

Vstupní zesilovače pro přijímače optoelektronických systémů

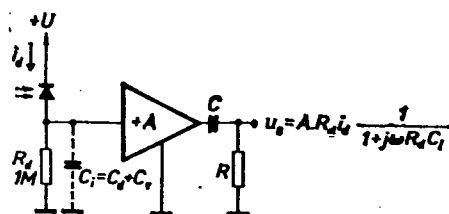
ING. PAVEL MACURA

Úvod

V současných optoelektronických systémech pro přenos informace na kratší vzdálenosti se jako detektor infračerveného světla používá křemíková fotodiody typu PIN. Spínací časy fotodiody PIN jsou velmi krátké, řádově 1 ns. Proudový signál, dodávaný fotodiodou, je však malý (asi 0,5 μ A na 1 μ W optického výkonu) a je potřeba jej před dalším zpracováním převést na signál napětový a zesílit. Šířka pásma přijímače optoelektronického systému je potom závislá na vlastnostech vstupního zesilovače a způsobu navázání fotodiody na vstup zesilovače. V praxi se používají tři způsoby zapojení vstupního zesilovače: vysokoimpedanční, středoimpedanční a převodník proud—napětí.

Vysokoimpedanční zesilovač

Fotodiody PIN polarizovaná v závěrném směru je připojena na zatěžovací



Obr. 1. Principiální schéma vysokoimpedančního zesilovače; hodnoty u_e násobte $10R_dC_d/(1 + j\omega R_dC_d)$

odpor R_d o hodnotě řádově 1 M Ω (obr. 1). Úbytek napětí na zatěžovacím odporu je snímán zesilovačem v neinvertujícím zapojení s velkým vstupním odporem. Horní mezní kmitočet f_H takového obvodu je určen převážně časovou konstantou na vstupu zesilovače a platí o něj vztah

$$f_H = \frac{1}{2\pi R_d C_d} = \frac{1}{2\pi R_d (C_d + C_v)} \quad (1)$$

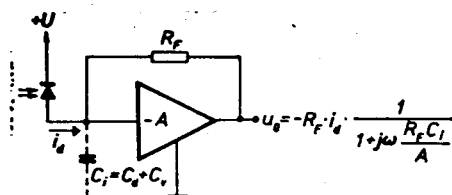
kde R_d je zatěžovací odpor fotodiody, C_d kapacita fotodiody, C_v vstupní kapacita zesilovače.

Jelikož časová konstanta $\tau = R_d(C_d + C_v)$ je dlouhá (řádově 10 μ s) a projevuje se tak integrační účinek obvodu, připojuje se na výstup zesilovače derivační člen RC. Nevýhodou tohoto zapojení je nebezpečí zahlcení zesilovače při nízkých kmitočtech, kdy amplituda signálu na vstupu je velká. Zapojení je proto možné použít jen při známé přenosové rychlosti a kódu přenášeného signálu [1].

Převodník proud—napětí

Toto zapojení se v literatuře často označuje jako „transimpedanční zesilovač“. Principiální schéma transimpe-

dančního zesilovače je uvedeno na obr. 2. Zapojení se vyznačuje velmi malým vstupním odporem, což však platí pouze v určitém kmitočtovém pásmu, kde zesílení A je dostatečně velké. Výstupní napětí transimpedančního zesilovače je úměrné velikosti zpětnovazebního odporu R_F a proudu fotodiody i_d .



Obr. 2. Principiální schéma transimpedančního zesilovače

Za předpokladu, že vstupní odpor zesilovače R_i je mnohem větší než zpětnovazební odpor R_F a zesílení A je mnohem větší než jedna, platí pro efektivní vstupní odpor R_E obvodu vztah

$$R_E = \frac{R_F}{A}, \quad A \gg 1, \quad R_F \ll R_i \quad (2)$$

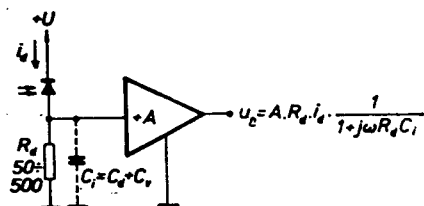
a pro horní mezní kmitočet f_H

$$f_H = \frac{1}{2\pi R_E C_d} = \frac{A}{2\pi R_F (C_d + C_v)} \quad (3)$$

Uvedené zapojení je vhodné pro konstrukci zesilovačů se šířkou pásma řádově 10 MHz. U tohoto obvodu však mohou nastat problémy se stabilitou, která je značně závislá na kmitočtovém průběhu zesílení otevřené smyčky zesilovače.

