

MEASUREMENT SYSTEM FOR PULSED CURRENT SOURCE

Radek Myška

Master Degree Programme (1), FEEC BUT
E-mail: xmyska01@stud.feec.vutbr.cz

Supervised by: Petr Drexler

E-mail: drexler@feec.vutbr.cz

ABSTRACT

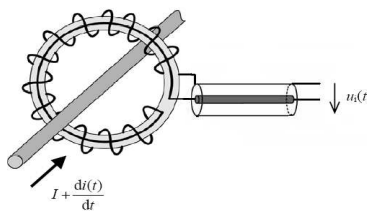
This work deals with suitable methods for measurement of non-periodical high-level current pulses. At the present the raising usage of high-level pulse current sources occurs. Pulses of several tens as far as thousands of amperes can be used for example in building and food-processing industry. For pulsed current source design and development a suitable measurement system is required. The principle of Rogowski sensor is presented in this paper a there are given some preliminary results obtained by sensor designing.

1. ÚVOD

Cílem tohoto příspěvku je seznámení s problematikou měření výkonových elektromagnetických impulzů s krátkou dobou trvání v řádu desítek nanosekund a dosahujících úrovně jednotek až desítek kiloampérů. Aplikace přímé metody měření proudu a napětí pomocí bočníku, resp. předřadníku je značně nevýhodná, jelikož na vysokých kmitočtech by docházelo k tzv. „skin efektu“, který by se negativně projevil na obdrženém průběhu. Jako vhodné se jeví indukční metody založené na měření velikosti magnetického pole indukovaného protékajícím proudem. Další vhodné metody jsou založené na využití magneto-optických jevů. Požadavkem na měřicí metodu je vhodná citlivost, dostatečně velká šířka pásma s ohledem na předpokládané časové relace impulzu. Dalším požadavkem je linearita senzoru.

2. ROGOWSKEHO SENZOR (CÍVKA)

Tento senzor je založen na principu Ampérova zákona celkového proudu a Faradayova indukčního zákona. Senzor je konstruován jako cívka se vzduchovým jádrem s definovaným počtem závitů navinutých kolem toroidní nosné konstrukce.

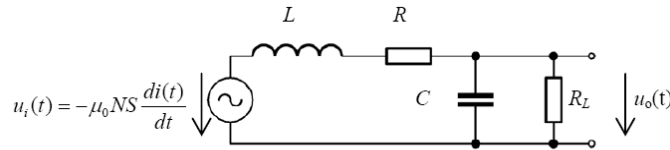


Obrázek 1 : Rogowskeho cívka jako senzor elektrického proudu

Vodič, jímž protéká měřený proud je touto cívku obepnut, viz. obrázek 1. Pro indukované napětí na výstupních svorkách Rogowskeho proudového senzoru platí vztah [1]

$$u_i(t) = -\frac{d\Phi(t)}{dt} = -\mu_0 NS \frac{di(t)}{dt}, \quad (1)$$

kde Φ je magnetický indukční tok, μ_0 je permeabilita vakua, N je počet závitů senzoru a S plocha závitů cívky. Výstupní napětí je úměrné časové derivaci měřeného proudu. Z toho vyplývá, že stejnosměrná složka I měřeného proudu se na výstupním napětí neprojeví. Pro obdržení časového průběhu proudu je nutno výstupní napětí integrovat. To lze realizovat pasivním či aktivním integrátorem. Na obrázku 2. je znázorněno náhradní schéma Rogowskeho senzoru. Cívka L představuje vlastní indukčnost senzoru, rezistor R ohmický odpor senzoru a kondenzátor C mezizávitovou kapacitu cívky a přívodního kabelu senzoru.



Obrázek 2 : Náhradní obvodové schéma Rogowskeho senzoru [1]

Pro náhradní schéma na obrázku 2. lze odvodit přenosovou funkci v operátorovém tvaru

$$K_u(p) = \frac{U_o(p)}{U_i(p)} = \frac{R_L}{p^2 R_L LC + p(R_L RC + L) + R + R_L}, \quad (2)$$

kde $p=j\omega$ je Laplaceův operátor. Pokud Rogowskeho senzor zatížíme dostatečně malým odporem R_L a při měření proudu s dostatečně vysokou frekvencí, získáme přenosovou funkci v operátorovém tvaru.

$$K_u(p) = \frac{U_o(p)}{U_i(p)} = \frac{R_L}{pL}, \quad (3)$$

S využitím vztahu (1) je dána relace mezi indukovaným elektromotorickým napětím a napětím na výstupu zatíženého senzoru.

$$U_o(p) = \frac{R_L}{pL} U_i(p) = -\mu_0 NS \frac{R_L}{pL} pI(p) = -\mu_0 NS \frac{R_L}{L} I(p) \quad (4)$$

