

Poznámka k článku „Nf výkonový zesilovač HQZ1100” z AR A9/1995

Zdá se, že mýtus o ultrajednoduchém výkonovém zesilovači dokonalých parametrů je stejně nevymýtitelný jako mýtus o superminiaturní a supraziskové anténě [1]. Asi je to dobře. Středověcí konstruktéři strojů s účinností přes sto procent to také nikdy nevzdali, a i když ve věci samé příliš neuspěli, získali mnoho cenných zkušeností. Třeba tyto řádky přispějí k tomu, aby to potkalo i autora komentovaného článku.

Překreslíme-li schema do přehlednější podoby (obr. 1, obr. 2a) zjistíme, že jde o můstkové zapojení označované v anglosaské literatuře zkratkou FBA (*floating bridge amplifier*). Poprvé se, pokud vím, objevilo v [2], tehdy z nedostatku výkonových tranzistorů se závěrným napětím potřebným pro výkony nad 60 W. Zapojení se však neujalo, neboť sériovým řazením koncových tranzistorů (obr. 2b) lze dosáhnout stejného efektu pokud jde o napěťové resp. proudové namáhání výkonových prvků. Sériové uspořádání má však menší zkreslení a lze v něm snadno zavést klidový proud, čímž se linearita ještě zlepšší. Také ochrana proti zkratu na výstupu vychází obvodově jednodušší. Navíc, zesilovač je přehlednější a snáze se v něm měří.

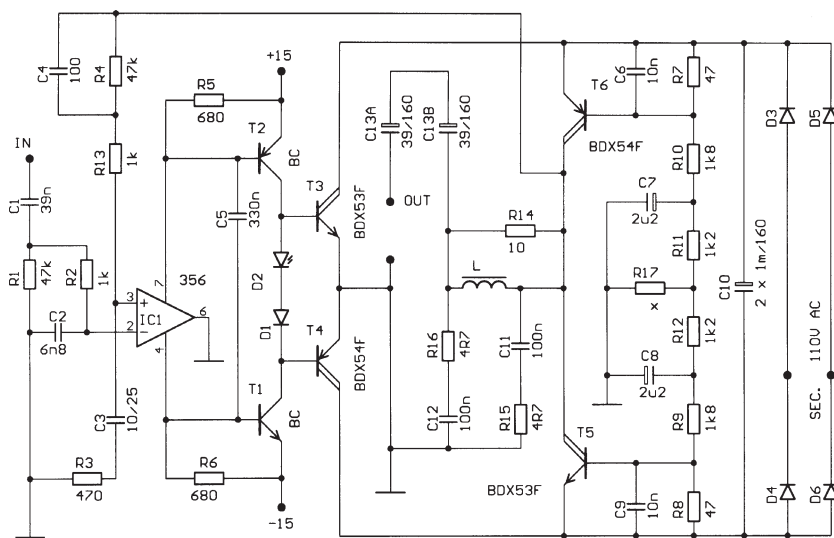
Dokonce ani autorem zdůrazňované „hledisko bezpečnosti pracovníků při výrobě a opravách” neutrpí újmou - maximální stejnosměrné napětí je také 150 V proti zemi. Několik zesilovačů s podobnou topologií (obr. 3) jsem postavil v roce 1981 pro divadlo J. Průchy, kde pokud vím hrají dodnes. Záměrem o prokopávání slepých uliček mohu poskytnout i návrh plošného spoje. Nápadně podobné zesilovače ostatně koncem osmdesátých let vyráběl Alan Kraus.

Pokud jde o „floating bridge” (což neznamena pontonový most, jak by se mohlo zdát podle anglicko-českého elektrotechnického a elektronického slovníku - viz pozn.1), několik zajímavých zapojení může čtenář s archeologickými sklony najít v [3], kde kromě výkonné verze pro hudební soubory a zesilovače do auta s napájením 12 V, je i z obvodového hlediska zajímavá varianta (*bridged bridge*), která umožňuje dosáhnout na zátěži dokonce čtyřnásobku napájecího napětí. Ale zpět do současnosti.

Způsobem navázání monolitického OZ ke koncovému stupni naznačeným na obr. 4 lze dosáhnout mnohem vyšší mezní rychlosti změny výstupního napětí (*slew rate*), než jakou má použitý OZ, přitom ostatní parametry, včetně jeho linearity, zůstanou v podstatě zachovány. Pro buzení výkonových fetů, nebo pro větší výkony je výhodnější, pokud vím dosud nepublikovaná, topologie podle obr. 5, která umožňuje zdvojnásobit příčný proud rozkmitovým stupněm.

