ČESKOSLOVENSKÁ SOCIALISTICKÁ REPUBLIKA

ÚŘAD PRO VYNÁLEZY A OBJEVY

POPIS OBJAVU K DIPLOMU ČÍS. 24

Prihlásené 21.07.76 (PO 66-76)

Právo prednosti od 21. 07. 76

Zverejnené: Studia psychologica č. 1/79

Udelené 21.01.82

Vydané 15.01.83

MDT 534.756

Autori objavu: RAJČAN EMIL, Doc., RNDr., CSc., ZVOLEN

Názov objavu: **Senzorické hodnotenie nestacionárnych tónových impulzov na základe fázy spínania**

Predmet objavu: Jav spočívajúci vo vplyve fázy spínania na výšku a farbu nestacionárnych tónových impulzov sínusoidálneho priebehu s obdĺžnikovou obalovou čiarou, ktoré možno na základe tejto fázy senzoricky rozlíšiť.

Výskum vlastností sluchového orgánu v oblasti krátkych akustických signálov bol spočiatku zameraný na štúdium vplyvu parametrov pre senzoricky stacionárne signály — s trvaním viac ako 125 ms (Fack, H., Informationstheoretische Behandlung des Gehörs. Impulstechnik. Springer. Berlin, 1956). Tak napr. pri štúdiu diferenčného prahu pre frekvenciu (DLF) ako funkcie trvania signálu (Békésy, G., Zur Theorie des Hörens. Phys. Zeitschr. 30, 1929, 721), podobne pri určovaní minimálneho trvania sínusoidálneho signálu, pri ktorom tento nadobúda tónový charakter (Bürck, W., Kotowsky, P., Lichte, H., Der Aufbau des Tonhöhenbewustseins. Elektr. Nachr. Techn. 12, 1935, 326), sa použité signály definovali len prostredníctvom frekvencie, trvania a intenzity. Aj keď autori relatívne novších novosti (Doughty. J. M., Garner, W. R., Pitch prác pri určovaní prahu výšky a prahu tócharacteristics of short tones I. J. exp. Psychol. 37, 1947, 351) resp. pri meraní DLF (Liaň Čži-aň, Čistovič, L. A., Diferenciaľnyje porogi po častote v zavisimosti ot dliteľnosti tonaľnych posylok. Akustičeskyj žurnaľ 6, 1960, 81) sa zmieňujú o fázach spínania, používali vo svojich experimentoch tónové impulzy s náhodilými fázami spínania. O probléme vplyvu fázy spínania na senzorické hodnotenie tónových impulzov sa prvý raz zmienil Cardozo (Cardozo, B., Frequency discrimination of the human ear. Proc. 4th Int. Cong. Acoustics. Copenhagen 1962, H 16) keď konštatoval, že DLF je najmenší, ak tónové impulzy začínajú s nulovou fázou spínania. Majerník v širšie zameranej teoretickej štúdii princípu neurčitosti pre sluch (Majerník, V., Die Unscharferelationen für das Gehör. Fyzikálny časopis SAV 17, 1967, 65) uvádze medzi parametrami akustických signálov aj fázu spínania.

Žiadne z citovaných prác neboli venované priamemu výskumu vplyvu fázy spínania na senzorické hodnotenie (napr. výšku, alebo senzorickú rozlíšiteľnosť) tónových impulzov.

Tónovým impulzom, resp. impulzom nazývame signál sínusoidálneho priebehu s obdĺžnikovou obalovou čiarou. Fázový uhol, v ktorom je impulz zopnutý (fáza zopnutia), resp. vypnutý (fáza vypnutia), nazývame všeobecne fáza spínania, resp. fáza. U impulzov s celistvým počtom períód je fázou zopnutia daná aj fáza vypnutia.

Na základe experimentálneho určovania bodov subjektívnej rovnosti pre frekvenciu (PSEf) pre vybraný súbor fyzikálne definovaných signálov sa zistilo:

1. Existuje vplyv fázy na výšku nestacionárnych tónových impulzov.

Na základe experimentálneho určovania diferenčných prahov pre fázu spínania (DLSP) fyzikálne definovaných signálov možno konštatovať:

2. Fáza spínania je parameter, ktorý umožňuje senzorické rozlíšenie dvoch, pokiaľ ide o ostatné fyzikálne parametre identitských, nestacionárnych tónových impulzov.

Experimentálne práce na tomto objave boli vykonané so štyrmi, audiometricky starostlivo vyšetrenými subjektami vo veku 22 až 28 rokov, majúcimi normálny sluch. Bola použitá štandardná senzoricko-fyzikálna metóda konštantných stimulov, Experimenty sa vykonali v akustickom laboratóriu Fyzikálneho ústavu SAV, v ktorom je zaistená potrebná akustická izolácia subjekta od okolia. Frekvencie testovaných impulzov: 250 Hz, 1000 Hz, 4000 Hz, zodpovedajú medzinárodným odporúčaniam.

