

Középfeszültségű túlfeszültség-korlátozók jellemzői, vizsgálati előírásai, kiválasztása. 1. rész

DR. MIHÁLKOVICS TIBOR, a műszaki tudományok kandidátusa

Tisztelt Olvasó! A cikket az Elektrotechnikában megjelenő cikkek szokásos hosszúságának megfelelően 3 részre osztjuk. Az első két rész szorosan összetartozik, együtt képeznek egy jól érthető egységet. Ez a két rész alapozza meg az önmagában is jól kezelhető harmadik részt. A teljes irodalomjegyzéket az 1. részben közöljük. A fejezetek, a táblázatok és az ábrák számozása folyamatos. Ha a következő részben közölt táblázatra hivatkozunk, akkor megjelöljük a rész-, ill. a fejezetszámot!

Bevezetés

A légköri és a nagyobb kapcsolási túlfeszültségek korlátozásának korszerű eszközei az oltsőveket, a hagyományos szikraközös, SiC munkaellenállású túlfeszültségvezetőket felváltó fém-oxid (ZnO) túlfeszültség-korlátozók, a továbbiakban csak ezzel foglalkozunk.

A fém-oxid korlátozók ellenállásainak lényegesen nagyobb nemlinearitása, és így a szikraközös elhagyása számos előnyt nyújt, így alacsonyabb védelmi szintet, nagyobb energiaelnyelő-képességet biztosít, másrészt azonban gondos kiválasztással kell biztosítani az állandóan feszültségre kapcsolt fém-oxid túlfeszültség-korlátozók (továbbiakban TK) termikus stabilitását.

Az utóbbi években nagy mértékben elterjedt az EPDM és elasztikus szilikongumi köpenyű fém-oxid TK. Ezen anyagok hosszú élettartamú megfelelő tömítettségét, szennyezés- és UV-sugárzásállóságát 5000 órás ciklikus vizsgálatokkal igazolják. A munkaellenállásokat körülvevő üvegszál erősítésű műgyanta burkolat a támszigetelőkénti felhasználáshoz megfelelő mechanikai szilárdságot biztosít, a műanyagház zárlati ív hatására történő "lággy", nem robbanásszerű felhasadása pedig lehetővé teszi a porcelánháznál szükséges költséges nyomásmentesítő szerkezet elhagyását. E tényezők magyarázzák, hogy megfelelő műszaki jellemzői, de lényegesen alacsonyabb ára miatt középfeszültségen a műanyagházas TK kiszorította a korábbi porcelánházas típust. Így a továbbiakban ezekkel foglalkozunk.

A műanyagházas fém-oxid TK elterjedését a vonatkozó szabványelőírások nemrég bekövetkezett jelentős változása, kiegészítése is követte, az áramszolgáltató szakembereitől jelentkező megkereséseken túlmenően ez indította a szerzőt jelen cikk megírására.

1. táblázat.

A 10 és 20 kV-os hálózat főbb jellemzői

Névleges jellemzők	Mértékegység	Mennyiség	
1. A hálózat legnagyobb feszültsége	kV	12	24
2. Névleges frekvencia	Hz	50	
3. Ipari frekvenciás próbafeszültség	kV	28	50
4. Lökő-próbafeszültség	kV	75	125
5. A hálózat csillagpontjának kezelése	Ellenálláson keresztül földelt	Kompenzált, földzárlatos üzem tartásával	
6. Hálózat zárlati árama a hálózati és üzemviteli viszonyoktól, zárlatkezeléstől, a transzformátor névleges teljesítményétől, rövidzárási impedanciájától (14% - 10%) függően	KA	≤ 16	≤ 16
7. Névleges termikus időhatár	s	1	

1. A 10 és 20 kV-os hálózat főbb jellemzői

Az 1. táblázatban foglaljuk össze a hazai áramszolgáltatók (első sorban a szerző által ismert ELMŰ Rt.) 10 és 20 kV-os hálózatainak műszaki jellemzőit, hiszen ezek alapvetően megszabják a beépítendő TK-k paramétereit.

1.1 A 10 kV-os hálózat zárlati, íves zárlati és védelmi jellemzői

Ezeket a jellemzőket a [13] részletesen tárgyalja, itt csak az eredményeket foglaljuk össze röviden. A mai korszerű készülékek számára nem jelent problémát a 25; 31,5 sőt 40 kA-es zárlati áramnak megfelelő zárlatbiztosági és megszakítási jellemzők teljesítése. Más a helyzet a tokozott berendezésekre előírt ivállósági kritériumok teljesítésével. A kívánatos és megengedhető zárlati áramokat a hálózat "leggyengébb láncszeméből", a tokozott berendezésekre előírt ivállósági kritériumok teljesítéséből vezetjük le.

A gyári katalógusok és a vizsgálati tapasztalatok azt bizonyítják, hogy az IEC 60298 AA Függeléke szerinti - a kezelő személyzet és a laikus megközelítők védelmét biztosító - ivállósági kritériumokat 16 kA-ig a gyártók jelentős része elfogadható áron tudja teljesíteni, 20 - 25 kA-es iválló berendezést már csak néhány cég gyárt, általában magasabb áron, a nagyobb áramú iválló berendezéseket gyors (0,1 s) működésű, fényre vagy nyomáshullámra működő védelmekkel látják el.

