

# Zárlati áramok csökkentésének lehetősége soros fojtótekercek alkalmazásával az ELMŰ Rt. 120 kV-os főelosztóhálózatán I. rész

Dr. Mihákovics Tibor, Németh János

## Bevezetés

Az ELMŰ Rt. 120 kV-os hálózatán nagy a zárlati teljesítmény. A rövid, nagy keresztmetszetű vezetékeknek, az alaphálózati betáplálásoknak és a Dunamenti Hőerőmű közelségének együttesen az a következménye, hogy az egyes csomópontokban a 30 kA-t is meghaladó zárlati áramot csak a hálózat hurkoltságának lazításával, főelosztóhálózati körzetek kialakításával lehet a hazai 120 kV-os hálózaton általában megengedett 4000 MVA-es zárlati szint, ill. az ennek megfelelő 19 kA alatt tartani. Jelenleg négy önálló 120 kV-os körzet üzemel. A hálózat lazítása azonban egy határon túl már nem járható út, mert egyrészt csökkenti az üzembiztonságot, másrészt az üzemállapot megváltoztatása nagyszámú kapcsolást igényel, ami növeli a tévesztés lehetőségét, azaz szintén az üzembiztonság csökkenése a következmény. Tovább rontja a helyenként már jelenleg is nehezen kezelhető zárlati helyzetet a közeljövőben 120 kV-ra betápláló gázturbinák megjelenése. (A kelenföldi gázturbinát még ezévben üzembe helyezik.)

A zárlati viszonyokat súlyosbítja, hogy az ELMŰ Rt. alállomásainak döntő többségében az  $X_0/X_1$  viszony kisebb 1-nél, sőt egyes állomásoknál 0,45...0,5 közötti, tehát a zárlatok 90...95%-ot kitevő FN zárlati áramok 10...20%-kal nagyobbak a 3F zárlati áramoknál. Emiatt korábban több, az egész ELMŰ Rt. területére kiterjedő vizsgálat készült annak feltárására, hogy az egyes csillagpontlazítási eszközökkel (csillagponti fojtó, csillagpont szigetelése) milyen mértékben csökkenthető a földzárlati áram nagysága az egyes alállomásokban [1], [2], [3].

A [3] vizsgálati eredményei az mutatták, hogy a térségben lévő 400/120 kV-os és 220/120 kV-os transzformátorok (Albertfalván 2 db, Gödön 4 db, Soroksáron 1 db, Zuglóban 3 db) csillagpontjaiban elhelyezett 12, ill. 16 ohmos fojtótekercek átlagosan csak 3...5%-kal (a legkritikusabb Albertfalván 7%-kal), a 120/középfeszültségű transzformátorok csillagpontjának 2200 ohmos ellenálláson keresztüli földelése további, átlagosan 3...6%-kal (legnagyobb mértékben Soroksáron 9,5%-kal) csökkentette a földzárlati áramokat.

Az FN zárlati áramok csillagponti fojtóval, ill. a nagyszámú fogyasztói transzformátor csillagpontjának szigetelésével való csökkentése nagy költséggel járó megoldás, amelynek bizonyos negatív hatásai is lehetnek:

- a csillagpontlazítás hatására nőhet egyes megszakítók visszatérő feszültsége, amely a nem túlságosan üzembiztos



OTKF 4000 típ. megszakítók sikertelen működési valószínűségét növelheti;

- a fogyasztói transzformátorok költséges csillagponti szigetelése (2200 ohm földelési ellenállás) sok helyen — elsősorban beltéri állomásokban — nehezen megoldható, továbbá védelmi és irányítástechnikai problémákat is felvető feladat.

Így annak ellenére, hogy az MVMT-OVRAM [3] és az ERŐTERV [1], [2], [4] tanulmányai alapján határozat született általában a nagy/nagyfeszültségű transzformátorok csillagponti fojtóinak a beépítéséről, megvalósításra ez ideig nem került sor.

A Kelenföldi Erőmű rekonstrukciójának első ütemében beépítésre kerülő nagy teljesítményű gázturbinás generátor hálózatra csatlakozása az albertfalvai rendszerkörzetben mintegy 2,5...3 kA-rel növeli a zárlati áramokat: egyes üzemállapotokban a 3F és az FN zárlati áramok is meghaladják a 19 kA-t. A csillagponti fojtók beépítése csak 4-5%-kal csökkentené az FN — és csak az FN — zárlati áramokat, ezért hatékonyabb és műszakilag több előnyt nyújtó zárlati áram csökkentő módszer után kellett nézni.

