FIATAL MŰSZAKIAK TUDOMÁNYOS ÜLÉSSZAKA

Kolozsvár, 2002. március 22-23.

SZUPRAVEZETŐS KÍSÉRLETEK IPARI ALKALMAZÁSI LEHETŐSÉGGEL

Experiments with superconductors and possible industrial applications

Kósa János

In this paper our recent results in investigating high temperature superconductivity in magnetic field are given. A special magnetic coil with superconductor core has been constructed, and measured in the 1,5 MHz .. 3,5 MHz frequency range. Theoretical background of the results and possible industrial application also discussed.

1. Bevezetés

Már régóta foglalkozom szupravezetés demonstrációs kísérletekkel, melyek során a Meissner - Ochsenfeld effektust egy MHS (magas hőmérsékletű szupravezető) fölé helyezett lebegő mágnesdarabkával szemléltetem.

Másik kísérlet alkalmával egy íves szupravezetőre rátekertem két rézből készült tekercset, majd 300 kHz frekvenciájú, szinuszos feszültséget kapcsoltam a primer oldalra. A szekunder oldalon vizsgáltam az indukált feszültség alakulását a hőmérséklet függvényében. Jól lehetett látni, ahogy hűtjük a szupravezető anyagot, csökken az indukált feszültség. Ennek magyarázata, hogy a mágneses erővonalak kiszorulnak a szupravezetőből, és kisebb lesz a két tekercs közötti fluxuskapcsolódás. Ez okozza a szekunder oldali feszültségcsökkenést. Ezek a kísérletek köztudottak, és szemléltetésre nagyon alkalmasak.

1.ábra

2. Egy látható érdekes jelenség újragondolása

A bemutatások során viszont feltűnt egy jelenség, aminek kezdetben nem tulajdonítottam jelentőséget. Mégpedig az, hogy a primer tekercs kapocsfeszültsége a hűtés során csökken. Kezdetben azért nem foglalkoztam a jelenséggel, mert úgy gondoltam, hogy a primer tekercs ohmos ellenállása is csökken a hűtés folyamán, és ez nagyobb terhelést jelenthet a generátor számára. Ekkor úgy gondoltam, ez okozhatja a primer tekercsre kapcsolt feszültség csökkenését.

A későbbiekben a szupravezetőre helyezett két tekercsből álló induktív csatolás frekvenciafüggését vizsgáltam. Felmerült bennem az a gondolat, hogy az ohmos ellenállás hőmérséklet csökkenéséből származó ellenálláscsökkenést egy sorba kötött ohmos ellenállás segítségével kompenzálom, és így mind normál állapotban és mind szupravezető állapotban az ohmos ellenállások soros értékei azonosak maradnak. A jelenség viszont továbbra is fennállt, és kimondottan frekvenciafüggőséget mutatott a primer feszültség csökkenése a hűtés során. Tehát érdemben nem az ohmos ellenállás változása befolyásolta a primer tekercsbe befolyó nagyobb áramfelvételt, ami miatt a kapocsfeszültség csökkent. Nagyobb frekvenciákon ez a hatás kevésbé jelentkezett. Tehát egyértelműen a hőmérséklet csökkenés hatására kellett a primer tekercs induktivitásának csökkennie.

Az 1. ábrán látható elrendezésnél a következő mérési eredmények születtek:

Normál állapotban:

primer tekercs feszültsége:	0,5 V
indukált feszültség a szekunder körben:	25 mV
frekvencia:	300 kHz

Szupravezető állapotban:

Primer tekercs feszültsége ugyanarról a generátorról ellátva:	0,3 V-ra csökken.
Indukált feszültség a szekunder oldalon:	5 mV
Frekvencia:	300 kHz

A hűtést folyékony N₂ segítségével valósítottam meg. (A N₂ forráspontja: -196 °C.)

