

Optoelektronický přenosový systém s impulsovou šířkovou modulací

ING. PAVEL MACURA

Úvod

V některých oblastech průmyslu a výzkumu vzrůstá potřeba měřicích systémů zaručujících elektrickou izolaci mezi různými zdroji signálu a společným vyhodnocovacím zařízením. Taková situace nastává například při zkouškách elektrických přístrojů vn a vvn, kdy rozdíl potenciálů mezi místem měření a záznamovým zařízením (např. osciloskop) může být řádu 100 kV. Problém takového měření je možné vyřešit použitím optoelektronického přenosového systému, kde vysílač a přijímač jsou odděleny dostatečně dlouhým světlovodem.

Optoelektronické systémy pro přenos analogových signálů

Optoelektronický přenos signálů je založen na transformaci elektrického signálu na světelný. Světelný signál je veden k detektoru záření, kde je opět převeden na elektrický signál. Hlavními součástmi optoelektronických systémů jsou:

- světelný zdroj (laserová nebo luminiscenční dioda),
- optický spoj (nejčastěji vláknový světlovod),
- fotodetektor (fotodioda PIN nebo lavinová fotodioda).

Jednotlivé systémy se liší způsobem převodu elektrického signálu na optický:

- systémy s intenzitní modulací, kde intenzita světelného záření je přímo úměrná amplitudě elektrického signálu,
- systémy s frekvenční modulací, kde vstupní signál moduluje frekvenci oscilátoru, jehož výstup ovládá proud vysílací diody,
- systémy s různými druhy impulsových modulací (impulsová šířková, impulsová frekvenční, impulsová polohová atd.), kde vstupní signál je přeměněn ve sled modulovaných impulsů a vysílací dioda pracuje v režimech zářící-nezářící.

Vlastnosti jednotlivých druhů optoelektronických systémů

Systémy s intenzitní modulací se vyznačují největší šířkou přenášeného pásma, která je na horním konci omezena převážně vlastnostmi vysílací diody a rychlostí odezvy fotodetektoru. K nevýhodám patří špatná linearita způsobená nelineární závislostí mezi proudem a intenzitou záření vysílací diody [1], změny zesílení na nízkých frekvencích vlivem vlastního ohřevu vysílací diody [2] a velká citlivost na změny útlumu v optické trase, která vede k častému seřizování a kontrole systémů, zejména při použití světlovodů různých délek.

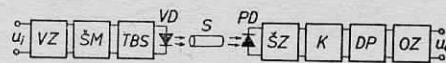
Systémy s frekvenční a různými druhy impulsových modulací mají menší šířku přenášeného pásma, neboť nosná frekvence musí ležet dostatečně vysoko nad horním mezním kmitočtem. U impulso-

vých modulací mnohdy vyžadujeme co nejmenší prodloužení doby čela a týlu impulsů. Takové systémy jsou však málo citlivé na změny světlovodné trasy, lze u nich docílit lepší linearitu a vyrovnanou frekvenční charakteristiku i v oblasti nejnižších kmitočtů.

Optoelektronický systém s impulsovou šířkovou modulací

Základním principem činnosti systému je transformace vstupního signálu ve sled šířkově modulovaných obdélníkových impulsů, kterými je buzena vysílací dioda. Je použita modulace s pevným čelem a pohyblivým týlem impulsu. Modulovaný signál je možné demodulovat dolní propustí [3].

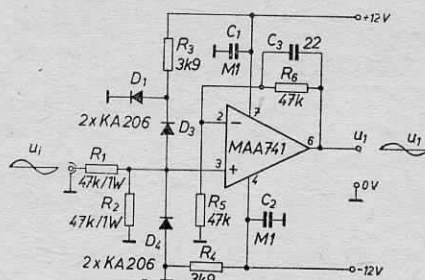
Skupinové schéma systému je uvedeno na obr. 1. Vysílač sestává ze vstup-



Obr. 1. Skupinové schéma optoelektronického systému s šířkovou modulací

ního zesilovače VZ, šířkového modulatoru ŠM, tvarovacího a budicího stupně TBS a vysílací luminiscenční diody VD. Přijímač obsahuje fotodiodu PD, širokopásmový zesilovač SZ, komparátor K, dolní propust DP a výstupní zesilovač OZ. Vysílač a přijímač jsou propojeny světlovodem S.

