

# MAGNETO-OPTIC SENSOR FOR MEASURING HIGH-LEVEL CURRENT PULSES

**Radek Myška**

Master Degree Programme (2), FEEC BUT

E-mail: xmyska01@stud.feec.vutbr.cz

Supervised by: Petr Drexler

E-mail: drexler@feec.vutbr.cz

**Abstract:** This work deals with the design of the optic fiber sensor for measuring non – periodical high-level current pulses. At the present the raising usage of high-level pulse current sources occurs. Pulses of several ones as far as thousands of kiloamps can be used for example in physical research, technological applications, building and foodprocessing industry or in the medicine. A suitable measurement system is required for pulsed current source design and development.

**Keywords:** Faraday's magneto-optic effect, pulsed current source, photodetection, transimpedance amplifier

## 1. ÚVOD

Problematika měření proudových impulsů s krátkou dobou trvání řádu jednotek až stovek nanosekund a dosahujících úrovní jednotek až desítek kiloampérů je v současné době aktuální vzhledem k rozvoji využívání impulsních výkonových zdrojů. Příkladem jsou aplikace ve stavebním průmyslu při narušování betonových bloků pro jejich následné snadnější drcení, dále v zemědělství pro zvýšení výtěžnosti řepné surové šťávy, kdy se pomocí vysoké intenzity impulsního elektrického pole narušují buněčné stěny řepy, při výzkumu jaderné fúze a v lékařství [1]. Nejvýkonnější zdroje jsou schopny generovat impulsy se špičkovou hodnotou proudu až 100 MA o celkovém výkonu až 100 TW [1].

Navržený senzor musí mít dostatečně velkou kmitočtovou šířku přenášeného pásma a vhodnou citlivost. Dále musí být senzor odolný vůči elektromagnetickému rušení.

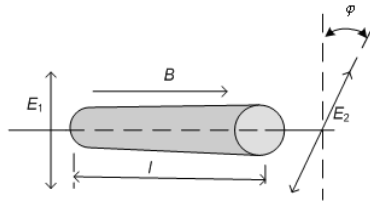
## 2. MAGNETO-OPTICKÝ SENZOR

### 2.1. FARADAYŮV MAGNETO-OPTICKÝ JEV

Jev se projevuje u opticky aktivních látek kdy při podélném působení magnetického pole dochází ke stočení roviny polarizace světelné vlny. Pro závislost stočení roviny polarizace v závislosti na velikosti magnetické indukce  $B$  působícího pole a interakční délce  $l$  lze odvodit vztah [2]

$$\varphi = VBl = \mu V H l, \quad (1)$$

kde  $V$  je tzv. Verdetova konstanta, která charakterizuje magneto-optické vlastnosti prostředí. Na obrázku 1 je zobrazen Faradayův magneto-optický jev.

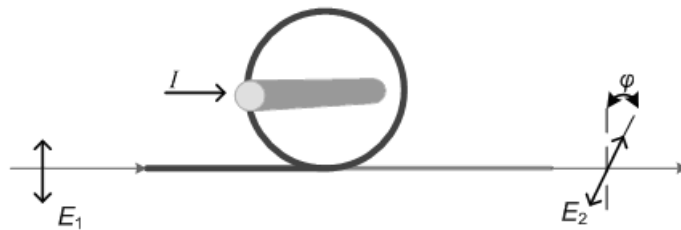


**Obrázek 1:** Faradayův magneto-optický jev.

## 2.2. NÁVRH SENZORU

Pro praktickou realizaci byl navržen senzor, který využívá jádra optického vlákna jako Faradayova rotátoru, viz. obrázek 2. Optické vlákno je obtočeno kolem měřeného vodiče. Takto i měřicí optický svazek procházející vláknem obepíná měřený vodič. Toto uspořádání vychází z Ampérova zákona celkového proudu

$$\oint_l B \cdot dl = \mu I. \quad (2)$$



**Obrázek 2:** Senzor s využitím optického vlákna jako Faradayova rotátoru.

Pro úhel stočení roviny měřicího optického paprsku lze s využitím vztahu (1) a (2) odvodit rovnici

$$\varphi(t) = \mu_0 V N i(t), \quad (3)$$

kde  $N$  představuje počet závitů kolem vodiče jímž protéká měřený proud. Prodloužením dráhy optického paprsku  $N$  dochází k omezení přenášené šířky pásma senzoru. Pro horní mezní kmitočet senzoru platí vztah

$$f_h = 0,44 \frac{c}{n N l}, \quad (4)$$

kde  $c$  je rychlost světla ve vakuu,  $n$  je index lomu magneto-optického prostředí a  $l$  je interakční délka senzoru.

Detekovatelný rozsah stočení roviny polarizace vlny je  $\Delta\varphi = 90^\circ$ . Při zachování dobré rozlišitelnosti signálu lze uvažovat stočení roviny polarizace o zvolený úhel  $\Delta\varphi = 2^\circ$ . Pro jednovidové vlákno tvořené oxidem křemičitým ( $\text{SiO}_2$ ) s Verdetovou konstantou  $V = 3,7 \text{ rad} \cdot \text{T}^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$  a při uvažování úrovně proudového impulsu  $I_p = 4 \text{ kA}$  je pak potřebný počet závitů určený z rovnice (3)  $N = 1,87$ .

