

## Experimentálne výsledky správania sa supravodivého magnetu počas vybíjania do vonkajšej zát'áže

Ladislav Grega<sup>1</sup>

### Experimental results of superconducting magnet behaviour during discharging into the external load

The basic part of every SMES (Superconducting magnetic energy storage) system is a superconducting magnet. All events of electrical nature which happen during its charging, bypassing and discharging are transient. The article deals with experimental results of the superconducting magnet behaviour, especially during the period of its discharging into the prepared external load.

**Key words:** SMES, superconducting magnet, current leads

### Úvod

Technológia SMES uchováva elektrickú energiu v magnetickom poli supravodivého magnetu, ktoré vznikne budením supravodivej cievky jednosmerným prúdom. Následne môže byť energia uchovávaná v perzistentnom móde, tzv. offline režime prakticky neobmedzene dlho. Výskum v oblasti SMES na F BERG sa sústreďuje na definovanie možností interkonekcie konvenčného MRI (magnetic resonance imaging) a vhodného PCS (power conditioning system), jeho návrh a optimalizáciu parametrov tak, aby zariadenie plnilo funkciu SMES podľa vopred špecifikovaných požiadaviek. V ďalšej časti popisované experimenty majú prakticky potvrdiť správnosť predpokladanej možnosti využitia MRI pre SMES a odmerať kľúčové parametre supravodivého magnetu nutné pre ďalšie dimenzovanie a celkovú optimalizáciu SMES systému na báze MRI [1, 2, 3, 4, 5, 6].

### Testovacia zát'áž a jej konštrukcia

Pre prvé experimentálne pokusy vyvedenia elektrickej energie naakumulovanej v magnetickej sústave supravodivého magnetu bola zvolená ako vhodná alternatíva sústava halogénových žiaroviek, ktorá by zároveň vhodne aj opticky demonštrovala vybíjanie sa akumulovanej energie. Dimenzovanie a zapojenie tejto sústavy bolo založené na základe stanoveného limitného, resp. cieľového elektrického prúdu s hodnotou  $I_{\max}=100$  A. Na základe tejto limitnej hodnoty bola zvolená sústava desiatich paralelne zapojených žiaroviek s nominálnym napätím  $U_{\text{nom}}=6$  V a s nominálnym výkonom  $P_{\text{nom}}=55$  W, ktorá je znázornená na obr. 1.

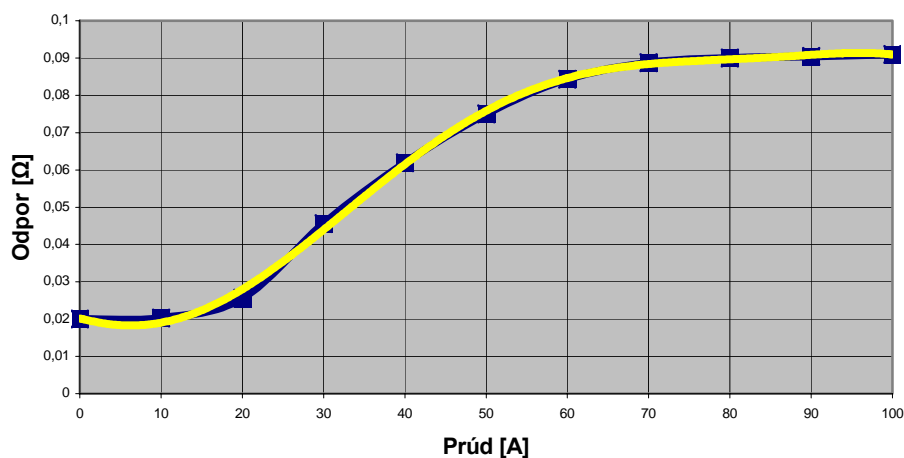


Obr. 1. Testovacia zát'áž pre supravodivý magnet.

Fig. 1. Experimental load for the superconducting magnet.

