

Fyziologický regulátor hlasitosti

Vyřešit problém regulace hlasitosti musí vyřešit každý, kdo se rozhodne pro vlastní konstrukci řídicího zesilovače. V této souvislosti pak musí najít odpověď na řadu otázek. Nejdříve, zda použít fyziologický regulátor vůbec, když ano, pak jaký a nakonec je nutno vyřešit otázku jak, která v sobě skrývá realizační problémy.

Přestože tyto otázky byly již v naší literatuře probrány a zodpovězeny, vynořují se periodicky znovu. Důvodem snad je, že ne vždy byly zodpovězeny zřetelně a úplně. Vlastnosti praktických konstrukcí se pak mnohdy pohybují buď na hranici iluze nebo způsobují absenci středních kmitočtů. Takové výsledky pak pochopitelně vyvolávají negující projevy, které mohou jít tak daleko [1], že i sám [2] byl nucen naostřit pero, aby uvedl věci na pravou míru.

Tedy - fyziologický regulátor ano. Důkazy pro toto

tvrzení byly podány již v koránu [3], následně ve [4, 5, 6, 7] a řadě dalších. Tamtéž je podáno i správné odvození potřebného průběhu kmitočtové kompenzace. Bohužel - uvedené praktické příklady nejsou příliš přesvědčivé.

Jsou však i otevřené otázky. V souvislosti s fyziologickým regulátorem hlasitosti se vždy zdůrazňuje nutnost použití lineárního regulátoru, sloužícího ke správnému nastavení pracovní úrovně. Osobně jsem schopen změřit si citlivost reproduktorových soustav a mám k dispozici hlukoměr. Byl bych tedy schopen objektivně nastavit, event. pro danou místnost i oceňovat lineární regulátor tak, aby činnost fyziologického regulátoru byla optimální. Potřeboval bych však k tomu alespoň dva drobné údaje. Na etiketě desky by musela být uvedena střední hladina akustického tlaku, při které byla nahrávka pořízena a to pokud možno v místě optimálního poslechu a dále údaj, kam do

dynamického rozsahu desky byla tato hladina umístěna. Pak bych třeba mohl konstruovat fyziologický regulátor jako výměnnou jednotku, protože pro každou střední hladinu přece potřebuji jiné korekce.

S ostatními zdroji signálu jsou problémy podobné. Pracovníci rozhlasu by to skutečně neměli lehké, kdyby museli sestavovat své hudební bloky i s ohledem na tento požadavek.

Stačí. Žádný normální člověk nebude ochoten výše popsanou činnost provádět, ani kdyby potřebné údaje i vybavení měl. Protože je nemá, je problém neřešitelný. Lze jej zjednodušit na prosté nastavení napěťové úrovně, jak je uvedeno v [5]? Vždyť na přibližně stejnou napěťovou úroveň jsou srovnány všechny nahrávky, z důvodů optimálního využití dynamického rozsahu záznamového nosiče. A často jsou srovnány tak, že v závislosti na dynamice "jezdí" orchestr dozadu a dopředu, což mně osobně vadí mnohem víc, než zde diskutované problémy. Hledejme tedy řešení.

Ve [2] je uvedeno, že vztažná poslechová úroveň leží optimálně v rozmezí 85 až 95 dB. Všechny žánry se pochopitelně do optimálního rozsahu nevejdou, takže pro následující úvahy vezmeme rozmezí 80 až 100 dB. Pro tyto dva mezní stavy definujeme potřebné velikosti fyziologické korekce. Použijeme křivky stejné hlasitosti dle Stevensa, uvedené formou grafu i tabulky v [5]. Tyto jsou novější a reprezentativnější než běžně používané křivky Fletcher-Munsonovy a rozdíly mezi těmito dvěma doporučeními nejsou tak velké, aby vyvolaly diskuse zásadního rázu. Potřebná velikost fyziologické korekce v dB je pro diskretní hodnoty úrovně a kmitočtu uvedena v tab. 1 pro referenční úroveň $P = 100$ dB a v tab. 2 pro referenční úroveň $P = 80$ dB. V tabulce 3 je uveden poloviční rozdíl mezi hodnotami potřebných korekcí dle tab. 1 a 2 v závislosti na relativním zeslabení a kmitočtu.

