



**Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem  
Villamosmérnöki és Informatikai Kar  
Villamos Energetika Tanszék**

**SZUPRAVEZETŐS INDUKTÍV ZÁRLATIÁRAM-KORLÁTOZÓ ÉS  
OSZTOTT SZEKUNDER TEKERCSELÉSŰ ÖNKORLÁTOZÓ  
TRANSZFORMÁTOR ANALÍZISE, TERVEZÉSE ÉS MEGVALÓSÍTÁSA**

**PhD értekezés tézisei**

Györe Attila

Témavezető:

Dr. Vajda István, egyetemi tanár  
BME, Villamos Energetika Tanszék

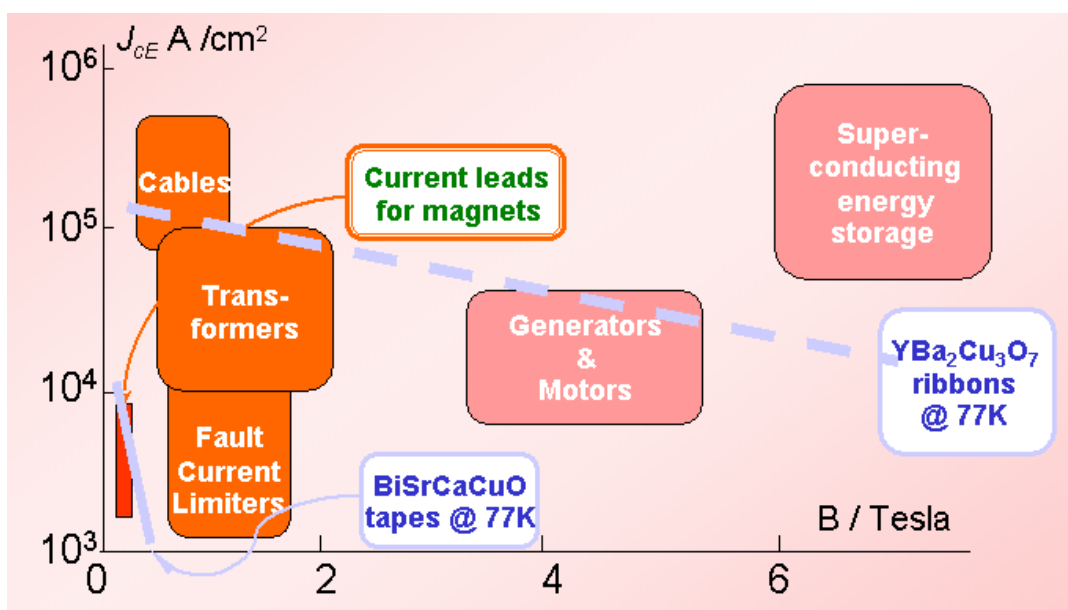
Budapest, 2011

## 1. Bevezetés és célkitűzések

Napjainkban egyre növekedő energiaigények magukkal hozzák az egyre növekvő villamos teljesítmények átvitelét a villamos hálózatokon. Ez a növekvő energiaáramlás a villamos hálózatok bővítését, megbízhatóságának növelését követeli meg. A villamos hálózatok átvihető teljesítményének növelése fizikai és gazdasági korlátokba ütközhet, ezért egyéb új megoldások alkalmazása válhat szükségessé.

Elsődleges feladatok közé sorolható az adott keresztmetszetű vezetéken átvihető teljesítmény növelése, az átvitt teljesítmény megbízhatóságának megtartása vagy növelése, a zárlati áramok csúcsértékének csökkentése. Az említett feladatok megoldására adekvát alternatíva lehet a szupravezetős technológia alkalmazása: teljesítmény növelésére szupravezetős kábel, zárlati áramok csökkentésére zárlatiáram-korlátozó. A zárlati áram nagymértékű csökkentése elsődleges szempont lehet a villamos hálózatban található megszakítók élettartamára nézve [k1].