Středoimpedanční zesilovač

Jelikož u transimpedančního zesilovače vznikají při velké šířce pásma problémy se stabilitou, používá se pro vysoké přenosové rychlosti středoimpedančního zesilovače (obr. 3). Fotodiody pracuje do poměrně malého zatěžovacího odporu (50–500 Ω), takže časová konstanta na vstupu zesilovače je krátká (řádově 1–10 ns). Úbytek napětí na zatěžovacím odporu je zesílen širokopásm-

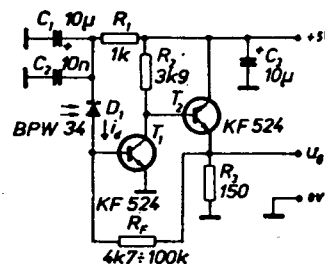


Obr. 3. Principiální schéma středoimpedančního zesilovače

movým zesilovačem v neinvertujícím zapojení. Pro horní mezní kmitočet f_H platí opět vztah (1), může však být ovlivněn i šířkou pásma použitého zesilovače. Zapojení se vyznačuje dobrou vf stabilitou.

Příklady realizací vstupních zesilovačů a jejich vlastností

V systémech určených pro přenos logických signálů je vhodné, aby zesilovač vystačil s jediným napájecím napětím +5 V. V tomto případě přichází v úvahu obvodové řešení s použitím diskretních tranzistorů, se kterými lze poměrně jednoduše realizovat zapojení typu převodník proud—napětí. Nejjednodušší zapojení tohoto typu je uvedeno na obr. 4. Tranzistor T_1 pracuje se společným emitorem (SE), tranzistor T_2 se společným kolektorem (SK). Z výstupu zesilovače (emitor T_2) je zavedena silná záporná zpětná vazba do vstupu (báze T_1), která zesilovači zajišťuje malý vstupní odpor, takže téměř všechny fotoproud i_d prochází zpětnovazebním odporem R_F . Je použita fotodiody PIN typu SIEMENS BPW 34, která má maximum spektrální citlivosti na vlnové délce 850 nm a kapacitu $C_d = 20$ pF při napětí v závěrném směru $U_{KA} = 5$ V.



Obr. 4. Transimpedanční zesilovač v zapojení SE-SK

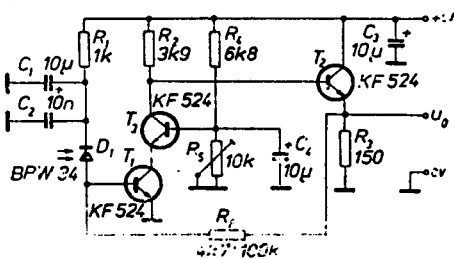
Tabulka 1. Závislost doby náběhu t_r a horního mezního kmitočtu f_H na zpětnovazebním odporu R_F pro transimpedanční zesilovač v zapojení SE-SK podle obr. 4

R_F [k Ω]	t_r [ns]	f_H [MHz]
4,7	27	13
10	55	6,4
22	120	2,9
47	270	1,3
100	550	0,64

V tab. 1 je uvedena závislost horního mezního kmitočtu f_H a doby náběhu t_r (z 10 % na 90 %) na velikosti zpětnovazebního odporu R_F pro zesilovač podle obr. 4. Je vidět, že při použití zpětnovazebního odporu o hodnotě asi 5 k Ω je zesilovač rychlý s horním mezním kmitočtem větším než 10 MHz. S rostoucí hodnotou zpětnovazebního odporu mezní kmitočet rychle klesá, což je způsobeno kapacitou C_{CB} tranzistoru T_1 .

Vylepšit vlastnosti zapojení v horním pásmu kmitočtů je možné použitím kaskodového zesilovače (obr. 5), kdy mezi stupně se společným emitorem (T_1) a společným kolektorem (T_2) se zařadí

stupeň se společnou bází (T_3), čímž se podstatně snižuje vliv kapacity C_{CB} tranzistoru T_1 na horní mezní kmitočet zesilovače. Závislost horního mezního kmitočtu f_H a doby náběhu t_r na zpětnovazebním odporu R_F pro kaskodový zesilovač podle obr. 5 je uvedena v tab. 2.

