

Magnetofonové hlavy

JIŘÍ SVOBODA

Jistě se pamatujete na začátky magnetofonu u nás. Mnozí z vás se tenkrát snažili amatérsky zvládnout stavbu magnetofonu, a často jste ztroskotali právě na hlavách. Tehdy se v odborných a zájmových časopisech objevovaly návody na stavbu hlav včetně teoretických článků. Dnes se už jistě nikdo z vás nesnaží vyrobit si magnetofonovou hlavu sám. V odborných prodejnách se dá koupit hned několik typů. Přesto však znalost základních požadavků na hlavy, princip funkce, omezující faktory a měření by měly patřit k minimálním vědomostem zájemců o konstrukci magnetofonu. První část článku se ve srozumitelné formě věnuje teorii. Druhá, technologická část, je zakončena přehledem některých magnetofonových hlav, vyráběných v Pardubické Tesle.

Podle funkce rozeznáváme zásadně tři druhy hlav: snímací, záznamovou a mazací. Záznamová a snímací hlava bývá často spojena v jeden funkční celek, nazývaný univerzální nebo kombinovaná hlava.

Snímací hlava (SH)

SH převádí změny remanentního toku magnetického pásku na napětí indukované ve vinutí hlavy. Toto napětí je úměrné kmitočtu snímaného signálu a stoupá o 6 dB na oktávu v oblasti nízkých kmitočtů. V oblasti středních a zvláště vyšších kmitočtů je tento průběh ovlivňován dalšími činiteli, způsobujícími jeho pokles.

a) Pokles vlivem efektivní šířky šterbiny. Vliv šterbiny je nejvýraznější při vlnových délkách zaznamenaného kmitočtu srovnatelných se šířkou šterbiny. Vlnová délka λ je délka jednoho zaznamenaného kmitu sinusového průběhu pro určitý kmitočet f a určitou rychlost posuvu magnetického pásku v :

$$\lambda = \frac{v}{f} \text{ [m; m/s, Hz]}$$

Při shodnosti vlnové délky a efektivní šířky šterbiny klesne napětí na vinutí hlavy na nulu. Efektivní šířka šterbiny se poněkud liší od mechanické a lze ji stanovit elektrickým měřením. Větší rozdíly mezi efektivní a mechanickou šířkou mohou být způsobeny nevhodným zaleštěním čelní pracovní plochy hlavy, popřípadě vadným materiálem vložky šterbiny. Obvykle se volí šířka šterbiny poloviční, než je vlnová délka nejvyššího zaznamenaného kmitočtu.

b) Pokles vlivem nesprávné kolmosti šterbiny hlavy a pásku má stejný účinek jako zvětšení šířky pracovní šterbiny. Při naklání SH na obě strany od kolmé polohy se kromě hlavního maxima projevují ještě další, nižší. Tato boční maxima nemusí být oboustranně souměrná. Na toto je nutné brát ohled při nastavování kolmosti šterbiny SH v magnetofonu.

c) Pokles vlivem nedokonalého styku hlavy s páskem. Pokles v dB se stanoví ze vzorce

$$A = 54,6 \frac{a}{\lambda} \quad [\text{dB; m, m}],$$

kde A je pokles napětí, a vzdálenost povrchu aktivní vrstvy pásku od šterbiny a λ je vlnová délka (viz výše).

Z uvedeného vztahu je patrné, že při vzdálenosti pásku od šterbiny SH shodné se zaznamenanou vlnovou délkou ($a = \lambda$) je pokles napětí již 54,6 dB. Pokles napětí může být způsoben nejen hrubostí povrchu pásku nebo pracovní plochy SH, ale i nečistotami usazenými na pásku nebo na hlavě. Proto je nutné, zvláště u vícecestného záznamu, udržovat čistotu prostředí, ve kterém se takové zařízení provozuje. Špatný dotyk hlavy s páskem může zavinit i jednostranně vytaháný nebo jinak poškozený pásek.

d) Pokles vlivem ztrát v jádře hlavy. Pokles způsobují hlavně ztráty vířivými proudy, méně se uplatňují ztráty hysterze. Ztráty vířivými proudy jsou kmitočtově závislé, jsou přímo úměrné čtverci tloušťky plechu a nepřímo úměrné jeho specifickému odporu. Tloušťka plechu jádra se volí jako kompromis mezi cenou jádra a přípustnými ztrátami.