Doktori munkámban az induktív típusú magashőmérsékletű szupravezetős (MHS) zárlatiáram-korlátozóval (ZÁK) és annak egy továbbfejlesztett változatával, az önkorlátozó transzformátorral foglalkoztam. Fontos követelmény az áramkorlátozókkal szemben, hogy normál üzemi körülmények között „észrevétlenek” maradjanak, a hálózat felé minél kisebb bemeneti impedanciával rendelkezzenek, viszont zárlat megtörténte esetén impedanciájuk gyorsan növekedjék, ezáltal tudják csökkenteni a kialakuló zárlati áramot. Az MHS ZÁK az említett követelményeknek teljes mértékben meg tud felelni.



1. ábra. Szupravezetős villamosipari eszközök alkalmazási ablakai [a1]

A szupravezetős áramkorlátozók és transzformátorok elhelyezkedését mutatja az 1. ábra, amely a jellemző szupravezetős alkalmazási ablakokat mutatja. Látható, hogy a vasmag használata miatt az alacsonyabb indukciójú térrel rendelkező eszközök között foglalnak helyet, és nem igényelnek nagy kritikus áramsűrűségű alkatrészeket. A függőleges tengelyen a mérnöki kritikus áramsűrűség van feltüntetve, ami az összetett vezető struktúra következtében a teljes keresztmetszetre vetített kritikus áramsűrűség.

A szupravezetős áramkorlátozó és önkorlátozó transzformátor a működési elv egyszerűsége ellenére igen összetett rendszer, így tervezése és analízise számos különböző mérnöki és fizikusi terület ismeretét teszi szükségessé.

A legfontosabbak ezek közül:

- alacsonyhőmérsékleti technika ( $-180\text{ °C}$  alatti hőmérsékletek előállítása és fenntartása),
- szupravezetők fizikája (kritikus áramok),
- szupravezetők villamos-mágneses-termikus csatolt viszonyai,
- mágneskörök elmélete, mágneses térelmélet,
- transzformátorok elmélete és tervezése.

Mindegyik terület részletes vizsgálata természetesen nem lehet a disszertációm tárgya, fentiek közül csak a szükséges összefüggéseket, elméleteket említem meg.

## 2. Motiváció

Már kisgyerekként közel kerültem a villamossághoz, édesapám révén sok villamos érdekességgel ismerkedhettem meg, így nem is volt kérdés, hogy középiskolában is ezzel fogok foglalkozni. A villamossági középiskola évei alatt alapvetően az erősáramú területről hallottam sokfélét. Jó eredményeimnek köszönhetően a Műegyetemen folytathattam tanulmányaimat, és már a kezdetektől fogva tudtam, hogy erősárammal akarok foglalkozni. Ezért is választottam szakirányomnak a villamosenergia-rendszereket. Aztán egy „véletlen” folytán a villamos gépek területére keveredtem át: egyik kollégiumi szobatársam az önálló labor témaválasztás határideje előtt nem sokkal megkérdezett, hogy mit szólnék, ha társulnék vele egy elég speciális területre. Persze addigra már kigondoltam, hogy melyik témát venném fel, de ez a speciális terület érdekelni kezdett. Ez a terület a szupravezetés volt. Kezdetben szupravezetős szinkrongépekkel foglalkoztunk, a diplomám is ebben a témakörben született. Közben bekerültem egy olyan közösségbe, ahol mindenki próbált valamit tenni a csoportért. Heti rendszerességgel szemináriumokat szerveztünk, nyári iskolákat rendeztünk. Így jóval könnyebb volt elsajátítani az alapokat és persze szakmailag jóval többet tudhattam meg, mintha csak utána olvastam volna a különböző témáknak. Aztán doktori témámnak a lendkerekes energiatárolást választottam, mivel épp akkor ennek a tématerületnek nem volt „gazdája”. Egy évig ezzel foglalkoztam, de valahogy éreztem, hogy ez nekem nem megfelelő. Egy év után lehetőség nyílt arra, hogy az áramkorlátozó gazdája lehessenek, és ezt nem hagytam ki. A szupravezetős áramkorlátozóban megtestesül az, hogy egy egyszerűnek látszó eszköz meglehetősen bonyolultan tud működni, és mindezt alacsony hőmérsékleten.

