

# MÉRÉSI JEGYZŐKÖNYV

## 1. MÉRÉS – A MEISSNER-EFFEKTUS VIZSGÁLATA

LABORVEZETŐ: DANKHÁZI ZOLTÁN

SZILVÁSI ÁDÁM, FIZIKA BSC  
MÉRÉS DÁTUMA: 2010. FEBRUÁR 18.  
LEADÁS DÁTUMA: 2010. ÁPRILIS 29.

## 1) A MÉRÉS CÉLJA

A mérés célja magas hőmérsékletű szupravezető fázisátalakulásának vizsgálata a Meissner-effektus segítségével.

## 2) A MÉRÉSI MÓDSZER

A szupravezetés jelensége alapvetően az anyag mágneses tulajdonságához köthető. Szupravezető állapotban az anyag belsejéből kiszorul a mágneses tér, amelyet formálisan úgy írhatunk le, hogy az anyag szuszceptibilitása,  $\chi = -1$  lesz. A jelenség első fenomenologikus leírását a London-testvérek adták meg kiegészítve a Maxwell-egyenleteket extra feltételekkel.

A minta szuszceptibilitását egy váltóáramú-híd méréssel végezzük, és két tekercspárt alkalmazunk, hogy kiküszöböljük a hőtágulásból eredő szisztematikus hibát. A mintát a két primer tekercs egyikébe helyezzük, a másikat szabadon hagyjuk, a szekunder tekercsekben indukált feszültséget pedig egy differenciálerősítő lábaira kötjük, így mérhetjük, hogy a légmagos tekercshez képest a mintát tartalmazó tekercsben indukált feszültség hogyan változik, miközben a minta szuszceptibilitása 0 körülről lecsúszik  $-1$ -re, megváltoztatva a tekercsek csatolását. A differenciálerősítő kimenetét egy lock-in áramkör konvolválja a tekercsvezérlő függvénygenerátor kimenő jelével, így a tekercsekből jövő véletlen zaj és a más frekvenciájú zavarok mind nulla járulékot adnak megfelelően nagy integrálási időállandó választásával, csak a gerjesztő frekvenciával érkező jel ad nem nulla járulékot. Az integrált jel kimenetét úgy maximalizáltuk, hogy a függvénygenerátor lock-inbe menő jelét fázistolással azonos fázisba hoztuk a tekercsekből jövő jellel. A teflonból készült mérőfejben a két tekercs között egy platina ellenállás helyezkedik el. A lock-in és a platina hőmérő kimenetei közt egy morze-érintkezős reed-relé váltogat, amelyből a digitális multiméter bemeneteire vezetjük a jeleket. Mindkettőt a számítógép vezérli, és az olvassa ki az adatokat a DVM-ből, de csak akkor tárolja őket, ha azok megfelelnek a beállított kiviteli feltételeknek. Itt megjegyzem, hogy ebben a félévben mi mértünk először, és a berendezés ki lett cserélve, így egy kicsit mást kaptunk, mint amit vártunk: körülbelül tízed akkora feszültségértékeket regisztrált a számítógép, mint amit megszoktunk, így a lehűlési görbén csak kevés mérési pontot tudtunk felvenni, viszont a melegezési görbe méréséig korrigáltuk a hibát, így azt megfelelően részletesen mértük. A mérési összeállítást az 1. ábra mutatja.

A méréshez használt összefüggés

$$\frac{\Delta U}{U_0} = \chi \frac{V_m}{V},$$

melynek levezetését a mérési leírásban megtaláljuk. Itt  $\Delta U$  a lock-in kimenetén mért feszültségkülönbség,  $U_0$  az üres szekunder tekercsben indukált feszültség,  $\chi$  a mágneses szuszceptibilitás,  $V$  a tekercs térfogata,  $V_m$  pedig a tekercsben lévő minta térfogata. Ezek közül a jobb oldalt elméletileg ismerjük:  $\chi$  átalakulás előtt mérési pontosságon belül 0, fázisátmenet után pedig a teljes fázisban  $-1$ , a  $V$  és a  $V_m$  értékeit viszont sajnos nem találtam a mérési leírásban, és a mérés során sem határoztuk meg, ellenben ezek „irodalmi” értékei évekre visszamenőleg megtalálhatóak a korábbi mérési jegyzőkönyvekben, így azt kell feltételeznem, hogy ezek jegyzőkönyvről jegyzőkönyvre terjednek. Ezek alapján az adatok alapján, megmérve  $\Delta U$ -t és  $U_0$ -at, megkaphatjuk, hogy a minta hány százaléka lett szupravezető az átalakulás után, valamint, ami számunkra lényegesebb, kiszámolhatjuk a fázisátalakulás  $T_c$  hőmérsékletét és  $\tau$  szélességét.

