

ZÁRLATI ÁRAMKORLÁTOZÁS NEM KONVENCIONÁLIS MEGOLDÁSOKKAL

SHORT-CIRCUIT CURRENT LIMITATION WITH UNCONVENTIONAL SOLUTIONS

Kósa János Árpád ^{1*}

¹ Informatika Tanszék, GAMF Műszaki és Informatikai Kar, Neumann János Egyetem, Magyarország,
<https://orcid.org/0000-0002-2882-0938>
<https://doi.org/10.47833/2025.2.ENG.011>

Kulcsszavak:

Áramkorlátozás
szupravezetők
fluxusállandóság
fluxusátvitel
HVDC

Keywords:

Current limiter
superconductors
flux constancy
flux transfer
HVDC

Cikktörténet:

Beérkezett 2025 november 9
Átdolgozva 2025 december 6
Elfogadva 2025 december 10

Összefoglalás

A teljesítményigények folyamatosan növekednek, de ezzel egyidejűleg a zárlati áramok is. A most bemutatandó megoldások a fluxusállandóság elvének felhasználásával működnek.

Cikkünkben 2 megoldást mutatunk be. Az első megoldásban HVDC hálózat esetében is felhasználható áramkorlátozást ismertetünk, mely során fluxusátvitelt valósítunk meg két független vasmagkör között, így biztosítva az energiaátvitelt és a hatásos áramkorlátozást. A második megoldás bemutatja a mágneses rövidzár fogalmát és alkalmazási lehetőségét zárlati áramkorlátozás céljából. A mérések során zárlat esetében sem a hibahely, sem a szupravezető nem károsodott.

Abstract

Power requirements are constantly increasing, but at the same time, short-circuit currents are also increasing.

The solutions to be presented now operate by using the principle of flux constancy. In our article, we present 2 solutions.

The first solution, current limitation that can also be used in the case of HVDC networks is described, during which flux transfer is implemented between two independent iron core circuits, thus ensuring energy transfer and effective current limitation.

The second solution introduces the concept and application of magnetic short-circuiting for short-circuit current limitation. During the measurements, in the event of a short circuit, neither the fault location nor the superconductor was damaged.

1. Bevezetés

Egy zárt hurok mindig meg akarja tartani mágneses fluxusát. Ha ez a zárt hurok szupravezető, akkor ez teljesül, ha viszont van villamos ellenállása, akkor ez nem lehetséges.

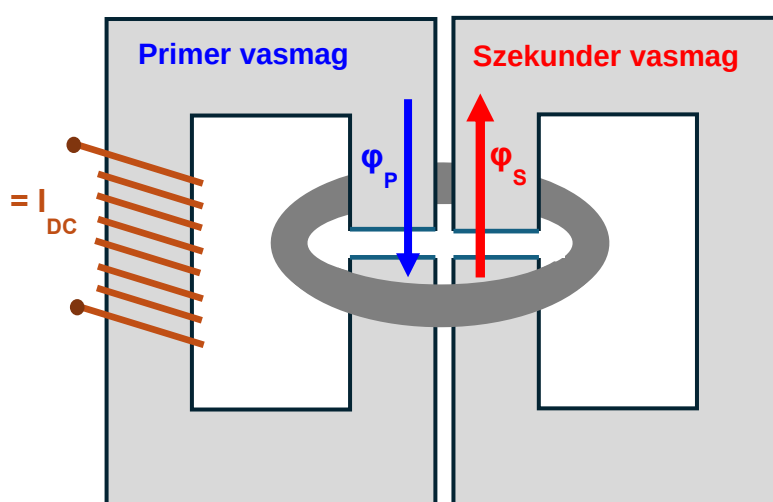
A szupravezető olyan anyag, amely egy bizonyos hőmérséklet alatt az úgynevezett kritikus hőmérséklete (T_c) alatt DC esetben elveszíti ohmos ellenállását. Ugyanakkor csak egy bizonyos áramérték alatt marad szupravezető. Ez az áram a kritikus árama (I_c). Például egy 0,1 mm vastagságú szupravezető szalag (amely kb. 11 rétegből épül fel, és ebből csak egy réteg a