3. Egy újabb kísérlet, a mérés eredményei

Primer feszültség csúcs érték	Frekvencia	$U_{\text{szekunder}}$ normál állapot csúcs érték	$U_{\text{szekunder}}$ szupravezető állapot csúcs érték
2 V	3,5 MHz	0,75 V	4 V
2 V	3,4 MHz	0,8 V	2,8 V
2 V	3 MHz	0,5 V	1,4 V
2 V	2,5 MHz	0 28 V	0,9 V
2 V	2 MHz	0,21 V	0,64 V
2 V	1,5 MHz	0,18 V	0,5 V

Egy magas hőmérsékletű kerámia szupravezető (Y_2O_3 , $BaCO_3$, CuO) korongot a hagyományostól eltérő módon tekercseltem meg.

A korong méretei:

- Külső átmérő: 18 mm
- Belsőfurat átmérője: 5 mm
- Szélessége: 5 mm

2. ábra

Mérési eredmények:

Abban a frekvenciatartományban végeztem méréseket, ahol a feltételezett induktivitás csökkenés miatt bekövetkező generátort terhelő impedancia csökkenés még gyakorlatilag nem terheli le a generátort, tehát a nagyobb frekvenciatartományban. Erre azért volt szükség, hogy megmaradjon a feszültséggenerátoros táplálás.

A táblázatból több érdekes dolog is kiolvasható, de ezek további vizsgálatot igényelnek. Azt viszont egyértelműen láthatjuk, hogy 3,4 MHz-től 1,5 MHz-es tartományban a normál szobahőmérsékletű értékekhez képest a szupravezető állapotban a keletkezett indukált feszültségek értékei kb. 3-szor nagyobbak. Miért is van ez? A jelenség hátterét a következő pont számításai világítják meg.

4. Mérési eredmények kiértékelése és a jelenség magyarázata

A 2. ábrán látható elrendezésből látható, hogy a primernek elnevezett tekercsben folyó áram mágneses tere az általa határolt felületen tengelyirányban záródik. Tehát gyakorlatilag egy kör alakú vezető mágneses teréről beszélhetünk. Ez a mágneses tér normál szobahőmérsékleten úgy alakul ki, mintha a tekercs belseje légmagos lenne. Ilyen körülmények között alakul ki a fluxuskapcsolódás a még nem szupravezető korong furatában levő szekunder tekercssel.

Az indukált feszültség nagyságát viszont befolyásolja két tekercs közötti fluxuskapcsolódás értéke.

Itt van a különbség a normál, illetve szupravezető állapot között. Ugyanis szupravezető állapotban meg fog növekedni a fluxuskapcsolódás.

Vizsgáljuk meg a két esetet:

Először nézzük meg, hogy normál állapotban - frekvenciától függetlenül - mi határozza meg a fluxuskapcsolat nagyságát a két tekercs között.

Ha a külső tekercsre egyenáramot kapcsolunk (ebben az esetben nem keletkezik indukált feszültség a korong belsejében található tekercsben) ám ekkor is tökéletesen tudjuk vizsgálni a fluxuskapcsolat kialakulását a két tekercs között.

A Biot-Savart törvényt alkalmazva:

$$\overline{H} = \frac{I}{4\pi} \oint \frac{d\overline{l} \times \overline{r}_o}{r^2} \quad (1)$$

helyezzük.

r = a szupravezető korong külső átmérője

3. ábra

Esetünkben a kör középpontjában a $d\overline{l}$ és az $\overline{r}_o$ vektorok merőlegesek egymásra, és a $d\overline{l}$ ívelem kör mentén történő vonalmenti integrálja $2r\pi$ értéket ad. Ebből látható, hogy a tekercs középpontjában a

$$\overline{H} = \frac{N_1 \cdot I_1}{4\pi} \cdot \frac{1}{r^2} \cdot 2r\pi = \frac{N_1 \cdot I_1}{2r} \quad (2)$$

A fluxuskapcsolódás a két tekercs között:

$$\Psi = N_2 \cdot \Phi = N_2 \cdot B \cdot A_2 = N_2 \cdot \mu_o \cdot H \cdot A_2 \quad (3)$$

$$\Psi = N_2 \cdot \mu_0 \frac{N_1 \cdot I_1}{2r} \cdot r_2^2 \pi \quad (4)$$

Ez az összefüggés a 3. ábrán látható idealizált geometriai elrendezésre vonatkoztatott levezetés.