Je všeobecne známe, že výška (jednoduchého sínusidálneho) tónu závisí od frekvencie, s akou kmitá zdroj tohto tónu.

Viacero prác (súhrnne uvedených napr. v práci Litler, T. S., The Physics of the Ear. MacMilan. New York, 1965, 99 — 172) bolo venovaných vplyvu trvania, prípadne vplyvu amplitúdy, resp. hladiny akustického tlaku na výšku príslušných tónov.

Autor vykonal experimenty s cieľom zistiť, či a ako ovplyvňuje fáza výšku impulzov. Vplyv fázy sa sledoval prostredníctvom PSEf ako funkcie fázy spínania.

Subjektovi bola prezentována zásadne dvojica impulzov. Prvý — testovaný — impulz mal v základnom experimente trvanie blízke prahu tónovosti, hladinu akustického tlaku 60 dB vzhľadom k 2.10^{-5} Pa a počas jednej experimentálnej série stálu fázu (z hodnôt 0°, 40°, 80°). Druhý — komparatívny — impulz mal vždy fázu 0°, rovnakú hladinu akustického tlaku ako testovaný impulz, trvanie 250 ms a nasledoval za prvým po interstimulačnom intervale 500 ms.

Blokový diagram použitej aparatúry je znázornený na obr. 1. Sínusoidálne signály pre jednotlivé impulzy boli generované tónovými generátormi (Brüel-Kjaer 1022).

Signály z tónových generátorov boli vedené do elektronického spínača. Spínač bol konštruovaný tak, že po stlačení tlačidla prepustil jeden pár impulzov so zvolenými fázami v príslušnom časovom slede. Oba impulzy po prechode cez prispôsobovacie členy (attenuátory RTXa 716, zosiľňovač), boli vedené do slúchadla (Beyer DT 48). Hladina akustického tlaku impulzov bola určená ako hladina akustického tlaku stacionárnych signálov, z ktorých boli impulzy vyseknuté. Parametre impulzov sa kontrolovali elektrónkovým voltmetrem (Brüel -Kjaer 2409) a osciloskopom (Tesla BM 462).

Úlohou subjekta bolo rozhodnúť, či výška impulzov v páre je rovnaká (kladná odpoveď), alebo nie (záporná odpoveď). Testovaný impulz bol s každým komparatívnym prezentovaný (pri náhodnom slede frekvencií komparatívneho impulzu) kým sa nezískalo 8 odpovedí. Najvyššia a najnižšia z ekvidištantných frekvencií komparatívnych

impulzov bola volená tak, že každý zo zúčastnených subjektov označil výšku testovaného impulzu v páre s takým komparatívnym v predbežných experimentoch ako nie rovnakú. PSEf sa vypočítal na základe rozdelenia kladných odpovedí.

Rozdelenie kladných odpovedí všetkých subjektov pre dve experimentálne série, pri ktorých testované impulzy mali frekvenciu 1000 Hz, trvanie 8 ms, fázu 0° (hrubá čiara) a 80° (tenká čiara), znázorňuje obr. 2a. f znamená frekvenciu komparatívneho impulzu. Obr. 2b znázorňuje PSEf ako funkciu fázy pre frekvenciu 1000 Hz. Podobná je závislosť PSEf od fázy pri frekvencii 250 Hz (trvání 16 ms) a 4000 Hz (trvání 8 ms).

Najdôležitejší záver vyplývajúci z tohto experimentu je: 1.1. V rozsahu použitých fáz (0° — 80°) výška testovaných tónových impulzov je úmerná fáze spínania (Rajčan, E., The Pitch of Short Sinusoidal Pulses as a Function of Initial Phase. Acustica 26, 1972, 147).

V ďalšom experimente sa zisťoval vplyv fázy na výšku pri rôznych trvaniach testovaného impulzu v rozsahu 4 —32 ms a hladine akustického tlaku 60 dB. PSEf ako funkcia trvania pre frekvencie a) 250 Hz, b) 1000 Hz, c) 4000 Hz, fázu 0° sú na obr. 3 spojené prerušovanou čiarou a pre fázu 80° plnou čiarou.

Tento experiment ukázal:

1.2. V danom rozsahu trvání, výška impulzov s fázou 0° zodpovedá ich frekvencii. V prípade impulzu s fázou 80° (a zrejme aj pri iných nenulových hodnotách) výška závisí od trvania. Najvyššia je pri trvaní zodpovedajúcom prahu tónovosti a s jeho skracovaním aj predlžovaním (vzhľadom na túto hodnotu trvania) klesá (Rajčan, E., An aspect of the problem of pitch dependence on the duration of short sinusoidal signals. Fyzikálny časopis SAV 22, 1972, 223).