* Kósa János Árpád
E-mail cím: kosa.janos@outlook.com

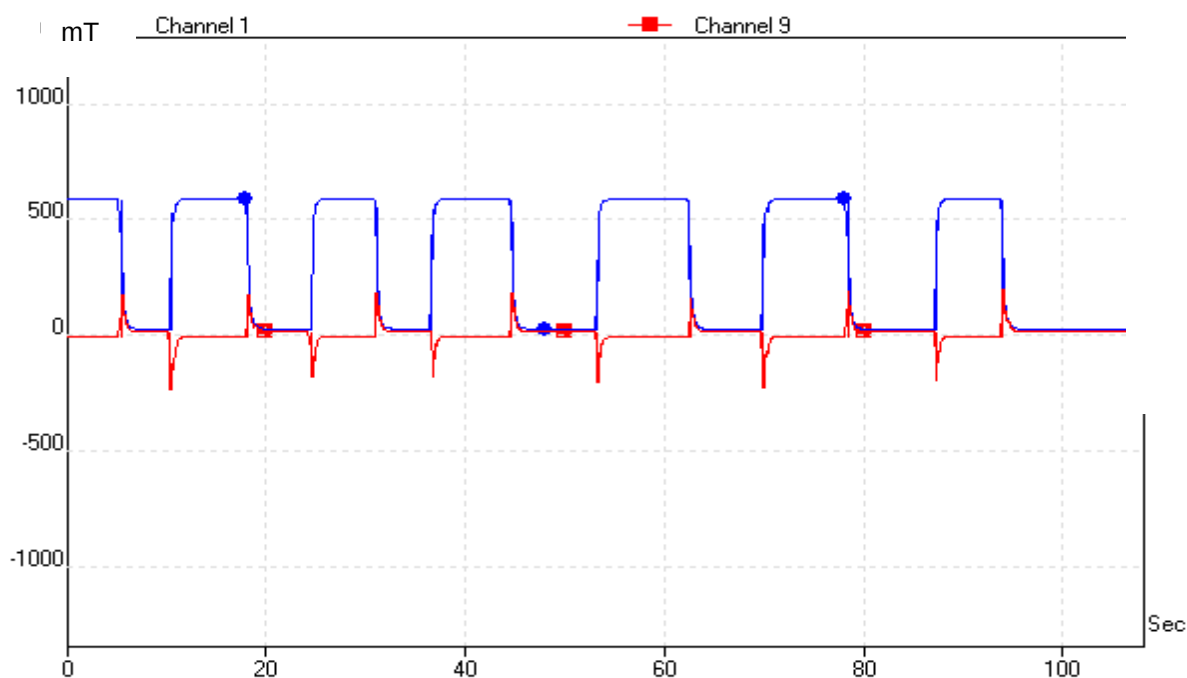
szupravezető 1,6 μm vastagsággal) 800 A-t tud vezetni veszteség nélkül lehűtve kritikus hőmérséklete alá folyékony nitrogénben. A cikk a NEM konvencionális megoldásokra fókuszál, mivel számos szabadalom született a cikkben prezentált megoldások alkalmazásával. A Neumann Egyetemen, illetve a jogelődjén kifejlesztett technológia és elmélet (amely a cikkben bemutatásra került) kínált lehetőséget többek között az USA-ban, Németországban, Nagy-Britanniában, Svájcban és Kínában beadott szabadalmak létrejöttéhez [1] [2] [3] [4] [5]. Igaz, ennek mi nem vagyunk részesei. Talán, ha jobban tudjuk finanszírozni ezeket a kísérleteket és munkákat, akkor sikerülhet.

2. Fluxusátvitel elmélete

Az 1. ábra szerinti elrendezésben, amely két egymással nem érintkező és légréssel rendelkező vasmagot tartalmaz, mérjük a légrésekben a mágneses indukció (mágneses fluxussűrűség) nagyságát abban az esetben, ha a két vasmagot villamos ellenállással rendelkező hurokkal, illetve a második esetben szupravezető hurokkal fogjuk össze. A két oszlop azonos keresztmetszetű.