A szupravezetős csoport jó kapcsolatai és lehetőségei révén alkalmam nyílt arra, hogy az egyetem falai közül kilépve a tudásomat, tudományomat megmutathassam a mindennapi embereknek is. Így jutottam el a svédországi Malmöbe, ahol a Bo01 kiállításon az általam készített szupravezetős zárlatiáram-korlátozó makettet mutathattam be, ami aztán a dél-svédországi áramszolgáltató központjának aulájában volt látható még több éven keresztül. Ezúton is szeretném megköszönni Lars Sjunnessonnak és Sárosi Györgynek mind szellemi, mind erkölcsi, mind anyagi támogatásukat, illetve az akkor még Sydkraftnak, most már E.ON-Nordic cégnek. Demonstrációs áramkorlátozót készíthettem a SuperLife nevű kiállítás sorozatra is, aminek keretében az eszközöm eljutott Európa fontosabb szupravezetős központjaiba: Jénába, Barcelonába, Caenba és Oxfordba. A jól végzett munkám eredményeképp elkészíthettem az Új-Delhi Műszaki Egyetem számára is egy szupravezetős áramkorlátozós egységet, melyet az oktatásba is beépítettek.

A fent említett eredmények mind hozzájárultak ahhoz, hogy a doktori disszertációm megírásának nekiálljak és a legjobb tudásomat beletegyem.

### 3. A kutatás módszertana, az elvégzett munka áttekintése

Az ismeretlen jelenségeket több oldalról lehet megközelíteni, megismerni. Lehet úgy, hogy találkozunk valamilyen jelenséggel és azt utólag megpróbáljuk megérteni, de lehet úgy is, hogy előre kigondoljuk, hogy mit várnánk és azt ellenőrizzük. Én általában a kettő kombinációját alkalmaztam: tapasztaltam valamilyen jelenséget, azt próbáltam megmagyarázni, és a magyarázatom igazolására új kísérleteket és méréseket végeztem. Természetesen a magyarázat készítésébe a tervezés folyamata is beleértendő, és többször így is tettem.

Kutatásom kezdetén a szupravezetős zárlatiáram-korlátozókkal ismerkedtem meg, láttam azok első demonstrációs modelljeit, aztán egy diplomaterv keretében elkészült egy gyakorlatiasabb modell is. Ezen a modellen sok mérést végeztem, ami alapján elkészült a következő generációs, azóta is használt induktív áramkorlátozónk.

Ezen induktív áramkorlátozónál viszonylag hamar beleütköztem abba az akadályba, hogy az eszköz teljesítményét nem lehet egyszerűen növelni, mert az ittrium alapú szupravezető gyűrű lehető legnagyobb mérete megszabja azt. Ezért rátértem a különböző teljesítménynövelési lehetőségek vizsgálatára. Megvizsgáltam, hogy több szupravezető gyűrű miként viselkedik egy áramkorlátozóban. Megvizsgáltam, ha több egységet tudok felépíteni, akkor ezek soros, párhuzamos és mátrix kapcsolásaival milyen működési mechanizmusok játszódnak le. Közben a világ továbbfejlesztette a szupravezetős huzalokat és ezekkel is készítettem áramkorlátozókat. A szupravezetős huzalok használatával megszűnik az a megkötés, hogy a teljesítmény nem növelhető az ittrium alapú szupravezető gyűrű maximális átmérője miatt. A huzallal elméletileg bármekkora átmérőjű tekercs előállítható, ezzel a teljesítmény is növelhető, a készülék felskálázható.

Az első sikeres tesztek után egyre nagyobb vasmagon elhelyezve a szupravezetős huzalból készített tekercseket növeltem a teljesítményt, jelen pillanatban túl vagyunk egy 10 kVA-s áramkorlátozó sikeres tesztelésén. A disszertációmban nem térek ki ezekre az eredményeimre, melyek az [1], [2] publikációkban megtalálhatók. A disszertációm utáni munkámban a szupravezető huzallal történő felskálázással is foglalkozni kívánok.

Az áramkorlátozós kutatásaimmal párhuzamosan olyan összeállítást készítettem, ami kombinálja egy transzformátor és az áramkorlátozó funkcióit, vagyis egy önkorlátozó transzformátort. A vizsgálatot úgy kezdtem, hogy először alternatívákat állítottam fel, majd szimulációkat készítettem a különböző variánsokról, majd az életképes kialakítást megépítettük. Az elmélet igazolása után ennél az eszköznél is megvizsgáltam az egy eszközben több gyűrű alkalmazásának lehetőségét.