Ezért az ELMŰ Rt.-ben a méretezések alapját a 16 kA/0,5 s 3F és 14 kA/0,5 s 2F ivállósági jellemzők képezik. A 0,5 s ividőt az indokolja, hogy a gyűjtősínhez közeli zárlatok esetén a korszerű elektronikus védelmek 2. fokozata is 0,5 s-on belül lekapcsolja a kis (50...60 ms) megszakítási idejű (KI önidő + ividő) vákuummegszakítókat, az 1 s íves zárlati idő előírása a jövőben túlzottan tűnik. Az így beépített TK ivállósága - a [10] 9. táblázatával, ill. a 3.3.5 pont 6. táblázatával összhangban - ≥ 16 kA/0,2 s (20 kA/0,2 s) legyen. A 2. rész 8. táblázatban felsorolt TK-k ezt a feltételt teljesítik.

A 10 kV-os hálózat üzemi feszültsége 11 kV, IEC szerinti legnagyobb feszültsége 12 kV. Ehhez a szinthez tartozó készülékek, berendezések

- ipari frekvenciás, 1 perces próbafeszültsége 28 kV,
- lökő-próbafeszültsége 75 kV.

A [12] IX. táblázat **A**, ill. **B** oszlopa szerint a földhöz képest megengedett legnagyobb kapcsolási túlfeszültség 39,2 kV (29,5 kV), ez a fázisfeszültség csúcsértékének 4-szerese (3-szoros). A kapcsoló készülékeket (pl. biztosítókat, megszakítókat) úgy kell kiválasztani, hogy csak ennél kisebb túlfeszültséget gerjesszenek. A beépített fém-oxid (ZnO) TK az esetleges nagyobb kapcsolási túlfeszültségek elleni védelem feladatát is képesek ellátni, ezt a 4.2.2 pont tárgyalja részletesebben. A 2. rész 8. táblázatának adatai szerint a korszerű TK maradékfeszültsége kapcsolási hullám esetén 25...28 kV.

1.2 A 20 kV-os hálózat zárlati, íves zárlati és védelmi jellemzői

Ezeket a jellemzőket a [13] részletesen tárgyalja, itt csak az eredményeket foglaljuk össze röviden. Mivel a 20 kV-os kapcsoló berendezések ivállósága lényegében azonos a 10 kV-os berendezésekével, az 1.1 pontban leírtak értelemszerűen itt is érvényesek, a 16 kA/0,5 s ivállósági jellemző teljesítése elegendő. A beépített fém-oxid TK-k ivállósága - [10] 9. táblázatával, ill. a 2. rész 3.3.5 pont 6. táblázatával összhangban - ≥ 16 kA/0,2 s legyen. A 2. rész 7. táblázatban felsorolt TK-k ezt a feltételt teljesítik.

A 20 kV-os hálózat üzemi feszültsége 22 kV, IEC szerinti legnagyobb feszültsége 24 kV. Ehhez a feszültséghez tartozó készülékek, berendezések

- ipari frekvenciás, 1 perces próbafeszültsége 50 kV,
- lökő-próbafeszültsége 125 kV.

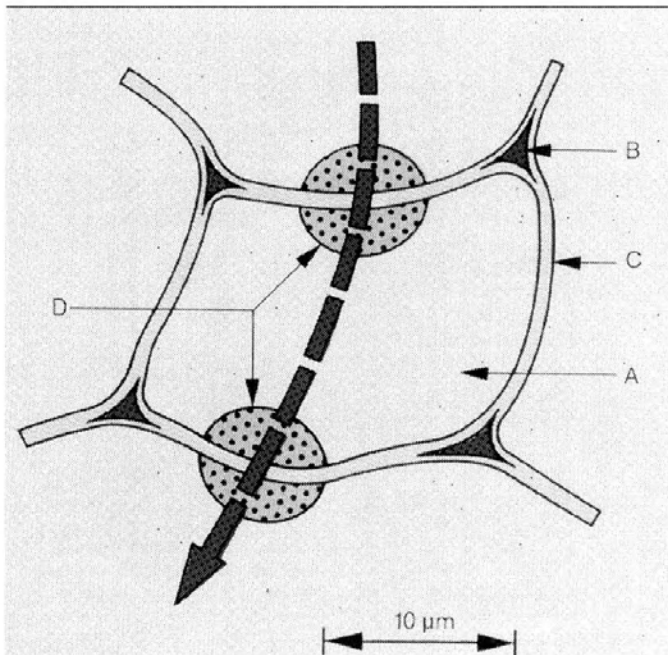
A [12] IX. táblázata szerint a földhöz képest megengedett legnagyobb kapcsolási túlfeszültség 74 kV, ez a fázisfeszültség csúcsértékének 3,8-szoros. A kapcsoló készülékeket (pl. biztosítókat, megszakítókat) úgy kell kiválasztani, hogy csak ennél kisebb túlfeszültséget gerjesszenek. A kábelek, transzformátorok légköri túlfeszültség elleni védelmére beépített TK az esetleges nagyobb kapcsolási túlfeszültségek elleni védelem feladatát is képesek ellátni, ezt a 4.2.2 pont tárgyalja részletesebben. A 2. rész 7. táblázat adatai szerint a korszerű TK maradékfeszültsége kapcsolási hullám esetén 59...65 kV.