S tvrzením autora článku v AR, že přechodové zkreslení čisté B třídy ne-

vadí, neboť prý je dokonale (!) maskováno užitečnou informací - snad ani není nutné polemizovat. V té souvislosti mi napadají dva mechanismy, kterými uvedený dojem mohl vzniknout. Jednak je možné, že pan Holčák velmi špatně slyší. Pak bych doporučoval návštěvu u odborného lékaře. Druhé, z našeho hlediska zajímavější vysvětlení se nabízí při pohledu na okolí MAB356 na spojové desce. Tento obvod je totiž v zapojení s uzemněným výstupem náchylný oscilovat, podle parazitních kapacit, někdy i na velmi vysokých kmitočtech. Zde má navíc při průchodu signálu nulou efektivně rozpojenou smyčku zpětné vazby (T3 i T4 jsou uzavřeny), takže pravděpodobnost, že kmitá, se mi zdá vysoká. Pro vyšetřování stability uzavřené operační sítě je nejlepší pomůckou (snad s výjimkou dobrého osciloskopu) monografie [6], zejména stránky 400 až 449.



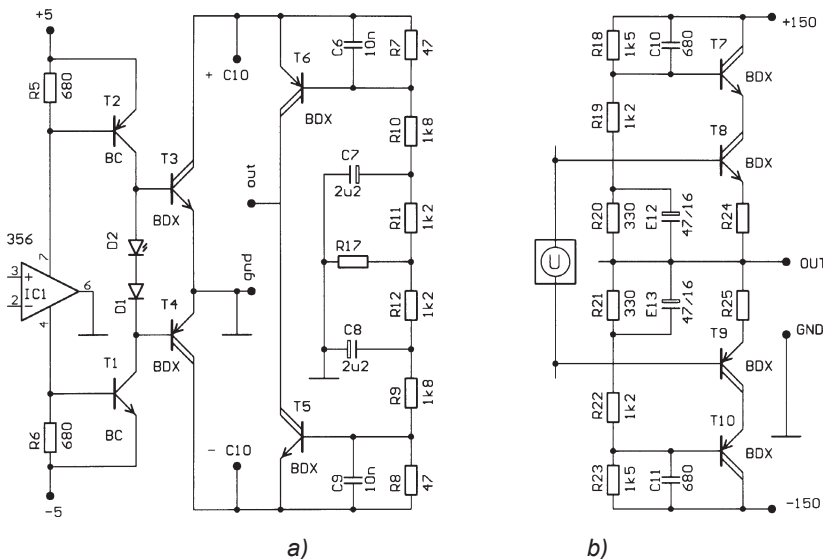
Obr. 1. Schéma zesilovače HQZ1100

Pozn. 1: Zmíněný anglicko-český a česko-anglický elektrotechnický a elektronický slovník vyšel nedávno podruhé. V prvním vydání z roku 1982 byla předmluva, vybízející čtenáře ke kritickým připomínkám, jakožto „vítané pomoci do další práce”. Napsal jsem tehdy paní redaktorce Malinové dopis s řadou připomínek a nabídkou několika novějších anglických textů a časopisů k excerpci. Nereagovala na něj ani ze slušnosti. Se zájmem jsem tedy nahlédl do nového vydání a zjistil, že za leta pilné práce změnil slovník jen obálku, vydavatele a cenu. Uvnitř zůstalo vše při starém, včetně na první pohled evidentních tiskových chyb - dokonce včetně (!) té předmluvy. Čtenářům tedy doporučuji: Kupte si ho (jiný stejně nedostanete), třeba se v příštím tisíciletí dočkáme (pro velký úspěch) třetího nezměněného vydání.

