

- Akú pomoc vám poskytuje klub a okresná rada odbornosti ?

"Prostřednictvím klubové rady a ZO se usilujeme o nadviazanie spolupráce a o získanie patronátu Brigády socialistickej práce na cech automatizácie, merania a regulácie v n.p. Dúsko Šala. Okresná rada odbornosti poskytla v tomto roku nášmu krúžku finančnú dotáciu. Aktívna činnosť hifiklubu v Šali vytvára potrebné predpoklady pre to, aby mládež, ktorú v našom krúžku odborné pripravujeme, mohla i po absolvovaní ZDS pokračovať v rozvíjaní svojich záujmov."

Zhovárať sa Jozef Javurek

Branně technická činnost

PODCEŇOVANÉ OBVODY

SMĚŠOVAČE

Že by amatérští konstruktéři směšovací pultů /mixážních zesilovačů/ obvodové řešení těchto přístrojů podceňovali, to nelze tvrdit. Spíše podceňují vlastní schopnosti seznámit se s teoretickým minimem, potřebným pro zvládnutí samostatných návrhů. Směšovací pulty pak konstruují podle továrních nebo jiných vzorů, přejímají často zbytečně složitá nebo naopak pro daný účel nedokonalá zapojení. Jistěže lze z teorie směšovacích obvodů udělat "vědu", ale zaměříme-li se na obvodové řešení obvyklé u poloprofesionálních zařízení, bude i podrobné poznání problematiky přístupné každému.

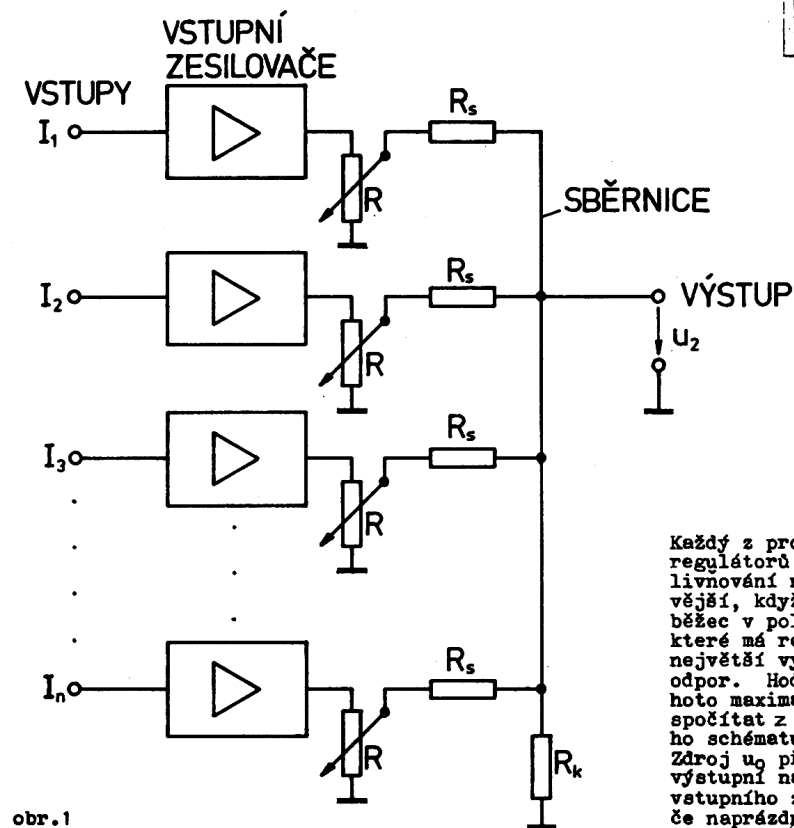
Typické blokové schéma vstupní a směšovací části mixážního pultu je na obr.1. /Zatím budeme hovořit jen o monofonním směšovači./ Obecně má směšovač n vstupů I_1 až I_n . Vstupní zesilovače zajišťují dostatečnou úroveň signálu před směšováním. Vysokou úroveň vstupů nemusí být vstupními zesilovači vybaveny, pokud zdroje signálu mají dostatečně malé vnitřní /výstupní/ odpory. Potenciometry R slouží k provozní regulaci hlasitosti jednotlivých zdrojů signálu, jsou proto logaritmické. Oddělovací odpory R_s zajišťují správné impedanční poměry pro vstupní zesilovače a jejich dimenzování rozhoduje o míře vzájemného ovlivňování úrovně signálových cest při manipulaci s provozními regulátory. Na sběrnici dochází ke smíšení /sečtení/ signálů, na výstupu směšovací části je k dispozici souhrnný signál všech zdrojů s libovolnými podíly jednotlivých složek podle poloh provozních regulátorů. Zakoňovací odpor sběrnice nemusí být vždy použit, jeho vliv poznáme v dalším výkladu.