<sup>1</sup> Ing. Ladislav Grega, interný doktorand, Ústav podnikania a manažmentu, F BERG, TU v Košiciach, Park Komenského 19, [ladislav.grega@tuke.sk](mailto:ladislav.grega@tuke.sk)  
(Recenzovaná a revidovaná verzia dodaná 26. 3. 2009)

Wolfrámové vlákno halogénovej žiarovky je však teplotne závislé, a teda jeho odpor nie je konštantný, preto pre potreby neskoršej analýzy bola odmeraná volt-ampérová charakteristika použitej pri experimente halogénovej žiarovky uvedená a zostrojená charakteristika priebehu elektrického odporu sústavy žiaroviek v závislosti na prúde, ktorý ňou preteká. Spomínaná charakteristika je na obr. 2.



Obr. 2. Priebeh závislosti elektrického odporu sústavy žiaroviek na prúde.  
Fig. 2. Test load resistance vs current characteristics.

### Nabudenie magnetickej sústavy

Nabudenie magnetickej sústavy supravodivého magnetu bolo uskutočnené automatickým externým regulovateľným zdrojom jednosmerného elektrického prúdu. Ako už bolo vyššie spomenuté, limitný prúd pri prvom experimente dosahoval hodnotu 100 A, (obr. 3). Aby bolo vôbec možné magnetickú sústavu nabudiť a následne v nej aj tok prúdu uzatvoriť, bolo nevyhnutné zostrojiť stabilizovaný zdroj napätia pre hodnotu stanovenú podľa výpočtov na 18,5 V, potrebných pre napájanie ohrievača supravodivej spojky magnetu. Samotné nabudenie magnetickej sústavy na limitnú hodnotu trvalo cca 60 s.



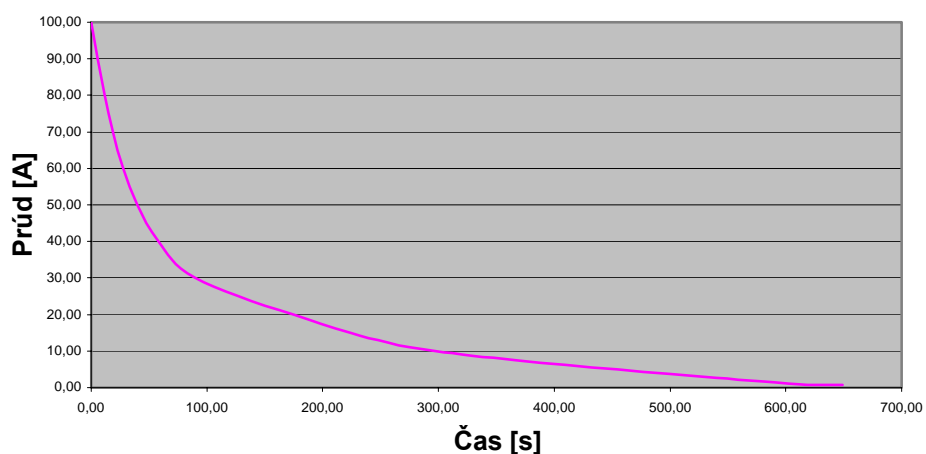
Obr. 3. Horná hranica prúdu externého zdroja.  
Fig. 3. The current reading of external power supply.

### Uzavretie magnetického toku v sústave a vyvedenie naakumulovanej energie do testovacej záťaže

Samotné uzavretie magnetického toku v sústave bolo spôsobené vypnutím ohrevu supravodivej spojky magnetu. Na obr. 4 je znázornená celá experimentálna sústava počas prebiehajúceho experimentu, konkrétne počas vybíjania akumulovanej energie do záťaže. Prechod sústavy z tzv. bypass stavu do režimu vybíjania sa bol takisto uskutočnený manipuláciou s ohrevom supravodivej spojky magnetu, v prípade vybíjania sa konkrétne jeho opätovným spustením. Na obr.5 je znázornený približný priebeh výstupných veličín na svorkách supravodivého magnetu počas vybíjania naakumulovanej energie do testovacej záťaže.