Tab. 1

P [dB]	f [Hz]				
	20	30	50	100	200
100	0	0	0	0	0
90	3,2	2,3	1	0	0
80	6,4	4,5	2,1	0	0
70	10,6	8	4,6	1,3	0,7
60	15,6	12,4	8,1	3,7	1,9
50	20,6	16,7	11,6	6	3
40	25,6	21	15,1	8,4	4,2

Hodnoty uvedené v tab. 3 nám tedy v toleranci setin dB udávají velikost chyby fyziologické korekce, kterou způsobíme fyziologickým regulátorem navrženým pro referenční úroveň 90 dB, když jej použijeme pro úrovně 80 nebo 100 dB. Vidíme, že chyba je menší než jeden limen [7] a to je příjemné zjištění. Dává nám možnost prohlásit, že z tohoto hlediska je striktní předepisování doplňujícího

lineárního regulátoru neopodstatněné a tento může být vypuštěn.

Tab. 2

P [dB]	f [Hz]				
	20	30	50	100	200
80	0	0	0	0	0
70	4,2	3,5	2,5	1,4	0,7
65	6,7	5,7	4,3	2,6	1,3
60	9,2	7,9	6	3,7	1,9
50	14,2	12,2	9,5	6	3
40	19,2	16,5	13	8,4	4,2
35	21,7	18,7	14,7	9,5	4,8
30	24,2	20,8	16,4	10,7	5,3
20	29,2	25,1	19,9	13	6,5

Tab. 3

P [dB]	f [Hz]				
	20	30	50	100	200
0	0	0	0	0	0
10	0,5	0,6	0,75	0,7	0,35
20	1,4	1,7	1,95	1,85	0,95
30	1,8	2,1	2,45	2,35	1,15
40	1,8	2,05	2,45	2,35	1,15
50	1,8	2,05	2,4	2,35	1,15
60	1,8	2,05	2,4	2,3	1,15

To však platí jen v případě, že v záznamu budou dodrženy relace mezi jednotlivými úrovněmi. Že tomu tak zdaleka není, je všeobecně známo. Mějme tedy případ, kdy úroveň 80 dB je záznamem přesunuta na hodnotu odpovídající 90 dB a úroveň 100 dB rovněž. Snadno lze odvodit, že budeme-li obě reprodukovat s úrovní 90 dB, bude absolutní hodnota chyby v obou případech opět odpovídat tab. 3. Protože známe konkrétní hodnoty, můžeme provést nastavení pomocí lineárního regulátoru. Nastavovat však musíme z původně stejných hodnot 90 dB hodnoty 80 nebo 100 dB, tedy hodnoty rozdílné. Tento příklad potvrzuje, že nastavování úrovní na hodnoty stejné nelze obecně použít. Zároveň však vidíme, že pokud vztažná poslechová úroveň souhlasí s referenční úrovní fyziologického regulátoru v tolerančním poli ± 10 dB, můžeme považovat fyziologickou korekci za správnou.

Podstata problému zřejmě spočívá jinde. Nalézt ji můžeme rozбором úrovniového diagramu zesilovače. Typicky je sestaven tak, že jmenovité výstupní napětí předzesilovače je totožné s napětím, odpovídající střední poslechové úrovni a nezakreslený přenos modulačních špiček je zajištěn přebuditelností.

Jmenovitá vstupní citlivost koncového stupně pro plně vybuzení obvykle odpovídá jmenovitému výstupnímu napětí přezesilovače, takže na jeho výstupu nemáme výkon odpovídající střední poslechové úrovni, ale nebýt limitace hodnotu přibližně o 20 dB vyšší. K nastavení požadované úrovně použijeme samozřejmě regulátor hlasitosti a vše je jasné. Bude-li pomocný, lineární, nastavíme jím přibližně správné pracovní podmínky pro regulátor fyziologický. Není-li k dispozici a provedeme-li totéž regulátorem fyziologickým, zavedeme chybu fyziologické korekce. Její velikost můžeme podle referenční úrovně odečíst v tab. 1 nebo 2. Např. pro kmitočet 30 Hz a úroveň o 20 dB nižší než referenční jde o hodnoty 4,5, resp. 7,9 dB a to již rozhodně zanedbatelné není. Je to ovšem typický případ provozního nastavení.