V treťom experimente týkajúcom sa súvisu fáza spínania — výška, sa skúmal vplyv fázy na výšku impulzov s trvaním zodpovedajúcim prahu tónovosti pri rôznych hladinách akustického tlaku (40 dB — 90 dB). Dosiahnuté výsledky umožňujú konštatovať, že v rozsahu použitých hladín akustického tlaku:

1.3. PSEf pre impulzy o fáze 0° zodpovedajú frekvencii signálu. V prípade fázy 80° (a zrejme aj pri iných nenulových hodnotách) sa PSEf posúvajú k vyšším frekvenciám (Rajčan, E., The Role of the Initial Phase Angle by Pitch Perception of Short Tonal Pulses as a Function of Sound Pressure Level. Acustica 30, 1974, 270).

V doteraz popísaných experimentoch zameraných na súvis fáza spínania — výška sa zistilo, že fáza ovplyvňuje výšku impulzov, zároveň sa špecifikoval súbor fyzikálnych parametrov, pri ktorých sa tento vplyv skúmal a ako sa prejavoval. Možno pripustiť, že zmeny fáze ovplyvňujú viac senzorických parametrov. Popri výške to môže byť napr. aj multidimenzionálny senzorický parameter — farba (timbre) signálu.

Z hľadiska teórie počutia a teórie informácie je pri skúmaní vplyvu určitého parametra signálov na senzorické hodnotenie dôležité zistiť, či signály (v danom prípade dva impulzy), líšiace sa iba týmto parametrom, sú senzoricky rozlíšiteľné. Senzorickou mierou rozlíšiteľnosti signálov je diferenčný prah pre príslušný parameter.

Auditívna rozlíšiteľnosť nestacionarnych impulzov vzhľadom k fáze sa určovala prostredníctvom DLSP. V experimentoch sa porovnávali impulzy, u ktorých všetky parametre, okrem fázy, boli rovnaké. Fáza štandardného impulzu bola 0°, fáza testovaného impulzu sa menila (v rámci hodnôt určených v predbežných experimentoch). Rozsah trvaní impulzov bol 4 ms — 128 ms, interval hladín akustického tlaku 40 dB — 80 dB. Zo signálu generovaného jedným tónovým generátorom prepúšťal elektronický spínač dvojice tónových impulzov — štandardného a testovaného — s interstimulačným intervalom 250 ms. Subjekt sa pri experimentoch sústredil iba na otázku, či sú impulzy v páre rovnaké (kladná odpoveď), alebo nie (záporná odpoveď). Nemusel sa zaoberať otázkou, čím sa impulzy líšia, keď nie sú rovnaké. Túto otázku dostal po skončení série. Séria začala pokusom, pri ktorom sa impulzy v páre javili ako rovnaké. V ďalšom pokuse sa fáza testovaného impulzu zvýšila. Zvyšovanie fázy pokračovalo, kým impulzy v páre boli 100% rozlíšiteľné. Po vzostupnej sérii (čo do fázy testovaného impulzu), nasledovala zostupná. Kompletná séria pozostávala zo štyroch vzostupných a štyroch zostupných sérií.

Pri rozličných fázach testovaného impulzu, nanášaných na abscisu, sa pre každého subjekta a pre každú sériu vynášal v smere ordináty počet záporných odpovedí. Množina takovýchto bodov (obr. 4a), určujúca empirickú integrálnu krivku normálneho rozdelenia (prerušovaná čiara) bola aproximovaná priamkou metódou najmenších štvorcov. $DLSP_j$ danej série sa vypočítal ako bod abscisy, ktorému na týmto postupom nájdenej priamke prislúcha ordináta o hodnote pravdepodobnosti 50 %.

$DLSP_j$ udáva teda hodnotu fázy testovaného impulzu, pri ktorej subjekt s 50% pravdepodobnosťou postrehne, že štandardný a testovaný impulz nie sú rovnaké (obr. 4a). DLSP sa potom určil ako priemerná hodnota príslušných $DLSP_j$ jednotlivých subjektov a obvyklým spôsobom bola vypočítaná smerodajná odchýlka.

Po skončení experimentálnych sérií bola subjektom položená otázka, čím sa impulzy líšia, keď nie sú rovnaké. Subjekti nezávisle odpovedali, že druhý impulz v páre je

vyšší, ostrejší, tvrdší. Posledné adjektívy sa používajú na charakteristiku farby akustických signálov. Poznatky získané meraniami DLSP pri rôznych trvaniach a hladinách akustického tlaku impulzov a ich konfrontácia s výsledkami predchádzajúcich experimentov umožňujú konštatovať:

2.1. Existuje nenulová množina nestacionárnych tónových impulzov, ktoré sú rozlíšiteľné na základe rozdielov vo fázach spínania (Rajčan, E., Difference limen for initial phase of non-stationary tonal pulses. Proc. 8tn Int. Cong. Acoust. London, 1974, 142).