Všechny popsané jevy ovlivňují výslednou kmitočtovou charakteristiku SH, jejíž znalost je nutná pro návrh korekčního snímacího zesilovače. Obvykle se udává kmitočtová charakteristika SH naprázdno, měřená při snímání měrného pásku s udaným průběhem remanentního magnetického toku při určité rychlosti posuvu pásku.

Účinnost hlavy

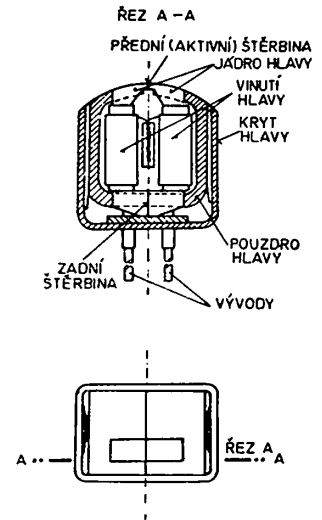
Při snímání neprochází celý magnetický tok pásku jádrem hlavy, ale je částečně zkratován pracovní šterbinou. Poměr užitečného magnetického toku (tzn. indukčního toku procházejícího jádrem) k celkovému toku pásku je účinnost hlavy. Účinnost závisí na poměru magnetického odporu pracovní šterbiny k magnetickému odporu jádra hlavy. K dosažení největší účinnosti SH je třeba, aby magnetický odpor šterbiny byl co největší. (Magnetický odpor je jednou z důležitých veličin magnetických obvodů. Jeho velikost závisí na materiálu, je nepřímo úměrná průřezu jádra, kterým prochází magnetický tok, a přímo úměrná jeho délce. Je to tedy obdoba odporu u elektrických obvodů).

Pro konstrukci korekčního snímacího zesilovače je ještě nutné znát impedanci SH. Z funkčního hlediska je výhodné, aby hlava v oblasti přeneseného kmitočtového pásma pracovala pokud možno naprázdno.

Záznamová hlava (ZH)

Proces magnetického záznamu signálu je poměrně značně složitý a přesahuje rámec tohoto článku. Proto jsou uvedeny pouze hlavní zásady pro správnou funkci ZH.

Magnetický záznam je určen stavem magnetického pole na hraně záznamové šterbiny, na které pásek šterbinu opouští. Strmost poklesu magnetického pole ovlivňuje velikost remanentního toku pásku. Čím vyšší je strmost poklesu pole, tím lepší jsou záznamové vlastnosti ZH. Tvar pole závisí na kvalitě hrany šterbiny a na velikosti syčení ve šterbině. Šířka pracovní šterbiny se volí taková, aby bylo zaručeno rovnoměrné zmagnetování aktivní vrstvy pásku, obvykle dvojnásobná oproti šterbině SH. ZH má kromě přední i zadní šterbinu, která linearizuje vlastnosti ZH. Zadní šterbina také zabraňuje vzniku remanentní magnetizace v ZH a zmenšuje vliv pásku na tvar rozptylového pole pracovní šterbiny ZH.



Obr. 1

Magnetický záznam zvuku se provádí zásadně s vysokofrekvenční předmagnetizací. Předmagnetizační kmitočet se volí asi pětikrát vyšší než nejvyšší zaznamenaný kmitočet. U těchto kmitočtů (70–100 kHz) se již citelně projevují ztráty v jádře ZH. S ohledem na tuto skutečnost se pro jádra záznamových hlav používají slabší plechy než pro jádra hlav snímáček. Při záznamu se ve velké míře uplatňují tloušťka pásku a velikost jeho magnetických částic. Zmagnetované částice se navzájem ovlivňují a dochází k poklesu vnějšího magnetického toku. Takto vzniklé ztráty se nazývají demagnetizace pásku, vzrůstají s kmitočtem a vyrovnávají se příslušnou korekcí v záznamovém zesilovači. Vlastnosti pásku ovlivňují volbu pracovního bodu hlavy a tím i kmitočtový průběh a zkraslení záznamu.