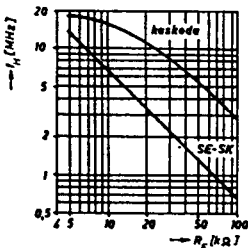


Obr. 5. Transimpedanční zesilovač v kaskodovém zapojení

Tabulka 2. Závislost doby náběhu t_r a horního mezního kmitočtu f_H na zpětnovazebním odporu R_F pro transimpedanční zesilovač v kaskodovém zapojení podle obr. 5.

R_F [kΩ]	t_r [ns]	f_H [MHz]
4,7	20	17,5
10	25	14
22	35	10
47	60	5,8
100	130	2,7

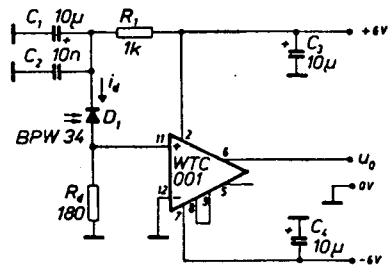
Na obr. 6 je pro srovnání uvedena závislost f_H na R_F pro oba popsané typy transimpedančních zesilovačů. Z obrázku je zřejmé, že zatímco pro zpětnovazební odpor o velikosti $R_F = 5$ kΩ se vlastnosti obou zesilovačů příliš neliší, je při použití větších hodnot R_F podstatně výhodnější kaskodový zesilovač, neboť umožňuje dosáhnout vyššího horního mezního kmitočtu.



Obr. 6. Průběh horního mezního kmitočtu f_H v závislosti na zpětnovazebním odporu R_F pro transimpedanční zesilovač v zapojení SE-SK a v kaskodovém zapojení

Pokud máme k dispozici souměrné napájecí napětí, je možné místo obvodového řešení s diskretními tranzistory použít operační zesilovač. Jako velmi vhodný typ pro konstrukci středoiimpedančního zesilovače se ukazuje širokopásmový hybridní diferenciální zesilovač WTC 001, který je funkčním analogem obvodu FAIRCHILD μA 733. Zapojení vstupního zesilovače optoelektronického systému s obvodem WTC 001

je uvedeno na obr. 7. Fotodioda pracuje do zatěžovacího odporu o hodnotě 180 Ω, zesilovač WTC 001 je zapojen pro zesílení 400 (spojeny vývody č. 8 a 9). Horní mezní kmitočet zapojení podle obr. 7 je 8 MHz. Velikost signálu na výstupu odpovídá transimpedančnímu zesilovači se zpětnovazebním odporem R_F o hodnotě 72 kΩ. Porovnáním s obr. 6 vidíme, že u transimpedančních zesilovačů byl horní mezní kmitočet pro odpovídající R_F podstatně nižší. Další příklad středoiimpedančního zesilovače realizovaného pomocí diskretních tranzistorů byl uveden v [2].



Obr. 7. Středoiimpedanční zesilovač s hybridním obvodem WTC 001

Při menších nárocích na šířku pásma vstupního zesilovače je možné použít běžné operační nebo hybridní zesilovače v transimpedančním zapojení. V úvahu přicházejí např. typy MAA 741, MAA 748, MAC 156, MAB 356, WSH 111, WSH 115 atd. S těmito zesilovači je možné docílit šířky pásma řádově 10 kHz – 1 MHz podle typu použitého operačního zesilovače.

Závěr

V článku byly popsány tři základní způsoby zapojení vstupních zesilovačů pro přijímače optoelektronických systémů. Byla realizována zapojení typu převodník proud—napětí a středoiimpedanční zesilovač. Tyto zesilovače byly buzeny z optoelektronického vysílače, kde jako vysílací prvek byla použita galiumarzenidová luminiscenční dioda typu CQY 11 C (PHILIPS), která má maximum světelné emise na vlnové délce 880 nm.