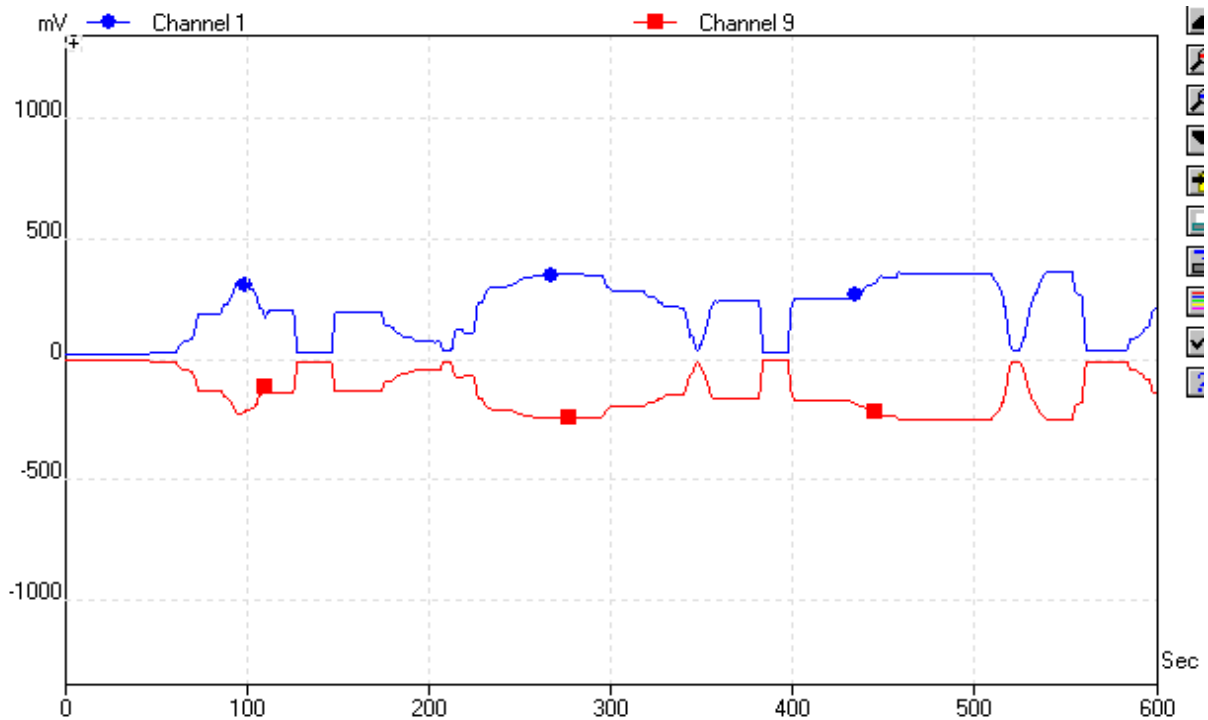
1. ábra. A mért elrendezés



2. ábra. Mérési eredmény rézhurok esetén

A primernek nevezett vasmagot tetszőlegesen változtatott DC árammal gerjesztve mutatjuk meg a 2. ábrán azt az esetet, amikor egy 1,5 cm² keresztmetszetű rézhurok, amely körbe hurkolja a két oszlopot, folyékony nitrogénbe van helyezve. Ez körülbelül mínusz 196 °C. Láthatjuk, hogy a két oszlopban lévő mágneses fluxus nem egyenlő ($\varphi_P \neq \varphi_S$), ha a gyűrű NEM szupravezető.

Ha viszont ellenállás nélküli szupravezetővel végezzük el a kísérletet (természetesen szintén folyékony nitrogénben a kritikus hőmérséklete alatt, akkor a 3. ábrán látható mágneses indukciókat kapjuk mérési eredményül.



3. ábra. Mérési eredmény szupravezető hurok esetén

Az utóbbi esetre vonatkozóan láthatjuk, hogy szupravezető esetében, a primer és szekunder vasmagok azonos, de ellentétes irányú mágneses indukcióval rendelkeznek, és ezt tartósan is bírják tartani, így biztosítva a fluxusállandóságot.

A gerjesztés megkezdése előtt a hurok mágneses fluxusa nulla volt, tehát ezt az állapotot kell tartania. Tehát $\varphi_P = \varphi_S$, ha a gyűrű szupravezető.

Láthatjuk, hogy ellenállással rendelkező zárt hurok esetén ez nem tud teljesülni még akkor sem, ha egy nagyobb keresztmetszetű rézhurkot helyezünk folyékony nitrogénbe, mert az áram még a nagyon kis értékű ellenállás miatt is megszűnik.

Ne felejtjük el, hogy egyenámről van szó!