2.2. Auditívna rozlíšiteľnosť tónových impulzov na základe fázy spínania s predlžovaním impulzov klesá, t. j. DLSP rastie.

2.3. Fáza spínania ovplyvňuje popri výške aj farbu nestacionárnych tónových impulzov (Rajčan, E., Auditory discrimination of the onset-offset phase of tone bursts J. Acout. Soc. Amer. 59, 1976, 1510).

2.4. Zmena hladiny akustického tlaku impulzov (v uvedenom rozsahu) neovplyvňuje významne rozlišovaciu schopnosť auditívneho orgánu vzhľadom na parameter fázy (Rajčan, E., Diferenciaľnyj porog dľa načaľnoj fazy kak funkcija častoty i urovnja akustičaskogo davlenija. Akustika'75, Varna, 1975, 59).

Uvedené výsledky možno teoreticky interpretovať na základe rozboru spektier impulzov. Sínusoidálny impulz frekvencie f_o, amplitúdy akustického tlaku p_o, s počtom periód n, obdĺžnikovou obalovou čiarou, fázou spínania φ môžeme vyjadriť nasledovne:

$$p(t) = \begin{cases} p_o \sin(2\pi f_o t + \varphi) & \text{pre } 0 \leq t \leq n/f_o \\ 0 & \text{pre ostatné t.} \end{cases}$$

Ak ho vyjadríme prostredníctvom Fourierovho integrálu vo forme

$$p(t) = \int_0^\infty r(f).\cos/2\pi ft - \varphi(f)/df,$$

ukáže sa, že r(f), t. j. spektrálna hustota amplitúd (ASD) je funkciou frekvencie, amplitúdy, trvania a fázy spínánia. Výpočty ukazujú, že zmena fázy v intervale 0° — 90° spôsobuje posun maxima ASD k vyšším frekvenciám a tiež, že ASD na nižších frekvenciách, než frekvencia hlavného maxima klesne a na vyšších vzrastie, ak sa fáza zvýši. Táto tendencia je zrejmá z obr. 5.

Z porovnania experimentálnych výsledkov a výpočtov ASD mimo iného vyplýva:

3.1. Niet evidentnej korešpondencie medzi hlavným maximo ASD a bodom subjektivnej rovnosti pre frekvenciu príslušných impulzov, avšak možno nájsť frekvenčný interval $\langle f_1, f_2 \rangle$ v okolí hlavného maxima ASD, pre ktorý je ťažisko ASD dané výrazom

$$f_T = \int_{f_1}^{f_2} r(f).f.df \; / \int_{f_1}^{f_2} r(f).df$$

v dobrej zhode s príslušným PSEf.

3.2. Experimentálne zistenie, že auditívna rozlíšiteľnosť tónových impulzov na základe fázy spínania sa pri ich predlžovaní znižuje, je v súlade stendenciou spektier, pretože s rastúcim trvaním impulzov sa ich spektrálne obrazy k sebe blížia (Rajčan, E., Theoretical aspects of some sensory-acoustical and bio-acoustical experiments. acta physica slovaca 27, 1977, 149).

Prijateľné vysvetlenie výsledkov autora ako aj výsledkov známych bioakustických a senzoricko-akustických experimentov umožňuje nasledovná (stručně formulovaná) koncepcia teórie počutia:

Pri spracúvaní akustickej informácie vychádza auditívny systém z rozloženia energie signálu. Energia signálu je systémom vyvažovaná, pritom lokalizácia jej ťažiska vzhľadom k frekvencii je rozhodujúca pre ocenenie výšky, celkové rozloženie udáva, resp. ovplyvňuje farbu. Počet nervových vzruchov za časovú jednotku ostáva ako parameter pre hodnotenie hlasitosti signálu.

Výhoda tejto koncepcie spočíva predovšetkým v tom, že na jednom základe vysvetľuje percepciu stacionárnych aj nestacionarnych signálov. Zároveň odpadá známy problém malej ostrosti maxím aktivity vnutorného ucha a pomerne vysokej frekvenčnej rozlišovacej schopnosti auditívneho orgánu.

Uvedené výsledky v oblasti základného výskumu predovšetkým prehlbujú poznanie ľudského sluchového orgánu. Jednou z oblastí vedeckého využitia objavu je teda teória počutia, pre ktorú sú výsledky autora významným prínosom. Zistenie, že fáza spínania vplýva na senzorické hodnotenie nestacionárnych impulzov umožňuje napr. vysvetliť rozdiely v predu citovaných výsledkoch meraní DLF Liaň Či-aň, Čistovičovou a Cardozom.

Hlavný výsledok vyplývajúci z objavu pre auditívnu komunikáciu je, že fáza spínania je jedným z nositeľov senzorickej informácie.