U ZH se obvykle udávají impedance (pro několik kmitočtů) a pracovní bod. Tímto údajem se rozumí optimální hodnota záznamového a předmagnetizačního proudu pro určitý typ pásku a rychlost posuvu. Úroveň záznamu v pracovním bodě odpovídá předepsané hodnotě remanentního toku pásku (odlišný u různých typů pásků).

Univerzální (kombinovaná) hlava (UH)

UH v sobě slučuje funkci záznamové a snímací hlavy. Vzhledem k protichůdnosti některých požadavků se nelze obejít bez kompromisů. Obvykle se více preferují požadavky snímací hlavy. Přestože řešení s UH není nejvýhodnější, používá se u komerčních magnetofonů téměř výlučně, a to hlavně z cenových důvodů.

Mazací hlava (MH)

MH smazává předchozí záznam pomocí střídavého magnetického pole o vysokém kmitočtu, obvykle shodném s předmagnetizačním. Magnetický pásek prochází rozptylovým polem MH, které se zvolna zvyšuje a potom, opět plovlně, klesá až do vymizení. Šířka šterbiny musí být taková, aby došlo k dokonalému smazání v celé hloubce aktivní vrstvy pásku. Aby ztráty v MH byly co nejmenší, používají se pro magnetické obvody hlavy feritová jádra. Smazávání se značně zlepšuje, maže-li se záznam dvakrát za sebou v krátkém intervalu. Proto se v současné době používají mazací hlavy s dvěma šterbinami (zejména pro vyšší rychlosti posuvu).

U mazacích hlav se udávají následující hodnoty: mazací proud a kmitočet pro předepsané smazávání, indukčnost vinutí hlavy a činitel jakosti Q . Smazávání se udává v dB, a je to poměr úrovní snímaného signálu před a po smazání. Způsob záznamu pro toto měření je předepsán – kmitočet 1 kHz a plně promodulovaný pásek.

Konstrukce hlav

Nejdůležitější částí magnetofonové hlavy jsou jádro s vnutím, čelní plocha s pracovní štěrbinou a stínění (viz obr. 1). Materiály jader musí mít malou koerzivní sílu, aby vlivem zbytkové remanence nevzniklo zkreslení sudými harmonickými, a tím i šum. Počáteční permeabilita musí být dostatečně vysoká – minimálně 10 000. Materiál jádra mazací hlavy musí snést vysoké sycení, aby bylo zaručeno dobré smazávání moderních záznamových materiálů s velkou koerzivní silou. Neméně důležitý požadavek na materiál jádra je odolnost proti otěru. Běžně používané materiály (PY 76 Cu, PY 5 Mo) bývají u hlav, kde je nutná dlouhá doba života, nahrazovány tzv. alferu – slitinami hliníku a železa. Životnost hlav s alferovými jádry je asi 3–5× vyšší než hlav z běžných materiálů. Zpracování alferů je ale velmi nákladné a proto se používají jen ojediněle. Cena hlavy s alferovým jádrem činí zhruba dvojnásobek až trojnásobek ceny běžné hlavy.

Pro jádra mazacích hlav se používá odolný, magneticky měkký ferit. Speciální jemnozrný ferit se začíná užívat i pro záznamové a snímáčí hlavy, dokonce i pro hlavy přístrojů pro záznam TV signálu.

Kovová jádra jsou skládána ze slabých plechů (zmenšení ztrát vířivými proudy). Velká péče se musí věnovat žihání jádrových výseků. Ty musí být před žiháním pečlivě odmaštěny, aby nebyla zplodinami oleje znečištěna atmosféra žhací pece. Aby bylo možné zkontrolovat permeabilitu vyžehnaného materiálu, žihají se společně s jádrovými výseky i mezikruží ze stejného materiálu. Ty se potom navrství do prstence, na kterém lze permeabilitu dobře měřit. Na samotných výsecích se kontroluje koerzivní síla. Vyžehnané výseky se skládají

do svazků o požadované výšce. Jednotlivé výseky nesmí mít jehlu, aby zkraty mezi nimi nevzvětšovaly ztráty vířivými proudy.