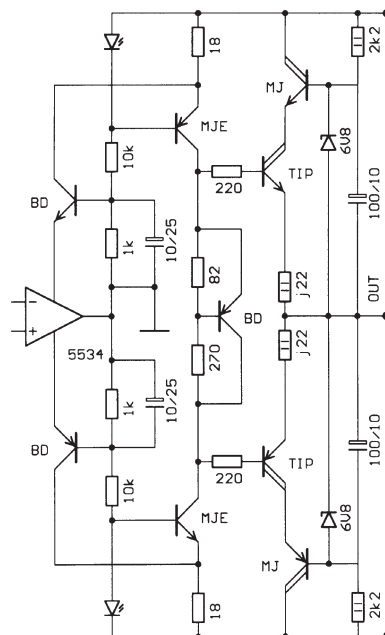
Shledávám pikantním ten fakt, že některé z pitomostí ve slovníku uvedených už za ta léta zapustily kořeny. *Isolating transformer*, například, ve slovníku přeložený jako izolační transformátor (pro začátečníky: správný překlad je oddělovací transformátor) už v naší literatuře zdomácněl a našel dokonce následovníky. Není ani příliš divu, vždyť v tomto - jediném oborovém slovníku, který u nás vyšel je *isolated* kategoricky přeloženo jako izolovaný (pro začátečníky: izolovaný se anglicky řekne *insulated*) Jímá mě hrůza při představě jak by si autoři zmíněného slovníku poradili s překladem britského sousloví *splendid isolation*.

Skutečnost, že zesilovač, který se pohybuje na mezi stability, nemá slyšitelné přechodové zkreslení ani nastavíme-li ho do čisté B třídy, je známa. V šedesátých letech byly publikovány i návody, jak tímto způsobem, analogickým s předmagnetizací u magnetického záznamu, vylepšit zvuk například oblíbeného zesilovače Kirksaetr TX500. V našem klubu (Hifklub Praha 10, blahé paměti) se tak upravovaly i zesilovače TW 40. Metodika je však choulostivá i v laboratorních podmínkách, při změně zatěžovací impedance hrozí rozkmitání a následná destrukce koncových tranzistorů, a tak ji nelze doporučit ani k domácímu použití - natož pro stovoltový rozvod.

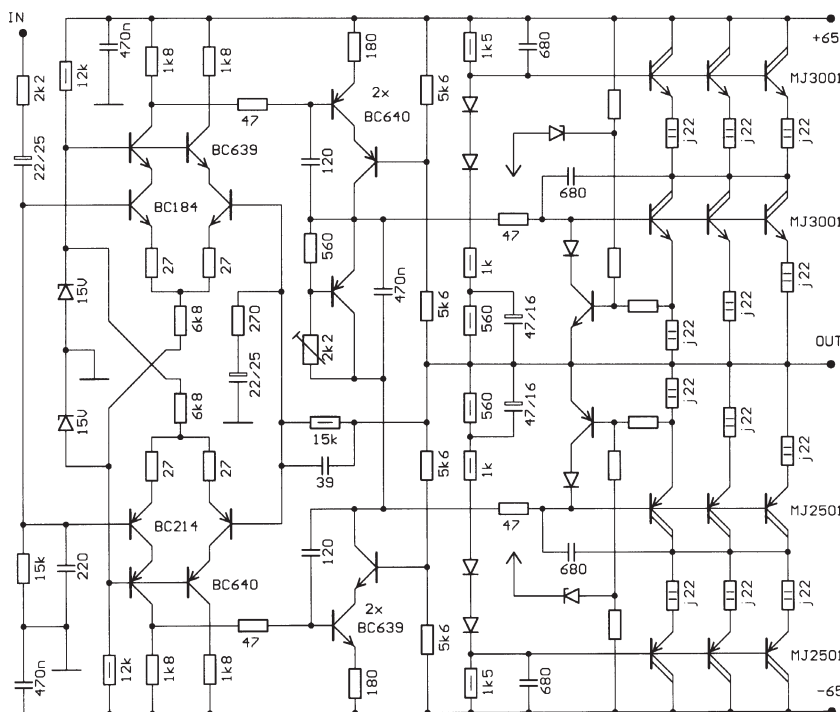
Máme-li však zesilovač, jehož kmitočtová i fázová charakteristika sahá vysoko nad akustické pásmo, je možné, a je to překvapivě účinné, přidat k užitečnému signálu asi tak volt (měřeno na výstupu) sinusového napětí vysoké frekvence ze zvláštního oscilátoru. Některé komplementární MOSfety mají tak záluďné teplotní závislosti (viz pozn. 2), že u nich stabilního „klidového proudu” jinak nelze snadno dosáhnout. Vyžaduje to však rychlé a lineární vstupní a budicí obvody, nejlépe s proudovou zpětnou vazbou a výstupní filtr zamezující pronikání vysokofrekvenčního signálu do okolí. Podrobněji o této problematice snad někdy přistě.