Máme-li k dispozici pouze jediné napájecí napětí +5 V, ukazuje se jako výhodné použít transimpedanční zesilovač s diskretními tranzistory v kaskodovém zapojení, které umožňuje docílit větší šířky pásma ve srovnání s běžně užívaným zapojením SE—SK. Pro realizaci s použitím operačního zesilovače je z domácích součástek velmi vhodný hybridní širokopásmový diferenciální zesilovač WTC 001 ve středoiimpedančním zapojení. Běžné operační zesilovače je možné použít jen při nevelkých nárocích na šířku pásma.

Poznámky, uvedené v článku, je možné uplatnit při konstrukci přijímačů optoelektronických systémů pro přenos jak analogových, tak číslicových signálů.

LITERATURA

- [1] Ludolf, W. S.: Elektronische Systemkomponenten: Vorverstärker für optische Empfänger. *Technisches Messen* 50, 1983, č. 3, s. 111–115.
- [2] Macura, P.: Optoelektronický přenosový systém s impulsovou šifrovou modulací. *Sdělovací technika* 32, 1984, č. 6, s. 207–208.

Vysokou úroveň mají v poslední době průmyslové výstavy a veletrhy pořádané v ČLR. Nehledě na stoupající úroveň čínské průmyslové výroby jsou na těchto expozicích zastoupeny přední světové firmy a výrobci příslušných oborů. Důvodem je především velký rozsah čínských průmyslových investic a rychlé tempo rozvoje. Dokladem byla rovněž říjnová výstava telekomunikační techniky EXPO COMM '86 Peking.

Expozice a konference pořádané pod záštitou čínského výboru pro mezinárodní obchod (CCPTI), ministerstva spojů, ministerstva elektrotechnického průmyslu a Čínské společnosti pro export a import elektroniky (CEIEC) se zúčastnili prakticky všichni velcí světoví výrobci telekomunikační techniky.

Čínský ministr spojů Yang Taifeng informoval již v roce 1984 o programu rozvoje čínských spojů, který předpokládá vzrůst počtu telefonních stanic z dnešních 5 mil. na 10 mil. v roce 1990 (I. etapa) a 33 mil. v roce 2000 (II. etapa) a odpovídající posílení infrastruktury.

V rámci tohoto projektu bude do roku 1990 rovněž zvýšen o 60 000 počet digitálních přípojek, položeno celkem 4000 km jednomodových optických kabelů a vybudováno 20 dalších pozemních stanic pro kosmické spoje. V řadě provincií se diskutuje o možnosti vybudování pozemní radiotelefonní sítě pro mobilní účastníky. Přesto, že v důsledku „politiky otevřených dveří“ představuje dnes ČLR prakticky největší světový trh pro výrobce telekomunikační techniky, počítá s tím, že koncem 90. let bude významným vývozcem digitálních spojovacích systémů do rozvojových zemí. Již dnes se v ČLR montují části Systému ITT 12, pobočkové ústředny SX 200 firmy Mitel a další zařízení.

Zhu Gaofeng, náměstek ministra spojů ČLR, prohlásil při příležitosti konference o optoelektronické sdělování, že ČLR plánuje výstavbu prvních 2000 km optoelektronické telekomunikační sítě. V první etapě má být položen jednomodový kabel pro vlnovou délku 1300 nm z průmyslového centra Nankin podél řeky Jangce do města Wuhum, kde je situován jeden ze dvou čínských závodů na výrobu jednomodových telekomunikačních optických vláken.

V současné době je v ČLR v provozu více než 50 optoelektronických spojovacích systémů na krátké a střední vzdálenosti všechny začleněné do velkoměstských spojovacích sítí, které pracují na vlnové délce 850 nm. Jsou to např. Peking, Fuzhon, Kanton, Wuhan, Sanghaj a Xiamen. ČLR předpokládá, že větší na kabelů bude vyrobena ve zmíněných dvou čínských závodech Wuhan a Guilin, jejichž společná výrobní kapacita se pohybuje kolem 20 000 km/rok. Koncová telekomunikační zařízení budou dodána firmou Siemens a Ericsson. Výstavby této sítě se zúčastní více než 180 specialistů z Austrálie, Velké Británie, ČLR, NSR, Francie, Japonska, SSSR a USA. Dále má trasa pokračovat na sever, podél hlavní železniční trati do Pekingu. Po dokončení této trasy bude navazovat výstavba další větve v délce 1600 km mezi městy Wuhum a Kanton.

Ing. Oldřich Zapletal