zůstává konstantní, klesá poddajnost pásku převedená z elektrické strany. To zřejmě z níže uvedené kmitočtové charakteristiky. Realizace magnetického obvodu je zde:



K následujícím diagramům připomínám, že horní mezní kmitočet je určen šířkou magnetického obvodu. Protože dolní mezní kmitočet je dán poddajností vstupní indukčnosti mikrofonního transformátoru a horní mezní kmitočet šířkou pólových nástavců, lze z výkresu magnetického obvodu a kmitočtové charakteristiky mikrofonu přibližně odhadnout rozměry systému i indukci v mezeře. Z následujících grafů bude zřejmé, že jde o systém relativně velký. Přesto je jeho dolní mezní kmitočet „jen“ 50 Hz. Je to způsobeno právě velkým gyračním faktorem magnetického obvodu.

Pod kmitočtovou charakteristikou je též jednoduchý diagram, na kterém lze pozorovat vliv elektrické, mechanické a akustické části. Významné body diagramu je možné získat měřením pomocí speciálních můstků, případně měřením ve vakuu. Tyto metody vysvětlím později.



Legenda /21/:

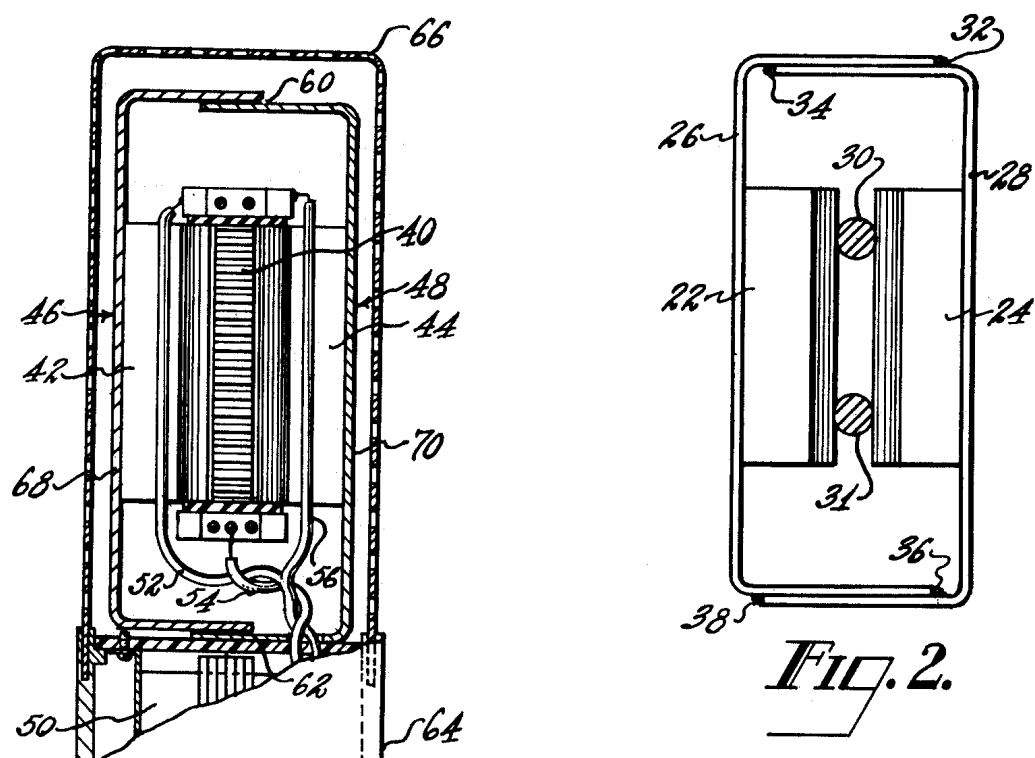
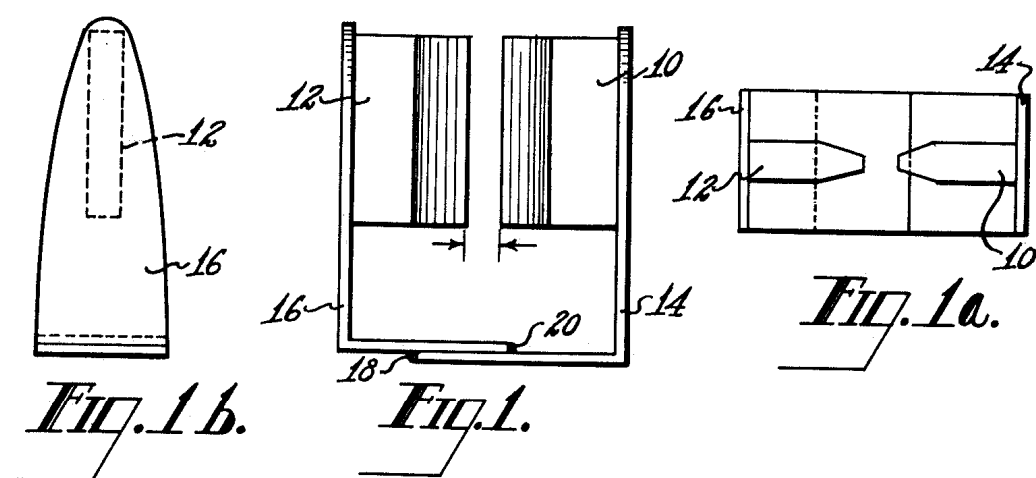
X_{aa} -inertance vzduchu, X_{ar} mechanická elastance a inertance pásku, X_{ae} indukčnost a kapacita transformátoru převedená na pásek, R_{ae} odpor viskózních ztrát a ztrát v elektrickém obvodu a R_{aa} je vyzářovací odpor pásku.

