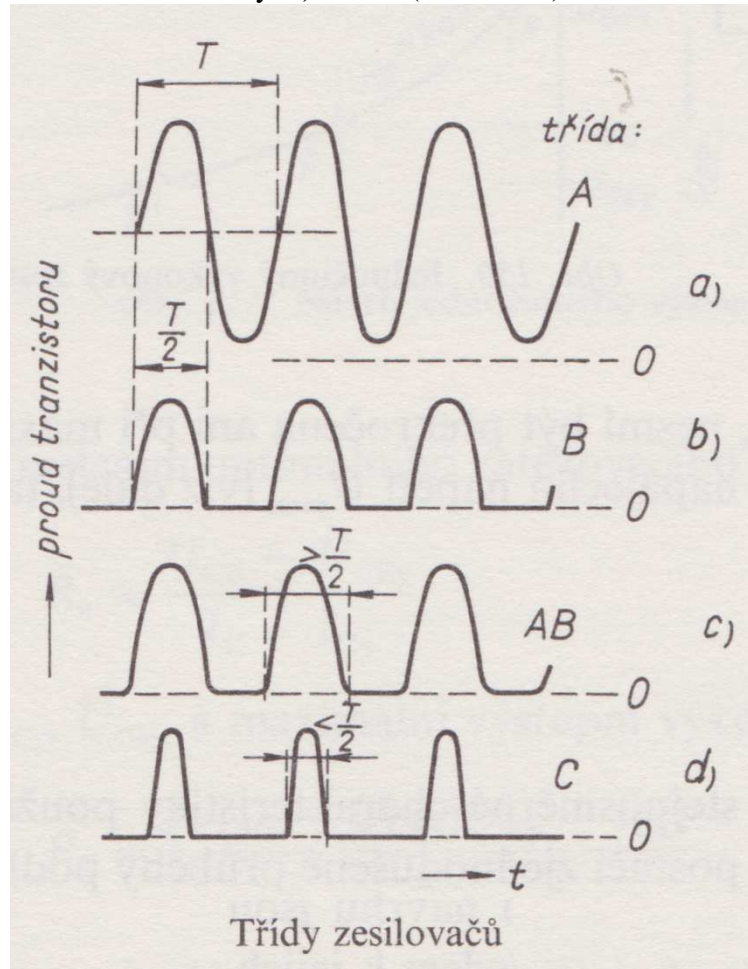


Výkonové zesilovače

Podle zapojení rozeznáváme výkonové zesilovače jednočinné a dvojčinné. Ve dvojčinném zapojení mohou pracovat tranzistory téhož druhu nebo komplementární (doplňkové) dvojice tranzistorů (nemá obdobu u elektronek).

Podle velikosti signálu a nastavených klidových stejnosměrných proudů a napětí rozlišujeme výkonové zesilovače třídy **A**, **B** a **C**. (Obrázek 1)



Obrázek 1

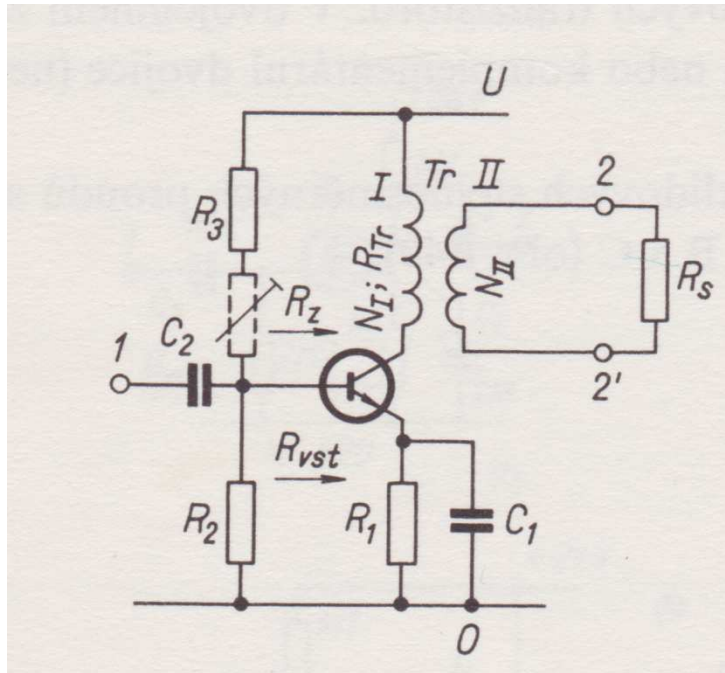
Ve třídě A jsou stejnosměrné proudy a napětí větší než amplituda maximálního signálu. Ve třídě B pracuje tranzistor jen po dobu jedné půlperiody a zesiluje jen kladnou nebo jen zápornou půlvlnu. Ve třídě C se tranzistor otevírá po dobu kratší než půlperiody a zesiluje jen kladné nebo záporné vrcholy signálu.