2. A fém-oxid TK jellemzői

A fém-oxid TK munkaellenállása olyan keramikus anyagból készül, amely kb. 90%-ban finom szemcséjű ZnO-ból és 10%-ban körülbelül 10 szennyező elem poralakú oxidjának (BiO₃, CoO, MnO, Cr₂O₃, Sb₂O₃ stb.) keverékéből áll [2; 7]. Egyes oxidok adalékolása százalékban, másoké ppm-ben (part per million) történik. A szárított, összepréselt granulátum 1200°C körüli hőmérsékleten való szinterezés után nyeri el végső tulajdonságait.

Az elemi, jó vezetőképességű ZnO szemcséket vékony (< 10 nm) oxidréteg veszi körül. A ~ 3,5 V letörési feszültségű (Durchbruchspannung) elemi varisztor méreteit és sematikus ábrázolását az 1. ábra mutatja. A munkaellenállás (a fém-oxid pogácsa) kis elemi varisztorok nagyszámú párhuzamos és soros kapcsolásából épül fel. A ZnO magot körülvevő vékony oxidrétegnek a TK működésében döntő jelentősége van. Ennek jellemzői (tértöltés, Fermi-nívó, potenciál-gát stb.) magyarázzák az olyan mértékű nemlinearitást, hogy míg a feszültség (térrősség) 2-2,5-szeresre nő, az áram 9 nagyságrendet (30 μ A – 30 kA) változik. A működés megértését a 2. ábra a ([2] 8. ábrája) segíti elő, az elektronfizikai folyamatokat a [2] tárgyalja részletesen.

A fém-oxid munkaellenállás makroszkopikus működését a 3. ábra helyettesítő kapcsolása teszi szemléletessé. A jól vezető ($\rho \approx 0,01 \Omega$ m) ZnO szemcsék R_z ellenállása lineáris. Az elemi



1. ábra
Elemi varistor ábrázolása. A – nagy vezetőképességű ZnO mag, B – Bi₂O₃-ban gazdag fázis, C – magot határoló hártya, kb. 1 nm, D – a potenciálgátat, így a nyíljal jelölt áramot meghatározó maghatártartomány

ZnO magokat körülvevő oxidréteg R_i ellenállása erősen nemlineáris, a kis villamos térerősségeknél (a 4. ábra 1. tartománya) $\rho = 10^{10} - 10^8 \Omega \cdot m$. A ZnO szemcsék közti oxidhártya a ZnO szemcsék közötti kapacitás dielektrikumára, amelyre $\epsilon_r = 500 - 1200$. Tehát ennek a kondenzátornak a dielektrikumára olyan oxidréteg, amely nagyobb térerősségeknél vezetővé válik és R_i ellenállásával söntöli a C kondenzátort ($I_R \gg I_C$).

A helyettesítő kapcsolat alapján érthető, hogy a hálózat üzemi feszültségén a fém-oxid TK I_C áramú kondenzátorként viselkedik, a feszültség növelésével megjelenik az R_i ág vezetési árama is, léghő- és kapcsolási túlfeszültségeknél pedig az ohmos áram válik dominánssá.

Mivel a fém-oxid TK nem tartalmaz soros szikraközöket, a védelmi szint a túlfeszültség levezetések a levezetési áramhoz tartozó maradékfeszültséggel egyenlő. Így a védelmi jellemzőket a feszültség – áram jelleggörbe adja meg. Tipikus jelleggörbét mutat a 4. ábra. A jelleggörbe 3 szakaszra osztható:

Kis villamos térerősségeknél (1. szakasz – Vordurchbruchbereich) a ZnO magok közötti oxidréteg akadályozza az elektronok mozgását. A gát magassága a villamos térerősség és a hőmérséklet növekedésekor csökken. Ez a magyarázata annak, hogy az 1. szakaszban egy adott hőmérsékletre tartozó jelleggörbe a feszültség növekedésével egyre laposabb lesz, másrészt, hogy a hőmérséklet növekedésével a jelleggörbe jobbra, a nagyobb áramok irányába tolódik el.

Közepes villamos térerősségeknél (2. szakasz – Durchbruchbereich), ha a szemcsék közötti oxidrétegben a villamos térerősség eléri a ~100 kV/mm értéket, akkor az elektronok az alagúthatásnak megfelelően átléphetik a gátat. Ekkor már a feszültség kis növekedésekor is lényegesen nő az áram, vagyis R_i rohamosan csökken.

Nagy villamos térerősségeknél (3. szakasz – Hochstrombereich), tehát a nagy áramok tartományában R_i értéke R_r-hez képest is lecsökken, a korlátozó impedanciáját gyakorlatilag csak R_r és L határozza meg (3. ábra). L a TK áramkörének induktivitását jelenti, ennek csak meredek áramhullámok esetén van jelentősége.

A teljes TK jelleggörbét a pogácsa jelleggörbéből, a soros elemek számának megfelelő feszültség tengely irányú eltolással kapjuk. Az alacsony védelmi szint miatt a soros tárcsák (pogá-

csák) számát kicsire célszerű választani, ennek az szab határt, hogy a TK termikusan stabil működéséhez célszerű betartani azt a követelményt, hogy a folyamatos üzemi feszültségen a TK szivárgó árama még felmelegedett állapotban is lényegesen 1 mA alatt maradjon.

