

# Jsou aktivní výhybky jednoznačně výhodnější než pasívní?

RNDr. BOHUMIL SÝKORA

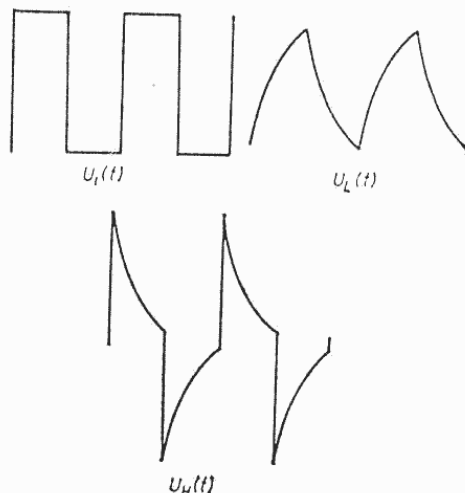
Používání aktivních výhybek v reproduktorových soustavách se v poslední době značně rozšiřuje. Jednou příčinou je pokles cen výkonových polovodičových součástek, zejména pak výkonových integrovaných obvodů, s jejichž využitím je dnes možné vyrobit aktivní reproduktorovou soustavu při nákladech srovnatelných s náklady na realizaci pasívní soustavy se zesilovačem v dřívější době.

Jedním ze základních problémů koncepce aktivní soustavy je stanovení výkonu zesilovačů pro jednotlivá kmitočtová pásma soustavy. Při jeho řešení se zpravidla vychází z požadavku maximálního akustického tlaku a znalosti energetického spektrálního rozdělení přirozeného signálu, případně jeho statistického amplitudového rozdělení. Například při citlivosti reproduktorů 87 dB (1 W, 1 m, přímé pole) potřebujeme v poslechových podmínkách obvyklých v obytných místnostech střední elektrický příkon řádu jednotek wattu pro poslechové hladiny zvuku kolem 85 dB v difúzním poli. Vezmeme-li v úvahu, že v signálu se s relativní četností řádu desetin procenta mohou vyskytovat úrovně nejméně o 15 dB převyšující střední resp. efektivní hodnotu, pak pokud takové signály mají být přeneseny bez zkreslení, je opodstatněné požadovat od zařízení výkon řádu desítek wattů (minimálně 15 až 20 W). Přitom výkony do 20 W je již možné realizovat s monolitickými zesilovači. Uvedený odhad platí pro celkový příkon soustavy. Při dimenzování jednotlivých větví aktivní soustavy se zpravidla počítá s tím, že v oblasti pod 3 kHz je soustředěna největší část energie signálu, v praxi nejméně 75 %. To by znamenalo, že z celkového výkonu např. 20 W by na pásmo vysokých kmitočtů nad 3 kHz připadlo nejvýše 5 W. Tak se ale aktivní soustavy zpravidla nekonstruují. Bere se totiž v úvahu, že zejména v pásmu vysokých kmitočtů je vysoký poměr vrcholové a efektivní hodnoty, a výkon tam se proto volí rovný přibližně alespoň polovině výkonu v nižších pásmech. Dále ukážeme, že i takový odhad může být nízký.

Předpokládáme, že soustava má zpracovávat signál pravoúhlého průběhu. Pro jednoduchost budeme uvažovat dvojpásmovou reprodukci s jednoduchou výhybkou prvního řádu se strmostí 20 dB na dekádu. Přenosové funkce takové výhybky lze v normovaném tvaru psát

$$L(p^*) = \frac{1}{1 + p^*} \quad H(p^*) = \frac{p^*}{1 + p^*}$$

pro dolnoproputnou ( $L(p^*)$ ) resp. hornoproputnou ( $H(p^*)$ ) větev, přičemž  $p^*$  je komplexní kmitočet normovaný k dělicímu kmitočtu výhybky. Součet funkcí je identicky roven jedné, výhybka tedy zaručuje rovnou součtovou charakteristiku akustického tlaku, budou-li citlivosti reproduktorů v obou pásmech shodné. Předpokládáme samozřejmě ideální (kmitočtové nezávislé) vlastnosti reproduktorů. Výstupní napětí obou větví výhybky při pravoúhlém vstupním signálu jsou znázorněna na obr. 1.



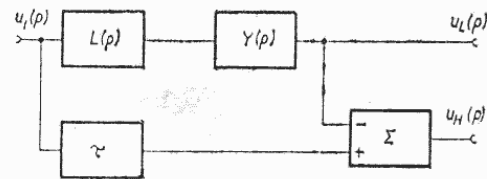
Obr. 1. Vstupní a výstupní napětí výhybky klasického provedení s limitní strmostí 20 dB/dek.