Třída A se využívá hlavně v jednočinných NF zesilovačích. Třída B (nebo přechodná AB, kdy tranzistor vede déle než půlperiody) se používá ve dvojčinných NF zesilovačích. Třída c se hodí pro laděné zesilovače jednočinné i dvojčinné a využívá se proto ve VF technice).

Výstupní výkon se odebírá přes výstupní transformátor nebo přes kondenzátor.

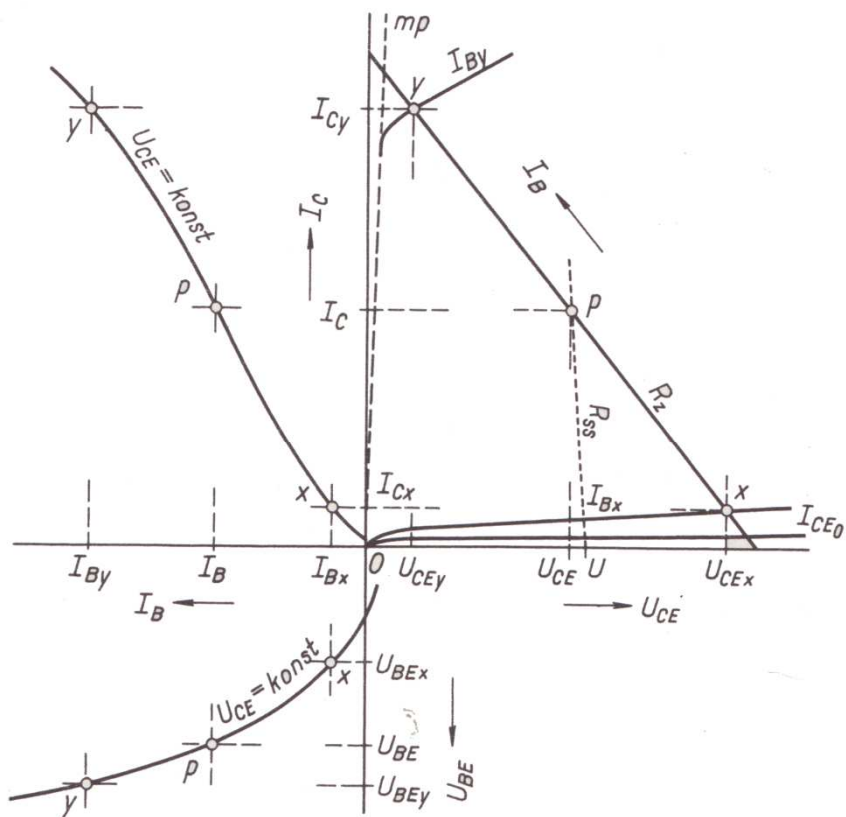
Jednočinné výkonové zesilovače:

K návrhu jsou zapotřebí stejnosměrné charakteristiky použitého tranzistoru. Vzhledem k jejich rozptylu postačí zjednodušené průběhy podle obrázku 2.