A fémoxid és a SiC munkaellenállás u(i) jelleggörbét összehasonlítva (lásd az [1] 3. ábráját) megállapítható, hogy adott pogácsánál az üzemi feszültségnek megfelelő ~40 V/mm térerősség esetén

$$\begin{aligned} \text{ZnO tárcsánál} & \quad i < 10^{-5} \text{ A/cm}^2, \\ \text{SiC tárcsánál} & \quad i \approx 1 \text{ A/cm}^2. \end{aligned}$$

Ez az óriási különbség teszi szükségessé a soros szikraközök alkalmazását SiC alapú munkaellenállásoknál. Néhány, hazai áramszolgáltató által használt típus U_C üzemi feszültségéhez tartozó térerősségét és szivárgó áramát a 2. táblázat tartalmazza:

2. táblázat.

ZnO TK ohmos szivárgó árama az U_C folyamatos üzemi feszültségen

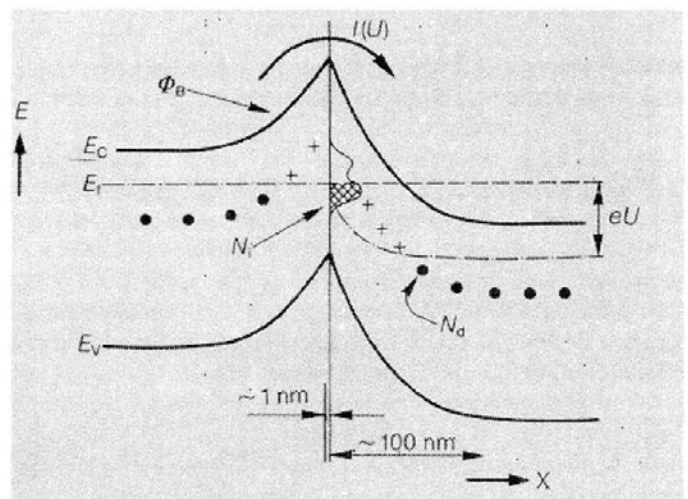
Típus / gyártó	Pogácsa folyamatos üzemi feszültsége, kV	Pogácsa magassága / átmérője mm / mm	Térerősség / ohmos szivárgó áram V / mm // μA
Varisil HE, (Alstom)	5	40 / 42,5	125 / < 250 _{csdies}
SBK .../10.1 (Tridelta)	4	30 / 40	133 / ~ 40
HDA ... (Raychem)	3	30 / 42	100 / < 20

3. Meghatározások, előírt szabványos vizsgálatok

Az alábbiakban az [4] IEC szabványra és az irodalmakra támaszkodva összefoglaljuk szikraköz nélküli fém-oxid (MO- metal-oxide)/ cink-oxid (ZnO- zinc oxide) TK főbb jellemzőit, vizsgálati előírásait. Utóbbiak ismerete azért fontos, hogy tudjuk: a vizsgálatok milyen sorozatát kell a TK-nak kiállnia, milyen igénybevételek elviselésére alkalmas. Másrészt jelen fejezet felhívja a figyelmet arra is, hogy a [4] és a [10] típusvizsgálati előírásait teljesítő, a beépítési hely paramétereire megfelelően kiválasztott TK-val érhetőek el ezen új eszköz által biztosított nagy előnyök.

3.1 Meghatározások

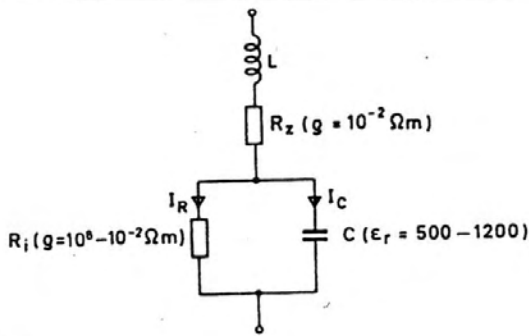
A [4] alapján csak a fontosabb meghatározásokat foglaljuk össze. – Áramimpulzus hullámalakjának jellemzése a Th/Tf - homlokidő/hát félértékideje paraméterekkel történik.



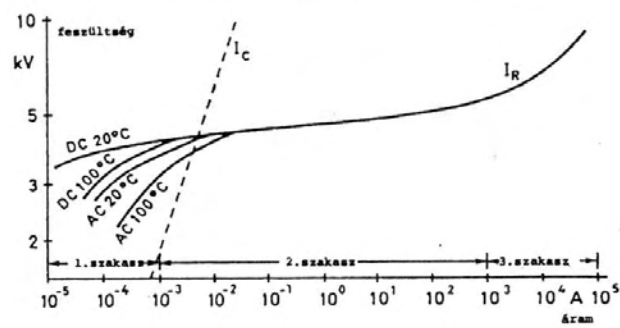
e - elemi töltés; E_c - vezetési sáv; E_v - valencia sáv; E_f - Fermi-nívó; N_i - határfelületi állapot; Φ_B - potenciál gát; N_d - szennyezési nívók a tértöltés zónában

2. ábra

Villamosan aktív félvezető hártya energiasávjai
Az elektronok energiája az X helykoordináta függvényében