Amikor az ismertetett módon megtekercselt szupravezetőt folyékony N₂-be helyezzük, akkor a Meissner - Ochsenfeld effektus bekövetkezésekor az N₁ tekercs által létrehozott mágneses erővonalak egy része kiszorul a szupravezető anyagból, és **kénytelen a belső furat felé sűrűsödni**. Ennek az lesz a következménye, hogy a furatba helyezett tekercsnek nagyobb lesz a fluxuskapcsolódása az N₁-es tekercssel. Tehát az esetünkben a mért 3-szoros szekunder feszültség ennek lehet a következménye. Azért említem úgy, hogy csak egy része szorul ki a mágneses erővonalaknak a szupravezetőből, mert a mágneses erővonalak bizonyos hányada a szigetelő fázisokhoz kötődik

A mért 3-szoros érték adott geometriára vonatkozik, természetesen más elrendezésre más értékek adódhatnak. Felmerül a kérdés, hogy ezt a fluxusnövekedéshez szükséges energiát mi fedezi?

Hiszen a belső furat környékén megnövekszik a mágneses tér energiasűrűsége, mivel ha valamely pontban a mágneses tér értéke H, akkor a pont környékén a dV térfogatú környezetben tárolt energia

$$dW = \frac{1}{2} \cdot \mu \cdot H^2 \cdot dV . \quad (5)$$

A (4)-es képletből láthatjuk, hogy csak egyedül az I₁ áram növekedése pótolhatja a megnövekedett energiasűrűséget, mert a geometriai elrendezés adott. Kezdetben ez volt az a probléma, ami miatt a kísérletet elvégeztem.

Ezek után egyértelműen mondhatjuk, hogy azért tud felvenni a primer kör több áramot, mert csökken az induktivitása, ha szupravezető állapotba kerül a megtekercselt anyag.

Tehát a primer tekercs saját önindukciós együtthatója $L = \frac{\Psi}{I}$ csökken azáltal, hogy a tekercsbe helyezett szupravezetőmag gátolja szupravezető állapotban az árammal átjárt vezető által határolt felület fluxusának kialakulását.

így már nagyon is természetesnek tűnik a jelenség.

5. Ipari alkalmazási lehetőség vizsgálata

Ezek után abból indulhatunk ki, hogy egy szupravezetőre tekercselt induktitásnak szupravezető állapotban a normál állapothoz képest kisebb az induktivitása. Ez felhasználható lenne áramkorlátozás céljából.

Manapság léteznek szupravezető zárlati áramkorlátozók, de azok más elv alapján működnek.

Két csoportjuk létezik.

1. rezisztív

2. induktív [1]

Ezekről többet a megadott irodalomjegyzékben olvashatunk.

A jelenleg ismertettett lehetőség szerint az áramkörrel sorba kötnénk egy szupravezetőre tekercselt vezetőt. Szupravezető állapotban kisebb induktitásként viselkedne. Ha a körön átfolyó áram eléri azt az értéket (kritikus áramerősség), amelynél a mágneses tér értéke megszünteti a szupravezető állapotot, akkor az induktitás, amely a körrel sorba van kapcsolva, nagyobb önindukciós együttható értéket vesz fel. Mivel $X_L = 2\pi fL$, ezért a megnövekedett impedancia csökkentené az áramot.

Hivatkozott irodalom:

- [1] V. Sokolovsky - V. Meerovich - Semperg S. - Dr. Vajda I. : Magashőmérsékletű szupravezető zárlati áramkorlátozók. Elektrotechnika 2000. 93. évfolyam 10. szám 364-367. oldal

Kósa János okl. villamosmérnök, főiskolai adjunktus

Kecskeméti Főiskola Műszaki Főiskolai Kar
Automatizálási és Alkalmazott Informatikai Tanszék

☎ +36/76-516-300 E-mail: kosa.janos@kefo.hu