Uvedl jsem několik případů klasicky navržených jednotek, kde společným jmenovatelem bylo oddělení zdroje magnetického napětí od koncentrátorů (pólových nástavců).

Dobré vlastnosti materiálu AlNiCo V dovolily v roce 1950 zkonstruovat mikrofon^{/1,2/}, ve kterém magnet sám tvořil pólové nástavce. Konstrukteři si určili horní mezní kmitočet 10 kHz, čemuž odpovídala délka půlvlny 1,5 cm a tím byla stanovena velikost pólového nástavce. Magnetický obvod mikrofonu RCA KB-2C byl tvořen přímo jeho tělem. Tím se jeho rozměry snížily na polovinu ve srovnání s RCA 44-BX při stejné citlivosti.

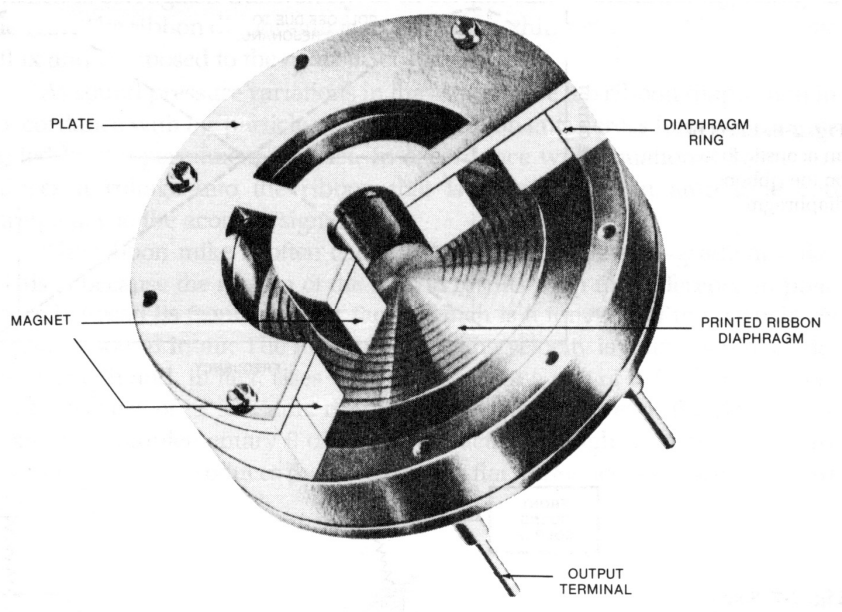


Detailní popis magnetického obvodu tohoto mikrofону a jeho výrobní postup je na následujícím obrázku (všimněme si astatizace přívodů k pásku - není všesměrová):