3. ábra
Fém-oxid korlátozó helyettesítő kapcsolása



4. ábra
Tipikus fém-oxid U - I jelleggörbe

A használt áramhullámok jellemzői:

- 8 μ s / 20 μ s alakú névleges áramlökés (lightning current impulse)
- meredek homlokú áramlökés (1 μ s / < 20 μ s) (steep current impulse)
- kapcsolási áramhullám (switching current impulse) 30 μ s < T < 100 μ s; T_f \approx 2 T_h
- nagyáramú áramlökés 4 μ s / 10 μ s (high current impulse)
- hosszúhullámú (I_N) áramlökés az előzőektől eltérően négyzet alakú, időtartama T = 1000 - 3200 μ s.
- A TK folyamatos üzemi feszültsége (U_C) (continuous operating voltage - rövidítve COV vagy MCOV) a TK kapcsolására folyamatosan adható legnagyobb üzemi frekvenciájú feszültség effektív értéke.
- A TK névleges feszültsége (U_R). Eltérően más készülékektől a TK névleges feszültsége általában nem egyezik meg annak a hálózatnak a névleges (üzemi frekvenciájú fázisok közötti maximális) feszültségével, ahová a TK beépítésre kerül. A TK névleges feszültsége annak a 10 s ideig a TK sarkaira kapcsolt legnagyobb megengedett üzemi frekvenciájú feszültségnek az effektív értéke, amely mellett a szabványban előírt nagyáramú üzemi működési sorozatot vagy a hosszúhullámú üzemi működési sorozatot (lásd a 3.3.4 pontot) a TK sikerrel tudja teljesíteni.
- Az időszakos túlfeszültségek (temporary overvoltages - TOV) rendszerint lengő jellegű, csillapítatlan vagy kevésbé csillapított, néhány Hz-től néhányszor 100 Hz-ig terjedő frekvenciájú, viszonylag hosszabb időtartamú túlfeszültségek. Az időszakos túlfeszültségek leggyakoribb fajtája az ép fázis(ok) feszültségemelkedése a rendszer egy- vagy kétfázisú földzárata esetén. Az időszakos túlfeszültségeket, azok további formáit (terhelésledobás, ferro-rezonancia stb.) az [1] és a [14] tárgyalja részletesen.
- A TK névleges levezetési árama (I_N) annak a 8/20 μ s-os áramnak a csúcserőértéke, amelyet a TK osztályba sorolásához hasz-

3. táblázat.

10 kA - 1.o. és 5 kA korlátozóra előírt vizsgálatok összefoglalása (a sorokban szereplő számok a vonatkozó fejezet számát adják)

	Névleges 8/20 μ s levezetési áram - osztály	
	10 kA - 1.o.	5 kA
1. TK ház villamos szilárdsági vizsgálatai		3.3.1.1 és 3.3.1.2
2. Maradékfeszültség mérése	3.3.2.1; 3.3.2.2	3.3.2.1; 3.3.2.2
3. Hosszúhullámú vizsgálat	3.3.3.1	3.3.3.2
4. Nagyáramú üzemi működési vizsgálat		3.3.4.2
5. TOV - t jelleggörbe felvétele		3.3.4.3
6. Zárleti vizsgálatok		3.3.5
7. Részleges kisülés mérése		3.3.6
8. Leválasztó szerkezet vizsgálata (ha van ilyen)		3.3.7
9. Nedvesség behatolás vizsgálata		3.3.8
10. Időjárásállósági vizsgálat		3.3.9
11. Mechanikai vizsgálatok		3.3.10

- nálnak. A szabványos névleges levezetési áramok (l. 3.2 pont): 20 kA, 10 kA, 5 kA, 2,5 kA és 1,5 kA. (A 10 és 20 kV-os hálózatban 10 kA -1. osztályú és 5 kA-es TK-t használunk.)
- A TK maradékfeszültsége (residual voltage) (U_{res}) a TK-on a levezetési áram hatására fellépő feszültség csúcserőértéke. Értéke függ a levezetett áramhullám alakjától és amplitúdójától.
- A TK névleges maradékfeszültsége (U_{resN}) a névleges 8/20-as levezetési áramhoz tartozó maradékfeszültség, ez megegyezik a névleges levezetési áramhoz tartozó védelmi szinttel (lightning impulse protection level - LIPL).
- A TK védelmi karakterisztikáján a különböző alakú áramhullámokhoz tartozó maradékfeszültségek összességét értjük. Helyesen megválasztott túlfeszültség-védelemnél a TK védelmi karakterisztikának jóval a berendezések szigetelési szintje alatt kell lennie.
- A védelmi arány a védett berendezés szigetelési szintjének és a TK megfelelő védelmi szintjének az aránya.
- A folyamatos üzemi áram (I_C) a TK-n üzemi feszültség (U_C) hatására átfolyó áram. Ez rendszerint kapacitív jellegű, általában a csúcserőértékével jellemezzük.
- A referenciaáram (I_{ref}) a TK-n átfolyó üzemi frekvenciájú ohmos áram csúcserőértéke, amelynél a TK kapcsolás az U_{ref} referenciafeszültség mérhető.
- A referenciafeszültség (U_{ref}) a TK referenciaáramánál mért feszültség csúcserőértéke osztva $\sqrt{2}$ -vel.
- Egyszeri energiaelnyelő képesség (single impulse energy capability) az a kJ-ban kifejezett legnagyobb energia, amelyet a TK egy meghatározott időtartamú áramimpulzus esetén elnyelni képes. Ezt a gyártók rendszerint a TK U_R névleges feszültségére vonatkoztatott kJ/kV_{UR} formában adják meg, ekkor fajlagos egyszeri energiaelnyelő képességnek nevezzük.
- A földzárlati tényező (k) az ép fázis földzárta alatti és földzárta előtti feszültségének hányadosa. Hatásosan földelt hálózat esetén $k < 1,4$; szigetelt vagy nagyobb impedancián keresztül földelt hálózat esetén $k \approx \sqrt{3}$.