A további kísérletekhez még azt kell tudnunk, hogy a szupravezető csak a kritikus árama alatt szupravezető, felette normál állapotot vesz fel. Ha egy alkalmazás során az alkalmazott szupravezető eléri a kritikus áramát, akkor ellenállással rendelkező normál állapotába tér. Tehát lesz ellenállása. A tervezés során úgy méretezünk, hogy zárlat esetében a szupravezető kibillenjen a szupravezető állapotából normál állapotba. Ez a méretezés alapja.

Ha üzemviteli áramok folynak, akkor a szupravezető viszi át a két vasmag között a teljesítményt. Az előbb ismertetett kísérletek egyenáramú gerjesztésre vonatkoztak. Amennyiben váltakozó árammal gerjesztünk, akkor is igaznak kell lennie az ismertetett elméletnek. Váltakozó áramú gerjesztéssel így egy transzformátort tudunk létrehozni.

Paraméterei különböznek egy hagyományos transzformátorétól. Új zárlatvédelmi készülék, berendezés állítható elő.

3. Fluxusátviteli transzformátor

3.1. Felépítése és működése

A berendezés két független, egymással nem érintkező transzformátor lemezekből készült vasmagból épül fel, melyekre egyenként tekercseket helyezünk. Így galvanikusan el van választva a primer oldal és a szekunder oldali vasmag és tekercs. Ha a két vasmag nincs áthurkolva szupravezetővel, egyáltalán nincs csatolás a primer és szekunder oldalak között. Tehát nincs energiaátvitel. Ha biztosítjuk a csatolást egy szupravezető hurokkal, akkor a primer és szekunder vasmagban azonos nagyságú, de ellentétes fluxusok alakulnak ki.

A szupravezető hurokban olyan irányú áram fog folyni, amely a primer gerjesztéssel ellentétes mágneses fluxust hoz létre. De ez a hurokáram a szekunder vasmagban is létrehozza azt az ellentétes irányú mágneses fluxust, amely a szekunder tekercsben feszültséget indukál.

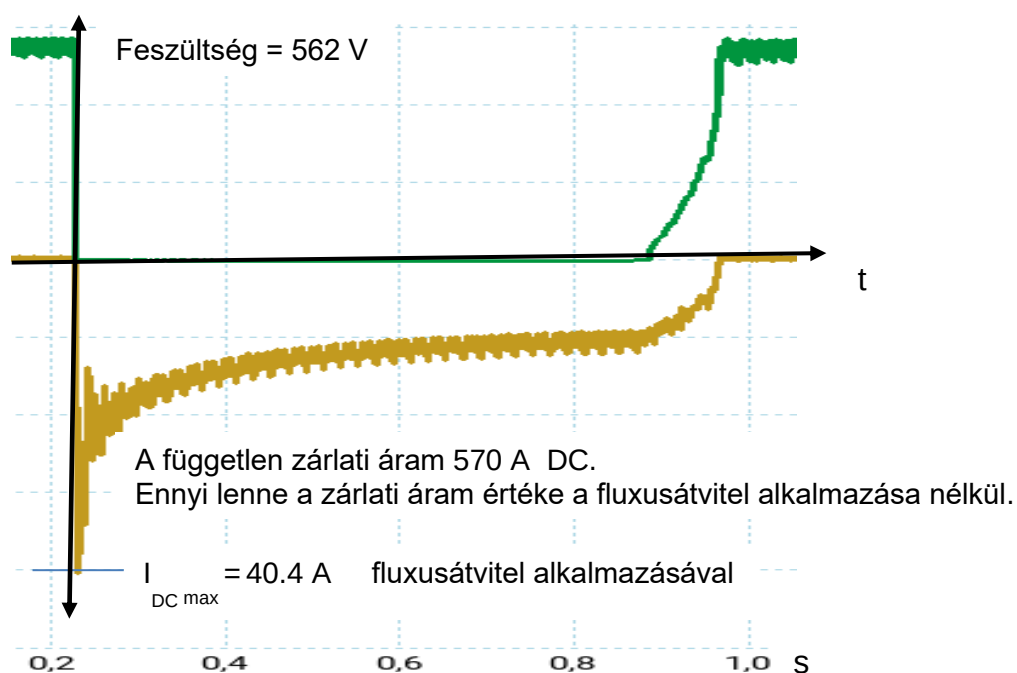
Ha a menetszámok azonosak, akkor a szekunder feszültség azonos a primer feszültséggel. Ha a szekunder oldalon zárlat következik be, akkor a szupravezetőben nagyobb ellengerjesztés keletkezik, melynek következménye az áram növekedése a szupravezető hurokban. A kritikus áram elérésekor a hurok ellenállása nulla ohmról emelkedni kezd, és ez az ellenállásnövekedés elegendő ahhoz, hogy ne tudjon teljesülni a fluxusállandóság. Így az ellenállás mértékétől függően kezd megszűnni a csatolás a primer és szekunder oldal között. Részletesebb információkat a [6] [7] [8] cikkekben olvashatunk.

