

# Középfeszültségű túlfeszültség-korlátozók jellemzői, vizsgálati előírásai, kiválasztása. 3. rész

DR. MIHÁLKOVICS TIBOR, a műszaki tudományok kandidátusa

*E három részes cikk 1. része lapunk 2003/4. számában, 2. része lapunk 2003/5. számában jelent meg. A fejezetek, a táblázatok és az ábrák számozása folyamatos. Ha másik részben közölt táblázatra hivatkozunk, akkor megjelöljük a rész-, ill. a fejezetszámot! Az IRODALOM az 1. részben található.*

## 4. Fém-oxid túlfeszültség-korlátozók kiválasztása

### 4.1 Bevezetés

A hagyományos szikraközös SiC anyagú túlfeszültség-levezetőktől eltérően az újabb fém-oxid anyagú túlfeszültség-korlátozók (továbbiakban TK) erősebb nemlineáris jelleggörbéje lehetővé tette a szikraközök elhagyását. Így a nemlineáris ellenállásokat állandóan üzemi frekvenciájú feszültség veszi igénybe, erre szuperonálódnak a légköri- és kapcsolási túlfeszültség, és az időszakos túlfeszültség okozta igénybevételek. A TK-knak egész élettartamuk folyamán el kell viselniük ezeket az igénybevételeket, ezekre kell méretezni azokat, tehát termikusan stabilan kell az adott hálózati ponton üzemelniük.

A továbbiakban az IRODALOM-ra [1, 11, 14-18] és a szerző áramszolgáltatói gyakorlatára támaszkodva összefoglaljuk a fém-oxid TK-k kiválasztásának főbb szabályait.

### 4.2 A TK $U_R$ névleges- és $U_C$ folyamatos üzemi feszültségének kiválasztása

A fém-oxid TK-k jellemző tulajdonsága, hogy hatásosan védenek a nagy amplitúdójú, rövid idejű túlfeszültségek ellen, a kisebb amplitúdójú tartós túlfeszültségek esetén hatásosságuk azonban korlátozott. Mivel a fázisvezető és föld közé kapcsolt fém-oxid TK nemlineáris ellenállásait  $U_m/\sqrt{3}$  fázisfeszültség, a fázisvezetők közé kapcsolt TK-t a háromfázisú hálózat  $U_m$  maximális vonali feszültsége (névleges feszültsége) veszi állandóan igénybe, erre kell azt méretezni, annak figyelembevételével, hogy a túlfeszültségek, ezek közül is elsősorban az időszakos túlfeszültség (TOV) által felmelegedett nemlineáris ellenállás hőmegfűtása ne következzen be.

Egy TK kiválasztása mindig kompromisszum a TK által biztosított védelmi szint, a TK időszakos túlfeszültség (TOV) állósága és energiaelnyelő képessége között. Ha nő a TK TOV állósága (a soros nemlineáris elemek számának növelésével), és így az adott névleges feszültségű hálózaton üzemelési biztonsága, egyidejűleg nő a TK által biztosított védelmi szint is, tehát csökken a védett berendezés szigetelési szintje és a megemelkedett védelmi szint közti biztonsági sáv. Az adott hálózathoz, védett berendezéshez illeszkedő optimális megoldás kiválasztása a tervezés feladata.

#### 4.2.1 Az $U_m$ legnagyobb hálózati feszültség meghatározása

Az IEC szabványok szerint a hálózat  $U_m$  névleges feszültsége a legnagyobb üzemi feszültség. Az IEC szerinti 12, 24, 145, 245 és 420 kV névleges feszültség megfelel a hazai 11, 22, 120, 220 és 400 kV feszültség szintek legnagyobb üzemi feszültségének. A TK folyamatos üzemi feszültségét az  $U_C \geq U_m/\sqrt{3}$  feltételnek

megfelelően kell megválasztani, az ennél nagyobb  $U_C$  választását a TK-t terhelő időszakos túlfeszültségek (TOV) tehetik szükségessé.

#### 4.2.2 Földzárlati feltételek

Az előzőekben már említettük, hogy a TK a kisebb amplitúdójú, de tartós túlfeszültségeket nehezen viseli el. Az egyik leggyakrabban előforduló, és így a méretezés alapját képező időszakos túlfeszültség (TOV) az ép fázis feszültségemelkedése az FN egyfázisú földzárlat esetén. Ennek amplitúdója

$$U_{TOV-FN} = k \cdot U_m/\sqrt{3},$$

ahol  $k$  a földzárlati tényező. A földzárlati tényező értékét  $R_0/X_1$  és  $X_0/X_1$  függvényében a [9] *A Függelékének* ábrái mutatják.

Hatásosan földelt a hálózat, ha az egysarkú földzárlat alkalmazásával az ép fázisok feszültségemelkedése a földhöz képest nem lépi túl a hálózat legnagyobb üzemi (láncolt) feszültségének 80%-át, vagyis a fázisfeszültség 138%-át. Ez a követelmény olyan hálózatoknál teljesül, amelyekben

$$0 \leq X_0/X_1 \leq 3 \text{ és } 0 \leq R_0/X_1 \leq 1.$$

Ha a földelés igen "merev", lehet, hogy  $X_0/X_1 < 1$ , így az egyfázisú földzárlati áram nagyobb, mint a háromfázisú. Ez a helyzet pl. az ELMŰ 120 kV-os hálózatának nagy részén.

Ha  $R_0$ ,  $X_0$ ,  $X_1$  impedanciák nem ismertek, akkor

- hatásosan földelt csillagpontú hálózaton  $k = 1,4$ ;
- bár a nem hatásosan földelt csillagpontú hálózaton  $1,4 < k < 1,73$ , de a biztonság miatt  $k = 1,73$ ;
- szigetelt csillagpontú és kompenzált hálózaton  $k = 1,73$  a földzárlati tényező TOV számításához javasolt értéke [14; 15; 18].

A földzárlat alkalmazásával fellépő túlfeszültség időtartama a védelmek beállításától függ. A TK TOV szempontjából történő kiválasztásához a leghosszabb előforduló időtartamokat kell figyelembe venni.

Az ELMŰ Rt. hálózatainak figyelembe vett értékek a következők.