Složená jádra se na povrchu izolují vrstvou papíru nebo laku, na který se přímo navine vnutí hlavy. Jádra se vlepují do pouzder, která zajišťují polohu systému. Vnutí je většinou symetrické (na obě jádra), čímž se zmenší indukce rušivých napětí vlivem rozptýlových magnetických polí. Potom se zabrušují stykové plochy. Takto upravená pouzdra s polovinami jader se k sobě těsně přiloží. V místě přední stykové plochy se vložením nemagnetické vložky vytvoří pracovní štěrbinu. U některých hlav se podobným způsobem vytváří i zadní štěrbinu, která máv izolací vložku, zlepšující funkční vlastnosti, ale mírně zhoršující účinnost. Na způsobu stažení obou dílů hlavy velmi záleží, protože štěrbinu musí být časově a teplotně stabilní. Sestavený systém hlavy se potom upevní do stínícího krytu a zalije tvrditelnou pryskyřicí.

U vícestopých hlav je jedním z důležitých parametrů přeslechový útlum. Jeho dostatečná velikost je podmíněna správnou polohou jednotlivých systémů v hlavě, tj. správnou vzdáleností stop na pásku. Navíc musí být jednotlivé systémy magneticky stíněny.

Pracovní štěrbinu, rozhodující ukazatel kvality hlavy, bývá u komerčních hlav široká asi 2–4 μm . Fólie vložky bývá z beryliového bronzu. Vložka musí být o něco tvrdší než materiál jádra, aby se nevyvířil ze štěrbin a zaoblené stykové hrany jádra nevzvětšovaly efektivní šířku štěrbin. Kovová vložka štěrbin tvoří závit nakrátko, zvětšuje ztráty a ovlivňuje rozptýlové pole štěrbin. Na druhé straně však odvádí náboje, vznikající při styku jádra s páskem a zabraňuje nežádoucím lupání nebo mikrofonii při provozu hlavy.

Pro funkci hlavy je rovněž důležitá hloubka

štěrbin. Šířka i hloubka štěrbin ovlivňují její magnetický odpor, který má zase vliv na účinnost. Zúžením štěrbin se sice zlepšuje kmitočtový průběh hlavy, ale zhorší se citlivost, která se může zlepšit snížením hloubky štěrbin. Tyto protichůdné požadavky si vyvážují řadu kompromisů podle použití hlavy.

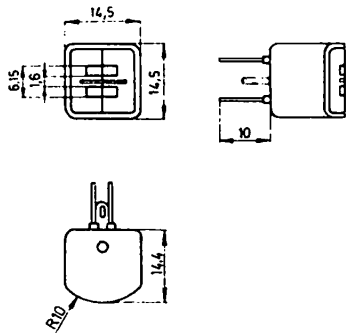
U mazacích hlav s feritovými jádry se musí vzhledem k nízkému sycení feritů používat hlav s dvojitou štěrbinou.

Vhodná technika broušení čelní plochy hlavy je jednou ze základních podmínek úspěšné výroby. U hlav určených pro nízké rychlosti a malé tahy pásků je výhodné zabrušovat čelní plochu parabolicky. Dosáhne se lepšího styku hlavy s páskem, ovšem za cenu snížení životnosti.

Při styku čelní plochy snímáčí hlavy a pásku vzniká za provozu zvlnění kmitočtového průběhu v oblasti nízkých kmitočtů. Nejnovější poznatky ukazují, že obě poloviny čelních ploch jader způsobují interferenci. Tento nežádoucí efekt se dá odstranit použitím jader s nestejnou čelní délkou obou jejich polovin. Při vhodném návrhu se zvlnění kompenzuje. Na tomto jevu se může částečně podílet i stínící kryt.