4. táblázat.

Varisil HE TK maradékfeszültségei az áram- és a hullámalak függvényében

$I (8/20 \mu\text{s}), \text{kA}$	4,96	10,1	20	39,7
I / I_N	0,5	1	2	4
$U_{\text{res}}, \text{kV}$	14,04	15,09	16,55	18,73
$U_{\text{res}} / U_{\text{resN}}$	0,93	1	1,1	1,24
$I (30/80 \mu\text{s}), \text{A}$	125	496	1010	
$U_{\text{res}}, \text{kV}$	11,26	11,95	12,35	
$U_{\text{res}} / U_{\text{resN}}$	0,75	0,79	0,82	
			$I (1,1/2,35 \mu\text{s}), \text{kA}$	5
			$U_{\text{res}}, \text{kV}$	14,83
			$U_{\text{res}} / U_{\text{resN}}$	0,98
				9,96
				16,14
				1,07

- A korlátozó "hőmegfűtása": A fém-oxid anyag nemlineáris ellenállása a kis áramok tartományában erősen hőmérsékletfüggő, azaz adott feszültség hatására magasabb hőmérsékleten nagyobb áramot enged át és így veszteségei is megnövekednek. Ennek következtében előfordulhat, hogy a készüléken átfolyó áram és a készülék hőmérséklete önmagát erősítő folyamatként annyira megnövekszik, hogy végül a TK még az üzemi frekvenciájú, folyamatos üzemi feszültség tartományába eső állandó feszültség hatására is tönkremegy. Ezt a jelenséget nevezük hőmegfűtésnek.
- TK hőstabilitása: Egy TK termikusan stabil, ha a szabványban előírt működésisorozat okozta hőmérséklet-növekedés után a fém-oxid ellenállásának hőmérséklete csökken a sarkaira kapcsolt $U_R - 10 \text{ s} + U_C - 30 \text{ min}$ feszültség esetében is (lásd a 3.3.4. pont működési sorozatait).
- A TK nyomáslevezetőképessége (pressure relief capability) a készülék belső nyomásának korlátozását és ezáltal a TK ház robbanásszerű törésének megakadályozását biztosítja abban az esetben, ha a TK belsejében átívelés vagy átütés következne be.

3.2 A TK osztályozása

A TK-kat a 8/20 μs hullámalakú, I_N névleges levezetési áramuk alapján osztályozzuk, a szabványos névleges levezetési áramok: 20 kA; 10 kA; 5 kA; 2,5 kA; 1,5 kA.

a. Maradékfeszültség mérése $1 \times I_N - 8/20 \mu\text{s}$ árammal	—
Szünetidőre nincs előírás	
b. 3 hosszúhullámú lökés a 3.3.3 pontban megadott paraméterekkel ($3 \times I_h - T$), lökések közti idő 50...60 s	■
c. Szünet, hűlés környezeti hőmérsékletre	
d. 3 hosszúhullámú lökés a 3.3.3 pontban megadott paraméterekkel ($3 \times I_h - T$), lökések közti idő 50...60 s	■
e. Szünet, hűlés környezeti hőmérsékletre	
f. 3 hosszúhullámú lökés a 3.3.3 pontban megadott paraméterekkel ($3 \times I_h - T$), lökések közti idő 50...60 s	■
g. Szünet, hűlés környezeti hőmérsékletre	
h. 3 hosszúhullámú lökés a 3.3.3 pontban megadott paraméterekkel ($3 \times I_h - T$), lökések közti idő 50...60 s	■
i. Szünet, hűlés környezeti hőmérsékletre	
j. 3 hosszúhullámú lökés a 3.3.3 pontban megadott paraméterekkel ($3 \times I_h - T$), lökések közti idő 50...60 s	■
k. Szünet, hűlés környezeti hőmérsékletre	
l. 3 hosszúhullámú lökés a 3.3.3 pontban megadott paraméterekkel ($3 \times I_h - T$), lökések közti idő 50...60 s	■
m. Szünet, hűlés környezeti hőmérsékletre	
n. Maradékfeszültség mérése $1 \times I_N - 8/20 \mu\text{s}$ árammal	—

5. ábra

5 kA és 10 kA korlátozók hosszúhullámú működési vizsgálata

A különböző névleges levezetési áramú TK-knak a [4] és a [10] 1. táblázatában összefoglalt vizsgálati követelményeknek kell megfelelniük.

