

Projekt zo základov elektroniky

Irena Bačinská

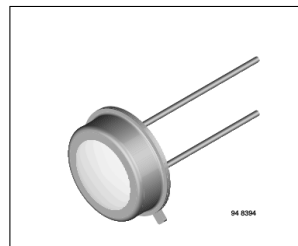
13. februára 2016

Úvod

V tomto projekte je cieľom skonštruovať transimpedančný fotodiódový detektor na detekciu intenzity svetla. Využijeme vlastnosti fotodiódy, ktorá transformuje svetlo na jednosmerný prúd. Následne pomocou operačného zosilňovača získame z prúdu napätie. Do nášho signálu sa však zamiešajú ruchy z rôznych zdrojov, ktoré odfiltrujeme low-pass filtrom. Poďme si rozanalyzovať jednotlivé súčiastky, ktoré v projekte využijeme.

Fotodióda BPW21R

Fotodióda je polovodičová súčiastka, ktorá reaguje na zmenu intenzity dopadajúceho svetla prírastkom prúdu. Princíp fotodiódy spočíva vo vnútornom fotoelektrickom jave. Fotón dopadajúci na PN prechod narazí do elektrónu vo valenčnej vrstve a dodá mu energiu. Elektrón opustí atóm a tak vznikne voľný elektrón. Na jeho mieste zas vznikne diera. Tieto voľné elektróny sú voľné nosiče náboja, ktoré znižujú elektrický odpor polovodiča.



Obr. 1: Fotodióda

Operačný zosilňovač

Pri zapojení operačného zosilňovača (OZ) so spätnou väzbou platí, že napätie medzi vstupmi OZ je veľmi malé (lebo funguje kompenzačný mechanizmus nazývaný hojdačka). Pre výstupné napätie platí:

$$V_{out} = A(V_+ - V_-)$$

pričom A je zosilnenie (zisk), $V_+ = 0$ je napätie na neinvertnujúcom vstupe, ktorý je pripojený na zem a V_- je napätie na invertujúcom vstupe.

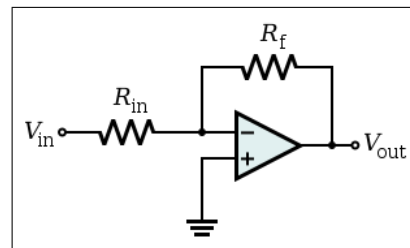
Keďže OZ má ideálne nekonečný odpor, tak prúd I bude tiecť len cez rezistory a teda bude platiť:

$$V_{out} - V_- = IR_f$$

$$V_{out} - V_{in} = I(R_f + R_{in})$$

Vylúčením prúdu I dostávame rovnicu:

$$V_- = \frac{R_{in}V_{out} + V_{in}R_f}{R_f + R_{in}}$$



Obr. 2: Operačný zosilňovač

Po dosadení do prvej rovnice dostávame vzťah:

$$V_{out} = -V_{in} \cdot \frac{AR_f}{R_f + R_{in} + AR_{in}}$$

A keďže A je veľmi veľké, tak dostávame vzťah na výpočet zosilnenia:

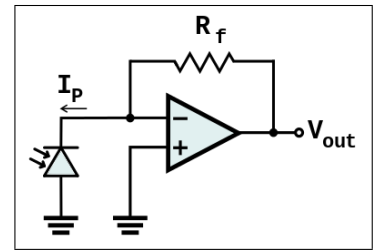
$$\frac{V_{out}}{V_{in}} = -\frac{R_f}{R_{in}} \quad (1)$$

Transimpedančný zosilňovač

Transimpedančný zosilňovač (TIA) je zariadenie, ktoré premieňa prúd na napätie. Prúd generovaný fotodiódou na invertujúcom vstupe OZ spôsobí vznik napätia na výstupe OZ. Spätňá väzba zapríčiní to, že na invertujúcom vstupe sa vytvorí virtuálna zem a preto na svorkách fotodiódy je rovnaký potenciál. Týmto dosiahneme lineárnu závislosť medzi intenzitou dopadajúceho svetla a výstupným napätím. Keďže na invertujúcom vstupe je veľký odpor, prúd I_p generovaný fotodiódou tečie len cez rezistor R_f a platí:

$$V_{out} = R_f I_p$$

Zo svetla týmto TIA dostaneme napäťový signál, ktorého zosilnenie ovplyvňuje výber odporu R_f .



