

# Časová integrácia zvukových signálov

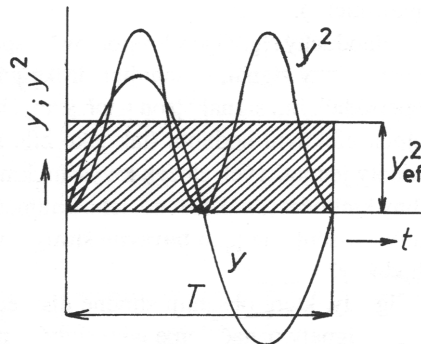
Richard DRAHOŠ, Ing. — Milan DRAHOŠ, Ing.  
D2R engineering, s.r.o., Poprad  
e-mail: d2r@d2r.sk

## Úvod

Pri spracovaní zvukových (elektrických) signálov má rozhodujúci význam ich efektívna hodnota, pretože z kvantitatívneho hľadiska je priamo viazaná s energetickým obsahom signálov. Obecne je efektívna hodnota určitého signálu  $y(t)$  definovaná vzťahom [1]

$$y_{\text{ef}} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T y^2(t) dt} \quad (1)$$

Efektívna hodnota je vždy konečná, kladná a nenulová, pretože energia každého fyzikálne realizovateľného javu nemôže byť nekonečná ani nulová. Zo vzťahu (1) je zrejmé, že pre harmonický signál  $y(t)$  je potrebné najprv získať jeho druhú mocninu  $y^2(t)$ , potom integrovaním určiť veľkosť plochy pod týmto časovým priebehom, uskutočniť delenie hodnotou rovnou perióde  $T$  a napokon získať druhú odmocninu. Grafická interpretácia získania efektívnej hodnoty harmonického signálu so sínusovým priebehom je na obrázku 1.



Obrázok 1 – Grafická interpretácia efektívnej hodnoty harmonického signálu.

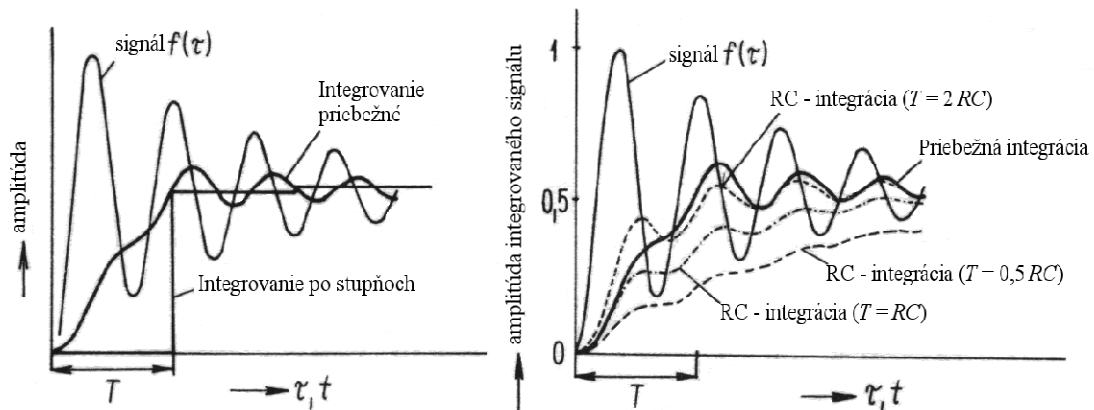
Pre zložený signál je efektívna hodnota podľa zákona superpozície daná vzťahom

$$y_{\text{ef}} = \sqrt{(y_{1\text{ef}})^2 + (y_{2\text{ef}})^2 + \dots + (y_{\text{nef}})^2} \quad (2)$$

Proces integrácie signálov v čase sa v praktických aplikáciách môže vykonávať viacerými spôsobmi [2]:

1. integrácia po stupňoch, ktorá sa vykonáva postupnou integráciou signálu po kratších časových úsekoch  $T$  a vždy na konci každej periódy  $T$  sa udáva hodnota integrovania,
2. priebežná integrácia, ktorá sa vykonáva integráciou signálu za posledné  $T$  sekundy jeho časového priebehu a neprihliada sa k priebehu signálu za čas  $(t - T)$ ,
3. vážená integrácia, ktorá sa opiera o vlastnosti integračného RC obvodu, pričom integračná časová konštanta obvodu je napr.  $\tau = RC$  a  $\tau = 2 RC$ .