Naším cílem je navrhnout směšovač pro libovolný počet vstupů n a vyšetřit všechny parametry, které jsou nutné pro návrh obvodů za směšovací částí. Předně se zajímáme o míru ovlivňování jednotlivých regulátorů. Budeme předpokládat, že vnitřní /výstupní/ odpory vstupních zesilovačů jsou shodné a mají velikost R_0 . V dalších úvahách budeme většinou pracovat s tzv. normovanými odpory, značenými malými písmeny. Normotvornou hodnotu bude představovat odpor provozního regulátoru R . Bude tedy platit:

normovaný vnitřní odpor: vstupních zesilovačů $r_0 = R_0/R$
provozního regulátoru $1 = R/R$
oddělovacích odporů $s = R_s/R$
zakoňovacího odporu $k = R_k/R$

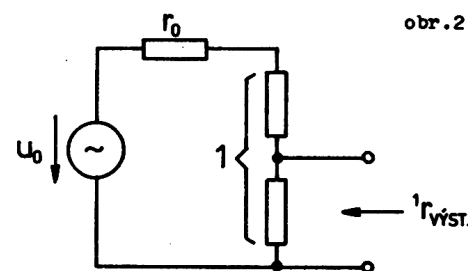


Počítání s normovanými odpory je výhodné pro univerzálnost návrhu.



obr.1

Každý z provozních regulátorů je na ovlivňování nejcitlivější, když je jeho běžec v poloze, ve které má regulátor největší výstupní odpor. Hodnotu tohoto maxima lze spočítat z náhradního schématu na obr.2. Zdroj u_0 představuje výstupní napětí vstupního zesilovače naprázdno, jednička zastupuje provozní regulátor.



obr.2

Platí

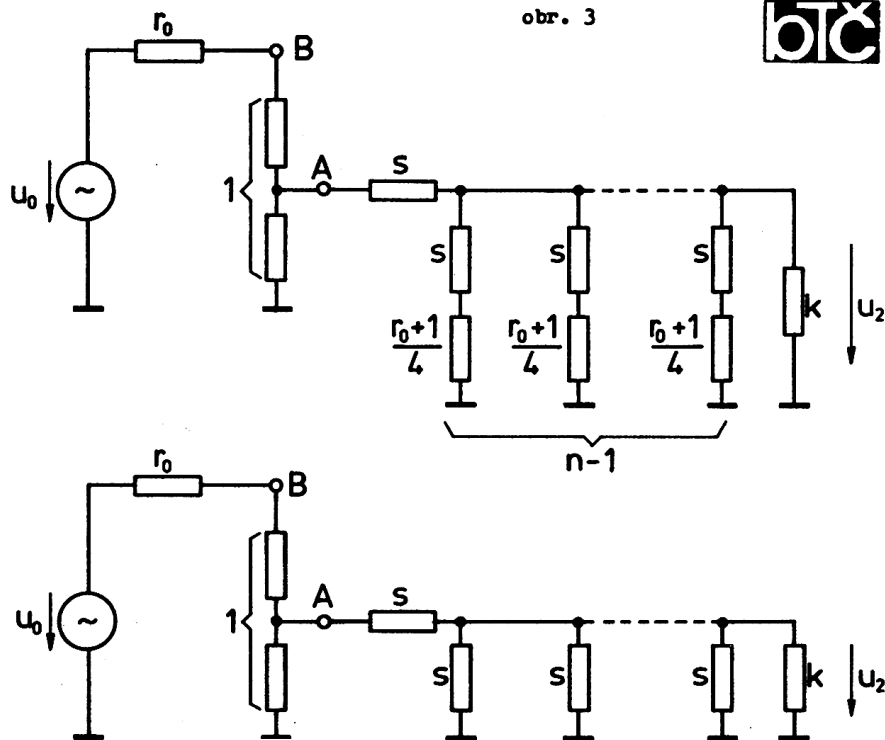
$$r_{vst.max} = \frac{r_0 + 1}{4} \quad /1/$$