Obrázek 2

Důležité je rozhodnutí a využíváním rozkmitu proudu a napětí tranzistoru. Při změně napájení nebo změně pracovního bodu je signál omezován, pokud bychom chtěli využít rozkmit signálu ve velikosti napájecího napětí. Je proto rozumné omezit rozkmit signálu asi na 50 až 70 % celého možného rozsahu.



Návrh jednočinného výkonového zesilovače třídy A

Obrázek 3

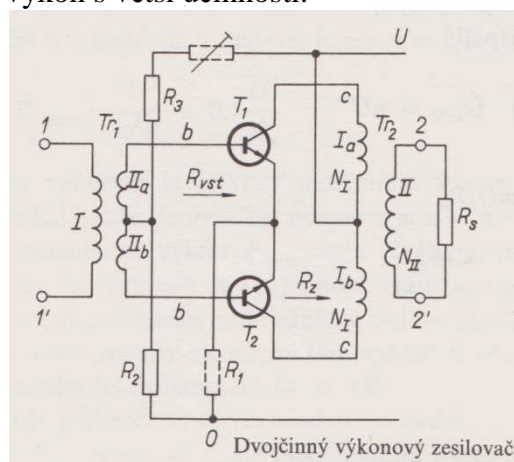
V klidu i za provozu odebírá tranzistor ve třídě A stále stejný příkon $P_{SS} = U_{CE} * I_C$, kterým jev klidu (bez buzení) zatížen tranzistor. Po buzení se odebírá výstupní výkon P_2 , o který se kolektorová ztráta zmenší. Při plném vybuzení je $P_C = P_{SS} - P_2$. Při plném vybuzení je $P_C = P_2 = P_{SS}/2$ a maximální (teoretická) účinnost $\eta = P_2/P_{SS} = 0,5$. Ve skutečnosti se dosahuje účinnosti 0,2 až 0,3.

Jednočinné zesilovače mají nejmenší nelineární zkreslení a zatěžují napáječ stálým proudem.

Dvojčinné výkonové zesilovače:

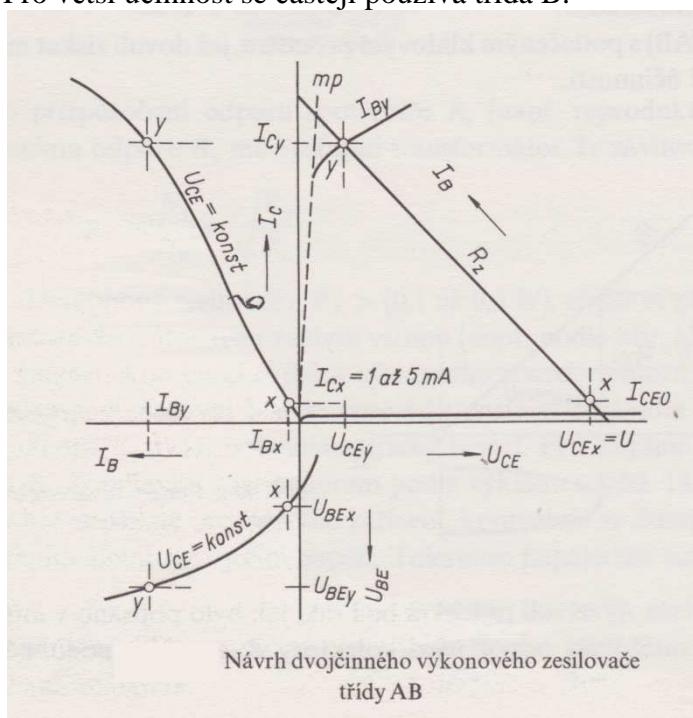
Základní uspořádání dvojčinného výkonového zesilovače s transformátorovou vazbou je na obrázku 4. Podle hodnot odporů R_1 až R_3 může pracovat buď

- Ve třídě A, kdy výstupní výkon je dvojnásobný, avšak účinnost stejná jako v jednočinném zapojení; nebo
- Ve třídě B (popř. AB) s potlačeným klidovým proudem, jež dovolí získat mnohonásobný výkon s větší účinností.