Na obrázku 2 je grafické znázornenie uvedených spôsobov integrácie harmonického tlmeného signálu  $f(\tau)$ .



Obrázok 2 - Porovnanie rôznych integrácií v čase.

Prvé dva spôsoby časovej integrácie predstavujú lineárnu integráciu (lineárne priemerovanie) a tretí spôsob časovej integrácie predstavuje exponenciálnu integráciu (exponenciálne priemerovanie).

Integrovanie signálov v čase sa môže vykonávať v časovom aj frekvenčnom priestore, pričom prechod z jedného priestoru do druhého nám umožňuje Fourierova transformácia.

### Vlastnosti integračného RC obvodu

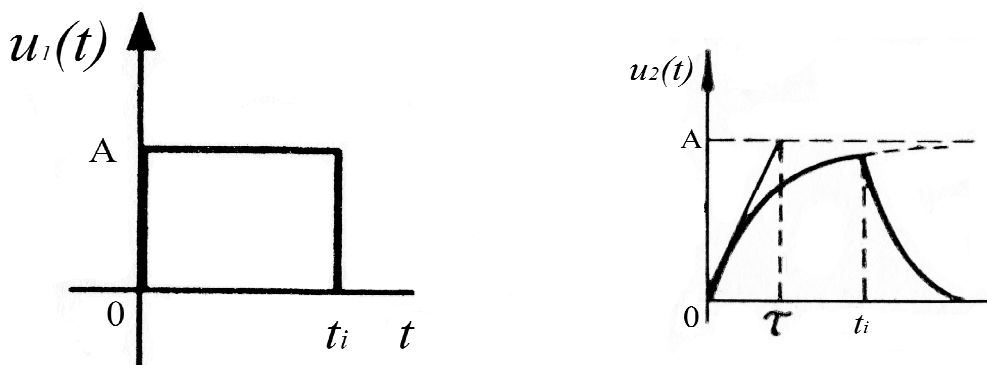
Ideálny integračný RC obvod je obvod, ktorého výstupné napätie  $u_2$  je približne dané vzťahom [3]

$$u_2 = \frac{1}{\tau} \int u_1 dt \quad \tau = RC \quad (3)$$

Na obrázku 3 je znázornená ozva integračného RC obvodu na jednotkový obdĺžnikový impulz  $u_1(t) = A \cdot [H(t) - H(t - t_i)]$ . Výstupné napätie  $u_2(t)$  je vyjadrené pre:

$$0 < t < t_i \text{ exponenciálnou funkciou } u_2(t) = A(1 - e^{-t/\tau})H(t)$$

$$t > t_i \text{ exponenciálnou klesajúcou funkciou } u_2(t) = Ae^{-t/\tau}(e^{-t_i/\tau} - 1)H(t - t_i).$$

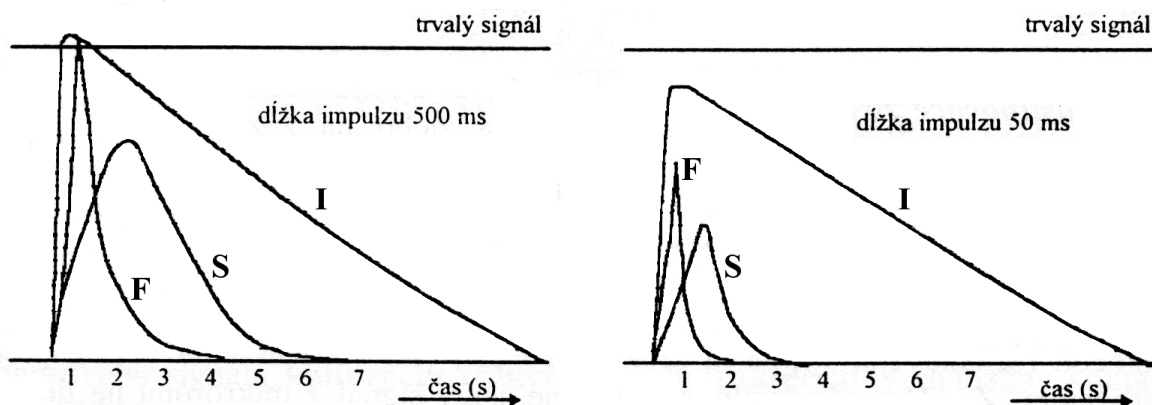


Obrázok 3 – Ozva RC obvodu na obdĺžnikový impulz.