A 12 kV-os kábelhálózat csillagpontja 25 ohm ellenálláson keresztül földelt, a földzárlat fennállásának legnagyobb ideje  $t_{TOV} = 3$  s (fedővédelem). Tehát  $k = 1,73$ ;  $t_{TOV} = 3$  s.

E paraméterek más hazai áramszolgáltatóra is jellemzők. Ezek alapján a 12 kV-os hálózathoz javasolható TK névleges feszültsége  $U_R = 12$  kV, ehhez tartozó folyamatos üzemi feszültség  $U_C = 9 \dots 9,6$  kV. Mivel a TK-nak a névleges feszültségét a nagyáramú lökés után is  $t \geq 10$  s ideig kell állnia (üzemi működési vizsgálat!), ez megfelelő biztonságot nyújt a  $t_{TOV} = 3$  s időre.

Tekintettel arra, hogy a vezető gyártók 10 kA – i.o. korlátozóinak névleges maradékfeszültsége  $U_{resN} = 33 \dots 37$  kV, és a kapcsolási túlfeszültségekre vonatkozóan  $U_{res} / U_{resN} \approx 0,75$  (lásd az 1. rész 8. táblázatában), a kapcsolási túlfeszültségekre  $U_{res} = 0,75 \cdot (33 \dots 37) = 25 \dots 28$  kV védelmi szintű TK a 10 kV-os hálózaton előforduló nagyobb kapcsolási túlfeszültségekre (áramlevágás; "virtuális áramlevágás"; a zárlatkorlátozó fojtótekereshez beépített leágazási, A/10/250 MVA típusú, olajszegény – "EIB" – megszakító nagy oltási csúcs miatti nagy, esetenként

30 – 34 kV-os visszaszökő feszültsége [6]) is hatásos védelmet nyújt. Ennek megfelelően a TK-k nagy védelmi arányt (a beépített készülékek 75 kV lökőfeszültségű szigetelési szintjének és a névleges maradékfeszültségnek az aránya), és így széles biztonsági sávot biztosítanak. E nagy védelmi arány ma már lehetővé teszi a 10 kV-os hálózaton a vezető gyártók alacsony védelmi szintű, de kb. 15...20%-kal olcsóbb 5 kA-es TK-inak alkalmazását.

Az ELMŰ Rt. Társasági Termék Katalógusában (TTK) szereplő, megfelelő vizsgálati dokumentumokkal rendelkező típusokat a 2. rész 8. táblázatában foglaltuk össze.

**A 24 kV-os kompenzált hálózatokon** a földzárlatos üzem órákig fennállhat, így  $k = 1,73$  és  $t_{TOV} = \infty$ , tehát a választott TK folyamatos üzemi feszültsége legyen egyenlő vagy nagyobb, mint a hálózat névleges feszültsége ( $U_C \geq U_m$ ).

A vezető gyártók  $U_C = 24$  kV; 10 kA – 1.o. TK-inak névleges feszültsége  $U_R \approx 30$  kV, védelmi szintje (névleges maradékfeszültsége)  $U_{resN} = 80...85$  kV. Tekintettel arra, hogy a közeli villámcsapás okozta vándorhullámok 300 m/μs sebessége miatt a védett készüléken 1,5-2,5 kV/m feszültségnövekedés léphet fel, ez a TK és a védett készülék közti viszonylag kis 4...6 m távolság esetén is 6...15 kV feszültségnövekedést jelent, tehát a védett készülék sarkain  $I_N = 10$  kA esetén 86...100 kV feszültség jelenik meg.

Látható, hogy a földzárlatos üzem miatti 24 kV-os, nagy folyamatos üzemi feszültség és a légköri túlfeszültségekre való méretezés miatt a védelmi arány nagyon lecsökken (fenti adatokkal  $125 \text{ kV} / (86...100 \text{ kV}) = 1,25...1,45$ ), ez indokolja az alacsonyabb maradékfeszültségű 10 kA - 1.o. TK választását. Tekintettel arra, hogy nagyobb, pl. 20 vagy 40 kA-es lökések is előfordulhatnak, amelyhez még nagyobb maradékfeszültség tartozik, nem célszerű az 5 kA névleges áramú TK alkalmazása.

Az előzőeket támasztja alá még egy szempont: a villámstatistikák szerint a villámáramok homlokideje közelebb áll az 1 μs-hoz, mint a 8 μs-hoz, tehát inkább a meredek homlokú lökés maradékfeszültsége a jellemző igénybevétel (a [9] 4.3.1 pontja). Az 1. rész 4. táblázata szerint azonban meredek homlokú áramlökéshez tartozó maradékfeszültség kb. 7%-kal nagyobb, mint a 8/20 μs alakú lökéshez tartozó. Ez a tény is a védelmi arányt, a biztonságot csökkenti.

Az ELMŰ TTK-ban szereplő, megfelelő vizsgálati dokumentummal rendelkező típusokat a 2. rész 7. táblázatában foglaltuk össze.

A hazai **35 kV-os hálózatok** kis súllyal szerepelnek, lassan megszűnőben vannak, néhány mondatban azonban érintjük a kiválasztás szempontjait. A tápláló transzformátor névleges feszültsége 36,75 kV, a hálózat megengedett legnagyobb feszültsége 40,5 kV. A hálózat lehet kompenzált, amelyen földzárlatos üzem tartanak, vagy hosszán földelt, amelyen néhány másodpercen belül lekapcsolják a földzárlatot.

A kompenzált hálózaton a TK kiválasztása a 24 kV-os hálózaton bemutatott módszerrel történhet, tehát  $U_C \geq 40,5$  kV.

Ellenálláson keresztül földelt hálózaton, ahol néhány másodpercen belül megtörténik a lekapcsolás, a 12 kV-os hálózaton bemutatott módszerrel történhet a kiválasztás, tehát  $U_R \geq 40,5$  kV. **A 20kV-os transzformátor csillagpontjába** beépítendő TK kiválasztása a 24 kV-os hálózaton bemutatott módszerrel történhet, tehát  $U_C \geq 24 / \sqrt{3} \text{ kV} = 14$  kV.