Az előzetes vizsgálatok alapján megfelelő megoldásnak mutatkozik a kisveszteségű, korszerű soros fojtóknak, mint zárlatkorlátozási eszközöknek a hazai nagyfeszültségű hálózaton való bevezetése.

E cikkben a soros fojtók zárlati áram korlátozó hatását és alkalmazási lehetőségeit mutatjuk be.

Az ELMŰ Rt. ellátási területén hangfrekvenciás központi vezérlési (HFKV) rendszer épült ki, amelyben az adók védelme és a HFKV-jelterjedés javítása érdekében a fölöttes alaphálózat felé hangfrekvenciás zárókörök beépítése szükséges. Ezért lehetőség adódott arra, hogy a soros fojtók hálózatra telepítését két változatban vizsgáljuk:

- a 400/120, ill. 220/120 kV-os transzformátorokhoz tervezett HFKV zárókörökkel egybeépítve,

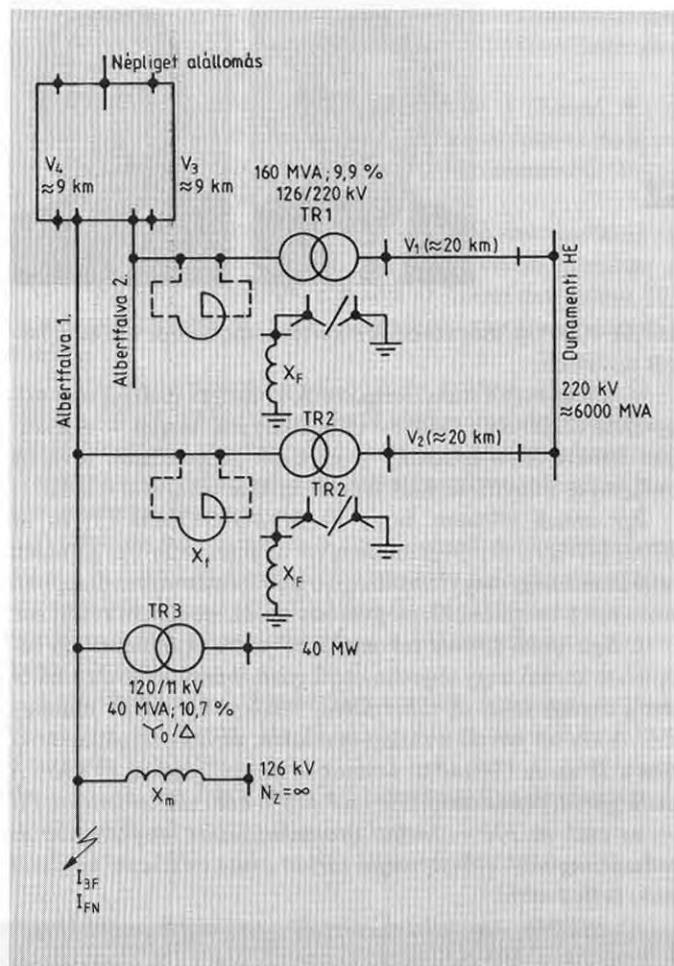
- önállóan a hálózatra telepítve.

Bár a részletes számítógépes elemzéseket az ELMŰ Rt. egész ellátási területére elvégeztük (az eredményeket az 5. fejezet tartalmazza), az egyes zárlati áramkorlátozási módszerek hatását szemléletesebben mutatja a leginkább érintett albertfalvai térség hálózatát leképező egyszerűsített modellen ismertetett számítási módszer. A következő fejezetek ezen keresztül mutatják be a csillagponti fojtó és a soros fojtó zárlati áramkorlátozó hatását.

## 1. Albertfalva alállomás 120 kV-os gyűjtősinjén fellépő zárlati áramok számítása

Az új műszaki megoldással elérhető zárlati áramkorlátozás számításait az Albertfalva állomás gyűjtősinjén fellépő zárlat esetére végeztük el [9]. A vizsgált modellt az 1. ábra mutatja.

Dr. Mihákovics Tibor, a műszaki tudományok kandidátusa, az ELMŰ Rt. Vizsgálóállomás vezetője, a MEE tagja  
Németh János, az ELMŰ Rt. Fejlesztési Aligazgatóság csoportvezetője, a MEE tagja



1. ábra. Albertfalva alállomás kapcsolása a számításokhoz

A számításoknál a következő paramétereket vettük figyelembe:

— Az Albertfalva 1. és 2. sín Népligeten, a sínáthidalón keresztül van összekötve.