## Časové konštanty zvukomerov

Najslabším článkom analógových zvukomerov pri meraní zložených, rýchle sa meniacich a krátkodobých akustických signálov s veľkou dynamikou, boli dynamické vlastnosti detektora efektívnej hodnoty a ručičkového meradla (zotrvačnosť pohybového systému), ktoré rozhodovali o výchylke meradla. Preto sa do indikačnej časti zaradili integračné RC obvody na úpravu dynamických vlastností výstupného obvodu a meradla, ktoré vyvolali výchylku úmernú priemernej hodnote akustického tlaku v určitom časovom rozmedzí.

Dynamické vlastnosti výstupného obvodu (vlastnosti integračných obvodov) boli označené ako *S* (Slow), *F* (Fast) a *I* (Impuls) a štandardizované normou IEC R 651. Časové konštanty *S*, *F* a *I* výstupného obvodu sa overovali ozvou meradla na tónový impulz s frekvenciou 2 kHz o určitom trvaní impulzu, pričom meradlo pri *S*, *F* a *I* muselo vykázať dovolenú odchýlku vzhľadom na ustálený (trvalý) signál. Časovo rozvinutý priebeh výchyliet meradla pre trvania tónového impulzu 500 ms a 50 ms je na obrázku 4.



Obrázok 4 – Časovo rozvinutý priebeh výchyliet meradla pri časových konštantách.

Pre kontinuitu a porovnateľnosť výsledkov získaných analógovými a digitálnymi zvukomerami boli časové konštanty *S* a *F* (*I*) prevzaté aj do konštrukcie obvodov signálového procesora digitálnych zvukomerov. V norme STN EN 61672-1:2005 [4] sú časové konštanty *S* a *F* pomenované ako časové váhové charakteristiky.

Pre časovo vážené hladiny akustického tlaku je časová konštantá  $\tau$  poklesu špecifikovaná z ozvy na náhle prerušenie ustáleného sínusového signálu s frekvenciou 4 kHz. Po prerušení signálu musí byť rýchlosť poklesu zobrazenej hladiny akustického tlaku, zväčšená o hodnotu neistoty merania, najmenej 25 dB/s pri časovej váhovej charakteristike *F* a pri časovej charakteristike *S* medzi 3,4 a 5,3 dB/s.

Pre frekvenčnú váhovú funkciu *A*, ozva ( $\delta_{\text{ref}}$ ) na referenčný tónový impulz s frekvenciou 4 kHz je určená pre maximálne časovo vážené hladiny akustického tlaku pomocou aproximácie

$$\delta_{\text{ref}} = 10 \log(1 - e^{-T_b/\tau}) \quad \text{dB} \quad (4)$$

kde  $T_b$  je špecifikovaný čas trvania tónového impulzu v sekundách,

$\tau$  je štandardná exponenciálna časová konštantá 0,125 s pre *F* alebo 1 s pre *S*,

$e$  je základ prirodzených logaritmov.

V tabuľke 1 sú uvedené požiadavky ozvy na referenčný tónový impulz s rôznym časom trvania pre maximálne časovo vážené hladiny A akustického tlaku vzhľadom na ustálenú (trvalú) hladinu A akustického tlaku, vrátane dovolených odchýlok pre triedy zvukomerov 1 a 2, zväčšených o hodnotu rozšírenej neistoty merania.

**Tabuľka 1- Ozvy na referenčný tónový impulz pre maximálne hodnoty A akustického tlaku a dovolené odchýlky.**

$T_b$ ms	$L_{AFmax} - L_A$ dB	$L_{ASmax} - L_A$ dB	<u>Dovolené odchýlky / trieda</u> dB	
			1	2
1000	0,0	-2,0	±0,8	±1,3
500	-0,1	-4,1	±0,8	±1,3
200	-1,0	-7,4	±0,8	±1,3
100	-2,6	-10,2	±1,3	±1,3
50	-4,8	-13,1	±1,3	+1,3; -1,8
20	-8,3	-17,0	±1,3	+1,3; -2,3
10	-11,1	-20,0	±1,3	+1,3; -2,3
5	-14,1	-23,0	±1,3	+1,3; -2,8

### Základné akustické veličiny

Na opis zvukových signálov sú v norme [4] uvedené definície základných akustických veličín:

**Hladina akustického tlaku** (sound pressure level): dvadsaťnásobok dekadického logaritmu pomeru efektívnej hodnoty akustického tlaku k referenčnému akustickému tlaku

$$L_p = 20 \log \frac{p_{ef}}{p_0} = 20 \log \left\{ \left[ \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T p^2(t) dt} \right] / p_0 \right\} \quad (5)$$

kde  $p(t)$  je okamžitý akustický tlak,  
 $p_0$  je referenčný akustický tlak 20  $\mu$ Pa.