#### 4.2.3 Egyéb időszakos túlfeszültségek

Az egyéb időszakos túlfeszültségek (terhelésledobás, távvezeték bekapcsolása, gyors visszakapcsolás, transzformátor bekapcsolási feszültsége, megszakító pólusainak egyenlőtlen működése, ferrezonancia stb.) okait, időtartamát, jellemző paramétereit

a [14] tárgyalja részletesen. Mivel az elterjedt gyakorlat szerint a TK-k méretezése a leggyakoribb időszakos túlfeszültségre, a 4.2.2. pontban már tárgyalt földzárlatkor fellépő ép fázisok feszültségemelkedésére történik, ezekben az általában ritkábban előforduló esetekben a [14] irodalom használatát javasoljuk. Az átlagosnál nagyobb előfordulási valószínűsége, és főként az érdekes alkalmazott gondolatmenet miatt külön foglalkozunk a terhelésledobás esetén fellépő TOV kérdéssel.

Erőművek géptranzformátorainál elhelyezett TK kiválasztásánál számolni kell a terhelésledobás esetén fellépő 1-3 s időtartamú túlfeszültséggel, ezt a  $K_L$  terhelésledobási tényezővel vesszük figyelembe:

$$U_{TOV-L} = K_L \cdot U_m / \sqrt{3}. \quad (2)$$

A terhelésledobási tényezők értéke [18]:

hőerőműveknél  $K_L = 1,3$ ;

vízterőműveknél  $K_L = 1,5$ .

Mivel a terhelésledobást követően a földzárlat fellépése sem ki-zárt, a TK-t a

$$U_{TOV-L} = k \cdot K_L \cdot U_m / \sqrt{3} \quad (3)$$

időszakos túlfeszültségre kellene méretezni.

Ez azonban a szigetelési szintet megközelítő, túlságosan magas védelmi szintet eredményezne, így a gyakorlatban kisebb névleges feszültségű, így folyamatos üzemi feszültségű TK választása a szokásos, amely méretezés a terhelésledobás és földzárlat egyidejű fellépése esetén tudatosan vállalja a TK túlterhelés miatti meghibásodásának kockázatát [18]. Ez alapelv szerinti feláldozott "kamikáze" TK-t alkalmaz a Hydro Quebec 735 kV-os rendszere is a terhelésledobás okozta túlfeszültség korlátozására [14].

Hasonló megfontolás alkalmazásáról számol be középfeszültségű hálózaton a [19]: azért, hogy az üzemi frekvenciájú vagy rezonanciás túlfeszültség okozta TK túlterhelődések esetén ne valamelyik beltéri TK fűjön ki, az állomás szabadtéri, előre kiválasztott szakaszán mintegy 10%-kal kisebb folyamatos üzemi feszültségű TK-t építenek be. Ezek esetleges túlterhelődését követő átívelés ívfeszültsége tehermentesíti a védendő belső téri készülékeket.

#### Időszakos túlfeszültségre (TOV) való méretezés

A TK-k általában nem nyújtanak védelmet az időszakos túlfeszültségek ellen, kiválasztásuk úgy történik, hogy ezek ne okozzanak hőmegfűtást. Kivételt csak a rezonáns túlfeszültségek korlátozása jelent, ilyen esetekben azonban nagy gondossággal kell eljárni a megfelelő energiaeinyelő-képesség kiválasztásánál.

Mivel az esetek döntő többségében elegendő az előző pontban tárgyalt földzárlatos feltételekre történő méretezés, a nem állandó amplitúdójú, bonyolultabb alakú TOV esetén követendő eljárásnál javasoljuk az [1] 10.2.4 pontjának alkalmazását.

Végül szólnunk kell az  $U_R$  és  $U_{TOV-10s}$  kapcsolatáról. Amint azt a 3.1 pont meghatározása mutatta, a TK névleges feszültsége általában nem egyezik meg annak a hálózatnak a névleges feszültségével, ahová a TK beépítésre kerül. A TK  $U_R$  névleges feszültsége annak a 10 s ideig a TK sarkaira kapcsolt megengedett üzemi frekvenciájú feszültségnek az effektív értéke, amely mellett a szabványban előírt nagyáramú üzemi működési sorozatot, vagy a hosszúhullámú üzemi működési sorozatot a TK sikerrel, hőmegfűtás nélkül teljesíteni tudja. Tehát  $U_R \geq U_{TOV-10s}$ .

#### 4.3 A TK energiaeinyelő képessége

Nagyfeszültségű ( $U \geq 245$  kV) rendszerekben a hosszú, üresen járó távvezeték bekapcsolása és gyors-visszakapcsolása jelentős túlfeszültségeket okoz. Korábban a túlfeszültségek csökken-

tésére a megszakítóba beépített bekapcsoló ellenállás alkalmazása terjedt el. Az optimális megoldás kiválasztásánál a bekapcsoló ellenállást a tápoldali impedanciához, a vezeték hosszához és paramétereikhez kell illeszteni. A bekapcsoló ellenállásokkal ellátott nagyfeszültségű megszakító mechanikailag komplikált és drága, ezek alkalmazását tette feleslegessé az új, nagy energiacsnyelő-képességű, olcsó ZnO TK megjelenése.

A nagyfeszültségű hálózatokban alkalmazott TK energiacsnyelő-képességének kiválasztása az [1] 10.3.2. pontjában leírt, 51. ábráján bemutatott, a nyitott távvezeték végén elhelyezett TK számára kritikus esetre történik. A Z hullámmellenállású távvezeték  $Z_1 < Z$  rövidzárási impedanciájú hálózatról való bekapcsolása esetén a tapasztalat szerint jól használható az 52. ábrán bemutatott egyszerűsített eljárás. A TK-n átfolyó 500...1000 A áram négyszög alakú, amelynek időtartama az L hosszúságú vezetéken haladó hullám  $t_h = L / c$  haladási idejének kétszerese ( $c = 300 \text{ m}/\mu\text{s}$ ).

Nagyfeszültségű hálózaton alkalmazott TK-knál erre az igénybevételre történik az energetikai méretezés, ez alapján történt a 10 és 20 kA névleges levezetési áramú TK-k osztályba sorolása is (lásd a 3.2 pontban). Ez indokolja azt is, hogy a 20 kA-5.o.; 20 kA-4.o.; 10 kA-3.o. és 10 kA-2.o. TK-k vizsgálatánál a szabvány a hosszúhullámú üzemi működési vizsgálatot írja elő a 10 kA-1.o. és 5 kA-es TK-k nagyáramú üzemi működési vizsgálata helyett a termikus stabilitás igazolásához.