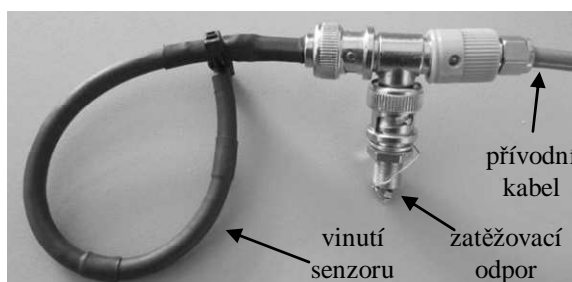
Po převodu do časové oblasti

$$u_o(t) = -\mu_0 NS \frac{R_L}{pL} i(t) = -A_{\text{rog}} i(t) \quad (5)$$

kde $A_{\text{rog}} = \mu_0 NS R_L / L$ je konstanta Rogowskeho senzoru. Z výše provedené analýzy je patrné, že pro dostatečně nízkou hodnotu zatěžovacího odporu R_L je okamžitá hodnota výstupního napětí senzoru $u_o(t)$ rovna okamžité hodnotě měřeného proudu $i(t)$. Senzor pak pracuje v samo-integrační oblasti. Konstanta Rogowskeho senzoru může být snadno určena výpočtem z geometrických rozměrů cívky a jejích parametrů obvodového modelu [1]. Pro konstrukci Rogowskeho senzoru se dá s výhodou využít koaxiálního kabelu. Vyvedený střední vodič je zpětně navinut na dielektrikum. Tím vytváří cívku, která je spojena s opletem což je principiálně ukázáno na obrázku 1. Na obrázku 3. je realizovaný senzor s parametry udanými v tabulce 1. Parametry L a R senzoru byly určeny měřením impedance na nízkém kmitočtu. Následně byla nalezena rezonanční frekvence senzoru a pomocí Thomsonova vztahu byla vypočtena mezizávitová kapacita C .

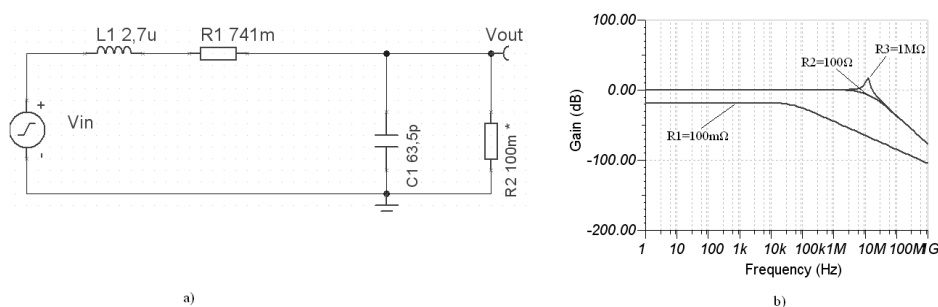
$L[\mu\text{H}]$	$R[\Omega]$	$C[\text{pF}]$
2,7	0,741	63,5

Tabulka 1: Parametry experimentálního senzoru



Obrázek 3 : Realizovaný experimentální senzor

Pro senzor byla provedena simulace přenosu v kmitočtovém pásmu 1 Hz až 1 GHz pro tři hodnoty zatěžovacího rezistoru R_L (100 m Ω , 100 Ω , 1 M Ω). Z výsledků simulace na obrázku 4. je patrné, že se snižováním zatěžovacího odporu klesá úroveň přenosu. Tento pokles, ale při předpokládaných úrovních impulzu to není omezující. Zároveň dochází k posunu mezního kmitočtu senzoru na nižší kmitočet. Mohou tak být měřeny i proudy s nižšími kmitočty v samo-integrující oblasti senzoru za mezním kmitočtem.



Obrázek 4 : a) náhradní schéma pro simulaci, b) výsledky simulace

Vhodná hodnota zatěžovacího rezistoru byla zvolena $R_L = 100 \text{ m}\Omega$. Zatlumením dojde k potlačení oscilací v měřeném průběhu na rezonanční frekvenci a lze s ním měřit proudy s kmitočty nad 100 kHz v samo-integrujícím režimu.

ZÁVĚR

V článku je popsána metoda měření proudových impulzů vysokých úrovní pomocí Rogowského senzoru. Dále je prezentována experimentální realizace senzoru s využitím koaxiálního kabelu. Pro dosažení samo-integračního režimu senzoru pro kmitočty nad 100 kHz byla zvolena vhodná velikost odporu R_L za pomoci simulace. Senzor je připraven pro experimentální ověření na testovacím zdroji jehož výsledky budou součástí závěrečné práce. Další metoda, která bude v práci analyzována a ověřována je založena na magneto-optickém jevu.

LITERATURA

- [1] DREXLER P. *Metody měření ultrakrátkých neperiodických elektromagnetických impulsu: doktorská práce*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2007. 92 s.