Úroňový diagram má být sestaven tak, aby na rozhraních, sloužících k vnějším propojením byly úrovně odpovídající normám. Již v [8] bylo na praktických problémech ukázáno, že z hlediska normotvorné činnosti není zdaleka vše dořešeno. V tomto případě nás norma zavede přímo k výše popsanému stavu, protože parametry, které jsou nazývány jmenovité jsou pro stupně vstupní definovány jinak, než pro stupně koncové. Lineární regulátor tedy potřebujeme výlučně k odstranění uvedené disproporce.

Realizace lineárního regulátoru není jednoduchá. Vždyť prostý požadavek shodnosti kanálů vylučuje použití potenciometrů pro regulaci čehokoliv. Proto bylo výše definováno povolené toleranční pole nastavení referenční úrovně. Problém je pak snadno řešitelný vypínatelným útlumovým článkem. Hodnota útlumu bude typicky okolo 20 dB a shodnost kanálů lze zajistit párováním součástek. Navíc, na rozdíl od potenciometru, lze útlumovým článkem snadno realizovat požadavek konstantního výstupního event. i vstupního odporu, což se příznivě promítá jak při návrhu zesilovače, tak i v dosažených parametrech.

Funkce fyziologického regulátoru hlasitosti spočívá v tom, že udržuje subjektivně konstantní kmitočtovou charakteristiku v celém průběhu regulace. Přitom je lhostejné, jaký průběh tato charakteristika má, protože se uplatňují vlivy chtěných i nechtěných korekcí, takže výchozím stavem vůbec nemusí být přímka. Při regulaci však nesmí posluchač registrovat její změnu. Z toho vyplývá, že by bylo možno i tolerovat absolutní velikost chyby fyziologické korekce. Nejdůležitějším parametrem je dodržení správných fyziologických relací mezi jednotlivými polohami regulátoru.

Na tomto základě lze již definovat technické požadavky pro vlastní návrh obvodů regulátoru.

Regulátor bude řešen pomocí přepínače. Není jiný způsob, jak dlouhodobě zajistit spolehlivost, souběh a stálost parametrů. Elektronická řešení jsou známá, jsou nesporně perspektivní, avšak dosud je nutno počítat se zhoršením odstupu hluku, zvětšením zkreslení, omezeným dynamickým rozsahem apod.

Regulační rozsah 60 dB je plně vyhovující. Rozdíly mezi sousedními diskrétními hodnotami útlumu nemá smysl zmenšovat pod práh rozpoznatelnosti. Regulace ve stupních 3 dB je optimální, protože je

zřetelná a přitom dostatečně jemná. Stejně rozdíly mezi stupni však ještě nezaručují stejnou subjektivní změnu hlasitosti. Citlivost ucha není přesně logaritmická a vzniklou chybu je třeba korigovat, měli byt regulátor fyziologický i z tohoto hlediska. Ověřeným řešením je zmenšení stupňů v horní části regulátoru na 2 dB.

Požadavky na kmitočtový průběh fyziologické kompenzace v oblasti nízkých kmitočtů jsou znázorněny v tab. 4. Potřebnou směrnici nelze realizovat jedním článkem a můžeme proto prohlásit, že všechny regulátory, používající jediný korekční člen, zapojený na odbočku, jsou navrženy chybně. Další chyba vzniká tím, že pod odbočkou, směrem k maximálnímu útlumu se směrnice již nemění. Tato chyba má hodnotu přes 10 dB a je závislá na poloze odbočky.