Obr. 4. Zapojenie výstupných veličín ( $U$ ,  $I$ ) na svorkách supravodivého magnetu počas jeho vybíjania v závislosti na čase.  
Fig. 4. Current and voltage on magnet terminals during the coil discharge.



Obr. 5. Priebeh výstupného prúdu supravodivého magnetu počas jeho vybíjania v závislosti na čase.  
Fig. 5. Output current of superconducting magnet during the coil discharge.

### Experimentálne výsledky a závery

V článku je stručne popísaný proces experimentálneho nabudenia a odbudenia magnetickej sústavy supravodivého magnetu v laboratóriu F BERG TU v Košiciach, ktorého cieľom bolo zistiť niektoré charakteristiky supravodivého magnetu, ako aj prvotne opticky demonštrovať prítomnosť naakumulovanej energie. Popisované procesy boli vykonávané v sérii niekoľkých za sebou nasledujúcich experimentov a je ich možné zhrnúť nasledovne:

Ako je zrejmé z obr. 5, správanie sa sústavy vzdialene pripomína ideálny prechodný jav v obvode R-L. Deformovanie krivky bolo spôsobené im vlastnou teplotnou závislosťou vlákien halogénových žiaroviek testovacej záťaže. Pri danej konštantnej indukčnosti cievky supravodivého magnetu sa menil odpor testovacej záťaže, v dôsledku čoho sa menila celková časová konštanta sústavy. Séria experimentov navyše odhalila, že počas experimentov sa opakovane aktivoval ochranný obvod supravodivého magnetu, ktorý z bezpečnostných dôvodov čiastočne absorboval v magnetu akumulovanú energiu. To znamená, že supravodivý magnet z laboratória FBERG má inštalovaný interný tzv. „dump rezistor“. Táto skutočnosť je dôležitou informáciou pre ďalší vývoj v oblasti perspektívy využitia MRI pre účely SMES [1, 2, 3, 4, 5, 6].

### Literatúra - References

- [1] Lee, D. H.: A Power Conditioning System for Superconductive Magnetic Energy Storage based on Multi -Level Voltage Source Converter, *dizertačná práca, Virginia Polytechnic Institute, 1999.*
- [2] Superczynski, M. J.: Analysis of the power conditioning system for a superconducting magnetic energy storage unit, *Faculty of the Virginia Polytechnic Institute and State University, 2000.*
- [3] Molokáč, R., Rybár, P., Grega, L.: MRI device - Alternative for electrical energy storage. In: *Metalurgija. roč. 47, č. 1 (2008), s. 65-68. ISSN 0543-5846* Internet: [http://public.carnet.hr/metalurg/Metalurgija/2008\\_vol\\_47/No\\_1/MET\\_47\\_1\\_65\\_68\\_Molokac.pdf](http://public.carnet.hr/metalurg/Metalurgija/2008_vol_47/No_1/MET_47_1_65_68_Molokac.pdf).
- [4] Molokáč, Š., Trojan, P., Grega, L., Rybár, P.: Skúsenosti so schladzovaním a zalievaním veľkých supravodivých magnetov. In: *Acta Montanistica Slovaca. roč. 13, mimoriadne č. 3 (2007), s. 374-380.* Internet: <http://actamont.tuke.sk/pdf/2008/n3/14trojan.pdf>, ISSN 1335-1788.
- [5] Molokáč, Š., Grega, L., Rybár, P.: Using MRI devices for the energy storage purposes. In: *Acta Montanistica Slovaca. roč. 12, mimoriadne č. 2 (2007), s. 278-284, ISSN 1335-1788,* Internet: <http://actamont.tuke.sk/pdf/2007/s2/8grega.pdf>.
- [6] Molokáč, Š., Grega, L., Trojan, P., Rybár, P.: Priama premena energie supravodivého magnetu na elektrickú energiu. In: *Zborník z konferencie RESPECT 2007.*