## 3) A MÉRÉS KIÉRTÉKELÉSE

### A) BEVEZETŐ FELADAT

A laborvezető javaslatára becslést kellett végezni arra vonatkozóan, hogy mekkora a veszteség egy  $l = 150 \text{ km}$  hosszú (hozzávetőleg Budapest-Paks távolsága, valójában csak Martonvásárig megy  $400 \text{ kV}$  os vezeték, onnan csak  $120 \text{ kV}$  os megy Budára...), nagyfeszültségű rézkábelen, ha  $V = 400 \text{ kV}$  feszültséggel vezetünk rajta keresztül áramot. Magyarország villamosenergia-rendszerében azonban inkább  $250 \text{ mm}^2$  keresztmetszetű acél-alumínium sodronyt (Acalt ACSR/AW kábelt néztem) használnak, amelynek ellenállása  $\rho = (1,4019 \times 10^{-4}) \Omega/\text{m}$ , a teljes kábelszakaszé pedig  $R = \rho l = 21,0285 \Omega$ . Ha minden igaz, ez elég nagy teljesítményt jelent:  $P = \frac{U^2}{R} = 7,61 \text{ GW}$ . Ehhez képest Paks  $2 \text{ GW}$ -os... Szóval nem vagyok meggyőzve, a hálózat elvileg áramgenerátoros, szóval a feszültséggel nem sokra megyek.

## B) SZUPRAVEZETŐ FÁZISÁTALAKULÁSA

A mintánk egy magas hőmérsékletű szupravezető kerámia ( $\text{YCu}_3\text{Ba}_2\text{O}_7$ ) volt. Hogy megállapítsuk a minta átalakult térfogathányadát, a következő összefüggést használtuk:  $\eta = \frac{V}{\chi V_m} \frac{\Delta U}{U_0}$ . Az  $U_0$  szekunder tekercsben indukált feszültséget jelenti. A mérés után külön mértük meg úgy, hogy a két üres szekunder tekercsen megmértük külön-külön a feszültséget, és mivel ellentétes polaritásúak, és a lock-in egy offset feszültségre ülteti őket, a két érték abszolút értékének átlaga adta meg az eredményt. A  $\Delta U$  nyers adatai 2. ábrán találhatóak a jegyzőkönyv végén.

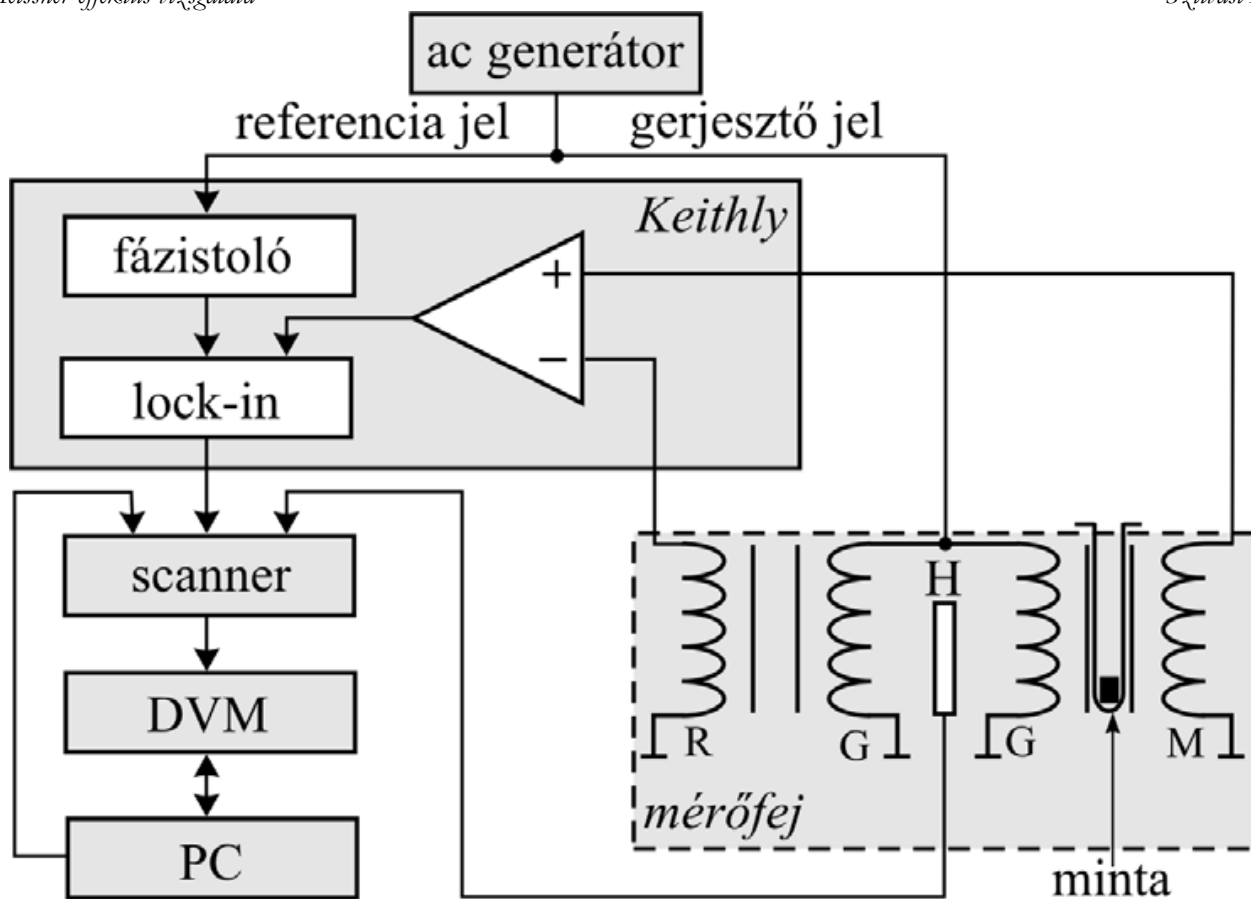
Az adatok:

	Érték	Hiba
V	300 mm <sup>3</sup>	$\pm 0,5$ mm <sup>3</sup>
V <sub>m</sub>	22 mm <sup>3</sup>	$\pm 0,5$ mm <sup>3</sup>
U <sub>0</sub>	6,4965 mV	$\pm 0,0005$ mV
$\chi$	-1	$\pm 0$

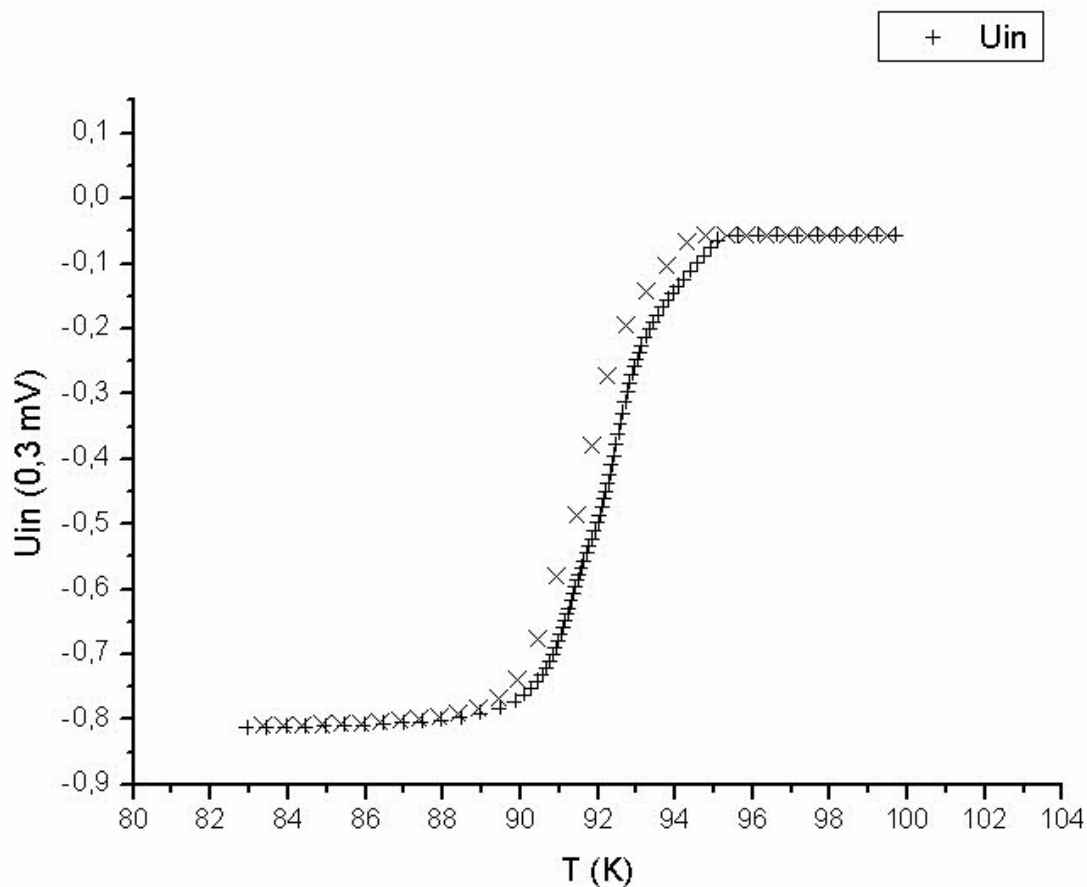
Az ábrán látható hiszterézist az okozza, hogy a platina ellenállásmérőt a tekercs mellé kell helyezni, hogy a szuszceptibilitásba ne zavarjon be. Először a görbe lehűlő és melegedő ágát is a nullába toltam el, majd szimmetrikusan eltoltam őket egymás felé, hogy fedésbe kerüljenek. A hőmérséklet tengely mentén  $\pm 0,3$  K-nel toltam el a görbéket, és ezek után ezt is vettem hibának. A mérési adatokat áttanszformálva kapjuk meg a 3. ábrát, amelyről leolvasható a tekercsen belüli szuszceptibilitás is. Ha ezt visszanyormaljuk a minta tényleges méretére, akkor megkapjuk  $\eta$  térfogathányadost. Ezt a 4. ábrán láthatjuk, és innen le is olvashatjuk a maximálisan átalakult térfogatot, valamint ugyan ezen az ábrán jelöltem be az átalakuláshoz tartozó kritikus hőmérsékletet és az átalakulás  $\tau$  szélességét jelölő 90 és 10 százalékos pontot is.