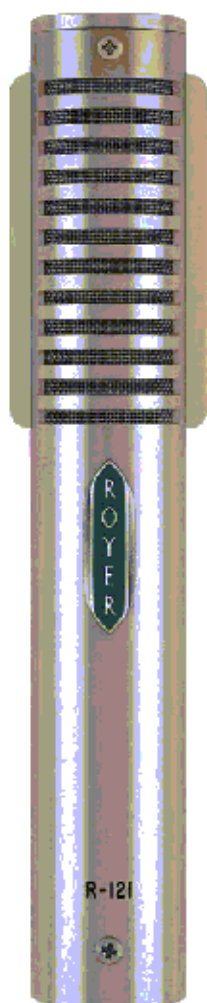


Dalšími mikrofony, kde se využilo nových materiálů, byly mikrofony s tištěným páskem. Jsou novým vývojovým stupněm mikrofónu s cívkou tvaru pásku (moving conductor). Takové uspořádání je robustní a nevyžaduje přizpůsobovací transformátor. Protože dolní mezní kmitočet není určen indukčností transformátoru, může být nízký (ovšem jen je-li použit beztransformátorový vstup). Vlastnosti tištěného pásku jsou poněkud horší na vyšších kmitočtech, proto se takto konstruovaná jednotka používá pro hudební nástroje, které nemají velký obsah vysokých kmitočtů, jako jsou bicí nebo basa. Současně se s výhodou uplatní proximity-efekt daný principem činnosti (mikrofon je řízen hmotností spolukmitajícího vzduchu).

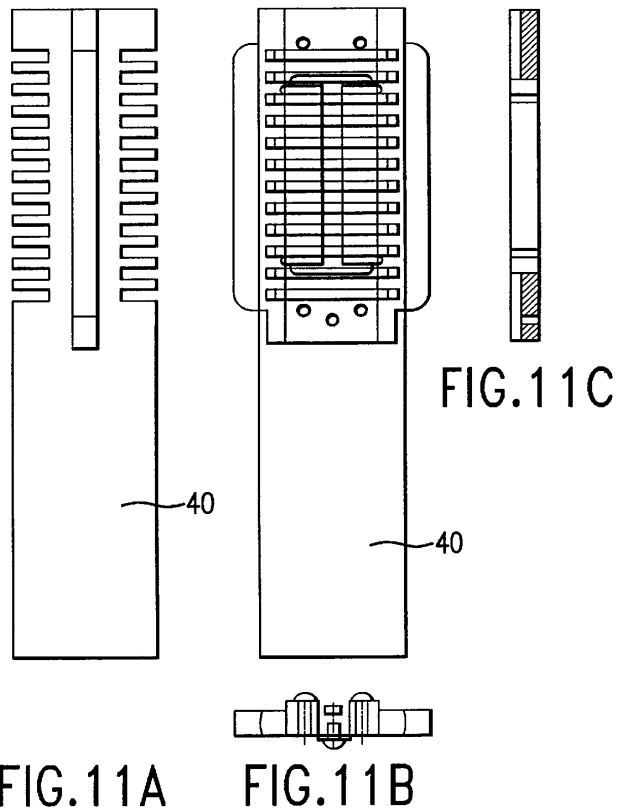
Příklad vnitřního uspořádání takové jednotky uvádím na dalším obrázku:



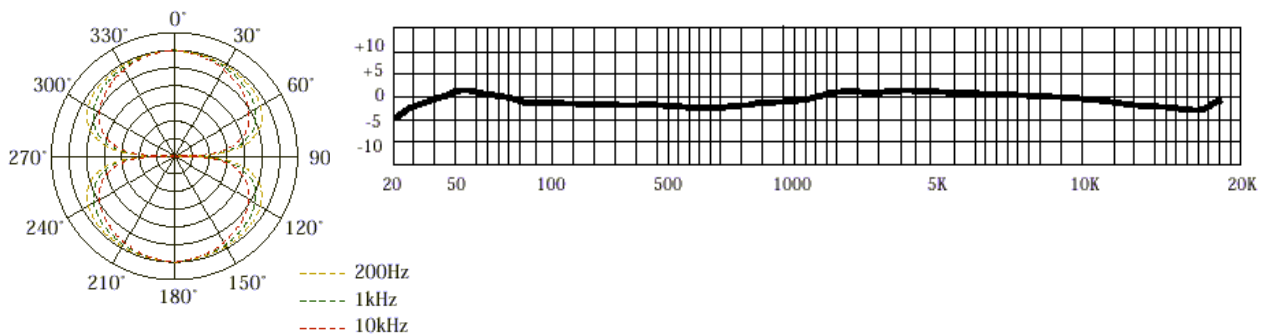
Skutečně moderním způsobem navržený páskový mikrofon vyrábí firma Royer. Mikrofon je konstrukční modifikací jednotky firmy Bang a Olufsen BM3 ze 60. let 20. století. Obrázky obou jednotek jsem umístil pro ilustraci vedle sebe:



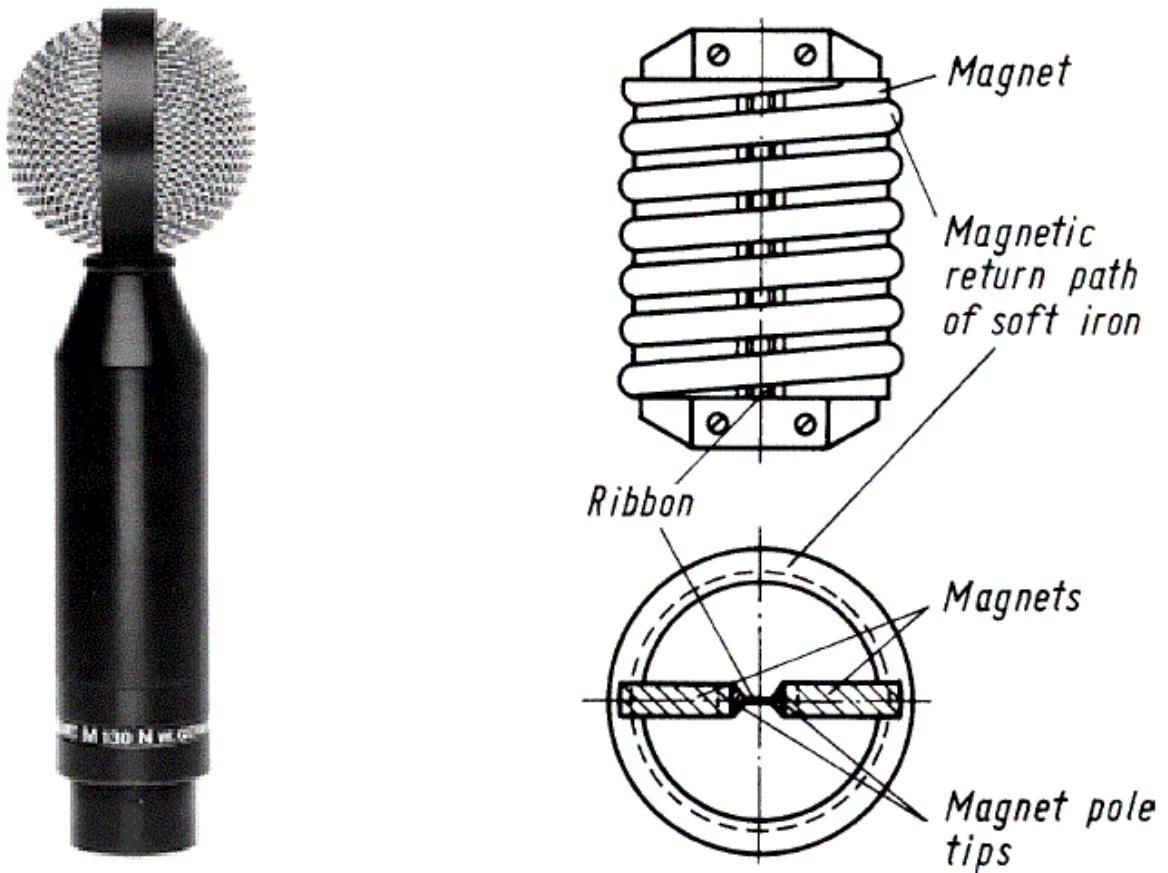
Konstrukční detaily popisuje příslušný patentový spis^{/26/}:



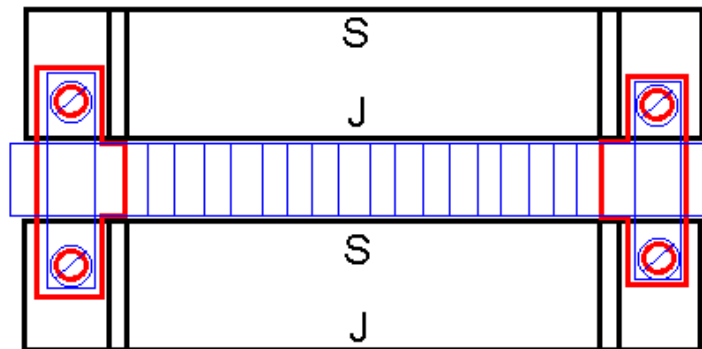
Ke konstrukci dodávám, že pro upevnění pásku i uzavření magnetického pole je použit rámeček. Do tohoto rámečku jsou vsazeny neodymové magnety, které samy tvoří pólové nástavce. Konstrukce mikrofonu má také své zápory. Například nevyužívá žádnou astatizaci. Přesto jsou jeho parametry vynikající (R121-: délka 158 mm, největší šířka 25 mm, hmotnost 244 g. Výstupní impedance je 200 ohmů, při jmenovité zátěži 1,5 kiloohmů má citlivost -53 dB nad 1 V/Pa. Vlastnosti pásku: tloušťka 2,5 um; délka 38,1 mm; šířka 4,76 mm.) Jeho charakteristiky převzaté z firemní literatury^{/25/} jsou zde:



Originálním způsobem řešil magnetický obvod E. Beyer v mikrofonu M130 /5/ Zde je magnetické pole uzavřeno šroubovicí z magneticky měkkého železa, která jednotku zároveň magneticky stíní. Jednotka je kompaktní a vejde se do koule o průměru 39 mm.



Moderní neodymové magnety dovolují zhotovit magnetický obvod, který se plně uzavírá rozptylovým magnetickým polem. Protože váha magnetů samotných není vysoká, bude taková jednotka lehká a kompaktní.



Mikrofon podobné konstrukce zrealizoval Mark Fuksmann*. Použil na zakázku vyrobených neodymových magnetů. Pásek je upevněn ve žlábků, který usnadňuje jeho usazení. Vlastní magnety drží silou své přitažlivosti na kovových páscích, které jsou upevněny šrouby k distančním hranolům držícím pásek. Fotografie jednotky je na dalším obrázku:

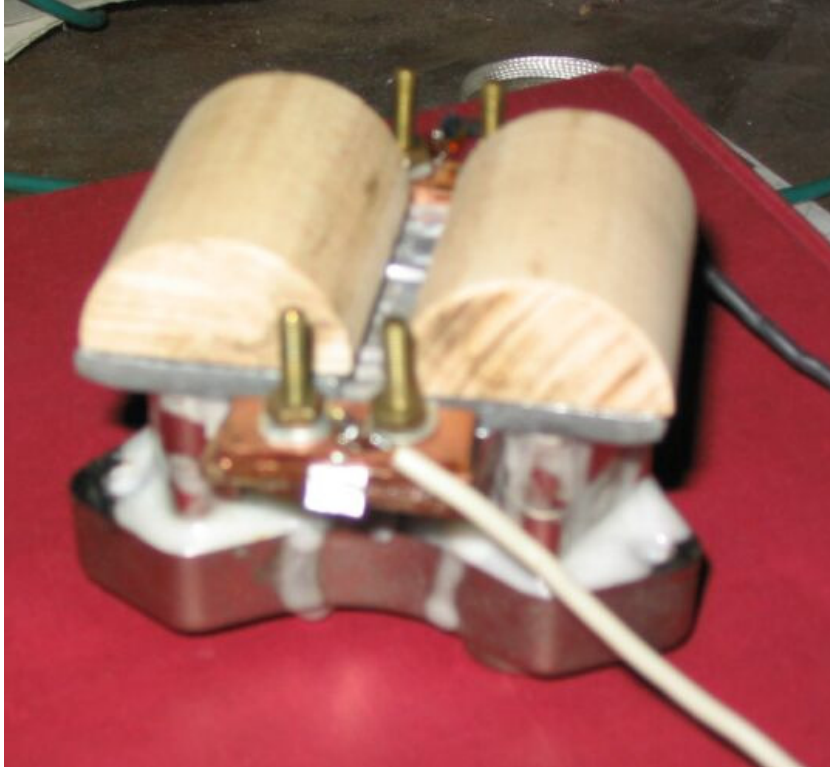


Indukce v mezeře není známa, ale lze předpokládat hodnotu 0,5 T, která je optimální z hlediska vlivu transformátoru na dolní mezní kmitočty. Fuksman používá transformátor LL2911 firmy LUNDAHL s jádrem z amorfního železa. Fuksman plánuje komerční výrobu jednotky.

Domnívám se, že komerční výroba mikrofonu v takovéto podobě nebude výhodná a navrhuji úpravu: Jediný kritický rozměr, kterým je šířka štěrbin, by měl být určen spacery z keramického materiálu, které by současně sloužily jako držák pásku. Keramické materiály je možné zhotovit levně, s přísnými tolerancemi a jsou stabilní teplotně i časově. Takto navržená jednotka bude levná, kompaktní a lehká, tedy výhodná pro sériovou výrobu. Na přesnost rozteče magnetů a upevnění pásku je nutné brát velký ohled. Anderson^{/1/} uvádí, že štěrbina mezi páskem a pólovým nástavcem má být kolem padesáti mikrometrů. Zvětšení štěrbin na 120 um znamená pokles citlivosti (ve středu kmitočtového pásma) na polovinu.

*) Osobní korespondence s Markem Fuksmanem

Výše uvedené měniče představují špičkovou výrobní technologii a vyžadují na zakázku vyrobené díly. Přestože je v České republice možné si nechat vyrobit neodymové magnety na zakázku (mají se údajně vyrábět ve firmě ELDIS Praha); jejich cena je poměrně vysoká (tisíc korun českých). Proto jsem využil magnetů, získaných z harddisku vyřazeného sálového výpočetního systému. Protože je směr zmagnetování nevhodný pro použití v mikrofonu, byly magnety doplněny pólovými nástavci z plechu ARMCO.



Délka pásku je 40 mm, šířka 5 mm.

Pro úpravu horní části kmitočtové charakteristiky je použit zvukovod, vytvořený z rozříznutého dřevěného válce. Prostor v zadní část pásku (po stranách otevřený) je polepen melaminem (pěnový čedič).