Az induktív zárlatiáram-korlátozó felépítéséből adódik, hogy egy addicionális tekercs elhelyezésével önkorlátozó transzformátorra fejleszhető a vizsgált eszköz. Az ilyen kialakítású önkorlátozó transzformátorokkal is sokat foglalkoztam, melyeket osztatlan szekunder tekercselésű önkorlátozó transzformátornak neveztem el, mivel a szekunder oldalán egy szekunder tekercs található. Ennek az eszköznek is megvizsgáltam a működését, a felépítési variációit, illetve azt, hogy több szupravezető gyűrű elhelyezése esetén miként viselkedik. Ezzel a konstrukcióval olyan induktív zárlatiáram-korlátozót is összeállítottam, ahol az eszköz aktiválási áramát egy ellenállás értékének változtatásával tudtam befolyásolni a primer oldali menetszám változtatás helyett.

Egy elnyert Európai Unió pályázat kapcsán megismertem egy olyan osztott szekunder tekercselésű önkorlátozó transzformátorral, amelyben az áramkorlátozó és a transzformátor funkción kívül létrehozható egy induktív terminál, amely képes a szobahőmérsékletű és az alacsony hőmérsékletű eszközöket induktívan csatolni. A projekt címéből képzett mozaikszó alapján ezt az egységet Slimformernek nevezzük.

Kisméretű modell elkészítése után megvizsgáltam, milyen konstrukciós felépítéssel lehet elérni az optimális működéshez szükséges kialakítást. A vizsgálataim alapján elkészítettem az ilyen felépítésű önkorlátozó transzformátor főtervi adatait megadó számítási eljárást. Időközben a konzorcium egy másik tagjának dedikált tervezési feladat

alapján elkészült a 20 kVA-re tervezett egység főterve, amely később meg is valósult. Az egységnek mind a primer, mind a szekunder tekercselése rézhuzalból készült. Ezen az elő-prototípus egységen nagyszámú mérést végeztem el, melyhez külön mérési eljárást, ún. teszt protokollt készítettem a projekt-kollektíva hozzájárulásával. Az eljárás elkészítését tudományos munka előzte meg, annak érdekében, hogy a lehető legtöbb információt nyerhessem ki az eszközből. Olyan kérdésekkel kellett foglalkoznom például, hogy miként határozható meg egy szupravezető gyűrű állandósult állapotbeli (transzformátoros) határárama, hirtelen rövidzárlatkor kialakuló aktiválási árama.

Az elő-prototípuson nyert tapasztalatok és eredmények alapján a korábban már elkészített főtervi adatokat szolgáltató számítási eljárásomat finomítottam, újabb elméleti alapvetéssel bővítettem, miszerint a szupravezető gyűrű zárlat alatt villamos szempontból csak 50 %-ban nyitott ki.

Az újabb eszköz a 100 kVA-re tervezett pilot plant egység, aminek a szekunder oldala szupravezető huzalból készült tekercsekkel lett ellátva. A főterv megrajzolása, az alkatrészek elkészítése után a végső szerelés a tanszék laboratóriumában történt. A korábbi egységen kialakított teszt protokoll szerint végzett mérések eredményeiből kijelenthető, hogy ez az eszköz is működőképes és képes ellátni a feladatát.

Doktori munkám során mindig arra törekedtem, hogy amit lehet és tudok, azt meg is valósítsam, majd az elgondolásokat mérésekkel igazoljam, és magyarázatot adjak a mérések eredményeire.

Nagy eredménynek tartom, hogy elkészült eszközöket tudok felmutatni, melyek mind hordoznak egy-egy újabb fejlesztési és megvalósítási célt.

## 4. Új tudományos eredmények összefoglalása

### 1. téziscsoport, amely a kisméretű („működési”) modellen végzett vizsgálataimon alapulnak

Az induktív zárlatiáram-korlátozókkal foglalkozó kutatócsoportok kis száma miatt azt a célt tűztem magam elé, hogy amit lehet, megépítsek kisméretű modell szintjén. Kutatási munkám során több kisméretű, induktív típusú, magashőmérsékletű szupravezetővel felszerelt zárlatiáram-korlátozót és több különböző működési elvet felhasználó szupravezetős önkorlátozó transzformátor modellt készítettem.