Obrázek 4

Pro větší účinnost se častěji používá třída B.



Návrh dvojčinného výkonového zesilovače třídy AB

Obrázek 5

Celkový maximální výkon při plném buzení $P_{2MAX} = U^2/(2 \cdot R_Z)$ a účinnost je asi 0,7.

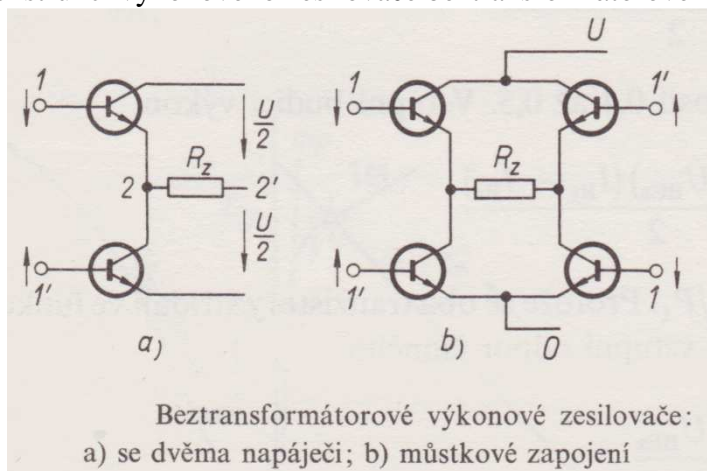
Celkový maximální výkon je asi 5x větší než maximální kolektorová ztráta jednoho tranzistoru. K návrhu opět použijeme zjednodušené stejnosměrné charakteristiky podle obrázku 5. Aby nebyly slabé signály zkresleny, nastavuje se klidový proud I_{cX} na několik miliampérů (třída AB). V praxi se získává účinnost asi 0,4 ž 0,5.

Dvojice tranzistorů pro dvojitěnné stupně se párují podle proudového zesílení ve dvou pracovních bodech, odpovídajících malému a velkému buzení.

Vliv rozdílu tranzistorů lze zmenšit proudovou vazbou na společném emitorovém odporu R_1 .

Dvoučinné výkonové zesilovače beztransformátorové:

Pracnost výroby, rozměry, útlumové i fázové zkreslení výstupního transformátoru je příčinou snahy o konstrukci výkonového zesilovače beztransformátorového.



Obrázek 6

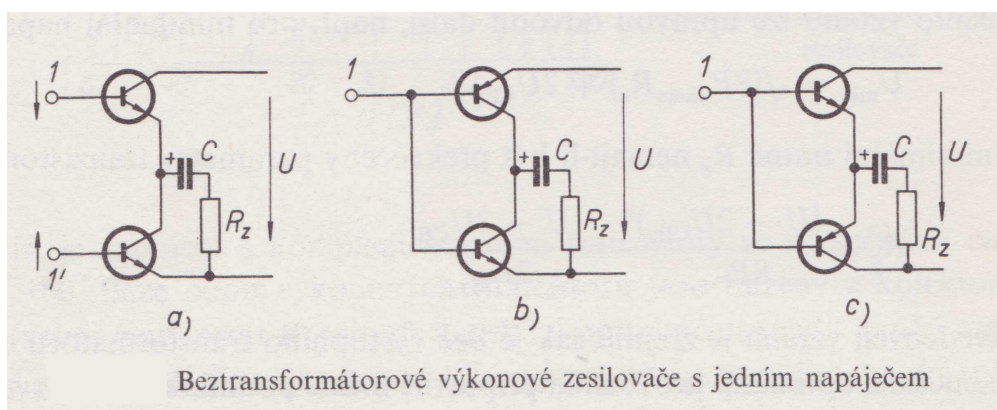
Základní (a snad i původní) zapojení je na obrázku 6. Zátěž R_Z je zapojena mezi společný bod 2 obou tranzistorů a střed dvou napájecích zdrojů 2'. Oba tranzistory jsou buzeny s opačnou fází. Při plném vybuzení se napětí bodu 2 (proti bod 2') mění od $+U/2$ do $-U/2$ a do R_Z se odevzdává výkon $P_{2MAX} = U^2/8$ (obrázek 7).