Megjegyzés: A 20 kA és 10 kA névleges levezetési áramú TK-k a hosszúhullámú levezetőképesség (és energiaelnyelő-képességük) alapján az alábbi 5, egyre növekvő igénybevételt jelentő osztályba kerülnek besorolásra:

10 kA - 1. osztály	20 kA - 4. osztály
10 kA - 2. osztály	20 kA - 5. osztály
10 kA - 3. osztály	

Mivel a középfeszültségű hálózatokon **10 kA - 1. osztályú** és **5 kA** névleges levezetési áramú TK-kat használnak, a továbbiakban csak ezekre vonatkozó vizsgálati előírásokat tárgyaljuk.

3.3 Típusvizsgálatok

Az új, tiszta és készre szerelt TK-n vagy annak arányos részén a 3. táblázatban összefoglalt vizsgálatokat kell elvégezni.

A nagy villámcsapás gyakoriságú, $1 \leq U \leq 52 \text{ kV}$ névleges feszültségű hálózatokra javasolt 20 kA névleges levezetési áramú korlátozón (High Lightning Duty Arrester, HLDA) a [4] C Függelékének C.1 táblázatában összefoglalt vizsgálatokat kell elvégezni. Mivel a HLDA használata a hazai középfeszültségű hálózaton nem indokolt, jelen cikkben nem tárgyaljuk.

3.3.1 TK szigetelőjének villamos szilárdsági vizsgálata

A TK szigetelőjének villamos szilárdsági vizsgálata a TK ház külső szigetelésének villamos szilárdságát minősíti. A vizsgálatokat a leghosszabb TK házon (TK egységen) az IEC 60060 [8] előírásai szerint kell elvégezni.

3.3.1.1 Lökőfeszültség-próba

A TK szigetelőjét száraz állapotban a szabványos 1,2 $\mu\text{s} / 50 \mu\text{s}$ hullámalakú 15 pozitív- és 15 negatív polaritású teljes lökőfeszültség hullámmal kell vizsgálni. A lökő-próba-feszültség értéke a TK 3.3.2.2 pont szerint mért 8/20 μs alakú névleges levezetési áramához tartozó maradékfeszültségének (névleges levezetési áramhoz tartozó védelmi szintjének) 1,3-szorosa legyen.

3.3.1.2 Üzemi frekvenciájú feszültségpróba

A szabadtéri TK-kat nedves, a beltéri TK-kat száraz körülmények között kell vizsgálni. Az 1,5 kA, 2,5 kA és 5 kA névleges levezetési áramú TK üzemi frekvenciájú próba-feszültségének csúcserőértéke a névleges 8/20 μs levezetési áramhoz tartozó védelmi szint 0,88-szorosa.

Az $U_R \leq 200 \text{ kV}$ névleges feszültségű, 10 kA és 20 kA névleges levezetési áramú TK-k üzemi frekvenciájú próba-feszültségének csúcserőértéke a kapcsolási hullámú védelmi szint 1,06-szorosa.

3.3.2 Maradékfeszültségek vizsgálata

A maradékfeszültség-típusvizsgálatok célja kettős: egyrészt a különböző előírt alakú és értékű áramimpulzusokhoz megadja a TK

legnagyobb maradékfeszültségeit, így a TK védelmi karakterisztikáját, másrészt megadja a darabvizsgálatokhoz használt áramimpulzushoz tartozó maradékfeszültséget is.

Ez utóbbi feszültség lehet az U_{ref} referenciafeszültség vagy a $8/20 \mu s$ alakú névleges levezetési áram $1...200\%$ -a közé eső amplitúdójú, a gyártó által megválasztott levezetési áramhoz tartozó maradékfeszültség. A darabvizsgálatnál az ugyanezen áramon ténylegesen mért és a darabvizsgálatra előírt (a típusvizsgálaton meghatározott) maradékfeszültségek arányával szorozva a különböző áramlökésekhez tartozó maradékfeszültségek típusvizsgálati értékét, a tényleges maradékfeszültség adódik.

A maradékfeszültség-vizsgálatokat ugyanazon a három komplett korlátozón, vagy annak arányos részén kell lefolytatni. A kapcsolások közötti idő elegendően hosszú legyen ahhoz, hogy biztosítsa a próbatárgyak környezeti hőfokra való visszahűlését.

3.3.2.1 Maradékfeszültség vizsgálata meredek homlokú áramlökéssel

Mindhárom próbatárgyra 1-1, a TK névleges levezetési áramával egyenlő amplitúdójú (tűrés $\pm 5\%$), $1/20 \mu s$ hullám alakú áramlökést kell ráadni. A mért legnagyobb maradékfeszültséget tekintjük a TK meredek homlokú áramlökéshez tartozó maradékfeszültségének.

3.3.2.2 Maradékfeszültség vizsgálata $8/20 \mu s$ alakú áramlökéssel

Mindhárom próbatárgyra 3-3, $8/20 \mu s$ alakú áramhullámot kell adni, rendre a $8/20$ alakú névleges levezetési áram $0,5 \cdot$; 1 - és 2 -szeres értékének megfelelő csúcserővel és mérni kell a próbatárgyak kapcsain fellépő feszültségek csúcserőjét. A legnagyobb maradékfeszültségeket a gyártók táblázatban és/vagy maradékfeszültség - levezetési áram görbékben adják meg. A névleges levezetési áramhoz (I_N) tartozó maradékfeszültség a TK névleges maradékfeszültsége (U_{resN}) illetve védelmi szintje.