**Časovo vážená hladina akustického tlaku** (time-weighted sound level): dvadsaťnásobok dekadického logaritmu pomeru danej efektívnej hodnoty akustického tlaku k referenčnému akustickému tlaku, pričom sa efektívna hodnota akustického tlaku získava využitím štandardného frekvenčného váženia a štandardného časového váženia. Pod štandardným časovým vážením sa rozumie exponenciálna funkcia so stanovenou časovou konštantou  $\tau$ , ktorou sa váži kvadrát okamžitého akustického tlaku.

Časovo vážená hladina A akustického tlaku  $L_{A\tau}(t)$  v symbolickom vyjadrení je reprezentovaná v akomkoľvek časovom okamihu  $t$  rovnicou

$$L_{A\tau}(t) = 20 \log \left\{ \left[ \frac{1}{\tau} \int_{-\infty}^t p_A^2(\xi) e^{-(t-\xi)/\tau} d\xi \right]^{1/2} / p_0 \right\} \quad (6)$$

kde  $\tau$  je exponenciálna časová konštanta v sek. pre časové charakteristiky F a S,  
 $\xi$  je pomocná premenná časová integrácia od nejakého času v minulosti ( $-\infty$ ) pre dolnú medzu integrálu, do času pozorovania  $t$ ,  
 $p_A(\xi)$  je okamžitý A akustický tlak.

Číselný výraz argumentu logaritmu v rovnici (6) je exponenciálne časovo vážená efektívna hodnota A-váženého akustického tlaku v čase pozorovania  $t$ .

**Časovo priemerná hladina akustického tlaku** (time-averaged sound level) alebo **ekvivalentná hladina akustického tlaku** (equivalent continuous sound level): dvadsaťnásobok dekadického logaritmu pomeru efektívnej hodnoty akustického tlaku počas stanoveného časového intervalu k referenčnému akustickému tlaku, pričom akustický tak sa získava štandardným frekvenčným vážením.

Časovo priemerná  $L_{AT}$  alebo ekvivalentná hladina A akustického tlaku  $L_{AeqT}$  v symbolickom vyjadrení je daná rovnicou

$$L_{AT} = L_{AeqT} = 20 \log \left\{ \left[ \frac{1}{T} \int_{t-T}^t p_A^2(\xi) d\xi \right]^{1/2} / p_0 \right\} \quad (7)$$

kde  $\xi$  je pomocná premenná časovej integrácie počas časového intervalu priemerovania, ktorá sa končí v čase pozorovania  $t$ ,

$T$  je časový interval priemerovania,

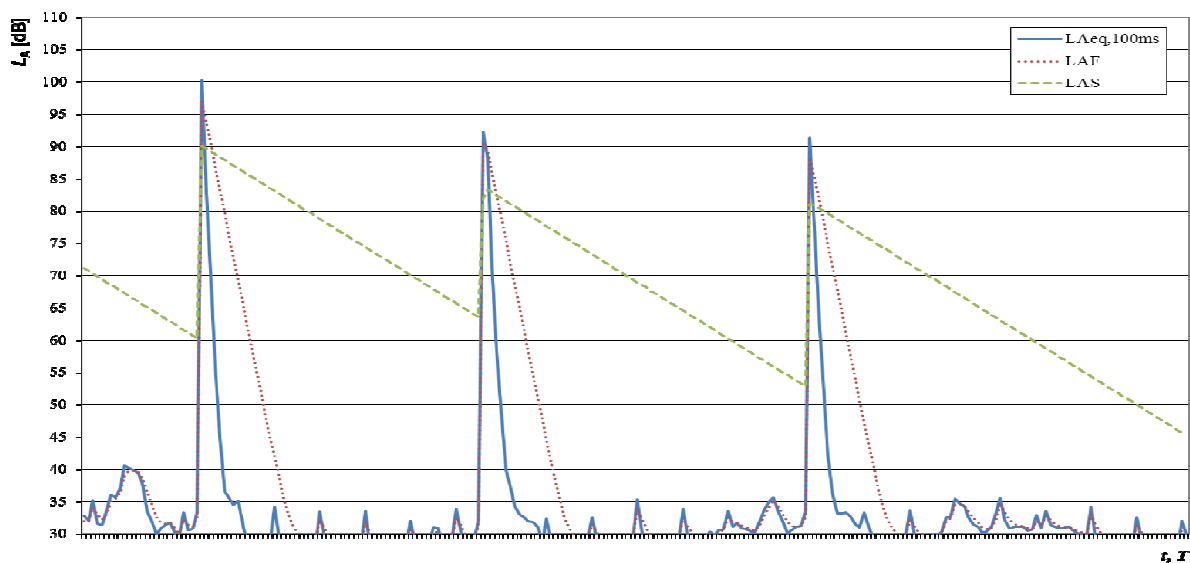
$p_A(\xi)$  je okamžitý A akustický tlak.