Tab. 4

P [dB]	f [Hz]				
	20	30	50	100	200
90	0	0	0	0	0
80	3,2	2,2	1,1	0	0
70	7,4	5,7	3,6	1,4	0,7
60	12,4	10,1	7,1	3,7	1,9
50	17,4	14,4	10,6	6	3
40	22,4	18,7	14,1	8,4	4,2
30	27,4	23	17,5	10,7	5,3

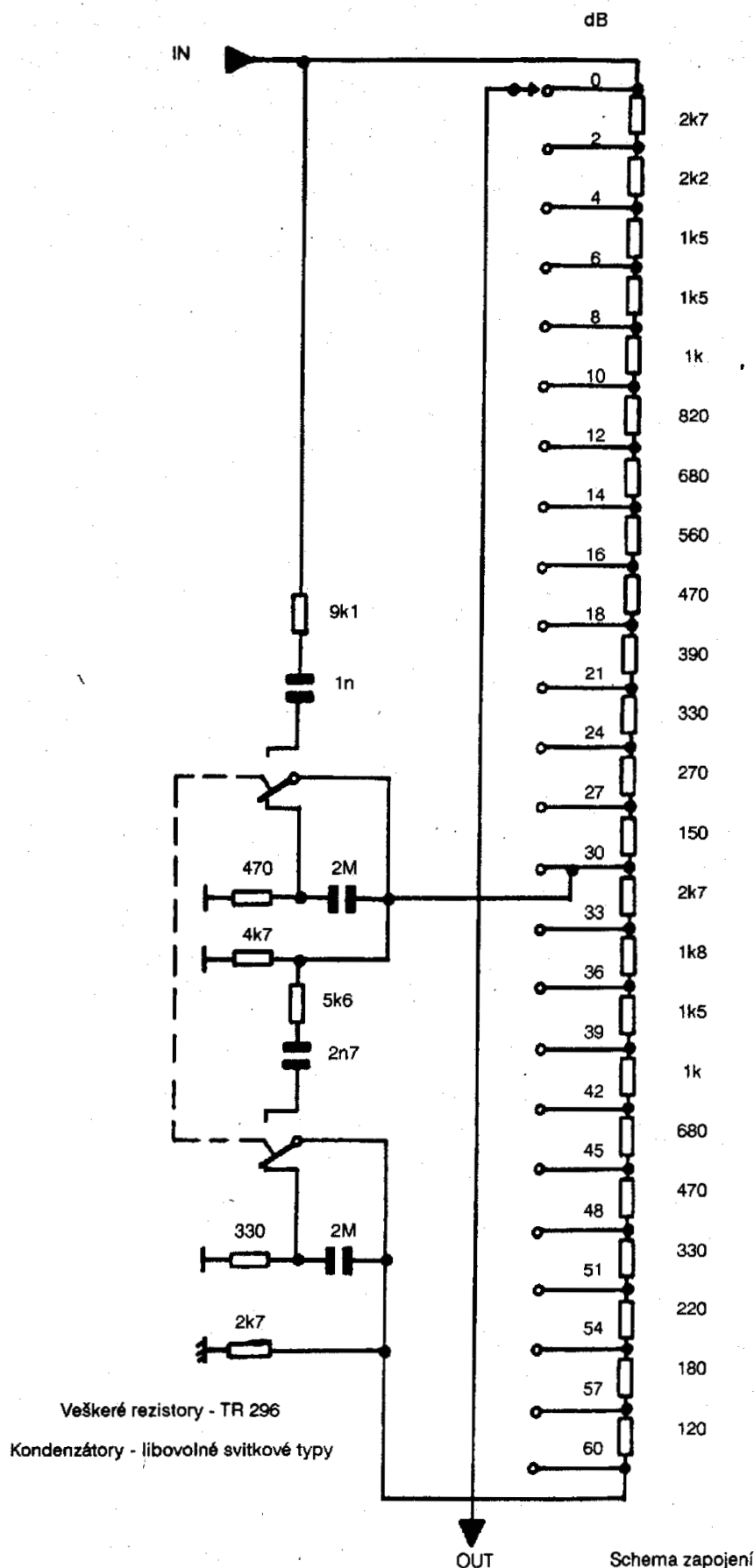
Minimálně jsou potřebné dva korekční články. Při správné konfiguraci a dimenzování lze požadavky tab. 4 aproximovat s přesností 1 limen. Použití většího počtu korekčních článků je tedy neopodstatněné.

Potřeba korekce vysokých kmitočtů sice z fyziologických křivek nevyplyvá, lze ji však doporučit jako velice příjemnou, protože tlumení poslechových místností je obvykle kmitočtově závislé.