Pokud jde o hodnoty odporů na a pod běžcem regulátoru, pak pro maximální vstupní odpor má spodní hodnotu $r_0 + 1/2$, horní odpor pak zbytek do jedničky.

Úvahou lze zjistit, že mezní zatěžovací stavy pro každý regulátor nastávají, když ostatní regulátory mají běžec bud

"dole"/uzemněné/ - pak je zatěžovací odpor minimální - nebo v polohách, ve kterých mají maximální výstupní odpory $r_{vst.max}$.

Situaci pro oba stavy ukazuje obr.3. Zatím budeme uvažovat nezátěženou sběrnici, tj. $k \rightarrow \infty$. Vpravo od bodu A bude zatěžovací odpor regulátoru:



bTČ

a/ minimální $r' = \frac{sn}{n-1}$ /2/

b/ maximální $r'' = \frac{4sn + r_0 + 1}{4/n - 1/}$ /3/

Nyní si už směšovač můžeme překreslit do jednoduchého náhradního schématu podle obr.4, ve kterém r značí buď r' , nebo r'' podle polohy běžce regulátorů. Přenos od zdroje do bodu A bude

$$K_{p1} = \frac{2r}{4r + r_0 + 1}$$
 /4/

Celkový přenos na výstup

$$K_p = \frac{2/r - s/}{4r + r_0 + 1}$$
 /5/

Připomínáme, že vzorce platí jen pro konkrétně zvolenou polohu běžce 1. regulátoru /největší ovlivňování/.

Dosadíme-li za r postupně odpory r' a r'' , dostaneme dva různé přenosy:

minimální /6/

$$K'_p = \frac{2s}{4sn + r_0 + 1/n - 1/}$$

maximální $K''_p = \frac{1}{2n}$ /7/

Poměr K'_p/K''_p nazvěme ε

/ ε bude menší než 1/.

Předepíšeme-li si určitou hodnotu ε /podle požadavku na největší přípustné kolísání přenosu/, lze stanovit vztah pro výpočet odporu s .

$$s = \frac{\varepsilon/n - 1/}{4n/1 - \varepsilon/} /r_0 + 1/$$
 /8a/

V "odnormovaném" tvaru vypadá vzorec /8a/ takto:

$$R_s = \frac{\varepsilon/n - 1/}{4n/1 - \varepsilon/} /R_0 + R/$$
 /8b/

Za předpokladu, že zvolíme vhodně odpor regulátoru R , umíme už spočítat pro danou míru ovlivnění potřebnou hodnotu oddělovacích odporů R_s . Odpor R musíme volit s ohledem na přípustný zatěžovací odpor vstupních zesilovačů.

Požadujeme, aby vstupní zesilovače pracovaly přibližně naprázdno, tj. v praxi, aby minimální vstupní odpor směšovače byl alespoň desetinásobkem odporu R_0 . Potom si s vyhovující přesností můžeme dovolit spočítat s ze vztahu /8a/ pro $r_0 = 0$, takže pro stanovení R hodnotu s známe.