Elektrický signál je nejprve přiveden do vstupního zesilovače (obr. 2). Ten je určen pro zpracování signálu do ampli-



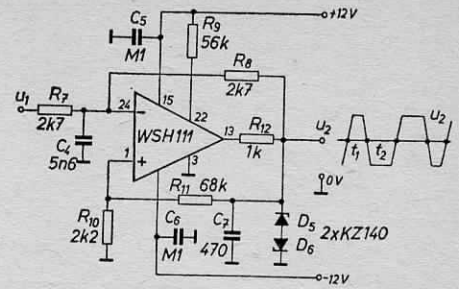
Obr. 2. Vstupní zesilovač

tudy 1 V. Obvod tvořený diodami D_1 až D_4 a odpory R_3 , R_4 zabraňuje přebuzení zesilovače a následujících obvodů. Na vstup je možné přivést napětí o amplitudě až 200 V. Napětové zesílení je rovno

$$A_{u1} = \frac{u_1}{u_1} = \left(1 + \frac{R_6}{R_5}\right) \cdot \left(\frac{R_2}{R_1 + R_2}\right) = 1$$

pro $0 \leq |u_1| \leq 1$ V.

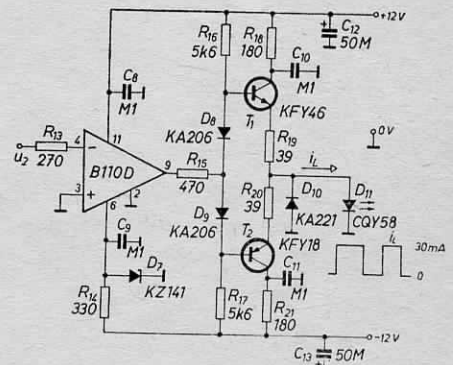
Výstupní napětí u_1 ze zesilovače je přivedeno na vstup šířkového modulatoru (obr. 3), který je zapojen jako asta-



Obr. 3. Šířkový modulátor

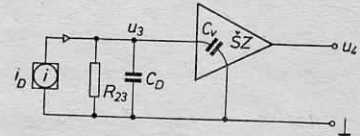
bilní klopný obvod s napětím řízenou dobou trvání kladného a záporného výstupního stavu. Obvod byl podrobně popsán v [4]. Při vstupním napětí $u_1 = 0$ je doba t_1 , po kterou je napětí na výstupu modulatoru kladné polarity, rovna době t_2 , po kterou je napětí na výstupu záporné polarity. Opakovací frekvence impulsů je přibližně 170 kHz, amplituda impulsů je určena Zenerovými diodami D_5 a D_6 . Pro napětí $u_1 > 0$ je $t_1 < t_2$, pro $u_1 < 0$ je $t_1 > t_2$.

Šířkově modulované impulsy u_2 jsou tvarovány v tvarovacím a budicím stupni (obr. 4) a přivedeny jako proudové



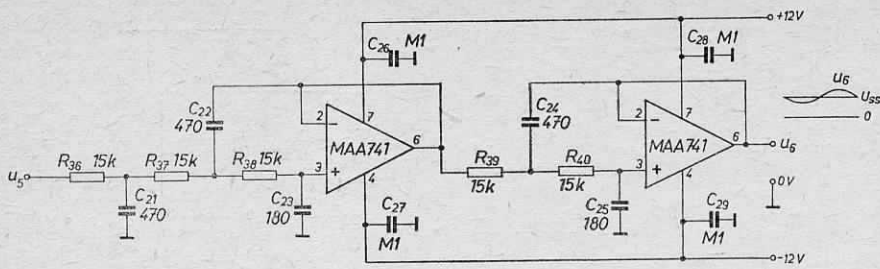
Obr. 4. Tvarovací a budicí stupeň

impulsy i_L o úrovni 30 mA do vysílací luminiscenční diody D_{11} . Luminiscenční dioda je typu Philips CQY58, která vykazuje maximum světelné emise na vlnové délce 875 nm a dobu odezvy 20 ns. Světelné záření emitované diodou je vedeno vláknovým světlovodem o útlumu 2 dB/m a délce max. 6 m k přijímací fotodiode D_{12} (obr. 5).