Tehát zárlat esetén a csatolás csökkenése miatt csökken a zárlatot tápláló feszültség. Meg kell említeni, hogy egy ilyen megoldás késleltetés nélkül csökkenti a zárlati áramot, és a megszakítóknak már csak egy redukált zárlati áramot kell megszakítani. Tehát láthatjuk, hogy egy ilyen áramkorlátozó nem a zárlati áramot szakítja meg, hanem csak csökkenti annak értékét, így a megszakítóknak kisebb zárlati áramot kell megszakítani.

3.2. Egyenirányított DC kör zárlatvédelme önkorlátozással

A 4. ábrán egy háromfázisú egyenirányítás előtti fluxus átviteli transzformátorral védett hálózat egyenirányítás utáni zárlati áram csökkenését láthatjuk. Bővebben a [9] cikkben olvashatnak.

A független zárlati áram (prospective short-circuit current) 570 A volt. Egy 40 A-es impulzus után 10-20 A-re redukálódott az áram. Hangsúlyozzuk, hogy ezek nem szimulációk, hanem mért értékek voltak. Sem a hibahely, sem az egyenirányító, sem a szupravezető nem károsodott. A kísérlet során a gyors áramkorlátozás hatásosan működött.

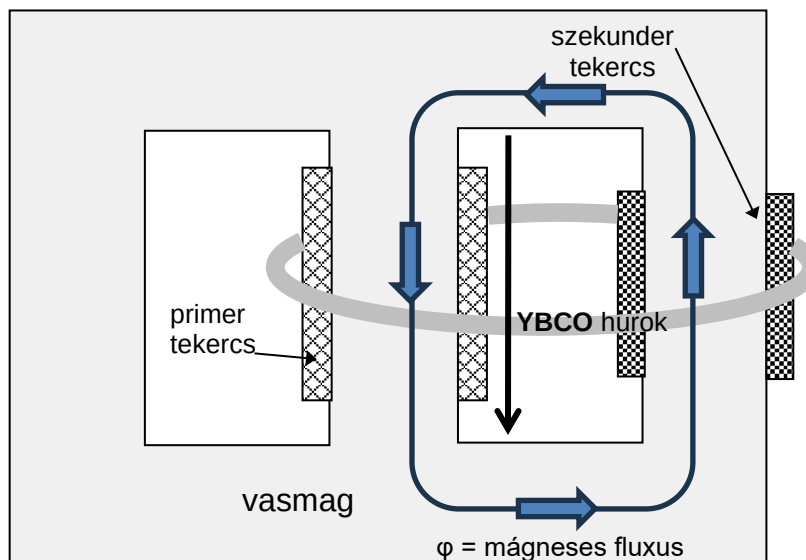