Vrcholová hodnota napětí  $U_L(t)$  výstupu dolnoproputné větve bude nejvyšší rovna vrcholové hodnotě vstupního napětí  $U_i(t)$  (přesně je to  $U_L = U_i \cdot \tanh(\pi f_a/2f)$ , přičemž  $f$  je opakovací kmitočet a  $f_a$  je dělicí kmitočet výhybky). Avšak vrcholová hodnota napětí na výstupu hornoproputné větve může dosáhnout hodnoty libovolně blízké dvojnásobku vrcholové hodnoty vstupního napětí (v závislosti na poměru  $f/f_a$ ). To je způsobeno nelineární závislostí fázového úhlu přenosu filtrů na kmitočtu. Je nutné zdůraznit, že nerozhoduje fázový průběh součtového přenosu, například uvažovaný nejjednodušší typ výhybky má zmíněný úhel identicky rovný nule.

Pokud bychom takový typ výhybky použili v aktivní soustavě, znamenalo by to, že pro přesnou reprodukci pravoúhlého signálu by bylo ve vysokotónové větvi zapotřebí čtyřnásobku vrcholového akustického výkonu proti nízkotónové části, čili při shodné citlivosti reproduktorů v obou větvích čtyřnásobného vrcholového výkonu zesilovače. Úvaha přitom platí nejen pro výhybku uvažovaného typu, ale pro každou výhybku, která má přenosové funkce s minimální fází (dokonce pro podstatně obecnější třídu výhybek), tedy vlastně pro všechny typy v praxi používaných výhybek. U pasívních výhybek se problém týká pouze vrcholové zatížitelnosti reproduktorů, poněvadž potřebný časový průběh výstupních napětí vznikne procesy transformace energie mezi reaktivními členy výhybky.

Z uvedeného úvahy je zřejmé, že u aktivní reproduktorové soustavy mohou být podstatně vyšší nároky na vrcholový výkon zesilovačů než u pasívní soustavy. V praxi se sice běžně nevyskytují tak extrémní průběhy signálu jako je pravoúhlý, rozhodně je však jasné, že není bez dalšího možné volit u vysokotónové větve maximální výkon výrazně nižší než u ostatních větví. Takové omezení je přípustné pouze u trvalého výkonu. Vrcholový výkon vysokotónové větve by měl být přinejmenším stejný jako u všech ostatních větví s výhradou

případu, že by buď citlivost vysokotónového reproduktoru byla výrazně vyšší nežli citlivost ostatních měničů (případá v úvahu např. při použití tlakových reproduktorů), nebo že by byla použita výhybka s patričnými korekcemi fázových charakteristik. Autorovi článku není známo, že by takové řešení bylo někdy navrženo. Možné skupinové uspořádání je naznačeno na obr. 2.

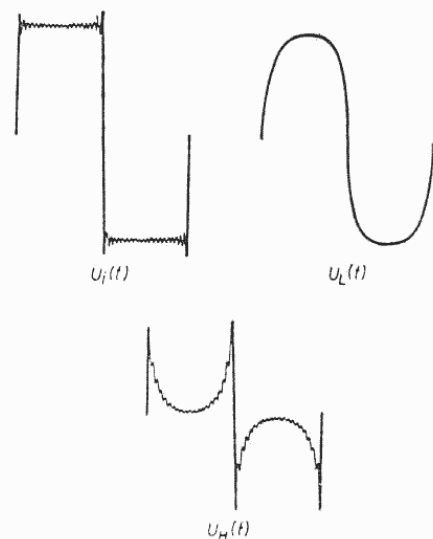


Obr. 2. Skupinové schéma uspořádání výhybky s lineární fází v obou větvích  $\gamma = \varphi$

Tam  $L(p)$  je přenosová funkce dolní propusti,  $\varphi(p)$  je přenos fázové korekčního obvodu volený tak, aby přenosová funkce  $L(p) \cdot \varphi(p)$  měla lineární fázovou charakteristiku procházející počátkem, a  $\tau$  je zpoždění odpovídající zmíněné charakteristice. Pak i v hornoproputné větvi, jejíž signál se získá odečtením signálu dolnoproputné větve od vstupního signálu zpožděného o  $\tau$  podle vztahu

$$H(p) = \exp(-\tau p) - L(p) \varphi(p)$$

bude dosaženo potřebné závislosti fázového úhlu na kmitočtu. Výsledné časové průběhy odezvy na pravoúhlý signál, naložené aproximativně jako součty Fourierových řad do 41. harmonické pro dolní propust se strmostí 20 dB/dek. a odpovídající horní propust, jsou na obr. 3. Je patrné, že vrcholová hodnota



Obr. 3. Vstupní a výstupní napětí výhybky podle obr. 2 s limitní strmostí 20 dB/dek.

na výstupu hornoproputné větve nepřesahuje vrcholovou hodnotu vstupního napětí. Podrobnější rozbor není možné uvádět.

Bohužel konstrukce výhybky podle uvedených požadavků by byla náročná do té míry, že její zřejmě výhody by jen stěží vyvážily náklady na realizaci. Proto zůstane pro praxi patrně výhodnější použít některé z klasických řešení a nároky na výkon ve vysokotónové části respektovat tím, že dosažitelný akustický výkon tam nebude nižší než v ostatních částech reproduktorové soustavy. □