Obr. 5. Širokopásmový zesilovač

Přijímací fotodioda PIN typu Siemens BPW34 pracuje do zatěžovacího odporu R_{23} . Průchodem proudu fotodiadou vzniknou na odporu R_{23} napětové impulsy u_3 o rozkmitu přibližně 10 mV (v závislosti na útlumu světlovodu). Rychlost odezvy fotodetektoru je možné stanovit podle zjednodušeného náhradního schématu (obr. 6), kde fotodioda je nahrazena proudovým zdrojem i_D a kapacitou C_D , C_V je vstupní kapacita širokopásmového zesilovače SZ a R_{23} je pracovní odpor fotodiody. V našem případě je $C_D = 13$ pF, $C_V = 12$ pF,



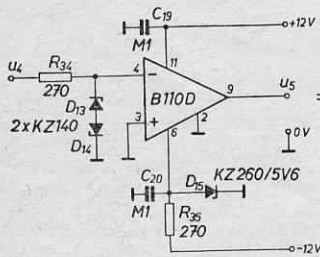
Obr. 6. Náhradní schéma pro výpočet rychlosti odezvy fotodetektoru
Obr. 8.

$R_{23} = 2,7 \text{ k}\Omega$. Dobu čela impulsů u_3 je pak možné stanovit podle vztahu

$$t_{r3} = 2,2 R_{23}(C_D + C_T) \approx 150 \text{ ns.}$$

Impulsy u_3 jsou zesíleny v širokopásmovém zesilovači (obr. 5), který má zesílení $A_{u3} = 1 + R_{27}/R_{26} = 101$, dobu náběhu 60 ns a přenesené pásmo 1,2 kHz až 5,8 MHz. Zisk zesilovače pro stejnosměrný signál je roven jedné. Poměrně vysoký horní mezní kmitočet je nutný proto, aby v zesilovači došlo k minimálnímu prodloužení doby čela a týlu impulsů.

Zesílené impulsy u_4 jsou vedeny do komparátoru (obr. 7), kde jsou tvaro-

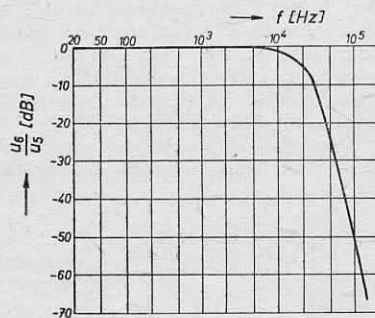


Obr. 7. Komparátor

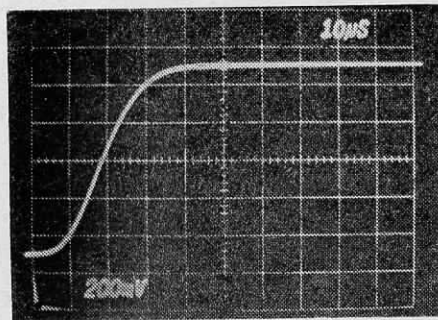
vány na obdélníkové impulsy u_5 o úrovních $U_H = 3 \text{ V}$, $U_L = -0,5 \text{ V}$. Střední hodnota uvedeného širkově modulovaného signálu odpovídá vstupnímu signálu u_i stejnosměrně posunutému o hodnotu $U_{ss} = 0,5 (U_H - U_L)$. Impulsy u_5 jsou vedeny do aktivní dolní propusti (obr. 8), která slouží jako demodulátor širkově modulovaného signálu. Amplitu-

dová a přechodová charakteristika propusti jsou uvedeny na obr. 9.