Po stabilizaci mechanických a elektrických vlastností tepelnými cykly se přistupuje k měření. Statické měření se skládá z kontroly mechanických hodnot, např. kontrola kolmosti štěrbin a čela hlavy k základně, vzdálenost systémů od základny apod. Elektrická zkouška zahrnuje např. měření indukčnosti, hodnoty Q a transformačního přeslechového útlumu. Při dynamické zkoušce se kontroluje citlivost a kmitočtový průběh. U záznamových hlav se navíc kontrolují hodnoty pracovního bodu pro daný kmitočtový průběh. U mazacích hlav se měří mazací útlum při stanoveném minimálním mazacím proudě.

PŘEHLED NĚKTERÝCH MGF HLAV VYRÁBĚNÝCH V N. P. TESLA PARDUBICE



ANP 946

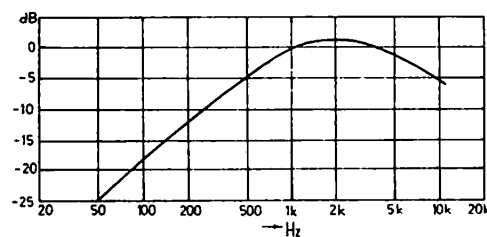
Univerzální půlstopá stereofonní hlava

Technické údaje

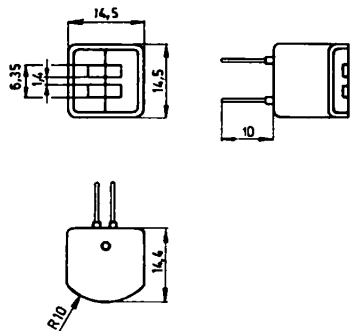
Váha	cca 14 p
Mechanická šířka štěrbin	3 μm
Indukčnost systému 1 kHz	102 mH \pm 15 %
10 kHz	62 mH \pm 15 %
Stejnoseměrný odpor	35 Ω
Ztrátový odpor (80 kHz, 1 V)	10,7 k Ω , tg $\delta \approx 1,8$
Citlivost (1 kHz, 256 pWb/mm)	1 mV
Doporučený pracovní bod	
záznamový proud (1 kHz)	165 $\mu\text{A} \pm 10$ %
předmagnetizační proud	2,2 mA ± 20 %
předmagnetizační napětí	cca 33 V
předmagnetizační kmitočet	80 kHz

Údaje platí pro rychlost 9,5 cm/s, použitý typ pásku Agfa PE 41 nebo BASF PES 28, teplota okolí 20 \pm 5 $^{\circ}\text{C}$

Použití: Záznam a snímání ve stereofonních magnetofonech na pásek 6,25 mm



Kmitočtový průběh napětí hlavy naprázdno při snímání měrného pásku podle DIN 45 513



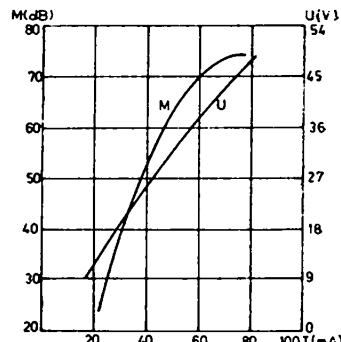
ANP 945

Mazací půlstopá feritová stereofonní hlava

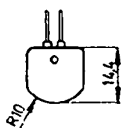
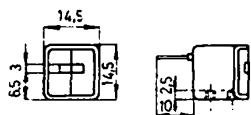
Použití: Vysokofrekvenční smazávání stereofonních záznamů na pásku 6,25 mm

Technické údaje

Váha	cca 9,5 p
Mechanická šířka štěrbin	0,3 mm
Indukčnost systému (70 kHz, 70 mA)	1,4 mH \pm 15 %
Jakost Q systému hlavy (70 kHz, 70 mA)	min. 18
Mazací proud (v = 19 cm/s, smazávání 65 dB)	70 mA
Napětí na systému hlavy pro jmenovitý mazací proud	cca 42 V



Průběh smazávání a napětí na systému hlav v závislosti na mazacím proudě. Mazací kmitočet 70 kHz, rychlost 19,05 cm/s