A bennünket érdeklő középfeszültségű TK-nál a 100 kA - 4/10  $\mu\text{s}$  lökés energiája nagyobb, mint a hosszúhullámú áramlökésé, ez indokolja a TK-k nagyáramú üzemi működési vizsgálatát. Az értékekre a következő vizsgálati eredmények adnak tájékoztatást:

Tridelta SBK - .../10.1, tehát 10 kA - 1.o. korlátozóinál

250 A - 2 ms hosszúhullámú lökésnél

$\Rightarrow W^* = W/U_R = 1,23 \text{ kJ/kV}$ ,

100 kA - 4/10  $\mu\text{s}$  lökésnél

$\Rightarrow W^* = W/U_R = 3 \text{ kJ/kV}$ .

A nagyobb átmérőjű nemlineáris ellenállás jobban elviseli a villámcsapás okozta igénybevételeket, mert

- kisebb az áramsűrűsége,
- kisebb a maradékfeszültsége.

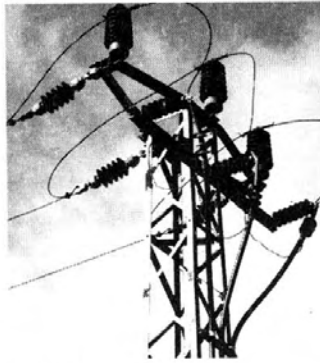
Ezért nagyobb átmérőjű, így nagyobb energiacsnyelő-képességű nemlineáris ellenállásokból felépülő TK alkalmazása célszerű

- nagy villámcsapás-gyakoriságú helyeken,
- nagy értékű berendezéseknél,
- nem megfelelő árnyékolású és földelésű távvezetéseknél és állomásoknál,
- tartós földzárlatos üzemet folytató kompenzált hálózatokon, ahol a TK nagy folyamatos üzemi feszültsége miatt kicsi a védelmi arány.

#### 4.4 A TK mechanikus jellemzői

A gyártónak meg kell adnia a TK végén megengedett hajlító- és csavarónyomatékokat. A kisméretű középfeszültségű TK-knál a szélsőbesség okozta terheléssel nem kell számolni. A felhasználók a TK-tól azonban elvárják, hogy a kábel végelzárójánál támszigetelőként, a 20 kV-os oszlopállomás oszlopának tetején vezeték tartó (fordító) szigetelőként, a transzformátor előtti biztosítóaljzat egyik támszigetelőjeként stb. legyenek felhasználhatók, tehát a túlfeszültségvédelmi funkciójuk mellett, e feladatot megoldva támszigetelőt lehessen kiváltani velük. Erre mutat példát a 13. ábra.

A porcelánházas TK-knak nagy a mechanikus terhelhetősége, azonban a korszerű műanyagházas TK-k is megfelelő mechani-



13. ábra

Példa a TK támszigetelőkénti felhasználására

kus terhelhetőséggel rendelkeznek. Műanyagházas, a fém-oxid pogácsákat összefogó üvegszálak műgyanta erősítésű TK kialakítását a 14. ábra mutatja, a szokásos hajlító- és csavarónyomaték értékeket a 2. rész 7. és 8. táblázatának megfelelő oszlopai tartalmazzák. A gyártó által megadott mechanikus terhelhetőség vizsgálati ellenőrzését a 3.3.10 pont tárgyalta.

#### 4.5 Szennyezésállóság, kúszóút

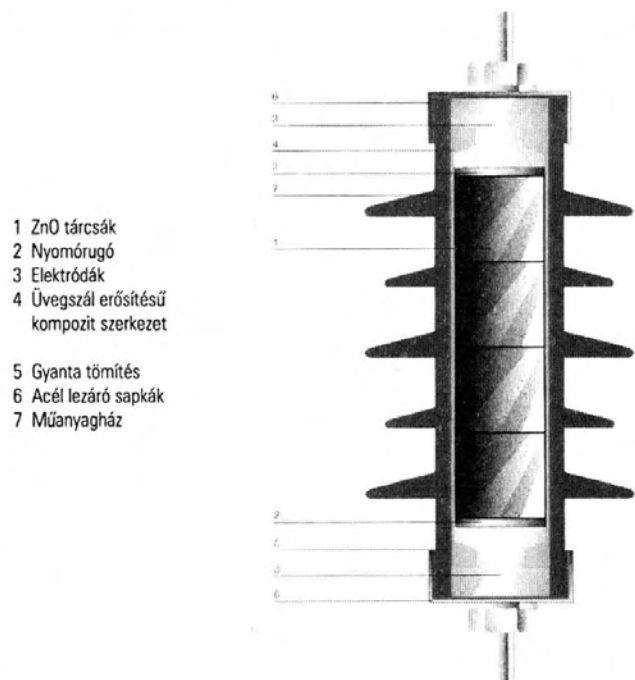
A TK-t úgy kell kiválasztani, hogy kúszóútja a beépítési hely szennyezettségi szintjének megfelelő legyen. A 9. táblázatban az IEC előírásoknak megfelelő szennyezettségi szintekhez tartozó, a névleges feszültségre vonatkoztatott kúszóút értékeket foglaltuk össze.

#### 9. táblázat.

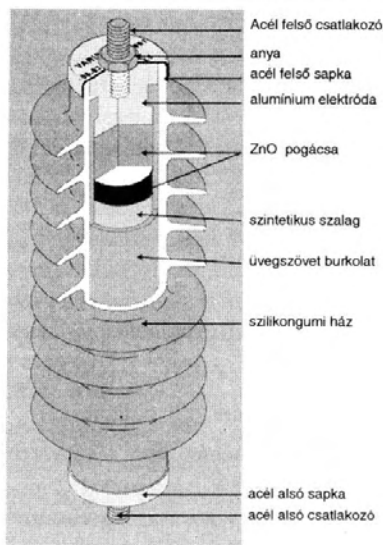
Szennyezettségi szintekhez tartozó fajlagos kúszóút

| Szennyezettségi szint        | Fázis-föld közötti kúszóút /<br>hálózat névleges feszültsége, mm/kV |
|------------------------------|---|
| I. Enyhe (Light)             | 16  |
| II. Közepes (Medium)         | 20  |
| III. Erős (Heavy)            | 25  |
| IV. Nagyon erős (Very heavy) | 31  |