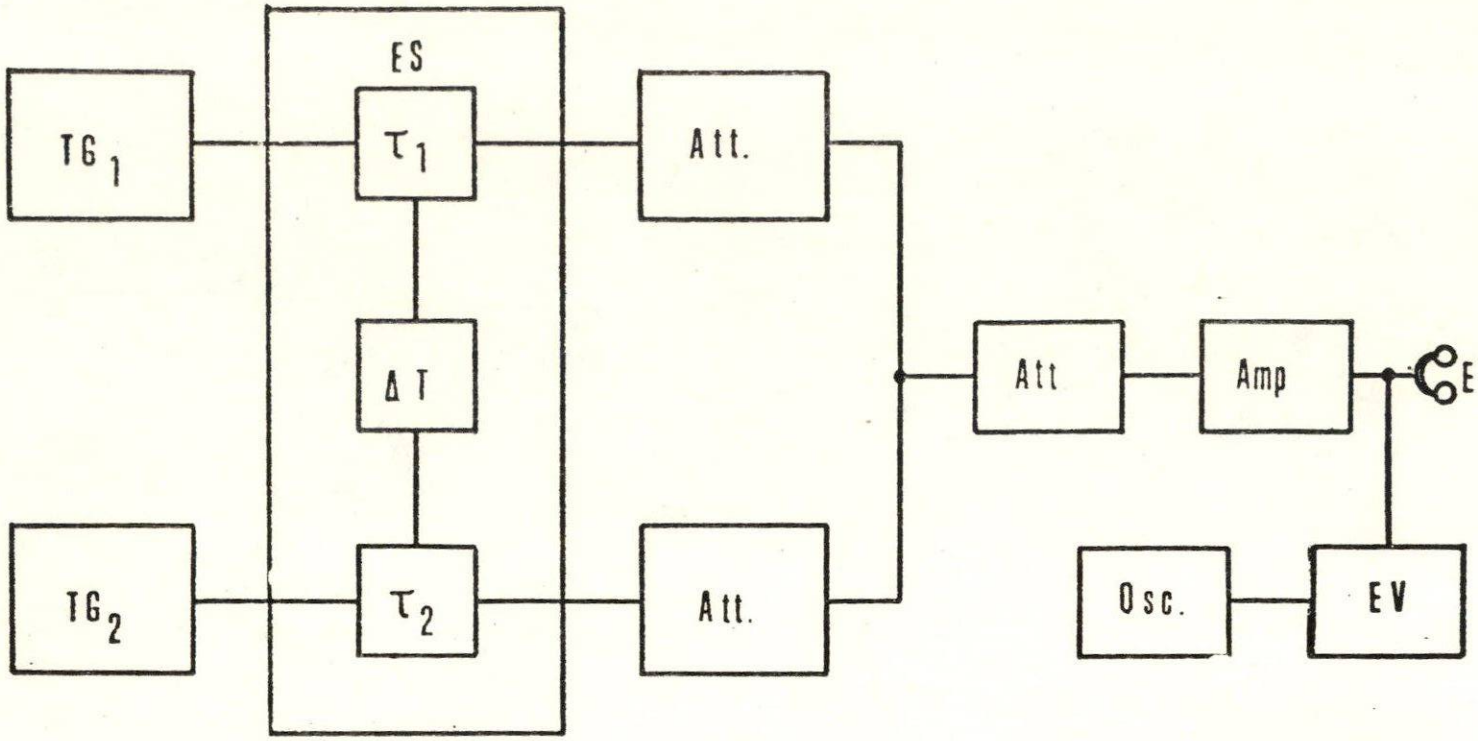
Možno vysloviť predpoklad, že objav je použiteľný v zdravotníctve, pretože neschopnosť subjekta — pacienta rozlišovať impulzy na základe rozdielov vo fázach spínania, väčších než príslušný diferenčný prah, umožňuje konštatovať určitú anomáliu sluchu. Takéto konštatovanie môže slúžiť ako základ pre určenie kvantitatívnej miery anomálie sluchu. (Podobná miera bola na-

vrhnutá v prácach: Mayer, E., Über die Wahrnehmung von kurzdauernden Tonimpulsen. Arch. Ohr.-Nas.-Kehlk.-Heilkunde 159, 1951, 354; Majerník, V., Signifikance of tone-pitch duration threshold for information transfer by short tonal signals. Acustica 19, 1967/68, 33).