A különböző modelleken sok általános és specifikus mérés elvégzése után olyan információkat kaptam, amellyel a következő modell elkészítését megalapoztam, illetve a szupravezető gyűrűk működésének leírását pontosíthattam.

Az irodalmi kutatásaim során az induktív ZÁK vonatkozásában nem találtam leírást

- több különböző anyagú és tulajdonságú szupravezető gyűrűvel készült azonos felépítésű ZÁK összehasonlítására,
- 5 periódusnál hosszabban fennálló zárlat hatására a szupravezetőre,
- az alap konstrukciótól eltérő felépítésű osztott szekunder tekercselésű önkorlátozó transzformátor típusok elemzésére.

A vizsgálataim alapján az induktív típusú szupravezetős zárlatiáram-korlátozóra és szupravezetős önkorlátozó transzformátorra tézisként az alábbi megállapításokat tettem:

- 1.1 *Megállapítottam az induktív zárlatiáram-korlátozók teljesítmény növelése céljából sorosan és párhuzamosan kapcsolt egységek egymásra hatását, az aktiválási áram értékük beállítását [3].*
- 1.2 *A megegyező geometriai méretekkel rendelkező kisméretű ybco és bscco gyűrűvel felszerelt induktív típusú zárlatiáram-korlátozók összehasonlító elemzése alapján megállapítottam, hogy az ybco gyűrűvel felszerelt zárlatiáram-korlátozók esetén az aktiválódásra és a visszatérésre feleannyi időre volt szükség, mint a bscco gyűrűvel felszerelt zárlatiáram-korlátozók esetén [4].*
- 1.3 *Megállapítottam, hogy kisméretű ybco és bscco-2212 gyűrűk esetén az áramkorlátozó tranziens állapotában a szupravezető gyűrűk rezisztív állapota 5 hullámnál tovább is fennállhat a gyűrűk károsodása nélkül, ezt konkrétan több gyűrűn (ybco esetén  $< \varnothing 60$  mm és bscco-2212 esetén  $< \varnothing 100$  mm gyűrűkkel) elvégzett mérésekkel igazoltam. A vékonyfalú ( $\leq 3$  mm) és hővezető anyaggal bevont 80 mm átmérőjű bscco-2212 szupravezető gyűrű 50 periódus idejű zárlatot is képes elviselni károsodás nélkül [5].*
- 1.4 *Igazoltam az elkészített 1 kVA-s osztott szekunder tekercselésű önkorlátozó transzformátor egységen az eszköz elméletnek megfelelő működését, különböző lehetséges felépítési konstrukciókat hoztam létre, amely alapján az optimális felépítést meg tudtam határozni [6].*

## 2. téziscsoport, amely az eszközök elméleti vizsgálatain alapulnak

Az önkorlátozó transzformátor működésének alapos megértéséhez a felhasznált 200 mm átmérőjű BSCCO-2212 gyűrű működésének megismerése volt szükséges. A transzformátor felépítése és működése ismert, ám a szupravezető gyűrű eddig általam nem tapasztalt viselkedést mutatott. Az irodalmak alapján meg tudtam magyarázni a szupravezető gyűrű viselkedését és ezzel az önkorlátozó transzformátor működési tulajdonságait. Az így felhalmozott ismeretek nagyban járultak hozzá egy kollégám szimulációs programjának elkészítéséhez.

Az irodalom alkalmazástechnikai szempontból nem ad áttekintést a bizmut alapú szupravezető gyűrűkben lejátszódó azon folyamatokról, amelyeket az önkorlátozó transzformátor tervezéséhez közvetlenül fel kellett használni.