Z předchozího víme, že vpravo od bodu A /obr.3/ je minimum odporu pro běžce "dole", přičemž jeho hodnota je r' /dle vztahu /2//. Z hlediska bodu B /obr.3/ nastává minimum odporu pro běžce 1. regulátoru "nahore". Po výpočtu dostaneme minimální vstupní odpor nezatíženého směšovače

$$r_{vst} = \frac{s}{1 + s - 1/n}$$
 /9/

Když úvahy rozšíříme a předpokládáme odpor R_k konečné hodnoty, potom minimální vstupní odpor zatíženého směšovače bude

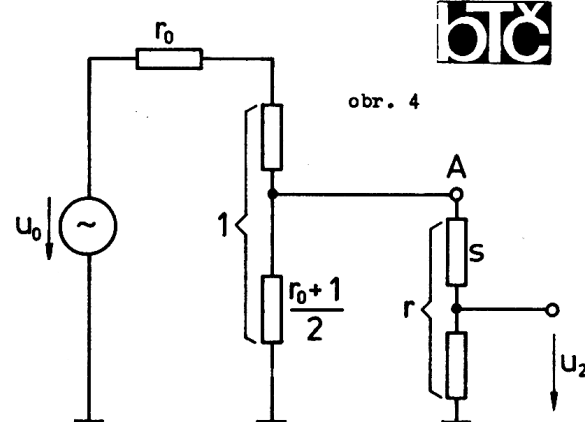
$$k_{r_{vst}} = \frac{s}{1 + s - \frac{k}{s + kn}}$$
 /10/

Mezní případ nastává pro zkrat na sběrnici, tj. $k = 0$. Minimální vstupní odpor pro zkratovanou sběrnici vyjde

$$r_{vst} = \frac{s}{1 + s}$$
 /11/

Z těchto výsledků můžeme formulovat podmínky pro volbu hodnoty R . U nezatíženého směšovače dojdeme ke vztahu

$$R \geq 10R_0 \frac{s + 1 - 1/n}{s}$$
 /12/



bTČ

Budeme-li sběrnici zakončovat odporem R_k malé hodnoty /srovnatelné s velikostí výstupního odporu směřovače, viz dále/, je vhodné při stanovení hodnoty R vyjít rovnou z mezního stavu $R_k = 0$ /zkrat na sběrnici/. Aby platilo

$$r_{vst} \geq 10r_o, \text{ musíme volit } R \text{ z podmínky}$$

$$R \geq 10R_o \frac{s+1}{s} \quad /13/$$

Skutečnou hodnotu R volíme vždy nejbližší vyšší z řady, což ovšem může být podstatně výše, než minimální hodnota požadovaná výpočtem. Proto teprve podle skutečné hodnoty R ze vztahu /8b/ spočítáme R_o a zjistíme skutečnou hodnotu $s = R/R_o$. Postup bude v závěru článku ilustrován příklady./

Důležitým parametrem, potřebným pro stanovení úrovnového diagramu celého směšovače a návrh dalších obvodů, je tzv. základní přenos, definovaný pro případ jednoho regulátoru s běžcem "nahoru". Zajímáme se o minimální hodnotu tohoto přenosu, která nastává pro polohy běžců ostatních regulátorů "dole". Pak je zatěžovací odpor vpravo od bodu A minimální, rovný u nezatiženého regulátoru r' .

Situaci dokumentuje obr.5. Naprázdno bude základní přenos směšovače

$$o_{kpz} = \frac{s}{sn/R_o + 1 + r_o/n - 1} \quad /14a/$$

Je zřejmé, že při volbě R dle podmínky /12/ lze v praxi použít přibližného vztahu, který z /14a/ vznikne dosazením $r_o = 0$.