Obr. 2. Zjednodušené zapojení plovoucího můstku (a), sériové uspořádání výkonových tranzistorů (b)



Obr. 4. Koncový stupeň s výstupní kaskádou

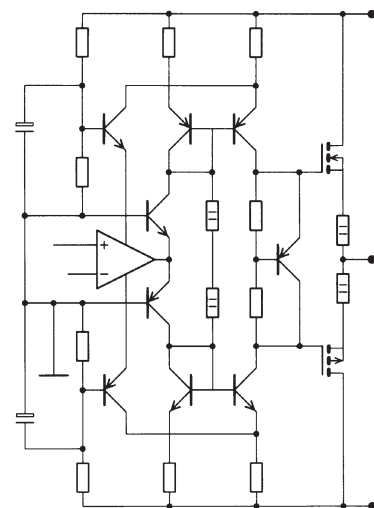


Obr. 3. Zjednodušené schéma koncového stupně ORFAL 404 (400 W/4 Ω)

Konstruktéři zesilovače HQZ bych doporučoval připojit na výstupní svorku monolitického zesilovače citlivou proudovou sondu s kmitočtovou charakteristikou alespoň do 100 MHz, a od-

povídající osciloskop (napěťová sonda by totiž svou vstupní kapacitou poměry v obvodu změnila, a osciloskop s malou šířkou pásma kmitání zprůměruje a lživě ukáže rovný průběh) a přesvěd-

Pozn. 2: U bipolárních tranzistorů pro dosažení stabilního klidového proudu stačí kompenzovat teplotní závislost úbytku na diodě BE, který klesá s teplotou lineárně (zhruba o 2,1 mV/K) a nezávisí na kolektorovém proudu. Polem řízené prvky mají při malých proudech závislost podobnou (převažuje vliv záporného teplotního koeficientu prahového napětí), ale při velkých proudech opačnou (převažuje vliv kladného teplotního koeficientu odporu kanálu). Bod obratu (při kterém je nastavený proud teplotně stabilní) závisí na geometrii buňky, bývá výše u strmějších fetů a obecně je různý u součástek obou polarit. (Výjimku tvoří komplementární páry Hitachi řady 2SJ48/2SK133, jejichž bod obratu je v okolí 0,1 A u obou typů, takže si klidový proud vlastně stabilizují samy. Důsledkem této, pro konstruktéry tak pohodlné, vlastnosti je jejich velký odpor v otevřeném stavu a velmi malá strmost, navíc rozdílná podle typu vodivosti. Také poměr plochy čipu, tudíž i ceny, ke kolektorové ztrátě je nevýhodný.) U některých unipolárních komplementárních dvojic má křivka teplotní závislosti tři lokální extrémy (k obratu charakteristiky dochází při proudech rozdílných až o řád) a její kompenzace je proto obtížná. I u firem zvukových jmen to konstruktéři často „řeší“ tak, že zavedou klidový proud za studena a zkreslení měří rovněž za studena. O tom, že po několika minutách provozu klidový proud zanikne a zkreslení vzroste řádově, se pak v prospektech cudně mlčí.



Obr. 5. Budič s příčným proudem 70 mA

čit se tak, která z uvedených eventualit odpovídá lépe skutečnosti.

V článku je i řada dalších tvrzení se kterými nemohu souhlasit. Autor například píše, že účinným transformátorem není dobrá a průřez jádra prý roste s přibývajícím výkonem neúměrně. Myslím si, že průřez jádra roste úměrně (druhé odmocnině výkonu) a účinnost je docela dobrá. Dále si troufnu tvrdit, že všechny zesilovače s výstupním transformátorem prodávané fou Philips, která má na trhu stovoltových ústředěn dominantní postavení v celosvětovém měřítku, jsou schopny při jmenovité zátěži dodat jmenovité napětí. Totéž platí i o všech zesilovačích s výstupním transformátorem, které jsem kdy vyrobil já, přestože pan Holčák tvrdí opak. Domněnku, že jeho zesilovač popsaný v AR je schopen pracovat do libovolné (!) zátěže s plným výkonem jsem ochoten, zdarma, vyvrátit během několika vteřin, přinese-li mi vzorek. Autor

to ostatně může udělat sám, postačí připojit-li svůj zesilovač k doporučené zatěžovací impedanci podle [4].