ANP 908

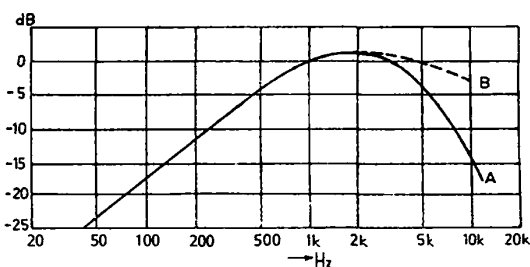
Půlstopá univerzální hlava

Použití: Záznam a snímání v magnetofonech s půlstopým záznamem na pásek 6,25 mm. Je zvláště vhodná pro tranzistorové magnetofony

Technické údaje

Váha	cca 13,5 p
Mechanická šířka štěrbin	3 μm
Indukčnost systému 1 kHz	100 mH ± 10 %
10 kHz	85 mH ± 10 %
Stejnoseměrný odpor	cca 25 Ω
Ztrátový odpor (50 kHz, 1 V)	cca 9 kΩ, tg δ = 1
Citlivost (1 kHz, 256 pWb/mm)	1,3 mV ± 3 dB
Doporučený pracovní bod záznamový proud	150 μA ± 10 %
předmagnetizační proud	1,5 mA ± 20 %
předmagnetizační napětí	cca 20 V
předmagnetizační kmitočet	50 kHz

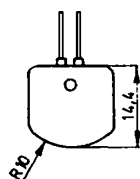
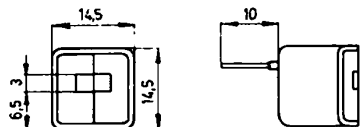
Údaje platí pro rychlost 9,5 cm/s, použitý pásek Agfa PE 41 nebo BASF PES 26, teplota okolí 20 ± 5 °C



Kmitočtový průběh hlavy.

Křivka A - snímání záznamu konstantním proudem

Křivka B - snímání měrného pásku podle DIN 45 513



ANP 909

Půlstopá záznamová hlava

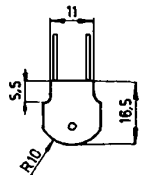
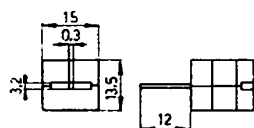
Použití: Záznam v magnetofonech s půlstopým záznamem na pásek 6,25 mm

Technické údaje

Váha	cca 13,5 p
Mechanická šířka štěrbin	
- přední	18 μm
- zadní	50 μm
Indukčnost systému 1 kHz	12 mH ± 15 %
10 kHz	11 mH ± 15 %

Stejnoseměrný odpor	cca 12 Ω
Ztrátový odpor (85 kHz, 1 V)	cca 2,5 kΩ, tg δ = 0,61
Doporučený pracovní bod záznamový proud (1 kHz)	350 μA ± 15 %
předmagnetizační proud	3 mA ± 25 %
předmagnetizační napětí	cca 10 V
předmagnetizační kmitočet	85 kHz

Údaje platí pro rychlost 9,5 cm/s, použitý pásek Agfa PE 41, teplota okolí 20 ± 5 °C



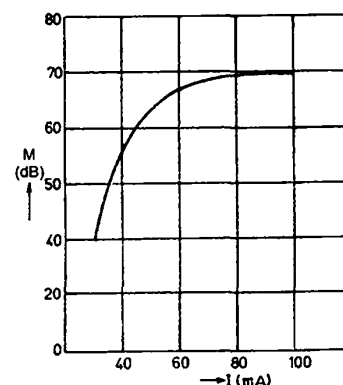
ANP 911

Mazací půlstopá hlava

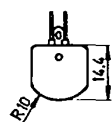
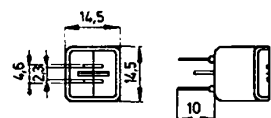
Použití: Vysokofrekvenční smazávání půlstopých záznamů na pásku 6,25 mm