4. ábra. Mérési eredmény DC zárlat esetén

4. Aktív mágneses rövidzár

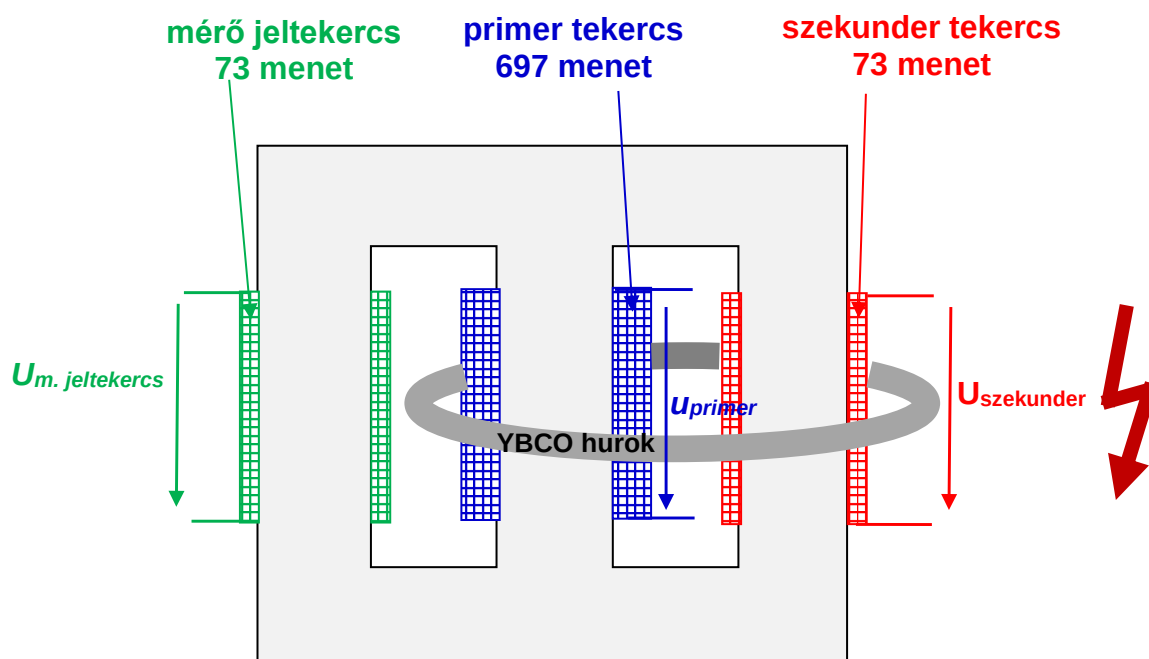
Három oszlopos transzformátor esetén, ha a primer és szekunder tekercsek külön oszlopon vannak elhelyezve, akkor ezt a két oszlopot körül hurkoló zárt vezetőben áramnak kell folyni a fluxus állandóság elve miatt [10]. Ha a két oszlopot körülvevő hurkot szupravezetőből készítem, a hurokban a zárlat ideje alatt az áram nagysága elérheti a szupravezetőt kibillentő áramot. Ez csak méretezés kérdése. Ameddig szupravezetővel hurkolunk, a hurokkal körbezárt felületen a fluxusállandóság elvének érvényesülni kell. A szórt fluxust, pontosabban annak egy részét kompenzálni kell, „pontosabban annak egy részét”, mert a hurok által határolt felületen is található szórt fluxus, melyet nem kell kompenzálni.

Az 5. ábrán látható az aktív mágneses rövidzár megvalósításának vázlatos elrendezése.



5. ábra. Aktív mágneses rövidzár felépítésének vázlata

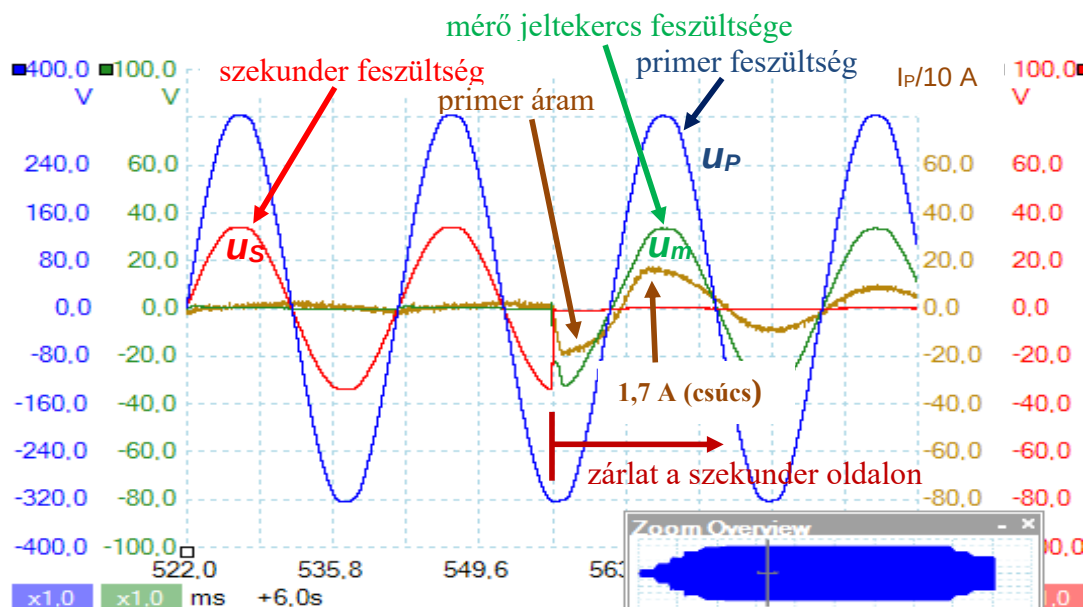
A 6. ábrán látható a mérési elrendezés.