A ještě několik slíbených poznámek k vlastnímu zapojení:

a) Napájení operačního zesilovače zapojeného s výstupem nakrátko napětím ± 15 V nesmyslně zvyšuje jeho, i tak velký, ztrátový výkon. Úplně postačí ± 5 V. OZ typu NE5534 (původně TDA 1034), které se v obdobných zapojeních obvykle používají mají výstupní obvody schopné dodat větší proud, lépe snáší použití napájecích vývodů jako výstupních, a je možné je z vnějšku kompenzovat kapacitou mezi vývody 5 a 8, což bývá nutné. Pokud totiž má vstupní diferenciální zesilovač větší rychlost než koncový stupeň, dostává se i při malém signálu do saturace. Zpětná vazba se snaží potlačit nesoulad mezi vstupním a výstupním signálem, způsobený zpožděním ve výstupních obvodech, ty však už nejsou schopné reagovat rychleji. Tomuto jevu se říká SID (*slewing induced distortion*) a působí obzvlášť rušivě, protože zkreslení které tak vzniká není harmonické (nemá vztah k vstupnímu signálu).

b) Odpor R_{15} a R_{16} nejsou specifikovány v rozpisce - rozteč na spojové desce odpovídá zatížení 1 W. Při jmenovitém výstupním napětí a 20 kHz bude ztráta na každém z nich asi pětinásobná.

c) Ohmická hodnota odporu R_{17} chybí ve schématu i v rozpisce (není však kritická, mohla by být třeba 4k7).

d) Bipolární spojení výstupních elektrolytických kondenzátorů chrání zátěž před stejnosměrným přetížením v případě (velmi pravděpodobné - viz dále) destrukce koncových tranzistorů. I to se kdysi dělávalo. Dnes se většinou zapojuje na výstup výkonového zesilovače integrátor. Výstupní elektrolyty nezahrnuté do smyčky zpětné vazby zhoršují tlumení a jsou zdrojem zkreslení, zejména pracují-li bez polarizace a jsou-li dva v serii.

e) Použité darlingtony (BDX53F/54F) vypadají při letmém pohledu do katalogu vzhledem k ceně (fa ERA Components nabízí pár za 47 Kč) takřka pohádkově (160 V, 6 A, 40 W, 20 MHz) - dokud si člověk neprohlédne jejich SOA charakteristiku (graf vymezující oblast provozu bezpečnou proti druhému průrazu) a nezjistí, že jsou to kousky, pohříchu, spínací. Konkrétně při 25°C (!) a napětí 75 V snesou proud jenom 150 mA. Při napájecím napětí 150 V mohou tedy pracovat jenom do zátěže prakticky čistě odporové (s fázovým posunem menším než 4°). Při zátěži která posouvá fázi o 39°, což je hodnota se kterou má konstruktér podle normy EIA počítat, budou proti katalogovým hodnotám přetíženy přibližně o čtyři sta procent. Ani spojení vždy pěti koncových tranzistorů paralelně by problémem neřešilo, neboť mají nevýhodnou závislost zesilovacího činitele na kolektorovém proudu. Spolu se zvýšenými

náklady na montáž by navíc jejich cena patrně převýšila cenu vhodných nízkofrekvenčních darlingtonů podobných parametrů.

f) Operační zesilovače typu MAB356 (původně LF356) nejsou navrženy pro lineární provoz. Urychlovací obvod, který zlepšuje jejich impulzní odezvu způsobuje zkreslení asi o dva řády větší než je běžné u lineárních OZ (například TL071). Navíc jejich *slew rate* není symetrický - pro sestupnou hranu signálu je až dvakrát větší než pro vzestupnou. To má za následek specifický druh obtížně měřitelného, ale dobře slyšitelného zkreslení [5]. Z těchto důvodů v nízkofrekvenčním řetězci nejsou použitelné. Kromě toho jejich klidový odběr kolísá kus od kusu zhruba od 2 do 7 mA a má, na rozdíl od napětí BE tranzistorů T1, T2, kladný teplotní koeficient.