— A hálózatnak három kiemelt ága van: a két 160 MVA booster (ahová az új javaslat szerinti soros fojtótekerces kerülnek beépítésre), és a magyarázathoz szükséges egyik 120/11 kV-os fogyasztói transzformátor. A maradék hálózatot a zárlati áram számítása szempontjából  $X_m$  reaktanciával helyettesítettük. Mivel a 40 MVA-es fogyasztói transzformátort terhelő impedancia  $Z_t \approx 120^2/40 = 360$  ohm/f, a transzformátor ágát a zárlati számításoknál elhanyagoljuk, kivéve a zérussorrendű hálózatnál, amelyben a deltatekerces lezárja a zérussorrendű hálózatot, tehát a zárlati impedanciákkal összemérhető  $X_{T30}$  szerepel a hálózatban.

— Az általunk javasolt — a 160 MVA-es transzformátorok ágában elhelyezendő — soros fojtótekerces impedanciája:  $X_{f1} = X_{f2} = X_{f0} = 8$  ohm.

### 1.1. Zárlati áram számítása a két 160 MVA-es transzformátor csillagpontjában elhelyezett 16 ohmos csillagponti fojtó esetén

A pontos számításokhoz ismerni kell a hálózat maradék részét képviselő  $X_{m1}$ ;  $X_{m2}$ ;  $X_{m0}$  impedanciák sorrendi értékeit. A korábban [4] elvégzett számítások szerint az *albertfalvai 120 kV-os* gyűjtősínen a két 220/120 kV-os booster  $2 \times 16$

ohmos csillagponti fojtón keresztüli földelése esetén a következő zárlati áramok várhatók:

$$I_{3F} = 14,7 \text{ kA}; I_{FN} = 17,3 \text{ kA}.$$

$$I_{3F} = \frac{U}{\sqrt{3} X_1} \text{ és } I_{FN} = \frac{U}{\sqrt{3} (X_1 + X_2 + X_0)/3}$$

Két egyenlet alapján ( $X_1 = X_2$ ) a két ismeretlen impedancia számítható:

$$X_{m1} = X_{m2} = 9,65 \text{ ohm}; X_{m0} = 3,17 \text{ ohm}; (U = 126 \text{ kV})$$

E számításoknál a soros fojtó reaktanciája:  $X_{f1} = X_{f2} = X_{f0} = 0$ , míg a csillagponti fojtó reaktanciája:  $X_f = 16$  ohm.

### 1.2. Zárlati áram számítása csillagponti fojtók alkalmazása nélkül

A háromfázisú zárlati áram változatlan, tehát  $I_{3F} = 14,7$  kA. Az FN zárlati áram számításánál  $X_f = 0$ , így  $I_{FN} = 17,8$  kA.

Látható, hogy a 2 db 16 ohmos csillagponti fojtótekercesnek az *albertfalvai 220/126 kV-os* transzformátoroknál való beépítése a zárlati áramot mindössze 0,5 kA-rel, tehát ~3%-kal csökkenti. Ennek magyarázata az, hogy a zérussorrendű hálózat sok párhuzamos ágból áll és a nagyszámú fogyasztói —  $Y_0/\Delta$  kapcsolású — transzformátor söntölő hatása erősen mérsékli a két nagyobb zárlati áramú nagytranszformátoros ág csillagponti fojtóval elért reaktancianövekedésének a hatását.

Ebből a szempontból gyakorlatilag nemcsak az *Albertfalva*, hanem az azzal összekapcsolt *Csepel*, *Népliget*, *Budaközép* stb. állomásra csatlakozó összes 120/10 kV-os transzformátor zérussorrendű impedanciája párhuzamosan kapcsolódik, így érthető a csillagpontlazítás kis hatása. Ezért írták [1] és [2] szerzői is, hogy 400/120 kV-os transzformátorok csillagpontlazítása csak a 120 kV/KF-ű transzformátorok csillagpontoszigetelésével együtt eredményez számottevő FN zárlati áramcsökkenést.

### 1.3. Soros fojtótekerces alkalmazása

A csillagponti fojtótekerces alkalmazásainak 1.2. pontban említett hiányosságai küszöbölhetők ki 120 kV-ra szigetelt, kis veszteségű, soros fojtótekerces alkalmazásával. Ennek hatását  $X_f = 8$  ohm-os esetre mutatjuk be, de ettől eltérő érték is választható. Az 1. ábra nagytranszformátoros ágaiban:  $X_f = 0$ . A soros fojtó reaktanciái:  $X_{f1} = X_{f2} = X_{f0} = 8$  ohm. Ekkor:  $I_{3F} = 12,63$  kA és  $I_{FN} = 15,55$  kA. Tehát az  $X_f = 8$  ohm soros fojtó beépítésével  $I_{3F}$  ~86%-ra,  $I_{FN}$  ~87%-ra csökkent.