6. ábra. Aktív mágneses rövidzár mérési elrendezése

A mérési eredménye a 7. ábrán látható.

Az ábrán láthatjuk, hogy zárlat hatására a szekunder tekercssel azonos menetszámú mérőtekercs feszültsége a menetszámnak megfelelően mutatja a feszültséget, valamint a primer áram csökkenő jellegét mutat. Több mérés lett elvégezve. A mérésekből látható, hogy zárlat bekövetkezésekor a mérő jeltekercsen megjelenik a feszültség, és ugyanakkor a szekunder tekercsen gyakorlatilag megszűnik. Úgy is fogalmazhatjuk, hogy a hurok szupravezető állapotából történő kibillenésekor a mérőtekercs vasoszlopa egy mágneses söntként viselkedik.

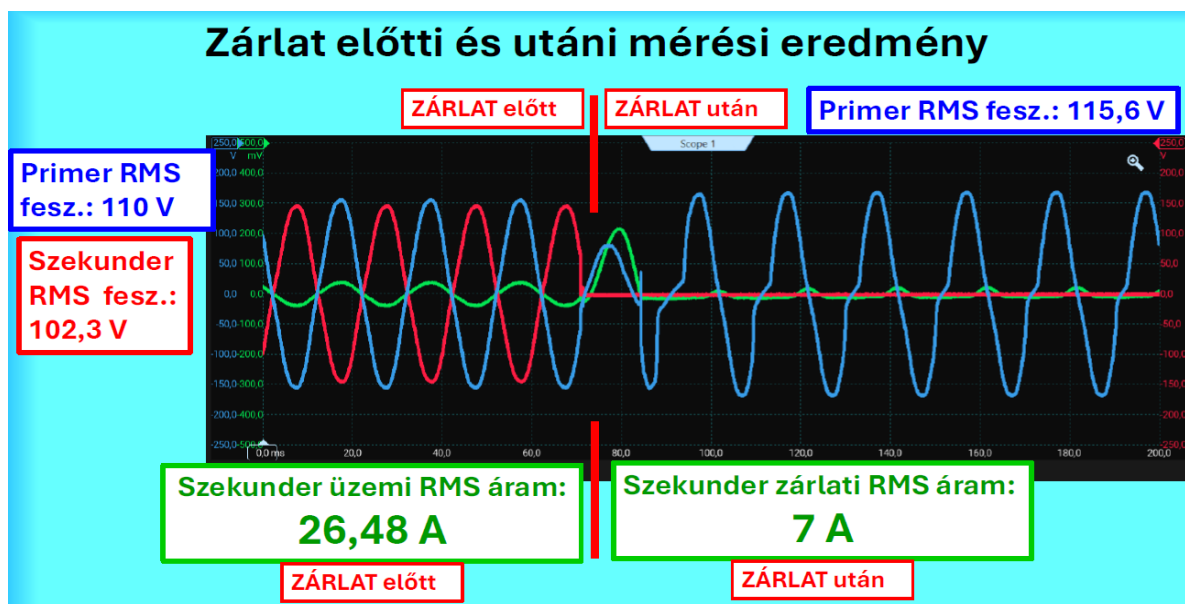


7. ábra. Aktív mágneses rövidzár mérési eredménye

5. Aktív mágneses rövidzár szupravezető nélkül

A kísérleteket a szupravezetőt kicserélve rézhuzalra szintén eredményes megoldást kapunk, csak azzal a különbséggel, hogy a két oszlopot összefogó hurokba megszakítót építünk be. Ennek működésekor a transzformátor dropja megemelkedik, és zárlat esetében korlátozza a zárlati áramot.