Technické údaje

Váha	cca 5,5 p
Indukčnost systému (70 kHz, 50 mA)	1,85 ± 0,3 mH
Jakost Q systému hlavy (70 kHz, 50 mA)	25
Mazací proud (v = 9,5 cm/s, smazávání 65 dB)	min. 55 mA
Napětí na hlavě při jmenovitém mazacím proudu	cca 46 V
Mazací kmitočet	70 kHz



Průběh smazávání v závislosti na mazacím proudu. Mazací kmitočet 70 kHz, rychlost 9,5 cm/s



ANP 935

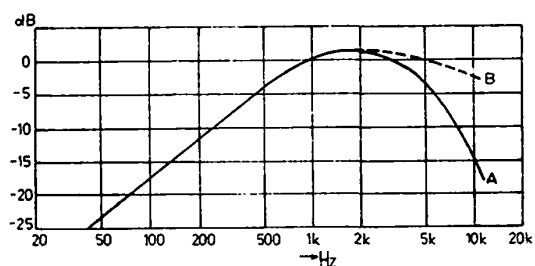
Čtvrtstopá univerzální hlava

Použití: Záznam a snímání v magnetofonech se čtvrtstopým záznamem na pásek 6,25 mm. Je zvláště vhodná pro tranzistorové magnetofony

Technické údaje

Váha	cca 13,5 p
Mechanická šířka štěrbin	3 μm
Indukčnost systému 1 kHz	35 ± 5 mH
10 kHz	28 ± 5 mH
Rozdíl indukčností obou systémů (1 kHz)	max. 5 mH
Stejnoseměrný odpor	cca 16,5 Ω
Ztrátový odpor (85 kHz, 1 V)	cca 5 kΩ, tg δ = 0,97
Přeslech mezi stopami (transformační)	min. 50 dB
Citlivost systému (1 kHz, 256 pWb/mm)	420 μV
Rozdíl citlivostí obou systémů	max. 3 dB
Doporučený pracovní bod záznamový proud (1 kHz)	180 μA ± 10 %
předmagnetizační proud	1,9 mA ± 20 %
předmagnetizační napětí	cca 16,5 V
předmagnetizační kmitočet	85 kHz

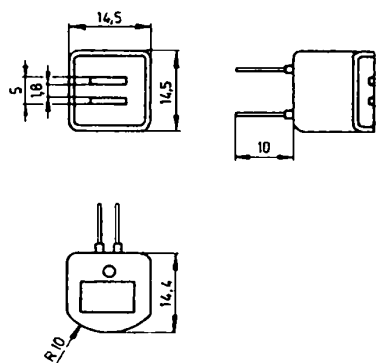
Údaje platí pro rychlost 9,5 cm/s, použitý pásek Agfa PE 41 nebo BASF PES 26, teplota okolí 20 ± 5 °C



Kmitočtový průběh hlavy (rychlost 9,5 cm/s)

Křivka A - záznam konstantním proudem a snímání

Křivka B - snímání měrného pásku podle DIN 45 513



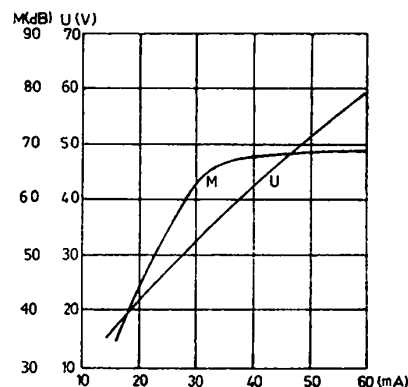
ANP 940

Čtvrtstopá mazací hlava

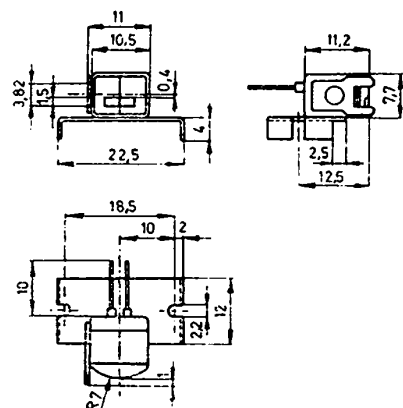
Použití: Vysokofrekvenční smazávání záznamů v magnetofonech se čtyřstopým záznamem na pásek 6,25 mm. Je zvláště vhodná pro tranzistorové magnetofony