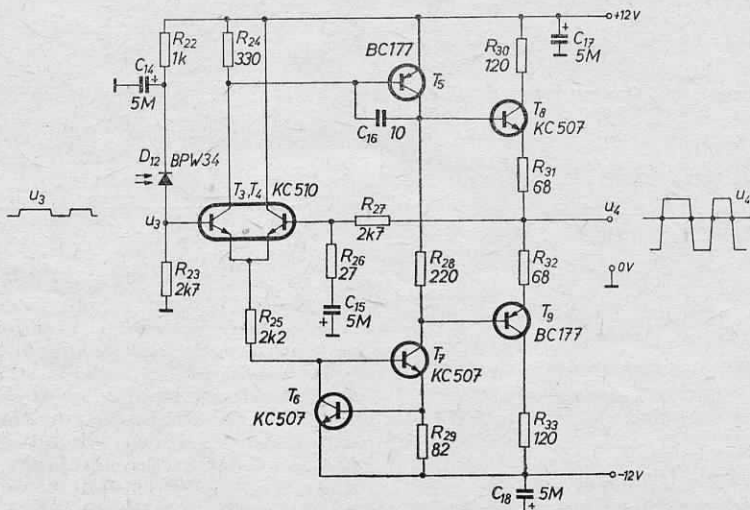
Na výstupu aktivní dolní propusti získáváme stejnosměrně posunutý demodulovaný signál u_6 . Posuv stejnosměrné hladiny a nastavení zesílení celé-



Obr. 9a. Amplitudová charakteristika aktivní dolní propusti



Obr. 9b. Přechodová charakteristika aktivní dolní propusti



Obr. 8. Aktivní dolní propust

Obr. 5.

ho systému na hodnotu $A_{uc} = -1$ se děje ve výstupním zesilovači (obr. 10).

Parametry optoelektronického systému s impulsovou širkovou modulací

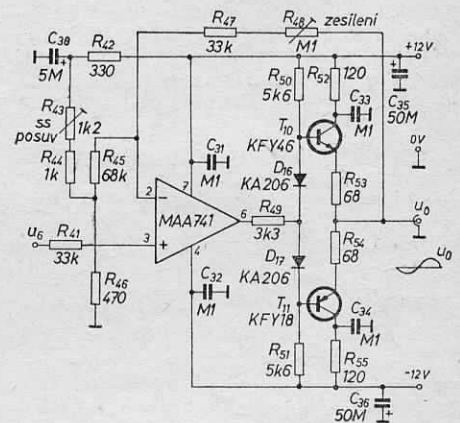
vstupní odpor	$R_i = 94 \text{ k}\Omega$
vstupní napětí (lin. pracovní oblast)	$0 \leq u_i \leq 1 \text{ V}$
max. vstupní napětí	$U_{ip} = 200 \text{ V}$
max. útlum světlo-vodné trasy	$b_m = 12 \text{ dB}$
napětové zesílení	$A_{uc} = -1$
přenesené pásmo	$B = 0 - 17 \text{ kHz}$ (-3 dB)

doba náběhu
přechodové charakteristiky
odstup signál/šum
zatěžovací odpor

$t_r = 20 \mu\text{s}$
$S/\delta = 54 \text{ dB}$
$R_L \geq 75 \Omega$

Závěr

V článku je popsán optoelektronický přenosový systém s impulsovou širkovou modulací vhodný pro přenos analogového signálu s amplitudou do 1 V



Obr. 10. Výstupní zesilovač

v pásmu 0 až 17 kHz. Systém je možné využít všude tam, kde jsou velké potenciální rozdíly mezi místem měření a vyhodnocovacím zařízením, kde je potřeba vyloučit zemní smyčky či v prostředí se silným elektromagnetickým rušením. Hlavní výhodou systému je možnost použití světlovodů různých délek (pokud útlum nepřekročí 12 dB) bez seřizování systému. Nevýhodou je poměrně nízký horní mezní kmitočet $f_h = 17 \text{ kHz}$, který je důsledkem použitého způsobu modulace, kdy je potřeba velká šířka pásma pro kvalitní přenos čela týlu širkově modulovaných impulsů. Popsaný systém je s drobnými úpravami používán při zkouškách elektrických přístrojů vn a vvn.

LITERATURA

- [1] Jones, D. L.: An engineering approach to fibre optic link design; *Electronic Engineering*, duben 1980, str. 65 až 84.
- [2] Hasegawa, O., Yagawa, N.: Low-frequency response to AlGaAs double heterojunction LEDs, *IEEE Trans. Electron Devices*, ED-28, 1981, č. 4, str. 385 až 389.
- [3] Hoffner, V.: Úvod do teorie signálů; Praha, SNTL 1979.
- [4] Filouš, L.: Převodník výkonu s amplitudově širkovou modulací; *Automatizace* (19) 1976, č. 4, str. 93 až 97.