Az ELMŰ Rt. területén az átlagos szennyezettségi szintnek megfelelő kúszóút 22-23 mm/kV. Ez megfelel az átlagos magyarországi helyzetnek is, 25 mm/kV választása tehát megfelelő biztonságot jelent. Általános szabályként elmondható, hogy a TK kúszóútja legyen azonos az állomásban használt egyéb készülékekével. A szabadtéri körülmények között üzemelő, 20 kV-os hálózatra beépített



- 1 ZnO tárcsák
- 2 Nyomórugó
- 3 Elektroódák
- 4 Üvegszál erősítésű kompozit szerkezet
- 5 Gyanta tömítés
- 6 Acél lezáró sapkák
- 7 Műanyagház



14. ábra

Műanyagházas, üvegszálás műgyanta erősítésű TK felépítése

TK-k a 2. rész 7. táblázat szerint megfelelnek e követelményeknek. Nagyobb szennyezettségű környezetben (cementgyár, vegyigyár stb. közelében) nagyobb kúszóút alkalmazására lehet szükség.

#### 4.6 A védelmi jellemzők megválasztása (védelmi filozófia)

##### 4.6.1 Bevezetés

Ha léggöri túlfeszültség keltette hullám éri el az állomást, visszaverődések lépnek fel, az állomás berendezéseinek kapacitásai, a gyűjtősín és bekötések induktivitásai miatt lengések keletkeznek. Meredek homlokú bejövő hullám (IEC szerinti szabványos hullámalak: 1200 és 2000 kV/μs) esetén az állomás néhány száz méter távolságban lévő pontjai között amplitúdóban és alakban jelentősen különböző feszültségek lépnek fel.

Tehát meredek homlokú túlfeszültségek esetén az állomás védelmének kialakítása nemcsak a megfelelő TK kiválasztását, hanem azok beépítési helyének és számának meghatározását is jelenti. A problémakör kezeléséhez sok paramétert kell figyelembe venni, ezek a következők: állomás kialakítása, üzemi periódusú feszültség, a villámáram eloszlása, a földelő- és árnyékoló vezeték kialakítása, védelmi szint, szigetelési szint, a TK helye, bekötése stb. A villámcsapásról szerzett jobb ismeretek és a már létező megfelelő számítógépes programok a léggöri túlfeszültségek elleni hatásos és egyben gazdaságos védelem kialakítását teszik lehetővé. Mivel ezek elsősorban nagyfeszültségű, kiterjedt állomásokra vonatkoznak, ezt jelen cikkben nem tárgyaljuk, hivatkozunk az [1] irodalomra.

##### 4.6.2 A korlátozók védelmi jelleggörbéje

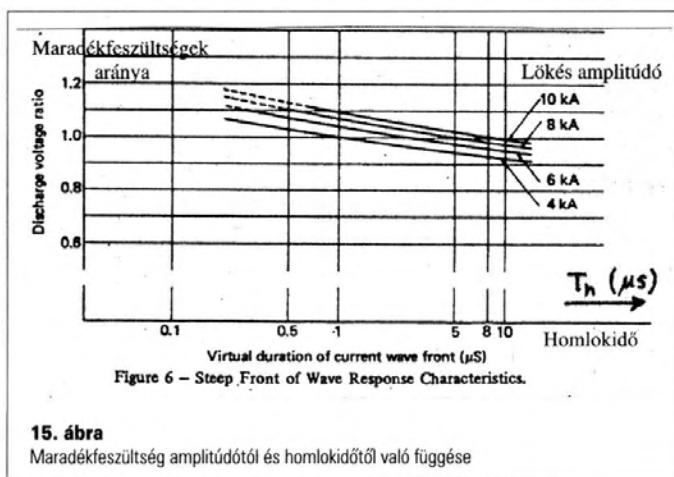
A TK maradékfeszültségének a homlokidőtől és az áram csúcsertékétől való függését mutatja a 15. ábra [21]. Látható, hogy a jelleggörbe igen lapos és kevésbé függ az áramtól.

A ZnO TK jellemzője a **jelleggörbe stabilitása** nagyszámú kísérlet esetén is. A 10. táblázat 40 kA – 4/10 μs áramlökés és 600 A – 2 ms hosszuhullámú áramlökés ismételt alkalmazása esetében mutatja az 1 mA áramhoz tartozó jelleggörbepont (DV-1 mA/ V-1 mA) %-os változását. A változás 100, illetve 1000 lökés esetén sem haladja meg a 5%-ot [21].

##### 4.6.3 Szabadtéri állomások túlfeszültségvédelme

###### 4.6.3.1 A védőtávolság meghatározása

A védett berendezés és a TK közötti távolság miatt a védett berendezést a TK védelmi karakterisztikájából számítható mara-



15. ábra

Maradékfeszültség amplitúdójától és homlokidőtől való függése

dékfeszültségénél nagyobb túlfeszültség veszi igénybe. A távolság miatt megnövekedett feszültség a (4) képlettel becsülhető:

$$U = U_{res} + 2 \cdot S \cdot L / v, \quad (4)$$

ahol

$U_{res}$  - a TK maradékfeszültsége, kV

$S$  - a feszültség hullám meredeksége, kV/μs

$L$  - a védett berendezés és TK közötti távolság, beleértve a TK bekötő vezetékét is, m

$v$  - a hullám terjedési sebessége: vezetékre, gyűjtősínre  
 $\Rightarrow 300$  m/μs, kábelre  $\Rightarrow 100$ -150 m/μs.

##### 10. táblázat.

ZnO korlátozók jelleggörbéjének változása nagyszámú kísérlet esetén

| Kísülések száma | $\Delta V \Rightarrow 1 \text{ mA} / V \Rightarrow 1 \text{ mA}, \%$ |            |              |            |
|-----------------|--|------------|--------------|------------|
|                 | 40 kA – 4/10 μs  |            | 600 A – 2 ms |            |
|                 | polaritás  |            | polaritás    |            |
|                 | azonos   | ellentétes | azonos       | ellentétes |
| 1               | -0,1   | -0,4       | -1,0         | -1,0       |
| 10              | -0,3   | -1,3       | -            | -          |
| 50              | -0,8   | -3,2       | -2,2         | -2,2       |
| 100             | -1,4   | -4,8       | -2,6         | -2,6       |
| 1000            | -  | -          | -4,1         | -4,1       |

A (4) képlet az alábbi elhanyagolásokat tartalmazza:

- elhanyagolja a védett berendezés kapacitását,
- nem veszi figyelembe az üzemi frekvenciájú feszültség pillanatértékét,
- elhanyagolja a TK pontos U-I jelleggörbéjét és annak frekvenciafüggését.