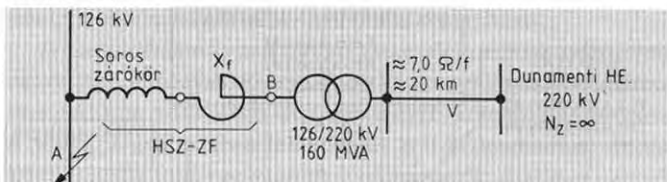
Az alkalmazott módszer nagyobb zárlati áramcsökkentő hatása azzal magyarázható, hogy a zérussorrendű hálózat mellett a kevesebb párhuzamos ágból álló (nem szerepelnek az  $Y_0/\Delta$  fogyasztói transzformátorok) pozitív és negatív sorrendű hálózatban is hatásosan növeli a két fő ág impedanciáját. A soros fojtók alkalmazásának tehát további előnye, hogy a 3F zárlati áramokat is csökkenti, amelyek az *ELMŰ Rt.* egyes állomásaiban és egyes hálózati konfigurációkban ma is meghaladják a 19 kA-t.

Végül megjegyezzük, hogy bár a számítás egzakt, és az eredmények pontosságát jónak ítéljük, az adatokból (távvezeték-reaktancia, mögöttes zárlati teljesítmény stb.) eredő pontatlanság a százalékos zárlati áramcsökkenést nem befolyásolja, legfeljebb a zárlati áram abszolút értékében lehetséges néhány százalékos eltérés.



## 2. A soros fojtók elhelyezése, kialakítása

A 160 MVA-es transzformátorok ágában elhelyezett soros fojtótekercek javasolt értéke  $X_f = 8$  ohm. Tulajdonképpen a soros fojtótekeres felfogható úgy is, mint egy növelt droppú transzformátor rövidzárási impedanciájának kihelyezett része. A fojtótekeresen eső feszültség 100% terhelésnél  $\Delta U = 733 \text{ A} \cdot 8 \text{ ohm} = 5,86 \text{ kV}$ , tehát a booster szabályozóját néhány fokozattal feljebb kell állítani. A fojtó elhelyezésének célszerű helye a hangfrekvenciás soros zárókör és a 160 MVA-es transzformátor közötti szakasz, ugyanis a mindkét irányból lökőfeszültségre vizsgált berendezés közötti elhelyezés szükségtelemmé teszi a fojtótekeres 550 kV-os lökőfeszültségre való méretezését.



2. ábra. HSZ-ZF zárlati áramai

Gondos, megerősített szerelés esetén a 2. ábra B pontjában kis valószínűséggel fellépő belső zárlatra gazdaságtalan méretezni, tehát a fojtótekerest a 120 kV-os gyűjtősínen fellépő zárlatra rátápláló főtranszformátoros ág

$$I = \frac{126/\sqrt{3}}{X_{TR2} + X_{V2} + X_f} \approx 3,6 \text{ kA}$$

zárlati áramára kell tervezni. Az elhelyezéssel, túlfeszültség-védelemmel kapcsolatos kérdéseket itt nem vizsgáltuk, mert a 3. pontban az előző megoldásnál műszakilag előnyösebb konstrukciót ismertettünk.

## 3. A hangfrekvenciás soros zárókör és a zárlatkorlátozó fojtótekeres összevonása

Az ismertett soros zárlatkorlátozó fojtótekeres műszakilag legkedvezőbb megoldását a hangfrekvenciás soros zárókör és az  $X_f = 8$  ohm impedanciájú zárlatkorlátozó fojtótekeres (továbbiakban HSZ-ZF) összevonása, a 8 ohm-os fojtótekeresnek a soros zárókör kazánjában való elhelyezése jelenti. Ennek lényegesebb műszaki paraméterei [9]:

Névleges feszültség:	145 kV
Átmenő teljesítmény:	160 MVA
Névleges impedancia a 145 kV-os oldalról:	8 ohm/f
Névleges dinamikus/termikus határáram:	15 kA/6 kA 2 s
Tömeg:	57 t

Ez a megoldás a hangfrekvenciás soros zárókör eredeti költségéhez képest csak 17%-os többletköltséget igényel, így gazdaságosan megoldható az *Albertfalva állomás* körzetének jelentős zárlati áramkorlátozása. Mivel az HSZ-ZF a tervezést és gyártást vállaló cég számára is az *első* ilyen berendezés, ennek specifikálására és a legyártott háromfázisú egység típusvizsgálataira nagy gondot fordítottunk.