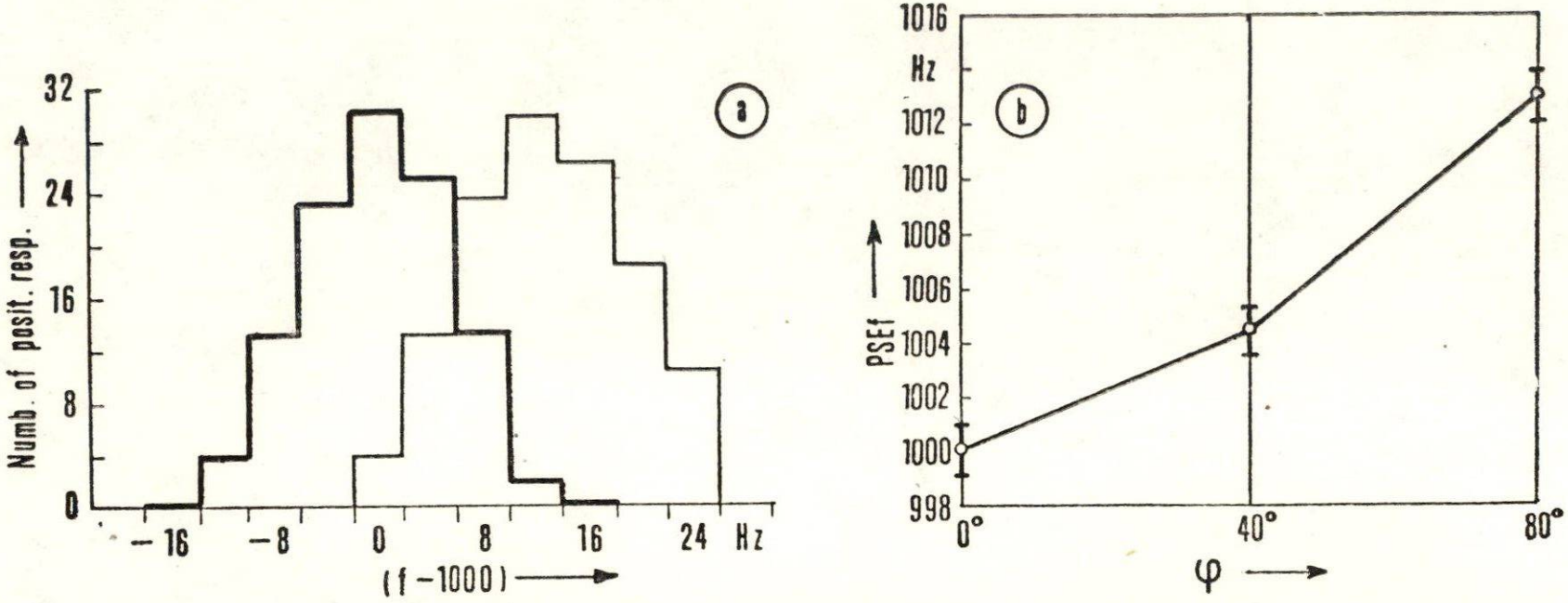
Predmet objavu je všeobecne použiteľný

vo vedných a technických oboroch zaoberajúcich sa prenosom akustických signálov Merania DLSP napr. udávajú kvantitativne skreslenie prenosového systému, čo do fázy spínania, ktoré by nemalo spôsobiť postrehnuteľné zmeny v prenášaných signáloch.