Így a (4) képlet csak becslésre használható, a középfeszültségű hálózaton ez általában elegendő. A TK védelmi szintje és a védett berendezés szigetelési szintje közötti keskeny védelmi sáv esetén, nagyfeszültségű állomásokon pontosabb, számítógépes eljárások alkalmazása javasolható ([1] 10.6.4 pontja).

E képletben ismeretlen adat a **bejövő feszültség hullám meredeksége**. Az egyik módszer szerint a (4) képletben az IEC szabvány szerint szokásos 1200 kV/μs és 2000 kV/μs meredekséggel számolnak. A két érték közötti választás az [1] 71. ábráján bemutatott eljárással, az alábbi tényezők alapján történik:

- a hálózat névleges feszültsége,
- a terület  $N_g$  villámcsapás-sűrűsége,

$$N_g = 0,04 \cdot Z^{1,25} [1/\text{km}^2 \cdot \text{év}], \quad (5)$$

ahol  $Z$  az évenkénti zivataros napok száma

- a távvezeteki oszlop földelési ellenállása, főként a vezetéknek az állomás közeli néhány kilométeres szakaszán ( $R > 10$  ohm vagy  $R < 10$  ohm),

- az állomásközeleli oszlopok és távvezetékek árnyékolásának foka, minősége (exposure/shielding  $\Rightarrow$  backflash rate - visszacsapás aránya),
- az állomás kialakítása és kiterjedtsége alapján (kettős gyűjtő-sín, megszakítók kapcsolása stb.) a hiba milyen mértékben engedhető meg.

A [11] ettől eltérő, a vezetékteret érő villámcsapás valószínűségét, a villámáram meredekségének valószínűségét stb. veszi figyelembe. A számításának eredményét a 11. táblázat tartalmazza.

#### 11. táblázat

[11]. Középfeszültségű állomáson várható légköri túlfeszültség meredeksége

| 20 kV-os hálózat típusa | Faoszlop 3000 kV átvélelési feszültséggel |                     | Földelt keresztárral |                     |
|-------------------------|---|---------------------|----------------------|---------------------|
|                         | 1<br>S, kV/ $\mu$ s                       | 2<br>S, kV/ $\mu$ s | 1<br>S, kV/ $\mu$ s  | 2<br>S, kV/ $\mu$ s |
| $t_s$ , év              |   |                     |                      |                     |
| 200                     | 1200                                      | 1100                | 700                  | 580                 |
| 100                     | 820                                       | 660                 | 520                  | 440                 |

ahol  $t_s$  - a táblázat szerinti S, kV/ $\mu$ s meredekségnél nagyobb meredekségű villámok fellépte közti időtartam,

- 1 - egyfázisú villámcsapás esetén,
- 2 - háromfázisú villámcsapás esetén.

E meredekségek alapján a (4) -ből számítható az  $L = a + b$  védőtávolság, a számításnál 1,2 biztonsági tényezőt véve alapul:

$$L = \left( \frac{125}{1,2} - U_{res} \right) * \frac{v}{2S} \quad (6)$$

A VARISIL HE 30 korlátozó  $U_{resN} = 81,1$  kV értékével számolva

$$S = 700 \text{ kV}/\mu\text{s} \Rightarrow L = 4,9 \text{ m},$$

$$S = 520 \text{ kV}/\mu\text{s} \Rightarrow L = 6,6 \text{ m}.$$

## 5. 20 és 10 kV-os hálózatok túlfeszültségvédelme

### 5.1 20 kV-os hálózat túlfeszültségvédelme

Először a 20 kV-os hálózat túlfeszültségvédelmét tárgyaljuk, hiszen a légköri túlfeszültségtől általában védett 10 kV-os kábelhálózat védelme ebből egyszerűen levezethető. A 20 kV-os hálózaton fellépő túlfeszültségek fajtáit, jellemzőit, ellenük való védekezés módjait a 12. táblázat mutatja.

#### 12. táblázat.

A 20 kV-os hálózatot érő túlfeszültségek

| fajtája   | A túlfeszültség                          |                             | A túlfeszültségeket, ill. azok hatását korlátozó intézkedések                                     |
|---|--|-----------------------------|---|
|   | nagysága                                 | időtartama                  |   |
| időszakos (üzemi frekvenciájú) feszültség-növekedés | a fázis-feszültség $\sqrt{3}$ -szorososa | néhány perctől néhány óráig | - földzárlatkompenzáció;<br>- a földzárlat jelzése;<br>- a földzárlatos üzemi eszköz kikapcsolása |
| kapcsolási túlfeszültség                            | a fázis-feszültség 2 - 4-szorososa       | ms                          | - modern megszakítók<br>- túlfeszültségvédelmi készülékek beépítése                               |
| légköri túlfeszültség                               | több 100 kV-tól néhány 1000 kV-ig        | 1 $\mu$ s... 100 $\mu$ s    | - megfelelő földelés;<br>- a szigetelés koordinálása, túlfeszültségvédelmi készülékek beépítése   |

Tekintettel arra, hogy a 20 kV-os hálózaton megengedett a tartós földzárlatos üzem, a TK-t úgy kell kiválasztani, hogy  $U_C \geq 24$  kV legyen. A TK névleges feszültsége ( $U_R$ ) - eltérően más készülékektől - általában nem egyezik meg a hálózat névleges feszültségével (lásd a 3.1 pont meghatározását), a gyártóktól függően a TK névleges feszültsége a folyamatos üzemi feszültség 1,25...1,33-szerese, tehát  $U_R = 1,25...1,33 U_C$ .