Horní mezní kmitočet pro tento počet závitů při uvažování průměru závitu  $D = 5 \text{ cm}$  a indexu lomu použitého vlákna  $n = 1,5$  je po dosazení do vztahu (4)  $f_h = 280,112 \text{ MHz}$ .

## 2.3. ELEKTRONICKÁ ČÁST SENZORU

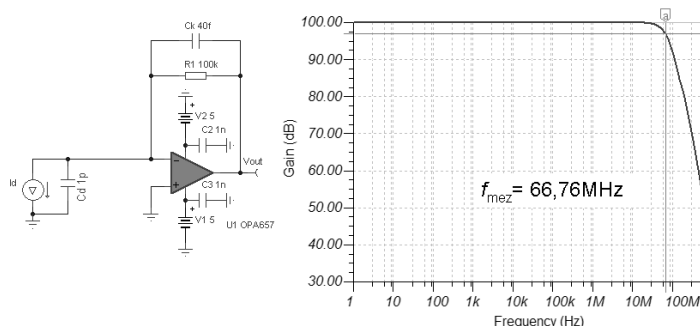
Pro převod optického signálu na elektrický byla zvolena fotodiody BPW 43 v tabulce 1 jsou uvedeny její důležité parametry kapacita přechodu  $C_D$  a rychlost  $t_r$ . Jelikož se fotodiody chová jako zdroj proudu je potřeba pro připojení měřicích přístrojů provést převod proudu na napětí. V nejjednodušším případě pomocí paralelně připojeného snímacího rezistoru. Omezení tohoto provedení je nízký mezní kmitočet na jehož hodnotě se výrazně podílí kapacita PN přechodu diody  $C_p$ .

Pro zvýšení mezního kmitočtu lze využít zapojení OZ jako transimpedančního zesilovače [3]. Při výběru OZ jsou důležitými parametry vysoký tranzitní kmitočet  $f_t$  a vstupní klidový proud  $I_b$ . Na základě těchto kriterií byl vybrán obvod OPA 657 jehož parametry jsou uvedeny v tabulce 1.

BPW 43		OPA 657	
$C_D$ [pF@30V]	$t_r$ [ns]	$f_t$ [MHz]	$I_b$ [nA]
1	4	1600	0,02

**Tabulka 1:** Důležité parametry fotodiody BPW 43 a OZ OPA 657.

V programu TINA byla provedena simulace přenosové funkce s OPA 657 jako transimpedančního zesilovače viz. obrázek 3. Kapacitor  $C_d$  představuje kapacitu PN přechodu fotodiody. V simulaci byla věnována pozornost vlivu velikosti kapacity  $C_k$ , která kompenzuje fázový posun OZ a článku  $R_1C_d$  a tím zamezuje vzniku oscilací obvodu zároveň, ale omezuje dosažitelnou šířku pásma.



**Obrázek 3:** Simulace přenosové charakteristiky transimpedančního OZ s OPA 657.

Z výsledků simulací vyplynulo, že vhodná velikost kapacitoru je  $C_k = 40 \text{ fF}$ . Výsledná šířka pásma je  $B = 66,76 \text{ MHz}$ . Pro měření impulsů generovaných zdrojem, který je popsán v práci [4] je šířka pásma dostatečná, ale bylo by vhodné jí rozšířit. Jednou z možností je využití speciálního obvodu pro fotodetektory AD 8015. Dosažitelná šířka přenášeného pásma je  $B = 240 \text{ MHz}$  a klidový proud je  $30 \mu\text{A}$ . Pro tento obvod nejsou dostupné simulační modely ověření bude proto provedeno experimentálně.

### 3. ZÁVĚR

V práci byl popsán návrh magneto-optického senzoru proudových impulsů založený na Faradayově jevu s využitím jádra optického vlákna jako Faradayova rotátoru. Dále je v práci prezentován návrh elektronické části senzoru s OZ OPA 657. Jako perspektivní se jeví i využití obvodu AD 8015. V dalším pokračování práce bude popsán senzor realizován a ověřena jeho funkce.

### REFERENCE

- [1] BLUHMA, H., *Pulsed power systems, principles and applications*. Karlsruhe : Institut fur hocheistungsim-puls-und mikrowellentechnik, 2006, 323s, ISBN 3-540-26137-0.
- [2] DREXLER P. *Metody měření ultrakrátkých neperiodických elektromagnetických impulsů*: doktorská práce. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2007. 92 s.
- [3] JOHNSON, M. *Photodetection and measurment: maximizing performance in optical system*. McGraw-Hill Companies USA, 2003. 287s. ISBN 0-07-140944-0.
- [4] MYŠKA, R., *Zdroj proudového impulsu vysoké úrovně: bakalářská práce*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií. Ústav teoretické a experimentální elektrotechniky, 2009. 64 s., Bakalářská práce