Obr. 3: Transimpedančný zosilňovač

Low-pass filtre

Pasívny filter

RC filter je jeden z najjednoduchších low-pass filtrov. Pre kapacitnú reaktanciu platí vzťah:

$$X_C = \frac{1}{\omega C}$$

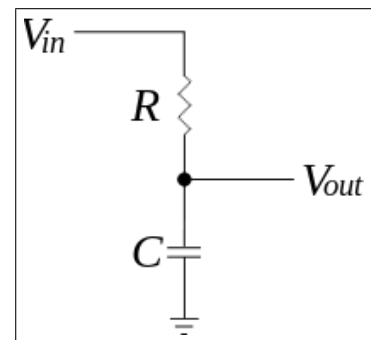
Pri nízkofrekvenčných signáloch má kondenzátor vysokú reaktanciu a teda núti tieť prúd cez záťaž. Pri vyšších frekvenciách reaktancia klesne a tak kondenzátor funguje ako skrat. Zlomovú frekvenciu nájdeme pomocou vzťahu:

$$f_a = \frac{1}{2\pi\tau}$$

pričom $\tau = RC$ je časová konštanta obvodu. Týmto dostávame výsledný vzťah:

$$f_p = \frac{1}{2\pi RC} \quad (2)$$

Spôsob, ako sa dá pochopiť, prečo na výstupe dostaneme nízkofrekvenčný signál je napr. takýto: Ak by obvodom pretekal jednosmerný prúd (DC), ktorý nemôže tieť kondenzátorom, dostal by sa len do záťaže. Ak by obvodom tiekol striedavy prúd (AC), ktorý veľmi dobre prechádza cez kondenzátor, mohli by sme kondenzátor nahradiť vodičom a



Obr. 4: Pasívny RC filter

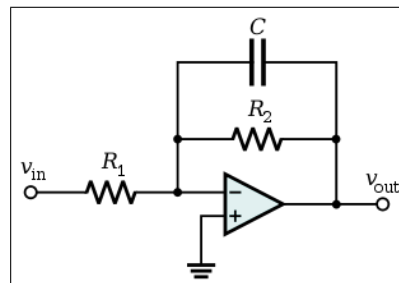
teda prúd by tiekol priamo do zeme (skrat). Avšak kondenzátor nie je len „on/off“ objekt, ale niečo medzi.

Aktívny filter

Obvod s invertujúcim OZ (má vlastné napájanie, preto je filter aktívny), kondenzátorom a dvoma rezistormi má zlomovú frekvenciu definovanú vzťahom:

$$f_a = \frac{1}{2\pi R_2 C} \quad (3)$$

Ďalšou vlastnosťou tohto zapojenia je, že kondenzátor odstraňuje potenciálnu rezonáciu slučky.



Obr. 5: Aktívny filter

Konštrukcia

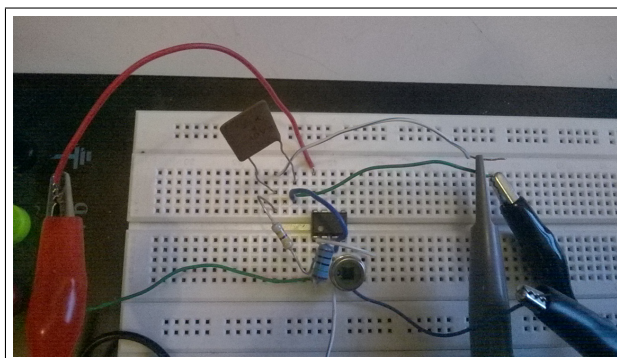
TIA

Použili sme diódu BPW21R a odpor $R_1 = 10 \text{ M}\Omega$ a OZ (TL082CP). Hodnota napájacieho napätia OZ bola $\pm 10 \text{ V}$.