Porovnání výkonového stupně s transformátorem a bez transformátoru

	Dvojitěnný zesilovač ve třídě B při stejném napájecím napětí U a výstupním výkonu P_{2max}	
	s transformátorem	bez transformátoru
R_Z	$\frac{U^2}{2P_{2max}}$	$\frac{U^2}{8P_{2max}}$
U_{ceM}	$2U$	U
I_{cM}	$\frac{2P_{2max}}{U}$	$\frac{4P_{2max}}{U}$

Obrázek 7

Obtíže se dvěma napájecími zdroji vedly návrhu mnoha obvodových variant (obr. 6b). Postupem času se zájem soustředil na zapojení s jedním napájecím zdrojem a kapacitní vazbou zátěže (spotřebiče) podle obrázku 8.



Obrázek 8

V zapojení na obr. 8a jsou použity tranzistory téhož druhu (zde NPN) s opačným buzením bází. Nejvýhodnější jsou zapojení s komplementárními (doplňkovými) dvojicemi (tranzistory NPN a PNP) se společným kolektorem (obr. 8b) nebo společným emitorem (obr. 8c). Každé z těchto zapojení může pracovat ve všech třídách, A, AB, B nebo C, nejčastěji ve třídě AB. Vazební kondenzátor C slouží jako zdroj napájecího napětí pro dolní tranzistor v půlperiodě, kdy je horní tranzistor zahrazen. Odběr proudu z napáječe je impulsový, v půlperiodách, kdy horní tranzistor vede.

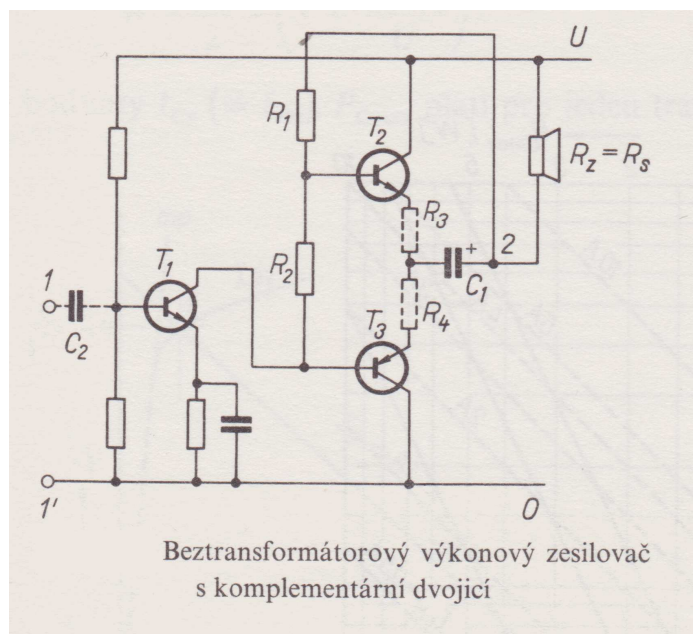
Obrázek 7 porovnává hlavní veličiny výkonových zesilovačů ve třídě B. V porovnání s použitím transformátoru vyžadují zapojení podle obr. 8 **čtyřikrát menší** zátěž R_Z a tranzistory musí dodat dvakrát větší proud I_{CM} .

Bez výstupního transformátoru je obtížné dodržet současně optimální provozní a přípustné mezní podmínky. Chceme-li např. odebrat výstupní výkon $P = 10 \text{ W}$ pro reproduktor s odporem $R_Z = 4 \Omega$, musíme použít napájecí zdroj s napětím $U = 18 \text{ V}$. Přitom každý z tranzistorů musí vydržet bez poškození proud $I_{CM} (= I_{CEy}) = 2,3 \text{ A}$ a kolektorovou ztrátu $P_{Cmax} = 1,8 \text{ W}$.