A vizsgálataim alapján az alábbi téziseket fogalmaztam meg:

- 2.1 *Magyarázatot adtam a fizikai irodalmi háttér alapján az önkorlátozó transzformátor működésére a szupravezető gyűrű mágneses és termikus diffúziójának ismeretében [8].*
- 2.2 *Megállapítottam, hogy a termikusan nem stabilizált 200 mm átmérőjű BSCCO-2212 szupravezető gyűrű nem képes károsodás nélkül 5 periódus alatt villamos szempontból „kinyitni”, azaz teljesen normál vezetési állapotba kerülni [7, 8, 16].*
- 2.3 *Megmutattam, hogy a nagy átmérőjű BSCCO-2212 stabilizált szupravezető gyűrű statikus és dinamikus aktiválási áram értékét a gyűrű homogenitása, a mágneses- és hődiffúziója, az áram felfutás sebessége befolyásolja és ezek szignifikánsan eltérhetnek egymástól. A hatásokat és az eltéréseket a 200 mm átmérőjű szupravezető gyűrű mérésével igazoltam [8].*
- 2.4 *Meghatároztam a mechanikailag és termikusan stabilizált szupravezető gyűrűk váltakozóáramú statikus aktiválási (quench) áramának megállapításának módszerét. Ezt konkrétan a 200 mm átmérőjű BSCCO-2212 szupravezető gyűrűk esetén mérésekkel is igazoltam [7, 8].*

## 3. téziscsoport, amely az osztott szekunder tekercselésű önkorlátozó transzformátor kísérleti vizsgálatain alapulnak

Az önkorlátozó transzformátor kísérleti vizsgálatai során nagyon sok értékes információhoz jutottam az eszköz illetve a felhasznált szupravezető gyűrű működésével kapcsolatban. Az eszközt megvizsgáltam dinamikus: vagyis egy zárlat időtartama alatti viselkedésekor, illetve a zárlat alatti állandósult, valamint állandósult transzformátoros üzemiállapotban is. Az eszköz számára előírás, hogy mind transzformátorként, mind zárlatiáram-korlátozóként a követelményeknek megfelelően üzemeljen.

A vizsgálataim alapján az alábbi téziseket fogalmaztam meg:

- 3.1 *Igazoltam, hogy a mechanikailag és termikusan stabilizált szupravezető gyűrű alkalmas osztott szekunder tekercselésű magashőmérsékletű szupravezető önkorlátozó transzformátorban félperióduson belüli aktiválásra és 5 periódusnál nem hosszabb zárlatok korlátozására, amelyet több konkrét gyűrűre vonatkozóan ( $\varnothing$  100 mm,  $\varnothing$  200 mm) kísérletileg igazoltam [7, 8, 16].*

- 3.2 *Igazoltam, hogy egy megfelelően méretezett, mechanikailag és termikusan stabilizált szupravezető gyűrű alkalmas osztott szekunder tekercselésű magashőmérsékletű szupravezető önkorlátozó transzformátorban állandósult állapotbeli használatra. Ezt konkrétan több gyűrűre vonatkozóan ( $\varnothing 100$  mm,  $\varnothing 200$  mm) kísérletileg igazoltam [7, 8, 16].*
- 3.3 *Megállapítottam, hogy az önkorlátozó transzformátor szekunder oldalán beállított mély korlátozási esetben a szupravezető gyűrű zárlat után nem képes szupravezetési állapotába visszatérni [8, 16].*
- 3.4 *Igazoltam, hogy az osztott szekunder tekercselésű önkorlátozó transzformátor tervezésekor a lehető legkisebb üresjárású áramra kell törekedni [8, 16].*

#### 4. téziscsoport, amely az osztott szekunder tekercselésű önkorlátozó transzformátor főterveinek elkészítésén alapulnak

Az önkorlátozó transzformátor működésének megismerésével lehetővé vált, hogy tervezési eljárást lehessen kidolgozni. A kisméretű modellek elkészítésekor a zárlatiáram-korlátozók területén szerzett tervezési tapasztalatom is elegendő volt, viszont átlépve az 1 kVA-s határon más hatások is erőteljesebbé váltak. Az elvégzett kísérleti és elméleti munkám alapján az újként megjelent hatásokat is figyelembe véve előbb egy 20 kVA-s egység főtervét fejlesztettem ki és rajzoltam meg. A konzorciumi munka során egy módosított terv került megvalósításra, de az alaptervezés is felhasználásra került, tehát ez is hozzájárulás volt részemről. A legyártott eszközön elvégzett kísérleteim eredményeinek felhasználásával elkészítettem a 100 kVA-s egység főterveit, ami végül legyártásra került. A 100 kVA-s egységen elvégzett kísérletek igazolták a tervezés helyességét.