$$o_{kpz} = \frac{1}{n} \quad /14b/$$

Základní přenos naprázdno se připojením zakončovacího odporu R_k pochopitelně sníží. Pokud R_k nebude alespoň desetinásobně větší než výstupní odpor směšovače /viz dále/, je třeba základní přenos směšovače počítat ze vztahu

$$k_{kpz} = \frac{sk}{s/s + kn/R_o + 1 + r_o [s + k/n - 1]} \quad /15a/$$

V praxi ovšem zcela vyhoví přibližný výraz pro $r_o = 0$

$$k_{kpz} = \frac{k}{s + kn} \quad /15b/$$

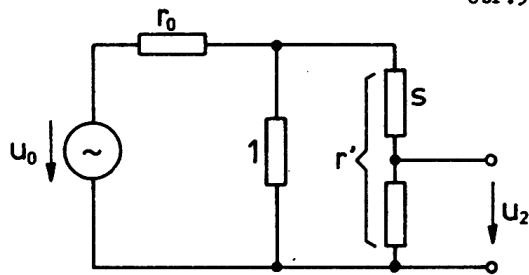
S klesajícím k se zmenšuje vzájemné ovlivňování regulátorů. Připojíme-li tedy ke sběrnici odpor R_k , bude skutečná velikost ϵ menší, než jsme v zadání požadovali. Tento příznivý vliv je ovšem v protikladu s vlivem R_k na přenos. V praxi se sběrnici snažíme zatěžovat co nejméně s výjimkou speciálních případů, kdy s odporem R_k počítáme od začátku /viz dále/.

Ptáme-li se, jak velkým odporem R_k , resp. v normovaném tvaru k je třeba směšovač zatížit, aby výsledný přenos měl hodnotu k_{kpz} , využijeme k výpočtu vzorec

$$k = \frac{s [r_o - s/r_o + 1]}{n/2r_o + 1 - \frac{k_{kpz} + s}{k_{kpz}}} \quad /16/$$



obr.5



V praxi můžeme opět počítat s nulovou hodnotou odporu r_o .

Ke stanovení přípustného zatěžovacího odporu směšovače /chceme-li, aby pracoval přibližně naprázdno/, potřebujeme znát jeho vnitřní /výstupní/ odpor, a to maximální hodnotu. Je zřejmé, že směšovač bude mít maximum vnitřního odporu pro všechny regulátory v polohách, kdy mezi běžcem a zemí každého z nich je odpor $1 + r_o/2$. To také je případ maximálních vnitřních odporů jednotlivých regulátorů $r_{vst.max}$ dle vztahu /1/.

Z hlediska výstupu směšovače půjde celkem o n paralelně spojených odporů

$$s + r_{vst.max}. \text{ Výsledný vztah: } r_{vst.max} = \frac{4s + 1 + r_o}{4n} \quad /17/$$

Požadujeme-li tedy, aby směšovač pracoval přibližně naprázdno, je třeba zatěžovací odpor /výstupní odpor zesilovače za sběrnici/ volit z podmínky

$$R_z \geq \frac{2,5/4R_o + R + R_o/n}{n} \quad /18/$$

Pro některé účely se můžeme zajímat též o minimální hodnotu výstupního odporu, kterou lze bez obtíží stanovit jako n paralelně spojených odporů s :

$$r_{vst.min} = \frac{s}{n} \quad /19/$$

U stereofonních směšovacích pultů, pokud je chceme vybavit přepínačem mono/stereo, se setkáme s analogickými problémy jako u stereofonních zesilovačů /viz Informace ÚR květen 1978/. Tam jsme ovšem, abychom nepřetížili předchozí stupně, museli zařazovat do cesty signálu oddělovací odpory. Když navrhujeme směšovač s respektováním vlivu R_k , není oddělovací odpor potřebný. Vliv k R_k respektujeme nejjednodušeji návrhem R_k pro zkratovanou sběrnici. Pak v žádném případě směšovač nezatíží zdroje signálu nežádoucím způsobem. Celý směšovač, resp. dvě jeho samostatné větve pro levý a pravý kanál, si můžeme znázornit podle obr.6. Obecně je

$$r_{vst.L} \neq r_{vst.P}$$

S vyhovující přesností však můžeme oba vnitřní odpory považovat za shodné, rovné průměrnému výstupnímu odporu