Az eredmények:

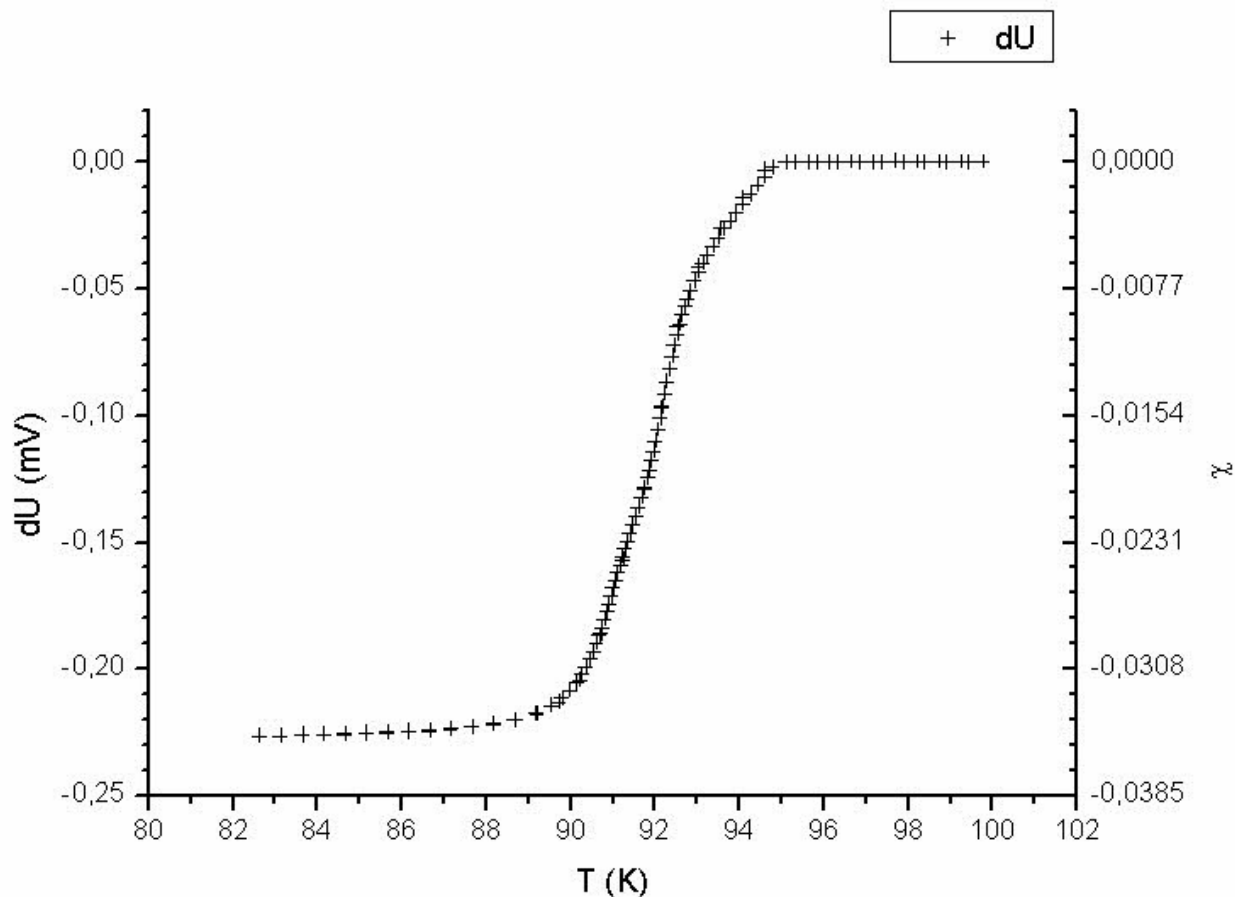
	Érték	Hiba
$\eta_{max}$	47,5 %	1,3 %
$T_c$	92 K	0,3 K
$T_{10}$	93,8 K	0,3 K
$T_{90}$	90,2 K	0,3 K
$\tau$	3,6 K	0,4 K