Mérési eredményt erre vonatkozóan a 8. ábra mutat.



8. ábra. Mérési eredmény rézhuzalal és kismegszakítóval

6. Következtetések

Szupravezető szalaggal megvalósított aktív mágneses rövidzárral egyfázisú háromszlopos önkorlátozó transzformátort hozhatunk létre.

Amennyiben a szupravezetéshez szükséges hűtést el szeretnénk kerülni, akkor is alkalmazható elrendezést kapunk, csak árammegszakítást kell beépíteni az oszlopokat összefogó hurokba. Szupravezető hurok esetében a hurok árama kizárólag az együttesen áthurkolt zárt vasmag oszlopok mágneses ellenállásainak arányától, valamint a primer gerjesztés, illetve annak hatására kialakult szekunder gerjesztéstől függ, és független a zárt hurkon át nem haladó szórású utak mágneses ellenállásától. A berendezést érdemes lenne bevezetni az energetikában, mert a transzformátor dropja zárlat esetén megnövelhető, amely csökkenti a zárlati áramot.

A cikk és az irodalomjegyzékében megjelölt szabadalmi hivatkozások rámutatnak arra, hogy szerényebb körülmények között is lehet olyan eredményeket elérni, hogy világviszonylatban is felhasználhatók legyenek további fejlesztésekre, melyekre szabadalmakban hivatkoznak.

Köszönetnyilvánítás

A munkát a Neumann János Egyetem, a Debreceni Egyetem és a Trafomex Kft támogatta.

Irodalomjegyzék

- [1] Robert Schauwecker, Robert Herzog, Riccardo Tediosi, Matteo Alessandrini, Method for manufacturing a magnet coil using a slit band-shaped conductor **DE102011082652B4** Benyújtás éve (szabadalom): 2011, Benyújtás országa: Németország
- [2] Robert Schauwecker, Robert Herzog, Riccardo Tediosi, Matteo Alessandrini, Method for manufacturing a magnet coil using a slit band-shaped conductor, **GB2494771B**, Benyújtás éve (szabadalom): 2012, Benyújtás országa: Nagy-Britannia
- [3] Robert Schauwecker, Robert Herzog, Riccardo Tediosi, Matteo Alessandrini, Method for manufacturing a magnet coil using a slit band-shaped conductor, **US8712489B2** Benyújtás éve (szabadalom): 2012, Benyújtás országa: USA
- [4] Robert Schauwecker, Robert Herzog, Riccardo Tediosi, Matteo Alessandrini, Method for manufacturing a magnet coil using a slit band-shaped conductor **CH705535B1** Benyújtás éve (szabadalom): 2012, Benyújtás országa: Svájc
- [5] Li Jiao; Chen Yuchao, Central traction substation based on short circuit ring high-temperature superconducting current-limiting transformer **CN214377993 (U)** Benyújtás éve (szabadalom): 2020, Benyújtás országa: Kína
- [6] J. Kosa, I. Vajda, "Transformation of the DC and AC magnetic field with novel application of the YBCO HTS ring," IEEE Trans. Appl. Supercond., vol. 19, no. 3, pp. 2186–2189, Jun. 2009. doi:10.1109/TASC.2009.2017757
- [7] J. Kosa, "Novel application of YBCO ring and closed loop with DC and AC magnetic flux transformation," in Superconductors—Properties, Technology, and Applications, Dr. Y. Grigorashvili Ed., InTech, 2012, doi: 10.5772/1810.
- [8] J. Kosa, "Detailed Review and Application of the 3-Phase Self-Limiting Transformer with Magnetic Flux Applied" Physics Procedia 36:835-840, 2012, doi: 10.1016/j.phpro.2012.06.136
- [9] J. Kosa, Qin, Xiaojing, G.Battistig, "Application of the Flux Transfer Theory Regarding SFCL in the Case of HVDC" IEEE Transaction on Applied Superconductivity 32 : 4 Paper: 5600606 , 6 p. (2022) doi: 10.1109/TASC.2022.3144646
- [10] J. Kosa, I. Vajda, L. Kovacs, "Novel self-limiting transformer with active magnetic short circuit using perfect YBCO wire loops" IEEE Transaction on Applied Superconductivity 21 : 3 pp. 1417-1421, 5 p. (2011) doi: 10.1109/TASC.2010.2100071