

Závěrečná zpráva projektu specifického výzkumu - zakázka č. 2137

Název projektu: Přenosové vlastnosti proudových snímačů z magnetických pryskyřic nové generace

Odpovědný řešitel:	doc. Ing. Jaroslav Lokvenc, CSc.
Studenti magisterského studia na PdF UHK:	Bc. Lukáš Čížinský Bc. Radek Jiříček
Externí spolupráce - programování modelů:	Ing. Mgr. Josef Šedivý, Ph.D.
Celková částka přidělené dotace:	66 800 Kč

Východiska projektu

Projekt navazuje na výsledky dlouholetého výzkumu, kdy jsme s využitím vlastních prostředků vyvinuli novou generaci magnetických pryskyřic a následně verifikovali souběh objektivně naměřených parametrů s navrženým prostorovým matematickým modelem, a které byly s podporou prostředků VaV PdF publikovány v časopisu Applied Mechanics and Materials vydavatelství Trans Tech Publications (LOKVENC, J. et al. *The modern current sensors of synthetic magnetic resin*. TTP, 2013). Cílem projektu bylo praktické ověření návrhu nové generace proudových snímačů z magnetické pryskyřice, změření jejich přenosových vlastností dI/dt , frekvenčních charakteristik a linearity magnetického obvodu.

Postup řešení projektu

V oblasti měření velkých střídavých proudů se používá zpravidla nepřímé měření pomocí proudových transformátorů zapojených nakrátko nebo pomocí bezjádrového transformátoru naprázdno, tzv. Rogowskiho vinutí. Námi vyvinuté magnetické pryskyřice měly umožnit konstruovat lehké a účinné proudové snímače. Narozdíl od Rogowskiho vinutí má navržený snímač jádro z magnetického, elektricky nevodivého, materiálu s nízkou permeabilitou, které koncentruje siločáry do objemu snímacího vinutí a omezuje tak vnější rušivá pole. Derivační charakteristika snímače (jeho výstupní napětí je časovou derivací proudu, $U = -dI/dt$) představuje jistou výhodu při snímání vyšších frekvencí, kdy je pro harmonický průběh výstupní napětí úměrné frekvenci.

Pro snímače byla odlita nová jádra ze směsi SOMALOY TM500. Mechanické opracování na přesný rozměr bylo provedeno v dílnách KTP. Navinutí snímačů bylo realizováno ve spolupráci s BV Elektronik Holice, současně s výrobou zatěžovací impedance pro měření snímačů.

Základní ověření funkčnosti snímačů bylo provedeno provedeno akreditovanou zkušebnou Cejchovna elektroměrů Praha na silových (energetických) obvodech, sinusovým proudem s frekvencí 50 Hz v měřicím rozsahu 1 A až 2 kA. Měření bylo provedeno v diskrétních bodech v pěti rozsazích. V rozsahu 1 A až 100 A se měřilo v kroku 1 A, rozsahy 100 A až 250 A, 250 A až 500 A a 500 A až 1 000 A byly měřeny po 20 A. Nejvyšší rozsah 1 000 A až 2 000 A byl měřen s krokem 40 A. Měření v diskrétních bodech bylo zvoleno jednak z důvodu časového vytížení zkušebny a z důvodu omezení energetické náročnosti provedených měření. Pro každý rozsah bylo provedeno deset opakovaných měření ve smyslu ČSN ISO 5725-2 *Přesnost (správnost a shodnost) metod a výsledků měření - Část 2: Základní metoda pro stanovení opakovatelnosti a reprodukovatelnosti normalizované metody měření*. Výsledky měření byly zpracovány v souladu s ČSN ISO 2602 *Statistická interpretace výsledků zkoušek. Odhad průměru. Konfidenční interval*. a ČSN ISO 2854 *Statistická interpretace údajů: Odhady a testy středních hodnot a rozptylů*. Zkoušky prokázaly linearitu použitého magnetického materiálu a lineární závislost výstupního napětí na velikosti měřeného proudu. Přesnost prototypu námi navrženého snímače je v toleranci 0,4 %. Snímač tak splňuje požadavky laboratorních přístrojů třídy přesnosti 0,5.