Schéma zapojení jednoho kanálu fyziologického regulátoru, navrženého podle výše uvedených požadavků je na obr. 1. Přepínač je realizován 24 polohovým radičem. Jeho běžec má při přepínání zkratovat sousední polohy, aby nedocházelo k přerušování výstupního obvodu. Regulace působí naprosto plynulým dojmem. Požadavky na samočisticí schopnost kontaktů jsou vysoké. Není všeobecně známo, že spolehlivost kontaktů, udávaná počtem sepnutí, závisí nejen na maximálním, ale i na minimálním proudu procházejícím kontaktem. Přitom se o tom již přesvědčil každý, kdo použil např. běžné páčkové přepínače k přepínání vstupů.

U jednotlivých stupňů jsou vyznačeny hodnoty útlumu. Tyto samozřejmě platí v režimu, pro který je regulátor navržen, tj. bez zátěže běžce. V rozsahu 0 až 18 dB jsou voleny stupně 2 dB, směrem k vyšším hodnotám útlumu jsou stupně o velikosti 3 dB.

Korekční články jsou vypínatelné, aby regulátor



Veškeré rezistory - TR 296

Kondenzátory - libovolné svítkové typy

bylo možno využít i k přepisu nahrávek a podobným účelům. Přepínač je kreslen v poloze vypnuté korekce.

Impedančně je regulátor dimenzován tak, aby šumový příspěvek

jeho výstupního odporu byl zanedbatelný, korekční články snadno realizovatelné pomocí nepříliš rozměrných kondenzátorů a celek byl realizovatelný pomocí normalizovaných hodnot součástek s minimální chybou, vzniklou za-

okrouhlením vypočítaných hodnot.

Pěti a víceletý provoz řady realizovaných kusů dosud přináší výlučně příznivé reference.

Nastává pouze problém vhodného řadiče. Původní konstrukce byla realizována amatérsky. Mechanika řadiče byla použita částečně z německých tandemových potenciometrů, místo odporových drah byl tištěný spoj s příslušnými kontaktními ploškami tvrdě pozlacený. Celek byl v plechové skřínce doplněn o mechanickou rohatkovou aretaci, která zajišťovala "skokový" chod regulátoru. Toto řešení však vyžaduje zvláštní nároky na strojní vybavení amatéra vzhledem ke značné náročnosti na přesnost při výrobě. A tak asi jediným dostupným řešením je použít prastarý otočný 26-ti polohový řadič 3AN558, který dříve používala a vyráběla TESLA Vráble pro studiové a profesionální zvukové zařízení. Z aretačního dílu vyndáme aretační rolničky. Řadič získá "měkký" a příjemný chod. Pro naši potřebu stačí dvoupaketové uspořádání. Odporů napájíme mezi jednotlivá pájecí oka v pořadí hodnot podle schématu. Obvody fyziologické regulace osadíme na desku plošného spoje, kterou navrhne podle požadavku na montáž. Jako přepínač použijeme přepínací tlačítko ISOSTAT, které zapájíme přímo do destičky spoje a tím vyřešíme její upevnění - tlačítko přišroubujeme na panel a destičku "prodrátujeme" s řadičem. Pozor - spoje ať jsou co možná nejkratší. Jejich stínění není nutné.

Pro řadič je možno použít i dovozové přepínače např. firmy ALPS, ale jejich ceny jsou velmi vysoké - okolo 50 DM. Sortiment je dosti široké - jedinou podmínkou je 26 poloh a plynulý přechod kontaktů v mezipolohách.

A výsledek - zaručujeme Vám, že poslechem budete příjemně překvapeni.

František Moskala

Literatura:

- [1] Kuchař: Fyziologie - radšej nie? ST 2/84
- [2] Smetana: Fyziologie - ano či ne? ST 7/84
- [3] Lukeš: Věrný zvuk
- [4] Kovařík - Smetana: Korektory
- [5] LX: Má fyziologická regulace oprávnění? ARA 3/79
- [6] Smetana: Praktická elektroakustika
- [7] Havlíček: Ročenka ST 83
- [8] Moskala: Odstup nežádoucích produktů ... AA