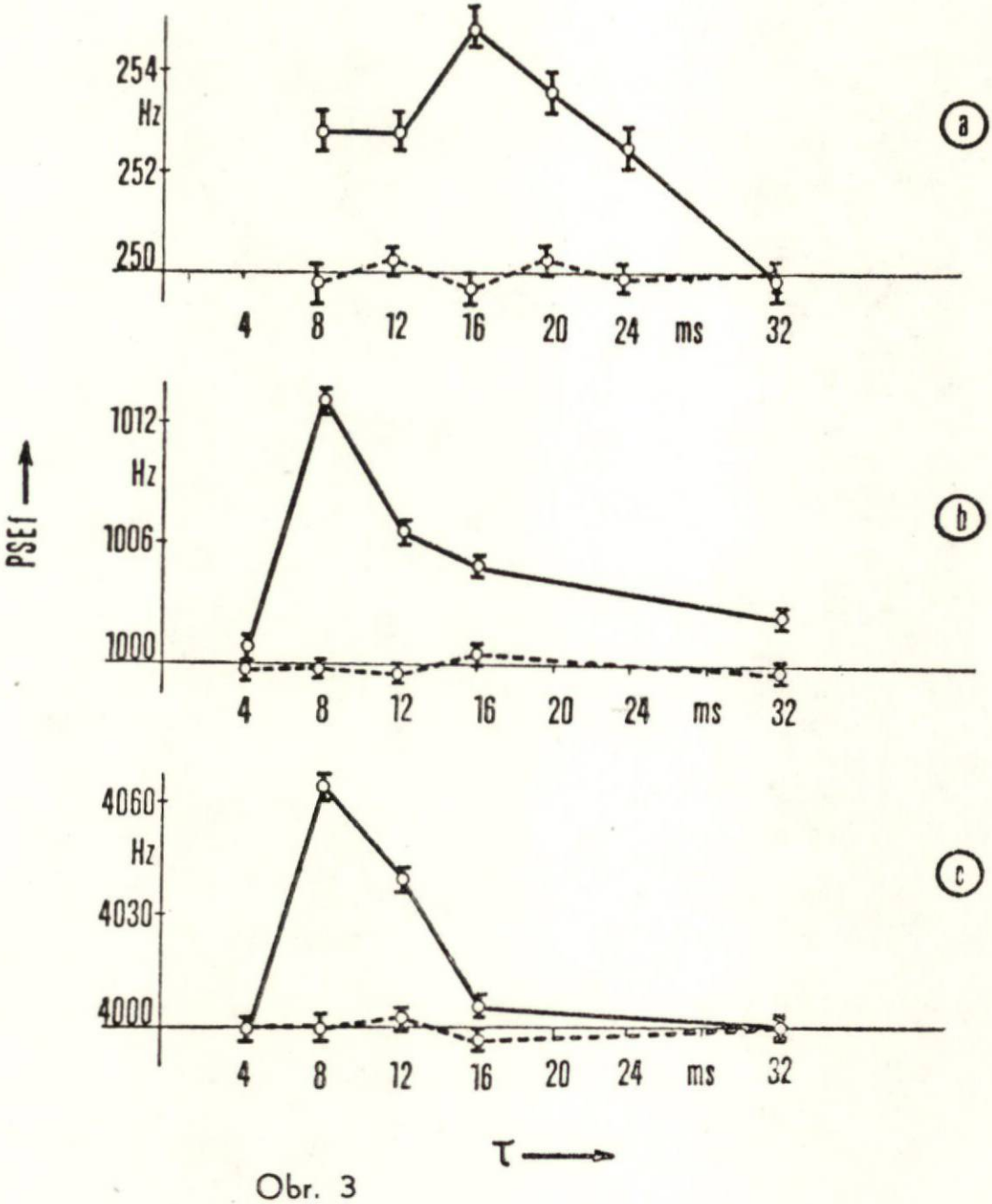
Severografia, n. p., závod 7, Most



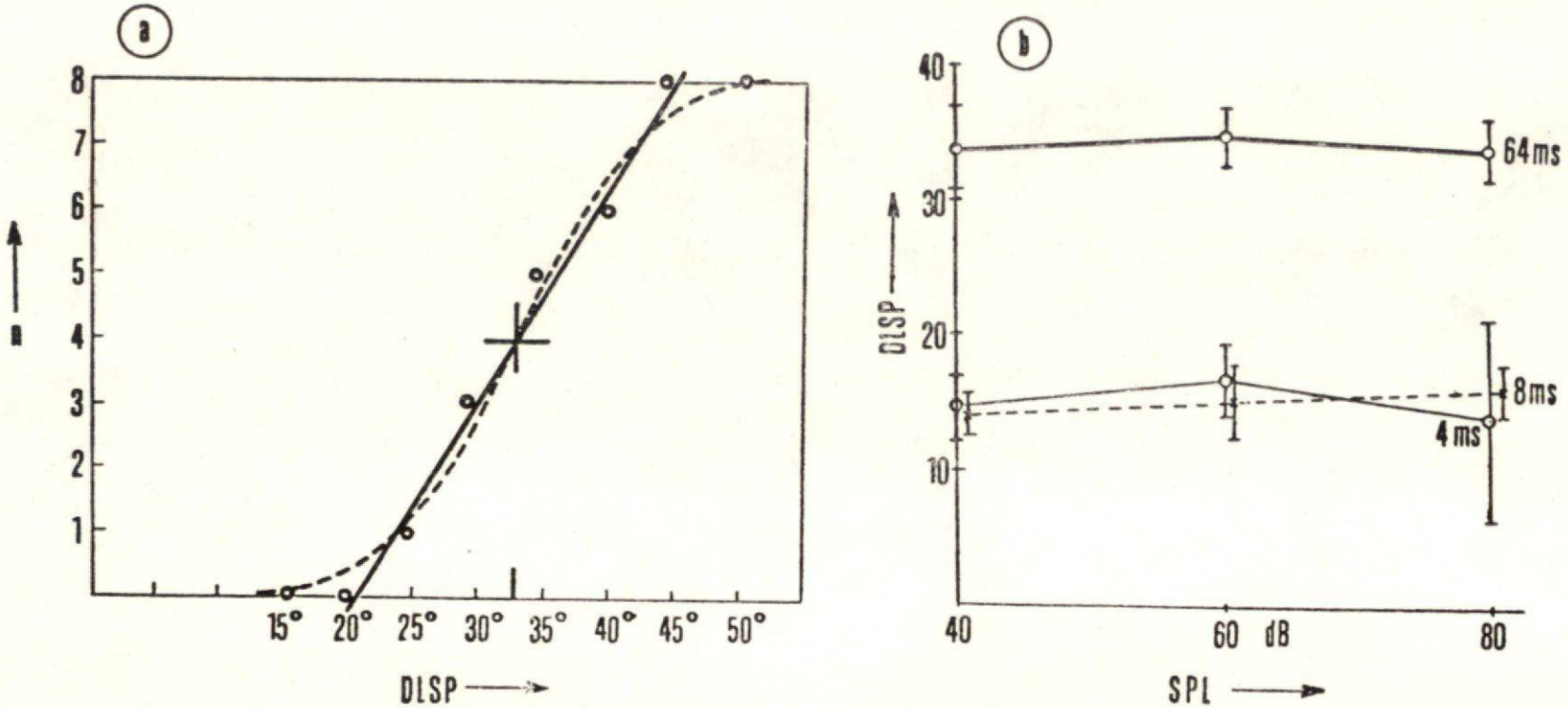
Obr. 1


a
Numb. of posit. resp.
32
24
16
8
0
−16
−8
0
8
16
24 Hz
(f −1000)
b
PSEf
Hz
1016
1012
1010
1008
1006
1004
1002
1000
998
0°
40°
80°
φ