### 5.1.1 A 20 kV-os hálózatra beépített TK-k jellemzői

Az ELMŰ Rt. Társasági Termék Katalógusában (TTK) szereplő, a hálózaton használt TK-k főbb műszaki jellemzőit a 2. rész 7. táblázata tartalmazza. A táblázatból látható, hogy a kis maradékfeszültségű TK a nagyobb kapcsolási túlfeszültségek (megszakítás biztosítóval, megszakító esetleges áramlevágása, "virtuális" áramlevágás stb.) esetén is hatásos védelmet jelent. Erre esetenként szükség is lehet: vezető vákuummegszakító-gyártó készüléke a típusvizsgálatok során 85 kV (!) kapcsolási túlfeszültséget keltett. A TK kuszóútja  $\geq 600$  mm legyen, ezt a feltételt a táblázat összes típusa teljesíti.

Középfeszültségen ma már a gyártók többsége EPDM vagy elasztikus szilikon anyagú műanyagházas TK-t készít, ennek burkolata az esetleges belső ív hatására felhasad, így elhagyható a porcelánháznál szükséges költséges nyomásmentesítő szerkezet. A TK ívállósága legalább 16 kA - 0,2 s legyen. Mivel a korszerű TK hajlító- és csavarónyomatékkal is terhelhető, az oszlop tetején a fordító szigetelő helyett vagy a transzformátor előtti biztosítóaljzat transzformátortól távolabbi támszigetelője helyett (a TK-n átfolyó villámáram ne olvassa ki a biztosítót) és a kábelek végelzáróinak tartó támszigetelőiként ilyen TK-k alkalmazhatók. A mechanikai jellemzőket az adatlapokból, ill. a TTK-ból ellenőrizni kell.

#### 5.1.1.1 A TK beépítésének jellemzői

A TK-t a védendő kábelhez, transzformátorhoz minél közelebb, az  $L_V = 6$  m védőtávolságon belül a fázisvezető és a föld között kell elhelyezni. A feszültség-oldali bekötések és a transzformátor kazánja, ill. a kábel árnyékolása és a TK földelt vége közötti fémes összekötések a lehető legrövidebb legyenek, hiszen a védőtávolságba ez is beleszámít.

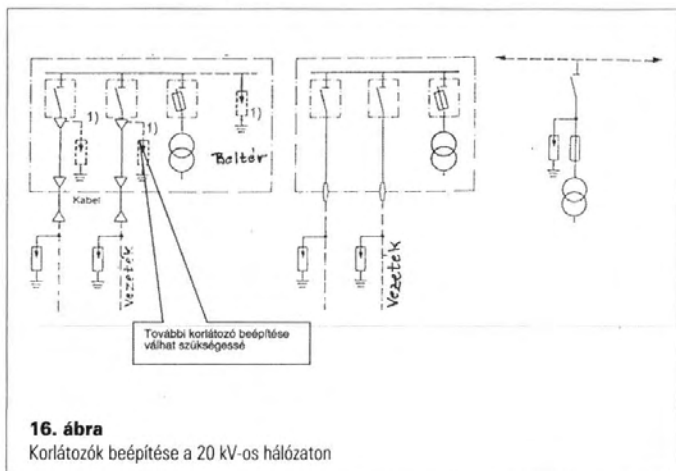
A TK földelésére a lököhullámú földelési ellenállás a mérvadó. A földelési ellenállás  $\leq 5$  ohm legyen. A TK készlet 3 földelő kapacitást egymással kell közvetlenül összekötni, a berendezés földjéhez történő lekötés rövid legyen. A földelés kialakításának kérdésével az [5] foglalkozik részletesen.

#### 5.1.1.2 A TK beépítési helyei [5]

- Minden szabadvezeteki becsatlakozást TK-val kell ellátni (alállomás, kapcsolóállomás, épített állomás).
- Az oszloptranzformátor-állomást a védőtávolságon belül elhelyezett TK-val kell ellátni. 630 kVA teljesítmény alatt, a ZnO TK-t csak a transzformátorok védőbiztosítói előtt a tápoldalon szabad beépíteni. Ennek oka az, hogy nagyáramú villámcsapás esetén a TK lököárama szükségtelenül kiolvaszthatja a biztosítóbetéteket. Szabadvezetékes hálózatokon, kültéri (oszlop-) transzformátorállomások esetében a 630 kVA-nál kisebb transzformátor TK-inak védőtávolságon belüli elhelyezésére célszerű megoldás: a TK-kat a transzformátort védő biztosítóaljzat tápoldali támszigetelőjeként előírni.
- A szabadvezetékbe iktatott kábelszakasz védelmére, annak mindkét végén TK-t kell felszerelni.
- 40 m-nél rövidebb kábelszakasz esetén megengedett, hogy csak az egyik oldalán - a hosszabb vezeték felőli végelzáróhoz - kerüljön felszerelésre korlátozó.
- Szabadvezetékhez kábelen keresztül csatlakozó transzformátorok védelmére akkor elegendő 1 készlet, a kábel-vezeték csatlakozási pontjánál felszerelt TK, ha a kábel villamos nyomvonala kisebb mint 40 m.  
= Hosszabb kábel esetén a transzformátor védelmére a kábel másik - transzformátor oldali - végéhez is TK-t kell felszerelni.

- = Ha a hosszabb kábel transzformátor felőli végelemezje és a transzformátor közötti távolság nagyobb mint 16 m, a transzformátor védelmére egy 3. készlet TK-t kell felszerelni.
- Szabadvezetékekhez két kábelben keresztül – felfűzős módon – csatlakozó transzformátorállomás esetén mindkét kábel-vezeték határpontnál korlátozók felszerelése szükséges. Ha bármelyik kábel hossza meghaladja a 40 m-t, akkor a kábel transzformátor felőli végén is TK-t kell felszerelni.
- A **transzformátor csillagpontjába**  $U_C \geq 24$  kV folyamatos üzemi feszültségű TK választása szükséges. A 2. rész 7. táblázatban szereplő típusok gyártóinak a megfelelő folyamatos üzemi feszültségű típusai használhatók. Ilyenek például
- Raychem HDA 15R típusa ( $U_R/U_C=18,8/15$  kV, 10 kA-8/20  $\mu$ s lökéshez tartozó névleges maradékfeszültség : 50 kV).
- Alstom VARISIL HE 18 típusa ( $U_R/U_C=18/15,3$  kV, 10 kA-8/20  $\mu$ s lökéshez tartozó névleges maradékfeszültség: 49,1 kV).
- Tridelta SBK – I 18/10.1 típusa ( $U_R/U_C=18/14,4$  kV, 10 kA-8/20  $\mu$ s lökéshez tartozó névleges maradékfeszültség: 49 kV).