Technické údaje

Váha	cca 9 p
Mechanická šířka štěrbin	0,3 mm
Indukčnost systému (70 kHz, 50 mA)	2,2 mH ± 15 %
Jakost Q systému hlavy (70 kHz, 50 mA)	19
Mazací proud (v = 19 cm/s, smazávání 65 dB)	50 mA
Napětí na systému hlavy (pro jmenovitý mazací proud)	cca 50 V
Mazací kmitočet	60–80 kHz



Průběh smazávání a napětí na systému hlavy v závislosti na mazacím proudu. Mazací kmitočet 70 kHz, rychlost 19 cm/s, pásek BASF LGS 35



ANP 960

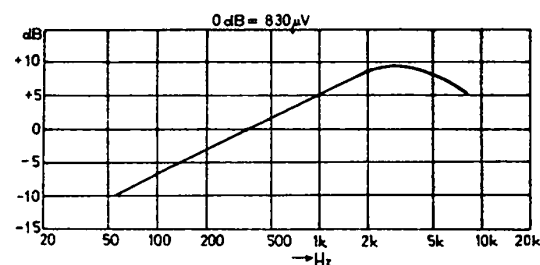
Univerzální hlava pro kazetové magnetofony

Použití: Záznam a snímání v magnetofonech pro pásek 3,18mm

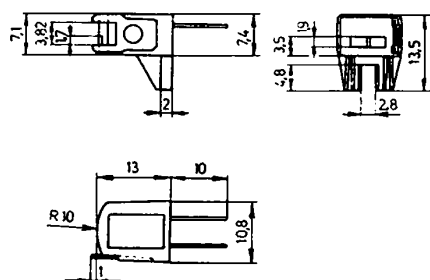
Technické údaje

Váha	cca 6 p
Mechanická šířka štěrbin	2 μm
Indukčnost systému 1 kHz	81 mH ± 15 %
10 kHz	71 mH ± 15 %
Stejnoseměrný odpor	cca 54 Ω
Ztrátový odpor (70 kHz, 1 V)	cca 3,2 kΩ, tg δ = 1,4
Citlivost (333 Hz, 256 pWb/mm)	min. 330 μV
Doporučený pracovní bod záznamový proud (333 Hz)	120 μA ± 10 %
předmagnetizační proud	0,7 mA ± 0,2 mA
předmagnetizační napětí	13,5 V
kmitočet	60 kHz

Údaje platí pro rychlost 4,75 cm/s, použitý pásek Agfa PE 65, teplota okolí 20 ± 5 °C



Kmitočtový průběh hlavy naprázdno při snímání měrného pásku podle DIN 45 513



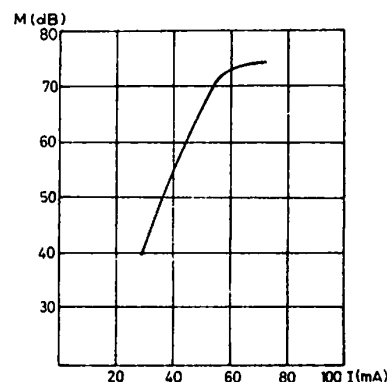
ANP 961

Mazací feritová hlava pro kazetové magnetofony

Použití: Vysokofrekvenční smazávání půlstopových záznamů na pásku šířky 3,81 mm

Technické údaje

Váha	cca 2,5 p
Mechanická šířka štěrbin	0,2 mm
Indukčnost systému (70 kHz, 60 mA)	0,82 mH ± 5 %
Jakost Q systému hlavy (70 kHz, 60 mA)	22
Mazací proud (v = 4,75 cm/s, smazávání 65 dB)	min. 60 mA
Napětí na systému hlavy pro jmen. mazací proud	cca 30 V
Mazací kmitočet	70 kHz



Průběh smazávání v závislosti na mazacím proudu. Mazací kmitočet 70 kHz, rychlost 9,5 cm/s