Nepodaří-li se napoprvé dosáhnout shody všech veličin, je nutné zvolit jiné napájecí napětí nebo jiný typ tranzistoru návrh opakovat.

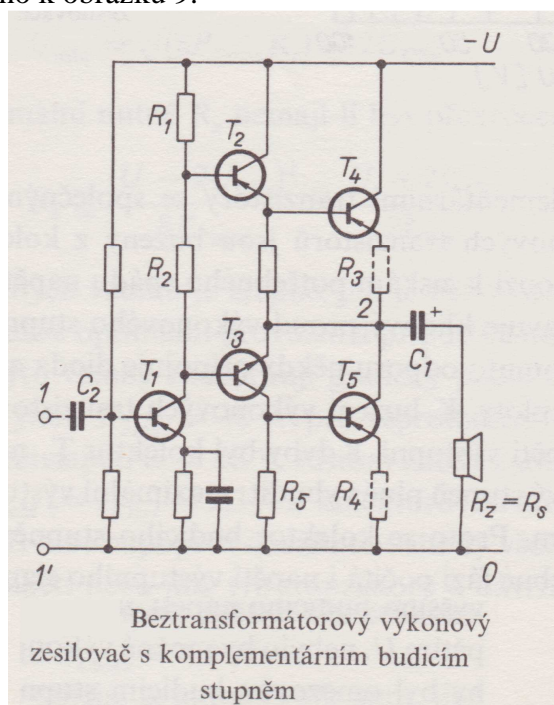
Beztransformátorové výkonové stupně se spojují s budícím stupněm (a někdy i dalšími předzesilovacími stupni) **přímou** (stejnosemernou) **vazbou**. Kromě přenosu zesilovaného signálu umožňuje toto zapojení zavedení účinné stejnosměrné záporné zpětné vazby, stabilizující pracovní body všech spolupracujících tranzistorů.

Nejčastější je zapojení s komplementárními tranzistory podle obrázku 9. Báze obou výkonových tranzistorů jsou buzeny z kolektoru T1. Odpor R2 (velmi malý proti R1) slouží k získání potřebného spádu napětí mezi bázemi T2 a T3. Velikostí R2 se nastavuje klidový proud výkonového stupně (několik mA). Podle obrázku 11 se někdy k tomuto odporu připojuje dioda a termistor, zmenšující vliv změn napájení a teploty. K buzení výkonových tranzistorů je třeba vyššího budícího napětí, než je napětí výstupní. Kdyby byl kolektor T1 napájen napětím U, nebylo by možné výkonový stupeň plně vybudit: maximální výstupní výkon by byl omezen budícím stupněm. Proto se kolektor budícího stupně T1 napájí z bodu 2, kde se k napětí U v potřebné fázi počítá i napětí výstupního signálu. Párování T2 a T3 se provádí na zesílení, jak bylo již popsáno. Rozdíly parametrů lze zmenšit proudovou zpětnou vazbou na odporech R3 a R4.



Obrázek 9

Pro největší výkony nebývají k dispozici komplementární dvojice. Tehdy se používá zapojení podle obrázku 10, ve kterém je výkonový stupeň osazen tranzistory T4 a T5 téhož druhu (zde PNP). Potřebné (dvoji) budící napětí se získává komplementární budící dvojicí T2, T3. Z hlediska buzení výkonového stupně je však zapojení T2 a T3 rozdílné. Tranzistor T2 pracuje jako emitorový sledovač. Aby i T3 (se společným emitorem) měl zesílení menší než jedna, je třeba zmenšit jeho zatěžovací odpor (pomocí R5). O funkci odporů R2, R3 a R4 platí totéž, co bylo napsáno k obrázku 9.