A jellemző beépítési helyeket a 16. ábra mutatja.



16. ábra

Korlátozók beépítése a 20 kV-os hálózaton

## 5.2 A 10 kV-os hálózat túlfeszültség-védelme

A 10 kV-os hálózat csillagpontja 25 ohm ellenálláson keresztül földelt, a földzárlatos üzem nem megengedett, azt a védelem 1 s körüli idővel lekapcsolja. Az [1], [3], [5] és [6] megfelelő fejezetei részletesen tárgyalják annak magyarázatát, hogy a légköri túlfeszültségtől nem veszélyeztetett kábeles állomásokon miért és hol kell beépíteni TK-kat.

### 5.2.1 A 10 kV-os hálózatra beépített TK-k jellemzői

Az ELMŰ Rt. TTK-ban szereplő, az ELMŰ Rt. hálózatán használt TK-k főbb műszaki jellemzőit a 2. rész 8. táblázat tartalmazza. A táblázatból látható, hogy a kis maradékfeszültségű TK-k a nagyobb kapcsolási túlfeszültségek (megszakítás biztosítóval, a fojtózott leágazási A/10/250/6 típusú megszakító nagy oltási csúcs miatti nagy – 30 – 34 kV-os visszazökő feszültség csúcsértéke, megszakító esetleges áramlevágása, "virtuális áramlevágás" stb.) esetén is hatásos védelmet jelentenek, hiszen a kapcsolási hullámú védelmi szintjük 25...28 kV. Mindezeket, a 4.2.2 pontban tárgyaltuk.

A korlátozók kúszóútja  $\geq 300$  mm, ez biztonsággal megfelelő. Középfeszültségen ma már a gyártók többsége EPDM vagy elasztikus szilikon anyagú műanyagházas TK-t készít, ennek burkolata az esetleges belső ív hatására felhasad, így elhagyható a porcelánháznál szükséges költséges nyomásmentesítő szerkezet. A TK ívállósága 20 (16) kA – 0,2 s legyen. Mivel a korszerű TK hajlító- és

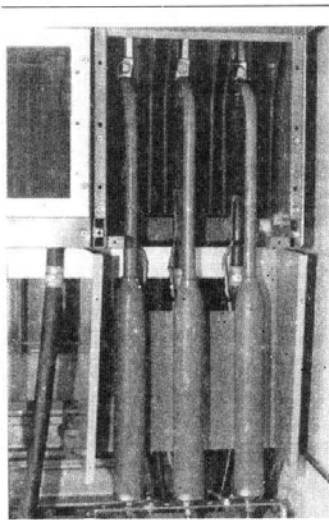
csavarónyomatékkal is terhelhető, a kábelek végelemezjének tartó támszigetelőiként ilyen TK-k alkalmazhatók. A mechanikai jellemzőket az adatlapokból, ill. a TTK-ból ellenőrizni kell.

### 5.2.2 A túlfeszültség-korlátozó beépítési helyei [5]

- Az alállomás fojtótekercesek utáni ún. "kis gyűjtősínnek" mindegyikének mindhárom fázisa és a föld közé, illetve ha nincs fojtótekerces, úgy a gyűjtősínszakaszok mindegyikében kell a fázisok és a föld közé a TK-t beépíteni.
- A fojtó nélküli alállomásokban a transzformátor 11 kV-os kapcsai közelében elhelyezett TK ellátja a vonalak védelmét is, így a gyűjtősínszakaszokra további TK-k telepítése nem szükséges.
- A leágazási megszakító esetlegesen nagy kapcsolási túlfeszültsége az íves-gyűrűs hálózat nyitott pontján visszaverődve tovább növekszik. Állomások közötti 500...800 m átlagos távolságot feltételezve a kapcsolási túlfeszültségek kb. két nagyságrenddel kisebb meredeksége miatt a nyitott kábelvég túlfeszültség-védelmét a szomszédos állomás 1 készlet TK-ja is elátja. A TK a műszaki adottságtól függően a transzformátor kapcsain vagy a kábelvégelemezjénél helyezhető el.

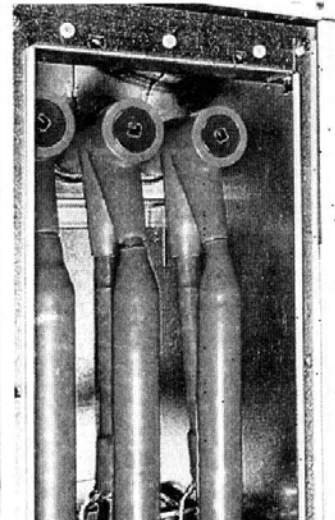
## 5.3 Különleges alkalmazások

A beltéri, elsősorban fémtokozott kapcsolóberendezésbe való beépítésre léteznek ernyő nélküli, nagyon vékony, kis helyigényű műanyagházas TK-k, erre mutat példát a 17. ábra. A 18. ábrán az SF<sub>6</sub> gázszigetelésű ring main unit-ban használható, a kábelvégelemezjével együtt hermetikusan tömített rendszert képező TK beépítésére mutatunk példát.



17. ábra

Raychem SPA TK beltéri alkalmazásra



18. ábra

Raychem RDA TK alkalmazása SF<sub>6</sub> tokozottban RICS csatlakozóval

A gyártók a TK-k különböző beépítési lehetőségeinek megfelelően a fázis- és földoldali csatlakozószerelvények (függesztés sodronyra, csatlakozás saruhoz, talpra szerelve, sinre szerelve stb.) széles választékát ajánlják, ezek rendszerint a katalógusból vehető kódjelek alapján rendelhetők meg.

## SZERZŐ

**Dr. Mihákovics Tibor** adatai az 1. részben.  
(96. évf. 141. o. 2003/4. sz.)

T.: 06/20/9252-889; e-mail: mihalkovicst@infoware.hu

**Szakmai lektor:** Dr. Bán Gábor professor emeritus, BME, a MEE tagja