TIA s pasívnym filtrom

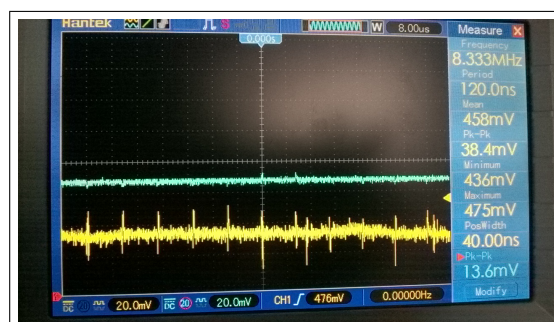
Na výstup TIA sme pripojili pasívny filter, aby sme odfiltrovali vysokofrekvenčné šumy. Osciloskopom sme merali napätie na dvoch miestach:

1. na výstupe TIA (na osciloskope zobrazené žltou farbou)
2. na výstupe pasívneho filtra (modrou farbou)

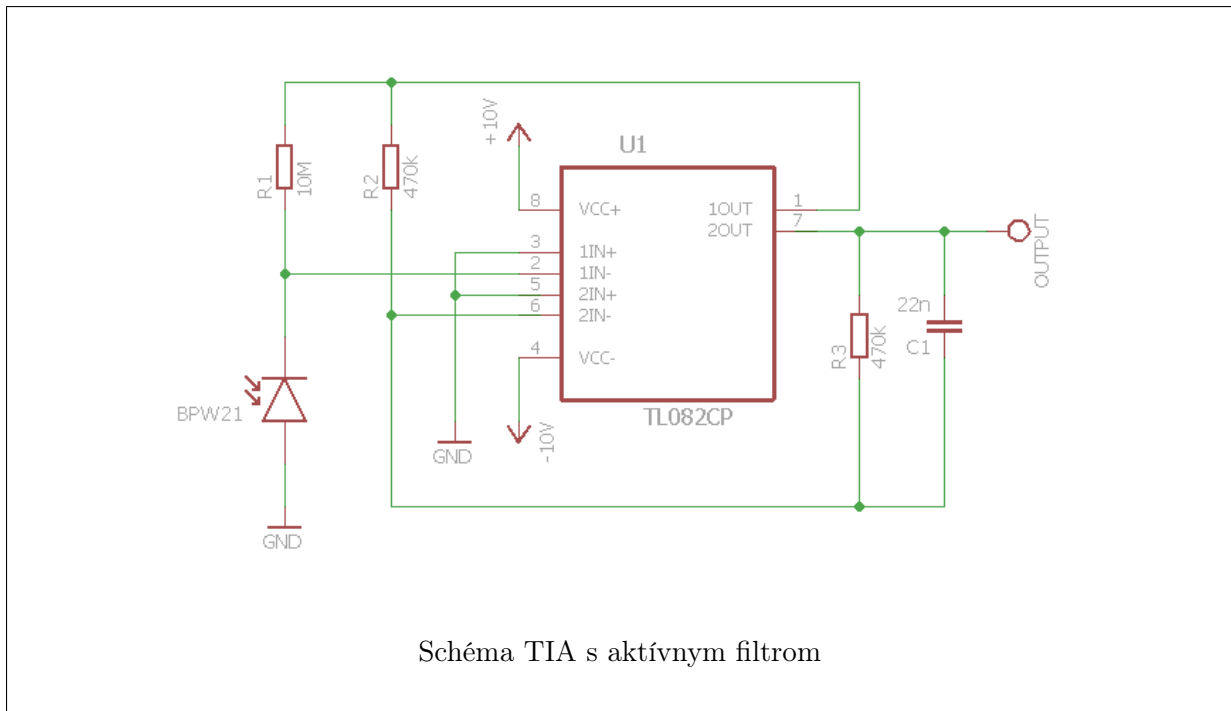


Obr. 6: TIA s pasívnym filtrom

Na fotografii osciloskopu si môžeme všimnúť, že pasívnym filtrom sme väčšinu vysokofrekvenčného šumu odfiltrovali. Ostal nám tam šum s veľkosťou 13.6 mV Pk-Pk . Na signále zobrazenom žltou farbou si môžeme všimnúť vysokofrekvenčný šum s periódou $11 \mu\text{s}$, teda s opakovacou frekvenciou pulzov 90 kHz , spôsobený zapnutým neďalekým počítačom. Na výstupe pasívneho filtra je tiež tento šum značne utlmený. V pasívnom filtri sme použili rezistor s odporom $R_2 = 470 \text{ k}\Omega$ a kondenzátor s kapacitou $C = 22 \text{ nF}$. Podľa vzťahu (2) zlomová frekvencia by mala byť $f_p = 15 \text{ Hz}$.



Obr. 7: Dáta z osciloskopu u TIA s pasívnym filtrom



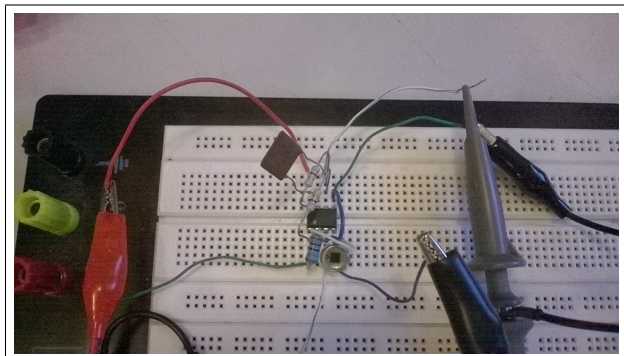
TIA s aktívnym filtrom