h) Hrozící katastrofě by se dalo zabránit jen zmenšením odporů R_5, R_6 na zlomek uvedené hodnoty, tedy posunem pracovního bodu celé první čtveřice do B třídy - s rezervou pro uvedené vlivy. Pak by ovšem byly zbytečné diody D1, D2 a zapojení by připomínalo spíš klopný obvod než zesilovač. Autorovi se zřejmě sešly na stole součástky s krajními úchylnými parametry (včetně koncových tranzistorů - některé výrobní série mohou mít odolnost na druhý průraz značně vyšší než zaručovanou, výrobce však nejlépe zná skutečný rozptyl parametrů a není v jeho zájmu uvádět v katalogu hodnoty horší než reálné - proto se při sériové výrobě katalogové údaje nepřekračují, ani když to ve vývoji vypadá, že by se mohly), a shodou okolností vždy z toho výhodnějšího okraje. Takové neuvěřitelné náhody se v životě někdy stávají, jenom diletant však považuje v tu chvíli vývoj za ukončený. Při osazování dalšího kusu, nebo při opravě, se sejdou součástky průměrné a pak se tranzistory T1, T2 otevrou oba současně, zkratový proud stabilizátorů proteče diodami, dioda D2, která má anodu vyvedenou tenkým drátkem, se přerušší a proud začne protékat bázemi. O pár mikrosekund později se zkratovým proudem elektrolyt protaví tranzistory T3 a T4 (2 mF nabitě na 150 V kumulují víc než 20 J energie), a než zareaguje tavná pojistka na primární straně transformátoru přehoří spoje na desce a pravděpodobně i usměrňovací diody.

Velmi by mě zajímalo co na uvedeném zapojení má pan Holčák, jak v závěru naznačuje, patentově chráněno.

Ondřej Lukavský
Čajkovského 30
130 00 Praha 3

Doporučená literatura

- [1] Freud, Sigmund: Die Träume und Mythen, IPV Wien, 1919
- [2] Silicon Power Circuits Manual, RCA, Harrison, NJ, 1972
- [3] Brady, R.M.: The floating bridge,

Wireless world, Oct 1980

- [4] Burdych, Jiří: Metody měření nízkofrekvenčních zesilovačů (překlad normy IHF-A-202), Svazarm, 1986
- [5] Jung, Walter G.: Audio signal processing, Journal of the AES, Nov 1976
- [6] Dostál, Jiří, CSc: Operační zesilovače, SNTL, 1981

P.S. Chtěl bych se čtenářům omluvit za svoje úchytky od zavedeného způsobu kreslení schemat. Nejsem zvyklý malovat kroužky kolem tranzistorů a u integrovaného Darlingtonova zapojení používám symbol se dvěma kolektory. Nedělám to z touhy po originalitě, připadá mi to přehlednější. V jazykové oblasti používám občas hovorového *elektrolyt*, namísto elektrolytických kondenzátorů, zase jen ve snaze o stručnost. Také nedokážu nazývat *odpor* rezistorem, není-li to v daném kontextu nezbytné k jednoznačnému pochopení. Ostatně si všímám, že ani v té nejmladší generaci to nikdo nedělá, třebaže od učebnic až po odborný tisk nevidí nic jiného. Nesmírně si vážím autorů (ing. Jiří Dostál CSc, abych jmenoval alespoň někoho), kteří dokáží i odborný výklad podat živou a pěknou češtinou, hledíce spíš na jeho srozumitelnost než na jazykové normy [6].

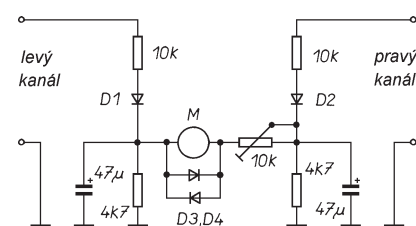
Pozn. redakce: Na výslovné přání autora nebyl tento článek ani jazykově ani redakčně upraven - proto v některých aspektech neodpovídá redakčním zvyklostem.

Indikátor stereofonního vyvážení

Zdá-li se vám, že máte na svém zesilovači málo indikačních prvků, můžete jej doplnit o jednoduchý indikátor vyvážení kanálů. Zapojení indikátoru je na obr. 1. Pokud to konstrukce zesilovače umožňuje, zapojíme obvod za regulátor vyvážení před regulátor hlasitosti, nebo jednoduše až na výstup zesilovače k vývodům pro reproduktory. Diody mohou být libovolného typu. Usměrnovací D1 a D2 použijeme nejlépe germaniové, ochranné D3 a D4 křemíkové. Měřidlo je ručkové, s nulou uprostřed. Odporovým trimrem nastavíme citlivost indikátoru.

Radio 2/1994, s.45

VH



Obr. 1. Jednoduchý indikátor vyvážení