Az egyik legfontosabb vizsgálatot, a zárlatbiztonsági vizsgálatot a VEIKI Rt. Zárlati Próbaállomásán végeztük el. Érvényes, kötelező erejű típusvizsgálati előírás hiányában a *Próbaállomás* vizsgálati lehetőségét maximálisan kihasználva, a

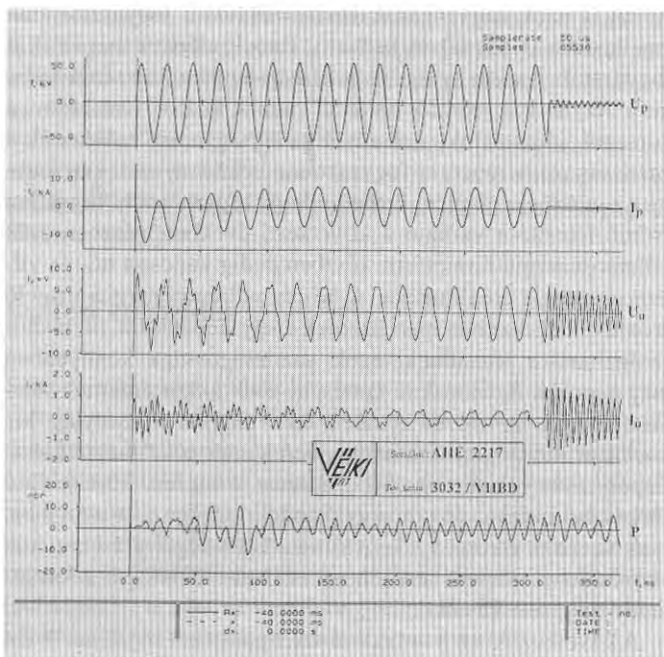
gyártó jelenlétében fázisonként a következő zárlati kapcsolásokat végeztük el:

- 10,2 kA/4,0 kA · 0,3 s
- 2 × 12,9 kA/5,0 kA · 0,3 s
- 12,9 kA/5,0 kA · 2 s

A végrehajtott sikeres kapcsolások a 120 kV-os gyűjtősínen fellépő, legfeljebb 3,6 kA effektív értékű, *külső* zárlati esetre a konstrukció zárlatbiztonságát garantálják. A gyártó a HSZ-ZF-et a 2. ábra B belső pontjában igen kis valószínűséggel fellépő

$$I_z = \frac{126/\sqrt{3}}{8 + 126^2/3800} = 6 \text{ kA}$$

zárlati áramnak megfelelő 15 kA/6kA · 2s zárlati paraméterekre tervezte és ezen értékeket garantálta. A VEIKI Rt. vizsgálati lehetőségei azonban csak a 12,9 kA/5,0 kA paraméterekkel lefolytatott zárlati kapcsolásokat tették lehetővé. A mérések (reaktancia pontos mérése, olajban nyomáshullám mérése) a HSZ-ZF zárlatbiztonságát igazolták. Egy jellemző oszcillogramot a 3. ábrán mutatunk be. A 120 kV-os oldali zárlati áram



3. ábra. A HSZ-ZF U fázisának zárlati kapcsolása 13 kA/5,1 kA 0,31 s paraméterekkel

mellett oszcillografáltuk a *szekunder* oldali 217 Hz-re hangolt kondenzátorok áramait és feszültségeit is. A közölt oszcillogram annyiban nem eredeti, hogy helytakarékoság miatt a nem lökött V és W fázis *szekunder* tekerceihez csatlakozó kondenzátor kis amplitudójú feszültségeit és áramait kivágtuk. Sugársorend az oszcillogramon:

- U fázis feszültsége — primer
- U fázis árama — primer
- U fázis feszültsége — szekunder
- U fázis árama — szekunder
- Olajnyomás

E műszaki megoldás nemcsak *Albertfalva állomás* és körzete, hanem az *ELMŰ Rt.* egyéb körzetei tápláló 400/126 és 220/126 kV feszültségű transzformátorainál beépítendő hangfrekvenciás soros záróköröknél is alkalmazható.