Sondy osciloskopu sme zapojili rovnako ako pri TIA s pasívnym filtrom. Použili sme ten istý kondenzátor a 2 rezistory s rovnakou hodnotou odporu $R_2 = R_3 = 470 \text{ k}\Omega$ a preto nám invertujúci zosilňovač (TL082CP) v aktívnom filtri signál vynásobil číslom -1. (Na obrazovke sme si modrý signál prevrátili, aby mali rovnaké znamienko). V tomto zapojení sme taktiež väčšinu vysokofrekvenčného šumu odfiltrovali a veľkosť šumu bola 43.2 mV Pk-Pk. Zlomová frekvencia podľa vzťahu (3) by mala byť aj v tomto obvode $f_a = 15 \text{ Hz}$. Horšie odfiltrovanie je pravdepodobne spôsobené nedokonalosťou OZ v súčiastke TL082CP.

Na fotodiódu sme ešte svietili blikajúcou baterkou. Na obrazovke osciloskopu (obr. 10) si môžeme všimnúť, že modrý signál nebol zosilnený a jeho zaoblenie je spôsobené odfiltrovaním vysokých (strmých) frekvencií.



Obr. 8: Dáta z osciloskopu u TIA s aktívnym filtrom

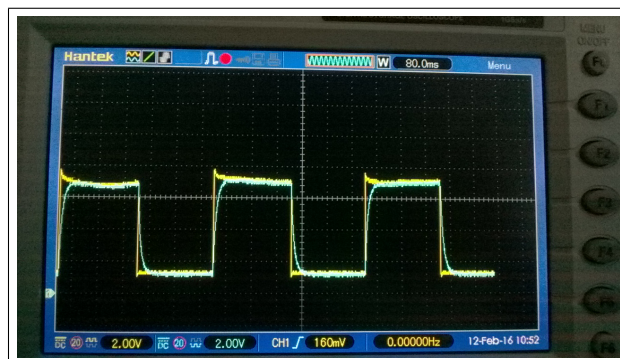


Obr. 9: TIA s aktívnym filtrom

Bibliografia

Literatúra

- [1] <https://en.wikipedia.org/>
- [2] Graeme, Jerald G.: Photodiode Amplifiers. 1995. 253 s. ISBN 0-07-024247-X.



Obr. 10: Blikajúci signál