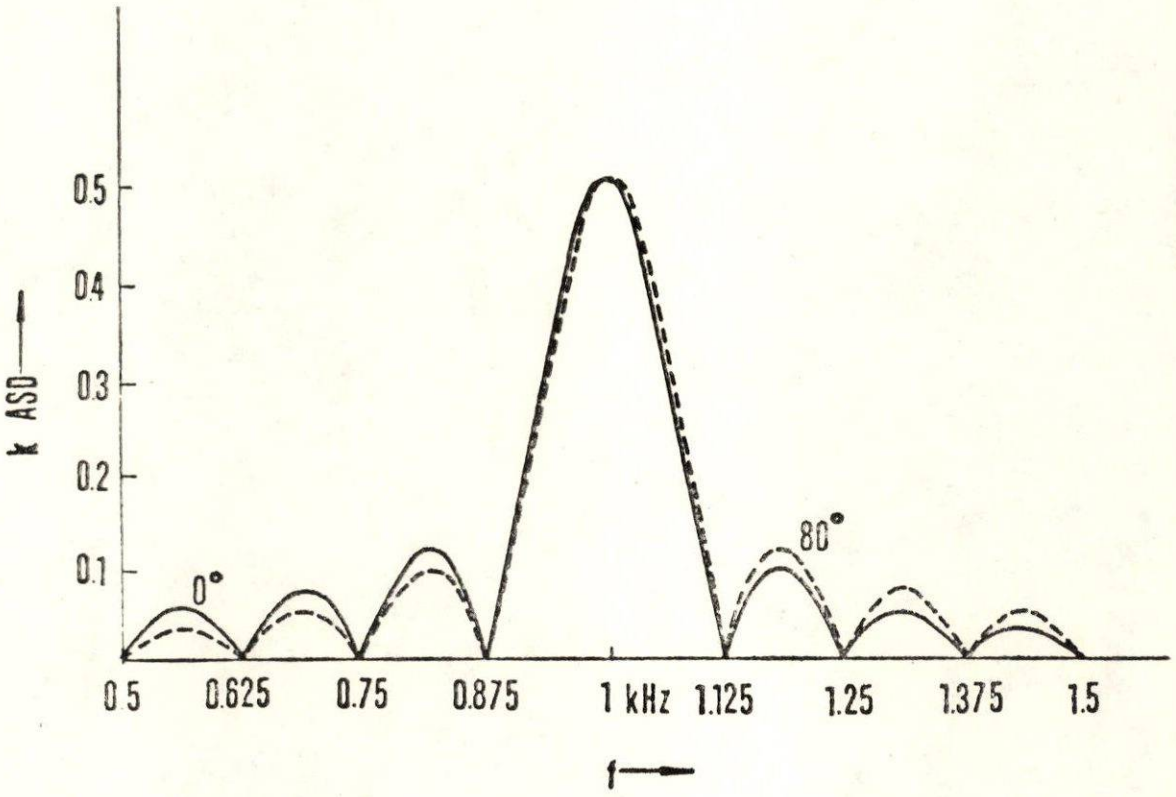
Obr. 2


254
Hz
252
250
a
4
8
12
16
20
24
ms
32
1012
Hz
1006
1000
b
PSE
4060
Hz
4030
4000
c
τ

Obr. 3


a
8
7
6
5
4
3
2
1
n
15° 20° 25° 30° 35° 40° 45° 50°
DLSP
b
40
30
20
10
DLSP
64ms
8ms
4ms
40
60 dB
80
SPL

Obr. 4



Obr. 5