$$sr_v = \frac{r_{vst.max} + r_{vst.min}}{2}$$

Po dosazení ze vztahů /17/ a /19/ dojdeme k výsledku

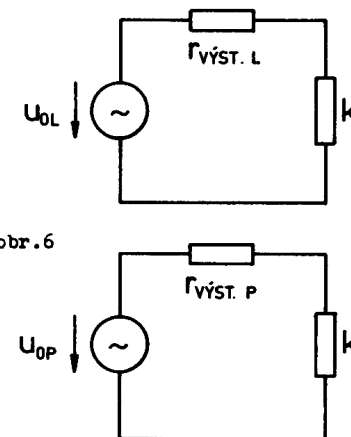
$$sr_v = \frac{8s + 1 + r_o}{8n} \quad /20/$$

Situaci po přepnutí na monofonní provoz /propojené sběrnice/ ukazuje obr.7, kreslený z hlediska směšovače levého kanálu. Bude-li k dostatečně velké $/k \geq 10r_{vst.max}/$,

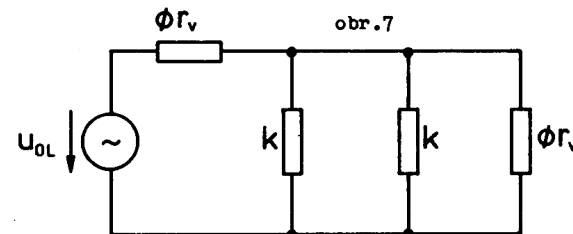
je zřejmé, že po spojení sběrnice poklesne původní přenos směšovače o_{kpz}



obr.6



obr.7



na polovinu. Chceme-li tomuto jevu zabránit, je třeba při monofonním provozu zakončit obě sběrnice takovými /shodnými/ odpory, aby byl přenos rovněž $0_{K_{pz}}/2$.

Lze dokázat, že tyto odpory musí mít hodnotu v normovaném tvaru

$$k_{mono} = \frac{8s + 1 + r_o}{8n} \quad /22/$$

v absolutním tvaru

$$R_{k mono} = \frac{8R_s + R + R_o}{8n} \quad /23/$$

Zdůrazňujeme, že tento výsledek platí, je-li vstupní odpor následujících stupňů alespoň desetinasobný proti $r_{výst max}$.

Budeme-li z nějakého důvodu požadovat, aby i při stereofonním provozu byla sběrnice zakončena odporem, srovnatelným s velikostí $r_{výst.max}$, pak je třeba počítat pomocné zatěžovací odpory $R_{k mono}$ ze vztahu

$$R_{k mono} = R_{k stereo} \frac{8R_s + R + R_o}{8/R_s + nR_{k stereo} + R + R_o} \quad /24/$$

Zapojení přepínače mono/stereo je naznačeno na obr.8.

Předchozí text obsahoval všechny vztahy, potřebné pro návrh směřovačích obvodů. Pro přehlednost shrneme postup návrhu do několika kroků s uvedením vzorců v praktické podobě, tj. většinou pro $r_o = 0$.

Zadanými parametry jsou zpravidla

- počet vstupů n
- míra ovlivnění přenosu ε
- vnitřní odpory vstupních zesilovačů R_o

Někdy už je navíc předem dán zatěžovací odpor sběrnice R_z/R_k .

U stereofonních směšovačů je třeba ještě rozhodnout, zda v případě požadavku na spínání sběrnic chceme vyloučit pokles úrovně.