Derivační charakteristika proudových snímačů s jádrem z lité magnetické pryskyřice a skutečnost, že snímače musejí pracovat naprázdno, vyžaduje zesílení, úpravu a případnou digitalizaci signálu před dalším přenosem. Pro snímače byly vyvinuty korekční a vyrovnávací zesilovače pro úpravu frekvenční charakteristiky a nastavení požadované přenosové konstanty. Koncepce zesilovačů vychází z námi vyvinutých nových zapojení bipolárních operačních zesilovačů (LOKVENC, J. et al. *Application of Bipolar Operational Amplifiers for Special Measuring Circuits in Electro-Energy*. NAUN, CSSP, 2013. LOKVENC, J. et al. *Operational amplifiers for measurement purposes: non-inverting amplifier integral and derivative*. WSEAS, CSST, 2014. LOKVENC, J. et al. *Unusual involvement of operational amplifiers for measuring purposes, low frequency and DC applications*. WSEAS, CCCC, 2012). Plně symetrické řešení dovoluje s výhodou použít standardní profesionální kabely AES/EBU s konektory XLR-Canon a zajišťuje vysoké potlačení součtového signálu a tím potlačení rušivých složek.

Měření frekvenčních a přenosových charakteristik bylo z důvodu značného zpoždění stavebních prací na budově C realizováno v provizorních podmínkách v soukromé laboratoři někdejší firmy RTV-IRIS Elektroakustika. Ze stejného důvodu bude referenční zátěž 1,2 kA s pomocnými obvody pro měření velkých impulzních proudů

dokončena ve finální podobě až v březnu 2015. Měřicí technika umožňovala měření frekvenčního rozsahu a přenosových vlastností při ekvivalentním proudu 100/200 A v pásmu 20 Hz až 20 kHz a v pásmu 20 Hz až 100 kHz při ekvivalentním proudu do 100 A. S použitím programovatelného generátoru byly ověřeny přenosové vlastnosti snímače, zesilovačů a celé sestavy nejen pro harmonický průběh, ale i pro signály trojúhelníkové, pilové, obdélníkové a impulzní. Zpracování výsledků se opíralo o ČSN ISO 21748 *Návod pro použití odhadů opakovatelnosti, reprodukovatelnosti a pravdivosti při odhadování nejistoty měření* a ČSN ISO 2602 *Statistická interpretace výsledků zkoušek. Odhad průměru. Konfidenční interval*.

Dosažené výsledky

Výsledky měření ukázaly, že námi navržený proudový snímač s jádrem z lité magnetické pryskyřice zachovává výhody derivačního snímače, poskytuje vysokou linearitu měření a velký frekvenční rozsah. V rámci možností našich laboratoří byl ověřen proudový rozsah do 2 000 A při frekvenci 50 Hz, frekvenční rozsah 100 kHz při proudu 100 A a derivační charakter snímače $U \approx f(dI/dt)$. Jádro z lité magnetické pryskyřice koncentruje a stabilizuje magnetický tok ve snímacím vinutí a vlivem nízké permeability je zpětné působení snímače na měřený proud zanedbatelné. Použitá koncepce snímacího zesilovače dovoluje pro připojení proudového snímače s výhodou použít standardní profesionální kabely AES/EBU s třípólovými konektory XLR-Canon. Plně symetrické řešení snímače a vstupní části zajišťuje vysoké potlačení součtového signálu a tím potlačení rušivých složek. Navržené elektronické obvody lze podle potřeby řešit i jiným způsobem, v současné době je ve spolupráci s Ing. Voborníkem, Ph.D. a Ing. Zuzjakem z FEL ZČU v Plzni, dokončen návrh nového snímacího a korekčního zesilovače s širší frekvenční charakteristikou a vyšší rychlostí přeběhu.