A vizsgálataim alapján az alábbi téziseket fogalmaztam meg:

- 4.1 *Tervezési eljárást dolgoztam ki az osztott szekunder tekercselésű magas hőmérsékletű szupravezető önkorlátozó transzformátor főtervének meghatározására, amely figyelembe veszi a felépítés és a szupravezető anyagok sajátosságait [8].*
- 4.2 *Igazoltam, hogy a tervezés szempontjából a váltakozóáramon elvégzett vasmentes szupravezető huzalból készült tekercs mérési karakterisztikák eredményeinek használata célszerű a váltakozóáramú egység tervezéséhez, a gyártók által megadott egyenáramú kritikus áram érték helyett [8].*
- 4.3 *Kísérleti eredményekkel igazoltam, hogy a 100 kVA transzformátor teljesítményű egység méretezési koncepciójánál megfogalmazott azon elv, miszerint az egység korlátozása a szupravezető gyűrű villamos szempontból kb 50%-ban való kinyitásán alapul, helytálló [8].*



## 5. Eredmények hasznosítása

Doktori munkám során több működő modellt létrehoztam, főterveket készítettem el, kísérleteket végeztem. Ezek a modellek voltak az 1 kVA-s induktív áramkorlátozók és osztatlan szekunder tekercselésű önkorlátozó transzformátorok, az osztott szekunder tekercselésű önkorlátozó transzformátorok esetén 1 kVA, 20 kVA (pre-proto) és 100 kVA (pilot plant) egységek.

Az elvégzett munka mennyiségéből és minőségéből kitűnik, hogy az eredményeimet sok területen lehet hasznosítani.

A kis modelleken elvégzett munkám eredményét fel lehet használni a jövőben azon további vizsgálatok alapjául, amivel esetlegesen új alapokon működő induktív áramkorlátozási technikák jöhetnek létre.

A nagy modelleken elért eredményeiből alkotott elmélet abban segített, hogy ezek felhasználásával elő tudjak állítani egy, a szupravezető komponens tulajdonságát még jobban figyelembe vevő méretezést, amit az elkészített egység sikeres tesztjei bizonyítanak. Ennek alapján lehetővé válik a felskálázás egy tetszőlegesen megválasztott teljesítményű eszköz megtervezése is.