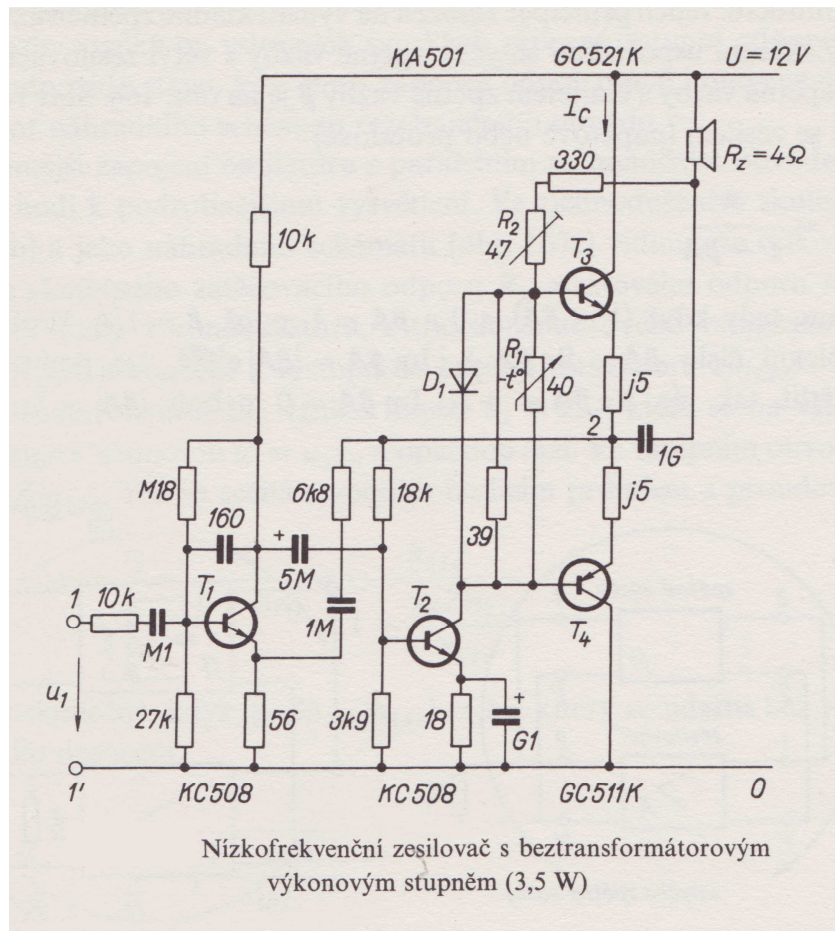


Obrázek 10

Příklad zapojení nízkofrekvenčního zesilovače:

Zapojení na obrázku 11 je mj. zajímavé tím, že po uveřejnění v Příručce firmy Siemens v roce 1967 (Halbleiter – Schaltbeispiele) prošlo s drobnými úpravami mnoha našimi

i zahraničními publikacemi. Předzesilovač T1 má samostatnou můstkovou stabilizaci. Ostatní stupně jsou stabilizovány vzájemnou zápornou stejnosměrnou vazbou. Navíc dioda D1 zmenšuje vliv změn napájení a termistor R1 vliv teploty. Klidový odběr proudu ($I_c =$ asi 5 mA) se nastaví odporem R2. Všechny parametry zlepšuje střídavá záporná zpětná vazba z výstupu 2 do emitoru T1 a báze T2. Vstupní odpor je asi 35 k Ω , s poklesem o 3 dB se zesiluje pásmo 50 Hz až 20 kHz. Při maximálním výstupním výkonu asi 3,5 W je na vstupu $u_1 = 150$ mV a zesilovač odebírá asi 440 mA.



Obrázek 11

Koncové tranzistory v zesilovačích s výstupním výkonem asi od desítek wattů výše je třeba chránit proti přebuzení a přetížení.

Zdroj: *Kurs polovodičové techniky – Jindřich Čermák, SNTL 1976*