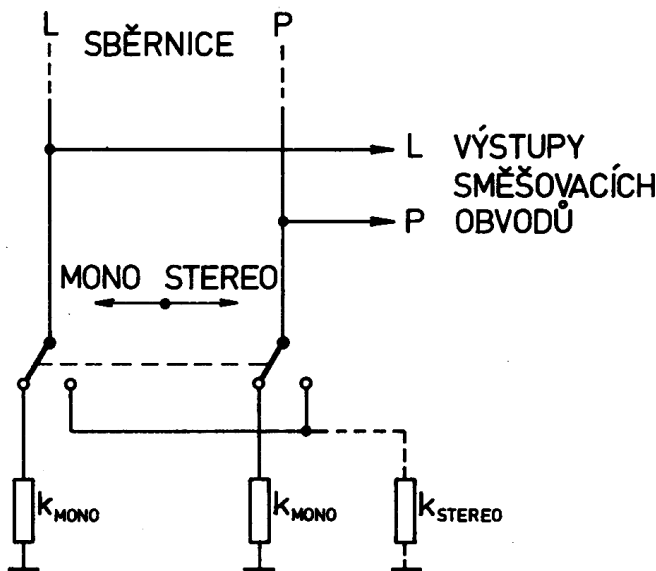
S c h é m a p o s t u p u :

1. Spočítat teoretickou hodnotu

$$s_f = \frac{\varepsilon/n - 1/}{4n/1 - \varepsilon/}$$



obr.8



2. Spočítat teoretickou hodnotu odporu regulačního potenciometru

$${}^oR_f = 10R_o \frac{s_f + 1 - 1/n}{s_f}$$

při nezatížené sběrnici

$${}^zR_f = 10R_o \frac{s_f + 1}{s_f}$$

zatížená sběrnice /mezní případ zkratu/

3. Zvolit skutečnou hodnotu odporu regulátoru $R \geq R_f$

4. Spočítat $R_{s_f} = s_f R$ a zvolit skutečnou hodnotu oddělovacích odporů $R_s \geq R_{s_f}$

5. Dále ve výpočtech uvažovat skutečnou hodnotu normovaného odporu $s = R_s/R$

6. Spočítat maximální výstupní odpor $r_{výst.max} = \frac{4s + 1}{4n}$

a buď stanovit přípustný zatěžovací odpor sběrnice

$$R_z \geq 2,5 \frac{4R_s + R}{n}$$

nebo vliv daného /menšího/ R_z v dalších krocích uvažovat

7. Vyčíslit základní přenos směšovače

v případě naprázdno

s vlivem R_z

$${}^oK_{pz} = \frac{1}{n}$$

$${}^kK_{pz} = \frac{k}{s + kn}$$

Poznámka: Podrobnosti řešení stereofonního směšovače /přepínání mono/stereo/ uvedeme v příkladu.

P ř í k l a d 1

K sestavení směšovače o čtyřech vstupech máme k dispozici vstupní zesilovače s přípustným zatěžovacím odporem $10 \text{ k}\Omega$ /tj. $R_o = 1 \text{ k}\Omega$. Směšovač bude monofonní. Úrovnový zesilovač za sběrnici budeme navrhovat až po výpočtu směšovače, takže jeho vstupní odpor $/R_s/$ můžeme volit v souladu s požadavkem činnosti směšovače naprázdno. Pult chceme nasadit v náročnějším provozu, proto požadujeme odchylku úrovně při regulaci nanejvýš 2 dB. Tomu odpovídá hodnota $\varepsilon = 0,8$.

Ř e š e n í :

$$1. \quad s_f = \frac{0,8/4 - 1/}{4,4/1 - 0,8/} = 0,75$$

$$2. \quad {}^oR_f = 10,1 \frac{0,75 + 1 - 1/4}{0,75} = 20 \text{ k}\Omega$$

$$3. \quad \text{V konfrontaci s nabídkou trhu volíme } {}^oR = 50 \text{ k}\Omega$$

$$4. \quad R_{s_f} = 0,75 \cdot 50 = 37,5 \text{ k}\Omega, \text{ zvolíme } R_s = 39 \text{ k}\Omega$$

$$5. \quad \text{Skutečná hodnota normovaného odporu } s = 39/50 = 0,78$$

$$6. \quad \text{Přípustný zatěžovací odpor } R_z \geq 2,5 \frac{4 \cdot 39 + 50}{4} = 330 \text{ k}\Omega$$

To je hodnota, jejíž dodržení by nemělo v praxi činit potíže. Kdyby návrh dalších odvodů směšovačského pultu ukazoval, že R_z bude muset být značně menší než zjištěná hodnota, nic se neděje, jen bude třeba se vrátit a prověřit volbu R ze vztahu pro zR_f a nadále hodnotu R_z respektovat /pak bude $k = R_o/R$. V intencích zadání nadále předpokládáme, že požadavek na R_z bude splněn.