## 6. Tézisekhez kapcsolódó, fontosabb publikációim jegyzéke

- [1] Györe A., Vajda I. Szupravezetős zárlatiáram-korlátozók fejlesztése, Kutatási jelentés, EON-Északdunántúli Áramszolgáltató Zrt., BME VET, 2009, pp .61-70
- [2] Györe A., Vajda I. Megújuló energiaforrásokat hasznosító szupravezetős mikroerőmű koncepcionális terve és egyes komponenseinek fejlesztése, Kutatási jelentés, EON-Északdunántúli Áramszolgáltató Zrt., BME VET, 2010, pp. 8-48
- [3] Gyore A, Vajda I, Meerovich V, Sokolovsky V, „Experimental determination of optimal construction of current limiting transformers using HTS tapes and rings”, IEEE Transactions on Applied Superconductivity Vol 19:(3) pp. 1976-1980. Paper 5109534. (2009)
- [4] A. Gyore, S Semperger, I Vajda et al, “Experimental analysis of different type HTS rings in Fault Current Limiter”, IEEE Transactions on Applied Superconductivity, Vol. 17. No. 2, June 2007 pp. 1899-1902
- [5] A Gyore, I Vajda, Technical Report D.1.2 Review of theoretical and experimental results, BME VET 2007
- [6] A. Gyore, S Semperger, I Vajda et al, “Investigation of High Temperature Superconducting Self-limiting Transformer with YBCO cylinder”, IEEE Transactions on Applied Superconductivity, Vol. 17. No. 2, June 2007 pp. 1887-90
- [7] Györe Attila Szupravezetős zárlatiáram-korlátozók és szupravezetős önkorlátozó transzformátor tesztelése a felhasznált szupravezető gyűrű szempontjából. Elektrotechnika 101:(9) pp. 11-14. (2008)
- [8] I. Vajda, A. Hyde, A. Gyore, G. Nador, T. Trollier, B. Sailer, R. Bohm, „Slimformer - Self-Limiting Transformer Pre-prototype and Pilot Plant Design, Construction and Tests”, IEEE Transactions on Applied Superconductivity, 2011, megjelenés alatt
- [9] I. Vajda, A. Györe, T. Porjesz, V. Sokolovsky, V. Meerovich, Duration Tests of an Experimental High Temperature Superconducting Fault Current Limiter, International Journal of Applied Electromagnetics and Mechanics, Vol. 14., Numbers 1-4/2001/2002, pp 121-126I.
- [10] I. Vajda, A. Gyore, A. Szalay, V. Sokolovsky, W. Gawalek, „ Improved Design and System Approach of a Three Phase Inductive HTS Fault Current Limiter for a 12 kVA Synchronous Generator”, IEEE Transactions on Applied Superconductivity, Vol. 13. No. 2, June 2003 pp. 2000-2003
- [11] A. Gyore, L. Farkas, I. Vajda, V. Sokolovsky and W. Gawalek, Topologies of Inductive HTS Fault Current Limiters, Proc. 6th European Conference on Applied Superconductivity, Institute of Physics, Conference series No. 181, A. Andreone, G. P. Pepe, R. Cristiano and G. Masullo (eds), pp. 827-32 (2004)
- [12] A. Gyore, S. Semperger, L. Farkas, I. Vajda, “Improvement of Functionality and Reliability by Inductive HTS Fault Current Limiter Units”, IEEE Transactions on Applied Superconductivity, IEEE Transactions on Applied Superconductivity, Vol. 15. No. 2, June 2005 pp. 2086-2089
- [13] A. Gyore, L. Farkas, I. Vajda, “Series and Parallel Connections of Inductive HTS Fault Current Limiters”, Superconductor Science and Technology, 18 No 2 S82-S85 (2005)
- [14] A. Gyore, G. Péter, I. Vajda, System investigation of High Temperature Superconducting Self-Limiting Transformer, 7th European Conference on Applied Superconductivity, Institute of Physics, Conference series Vol 43, 2006 pp966-970
- [15] A Baker, A Hyde, I Vajda, A Gyore et al, „A Novel Device Protecting a Superconducting Cable anf its Connection to a Conventional Distribution Network”, CIRED 19 th International Conference on Electrricity Distribution, pp 1-4, Vienna, 21-24 May 2007

- [16] I Vajda, A Györe, Self-Limiting Transformer Pre-prototype and Pilot Plant Design, Construction and Tests, Final Report, Project no.518310, Kutatási jelentés, BME VET, 2010

#### Fontosabb szóbeli előadások

- [1] Györe Attila, „Szupravezetős zárlatiáram-korlátozó elmélete és kísérleti megvalósítása, előadás az MTA Elektrotechnikai Bizottság ülésén, 2008.05.27
- [2] Györe Attila, „Szupravezetős önkorlátozó transzformátor tervezése”, Fiatal oktatók fóruma, BME VIK rendezvény, 2010. 04. 07.
- [3] Györe Attila, Szupravezetős Önkorlátozó Transzformátor, MEE Szakmai Nap, 2008. 04. 09.
- [4] Attila Györe, „On the Way Towards an All Superconducting Mini Power Plant”, CIGRE előadás, 2009. 09. 22.
- [5] Attila Györe, I Vajda, „Matrix arrangement of Inductive Type Fault Current Limiters”, Workshop on Superconducting FCLs, RWE Limiter Symposium , Siegen, 2004. 06. 29.

#### 7. A tézisfüzetben felhasznált külső irodalom

- [k1] Dán András, Vajda István: Új technikák alkalmazása kis- és középfeszültségű hálózatok zárlati áramának korlátozásban, Kutatási jelentés, EON-Északdunántúli Áramszolgáltató Zrt., BME VET, 2005

#### 8. A tézisfüzetben szereplő ábrákhoz felhasznált irodalom

---

a1 „K. Salama, lecture notes at ASSE’2003