Číselný výraz argumentu logaritmu v rovnici (7) je efektívna hodnota A-váženého akustického tlaku za časový interval priemerovania  $T$ .

### Časová integrácie v digitálnych zvukomeroch

V digitálnych zvukomeroch, ktoré obsahujú digitálne filtre, sa efektívna hodnota dostatočne presne vypočíta numericky v tzv. digitálnom detektore. Jednou z výhod tohto detektora je, že súčasne umožňuje lineárnu integráciu (v pevnom časovom intervale alebo priebežnú) a exponenciálnou integráciou.

Pri meraní zložených, rýchle sa meniacich a krátkodobých signálov s veľkou dynamikou (impulzov) pri uplatnení časových váhových funkcií  $F$  a  $S$ , tzn. pri exponenciálnej integrácii dochádza k odchýlkam v porovnaní s lineárnou integráciou. Na obrázku 5 je časový priebeh časovo vážených hladín A akustického tlaku  $L_{AF}$  a  $L_{AS}$  v čase  $t$  a ekvivalentných hladín A akustického tlaku  $L_{AeqT}$  za časový interval priemerovania  $T = 100$  ms troch zvukových impulzov.



Obrázok 5 – Časový priebeh hladín A akustického tlaku zvukových impulzov pri exponenciálnej a lineárnej integrácii.

## Záver

Z uvedeného pohľadu na význam časových váhových charakteristík  $S$ ,  $F(I)$  vo zvukomeroch a z definícií akustických veličín uvedených v norme [4] vyplýva, že veličina s názvom:

- a) **časovo vážená hladina A akustického tlaku** sa vzťahuje na proces vytvárania časovo vázenej hladiny A akustického tlaku v akomkoľvek časovom okamihu  $t$  pri uplatnení časových váhových charakteristík  $S$ ,  $F(I)$ , tzn. na proces exponenciálnej integrácie (exponenciálneho priemerovania),
- b) **ekvivalentná hladina A akustického tlaku** sa vzťahuje len na proces vytvárania časovo priemernej hladiny A akustického tlaku za časový interval priemerovania  $T$ , tzn. na proces lineárnej integrácie (lineárneho priemerovania).

Rozlíšenie definícií akustických veličín - časovo vázenej A hladiny akustického tlaku a ekvivalentnej (časovo priemernej) hladiny A akustického tlaku má význam v súvislosti s určujúcimi veličinami na opis expozície hluku obyvateľov v životnom prostredí a zamestnancov v pracovnom prostredí uvedených v právnych predpisoch.

## Literatúra

- [1] Smetana, C.: Hluk a vibrace. Sdělovací technika, Praha 1998
- [2] Navrátil, M., Pluhař, O.: Měření a analýza mechanického kmitání. Praha 1986
- [3] Rádioelektronická příručka – I. díl. KTHP Praha 1972
- [4] STN EN 61672-1:2005 Elektroakustika Zvukoměry Časť 1: Technické požiadavky

## Resumé

**Time integration of sound signals.** The definitions of basic acoustic parameters applied in the process of population noise exposure exteriorization in the environment and employees in the workplace are established in the standard STN EN 61672-1:2005. Taking into account the importance of time weighting functions ( $S$ ,  $F$ ), it is important to distinguish between quantity named time-weighted A sound level and time averaged (equivalent) sound level.