Výstupy projektu

V rámci řešení projektu byly zpracovány následující publikace:

ID 43869699 - výsledek kategorie D

LOKVENC, J. - DRTINA, R. - ŠEDIVÝ, J. *The modern current sensors of synthetic magnetic resin. Part 2 - AC current sensor up to 2 000 amps*. Trans Tech Publications. Advanced materials research. 2015. s. 581-587. ISSN 1022-6680.

ID 43869698 - výsledek kategorie D

LOKVENC, J. - DRTINA, R. - ŠEDIVÝ, J. - JIŘÍČEK, R. - ČIŽINSKÝ, L. *The modern current sensors of synthetic magnetic resin. Part 3 - Transmission characteristics and design of the sensor amplifier*. Trans Tech Publications. Advanced materials research. 2015. s. 562-569. ISSN 1022-6680.

Přehled realizovaných výdajů

- osobní náklady nebyly pro administrativní náročnost a nutné odvody nárokovány.
- po schválení změny v rozpočtu byla navýšena částka na stipendia na 6 000 Kč. Stipendia byla přiznána studentům ID 24544 Lukáš Čákora, ID 27486 Jan Konvalina, ID 27584 Lukáš Vrba za pomoc při řešení úkolu, zejména za přípravu, měření a sumarizaci dat frekvenčních a přenosových charakteristik a přípravu podkladů pro publikační výstupy.
- materiálové náklady představuje nákup elektrických a mechanických dílů, spojovacích vodičů, spojovacího materiálu, kabelové konfekce a technologických doplňků. Přehledný rozpis základních položek je v tab.1.

Přidělená dotace ve výši 66 800 Kč byla po nutných úpravách projektu zcela vyčerpána. Se souhlasem oddělení vědy a výzkumu PdF byl projekt dofinancován z prostředků institucionální podpory vědy a výzkumu. Jednalo se zejména o dofinancování publikačních výstupů, kdy byl rozsáhlý materiál z výsledků měření upraven a rozdělen do dvou samostatných konferenčních příspěvků většího rozsahu. Publikované články s vybranými výsledky měření jsou přílohou této zprávy. Podrobný přehled čerpání je uveden v tabulce 1.

Závěr

Navržený snímač nové generace, s jádrem z lité magnetické pryskyřice SOMALOY TM500, zachovává výhody použití Rogowskiho cívky - vysokou linearitu měření a velký frekvenční rozsah. Jádro z lité magnetické pryskyřice přitom koncentruje a stabilizuje magnetický tok ve snímacím vinutí. Vlivem nízké permeability použitého materiálu ($\mu_r = 5,6$) je zpětné působení snímače v zapojení naprázdno zanedbatelné na měřený vodič. Snímač vykazuje vysokou linearitu a přesnost převodu proud \rightarrow napětí.

Uplatnění magnetických pryskyřic lze očekávat zejména v oblasti měřicích systémů v elektroenergetice, těžkých pohonech a trakčních zařízeních, ale i v technice vysokých frekvencí, neboť nepoměrně hustší materiál vykazuje použitelnost až do frekvence 1 MHz. Lité magnetické materiály umožňují konstruovat malé, lehké, ale přitom vysoce přesné proudové snímače.

Tab.1 Přehled nákladů projektu 2137

položka	náklady
přířez textit	4 289,45
hliníkové profily	2 860,00
přístrojové kolo EGA	686,00
chladiče, rezistory	13 478,00
vačkové spínače	5 961,00
řezání vodním paprskem	3 346,00
měřicí přístroje	4 271,00
konferenční poplatek	15 879,43
vinuté prvky	4 046,24
předřadník 1 kVA/3,5 kV	3 872,00
vodiče, kabelová konfekce	2 111,00
stipendia	6 000,00
celkové náklady	66 800,12
přečerpáno	-0,12

Datum: 29. prosince 2014



.....

doc. Ing. Jaroslav Lokvenc, CSc.