7. Základní přenos směšovače $^0K_{pz} = 1/4 = 0,25$;
to odpovídá - 12 dB



P ř í k l a d 2

Pro domácí fonoomatérské pracoviště konstruuje stereo-
fonní směšovací pult se třemi stereofonními /tedy 6 mono-
fonními/ vstupy.

Pult bude vybaven přepínačem mono/stereo a požadujeme, aby při přepínání
nekolísala výstupní úroveň. Spokojíme se s ovlivňováním regulátorem 3 dB
/ $\varepsilon = 0,7$ /. Vstupní zesilovače mají výstupní odpory 200 Ω /0,2 k Ω /.

$$1. s_f = \frac{0,7/3 - 1/4}{4,3/1 - 0,7/} = 0,39$$

$$2. z_{R_f} = 10,0,2 \frac{0,39 + 1}{0,39} = 7,1 \text{ k}\Omega$$

$$3. \text{Volíme } z_R = 10 \text{ k}\Omega$$

$$4. R_{s_f} = 0,39 \cdot 10 = 3,9 \text{ k}\Omega, \text{ zvolíme } R_s = 3,9 \text{ k}\Omega$$

$$5. \text{Skutečná hodnota } s \text{ vychází náhodně } s = s_f = 0,39$$

Budeme předpokládat, že vstupní odpor obvodů za směšovačem má takovou
velikost, že směšovač, zakončený odporem R_k , bude pracovat naprázdno.

Potom se R_k mono počítá ze vztahu /23/, ve kterém v praxi můžeme uvažo-
vat $R_o = 0$.

$$R_k \text{ mono} = \frac{8R_s + R}{8s} = \frac{8 \cdot 3,9 + 10}{8 \cdot 0,39} = 1,7 \text{ k}\Omega$$

Zvolíme nejbližší hodnotu z řady, tj. 1,8 k Ω . V normovaném tvaru

$$k_{\text{mono}} = R_k/R = 1,8/10 = 0,18$$

6. Největší výstupní odpor směšovače bude roven výsledné hodnotě paralelně
spojených odporů /v normovaném tvaru/ $r_{\text{výst.max}}$ a k

$$r_{\text{výst.max}} = \frac{4s + 1}{4n} = \frac{4 \cdot 0,39 + 1}{4 \cdot 3} = 0,21$$

$$r_{\text{výst.max}}/k = \frac{0,21 \cdot 0,18}{0,21 + 0,18} = \text{výsledný odpor: } R_{\text{výst.max.}} = 0,1R = 1 \text{ k}\Omega$$

Směšovač můžeme zatěžovat odpory od cca 10 k Ω výše /desetinásobek
 $R_{\text{výst.max.}}$ /. Protože ale při stereofonním provozu jsou vstupy dalších
obvodů pultu vzájemně spojeny, musí být odpor každého
z nich dvojnásobný, tj. alespoň 20 k Ω .

7. Základní přenos se zátěží k /shodný pro monofonní i stereofonní provoz/

$$k_{K_{pz}} = \frac{0,18}{0,39 + 0,18,3} = 0,19; \text{ to odpovídá } -14,5 \text{ dB.}$$

oooooooooooooooooooooooooooo
S O U Č A S N Ý
S T A V
K V A D R O F O N I E
oooooooooooooooooooooooooooo

Při shromáždění poznámek pro disku-
si o současném stavu kvadrofonie se uká-
zalo, že se nelze vyhnout otázkám širší
souvislosti s vývojem a účelem reproduk-
ce zvuku v bytových podmínkách. Při ome-
zení kvadrofonie na pouhý technický pro-
středek reprodukce hudby, zejména v čis-
tě spotřebitelském smyslu, bychom byli