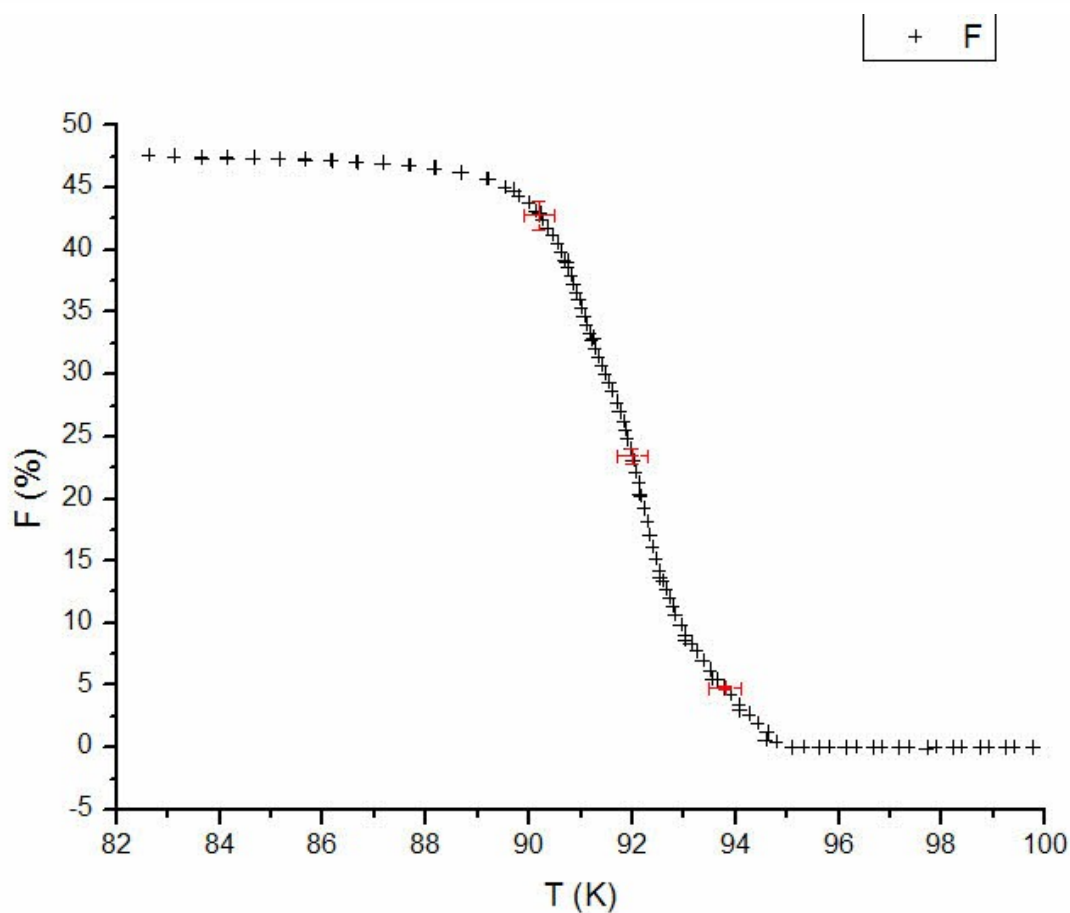
1. ábra - A mérési összeállítás vázlatja



2. ábra - A feldolgozatlan mérési adatok



3. ábra – A  $\chi$  áttanszformált adatsor: Bal oldalt a feszültség értékek, jobb oldalt pedig a szuszceptibilitás látható



4. ábra – A szupravezető fázis méretének változása a minta térfogatának arányában, valamint az átalakulás nevezetes pontjai hibákkal feltüntetve