3.3.2.3 Maradékfeszültség vizsgálata kapcsolási hullámmal

Mindhárom $10 \text{ kA} - 1.0.$ próbatárgyra $1 - 1$, 125 A és 500 A csúcserővel, rendszerint $30/60...80 \mu s$ hullám alakú áramlökést kell ráadni és mérni kell a próbatárgyak kapcsain fellépő feszültségeket. A legnagyobb maradékfeszültségeket a gyártók táblázatban és/vagy maradékfeszültség - levezetési áram görbékben adják meg. A TK kapcsolási áramhullámú védelmi szintjén az előírt áramokhoz tartozó legnagyobb maradékfeszültséget értjük. 5 kA névleges levezetési áramú TK-ra kapcsolási hullámú vizsgálatot a szabvány nem ír elő, a gyártók a vizsgálatot mégis elvégzik, hiszen ez ad tájékoztatást a kapcsolási túlfeszültségekre vonatkozó védelmi szintre.

A szokásos értékek, arányok érzékeltetésére a 4. táblázatban adjuk meg a Alstom, Varisil HE típusú, $U_R/U_C = 6/5 \text{ kV}$ feszültségű, $I_N = 10 \text{ kA}$ névleges levezetési áramú ZnO pogácsa különböző áramhullámok esetén mért maradékfeszültségeit, ill. arányait.

3.3.3 Hosszúhullámú vizsgálat

A hosszúhullámú vizsgálatosorozat a nemlineáris ellenállások villamos igénybevehetőségének és energiaelnyelő képességének igazolására szolgál. A vizsgálatosorozatot 3 új TK-n vagy annak 3 kV -nál nagyobb névleges feszültségű arányos részén kell lefolytatni. A vizsgálatok megkezdése előtt mindegyik próbatárgyon ellenőrizni kell az $I_N - 8/20 \mu s$ áramhoz tartozó maradékfeszültséget.

A vizsgálatosorozat során 6 csoportban alkalmazott, csoportonként 3 lökést, tehát összesen 18 lökést kell a próbatárgyra adni. A csoporton belüli lökések közti szünet $50-60 \text{ s}$ legyen, az egyes csoportok közti szünet időtartamát úgy kell megválasztani, hogy az biztosítsa a próbatárgy környezeti hőmérsékletre való visszahűlését. A vizsgálatosorozat befejeztével a környezeti hőfokra visszahűlt próbatárgyon meg kell ismételni az $I_N - 8/20 \mu s$ áramú maradékfeszültség mérését. A vizsgálatosorozat előtt és után mért értékek eltérése legfeljebb 5% lehet. A vizsgálatosorozatot a 5. ábra teszi szemléletessé.

A vizsgálatok befejezése utáni szemrevételezéssel kell megállapítani, hogy a próbatárgyakban nincs átütés, átívelés és a fém-oxidellenálláson nem látható egyéb sérülés.

3.3.3.1 $I_N=10 \text{ kA}$ névleges levezetési áramú, 1. osztályú TK hosszúhullámú vizsgálata

A próbatárgyra adott, előírt áramhullám az alábbi paramétereknek megfelelően feltöltött távvezeték TK-n keresztüli kisülését szimulálja (a [4] 4. táblázatából):

$$\text{távvezeték hullámmellenállása : } Z = 4,9 U_R, \Omega$$

$$\text{áramhullám időtartama : } T = 2 \text{ ms}$$

$$\text{távvezeték (művonal) töltőfeszültsége : } U_L = 3,2 U_R, \text{ kV}_{DC}$$

$$\text{ahol: } U_R - \text{ a próbatárgy névleges feszültsége, kV}_{eff}$$

Az áramlökés alkalmazásával a próbatárgyba injektált energia az (1) képlettel számítható:

$$W = U_{res} \cdot (U_L - U_{res}) \cdot T / Z, \quad (1)$$

ahol: U_{res} - a próbatárgyakon mért legkisebb kapcsolási hullámú maradékfeszültség.

A 10 és 20 kA -es korlátozók névleges feszültségére vonatkozott $W^* = W/U_R$ fajlagos energiaelnyelő-képességét a kapcsolási hullámú maradékfeszültség és az U_R névleges feszültség arányának függvényében a [4] E.1 ábrája mutatja. $10 \text{ kA} - 1.0.$ korlátozóra $W^* \geq 1 \text{ kJ/kV}$.

3.3.3.2. $I_N=5 \text{ kA}$ névleges levezetési áramú TK hosszúhullámú vizsgálata

A próbatárgyra adott hosszúhullámú áramlökés előírt jellemzői:

$$I_h \text{ áramcsúcs / áramhullám } T \text{ időtartama: } 75 \text{ A} / 1 \text{ ms}$$

IRODALOM

- [1] Dr. Bán G., dr. Mihákovics T., Prikler L.: Közép és nagyfeszültségű hálózatok túlfeszültségvédelme fémoxid túlfeszültség korlátozókkal. Tanulmány, ELMŰ, Bp., 1992.
- [2] Dr. F. Greuter, Dr. R. Perkins, ...: Der Metalloxid-Widerstand: Kernelement moderner Überspannungsableiter. ABB Technik 1/89., 35...42.
- [3] Dr. Mihákovics Tibor: Középfeszültségű alállomási gyűjtősínek túlfeszültségvédelme. ELMŰ Híradó / 25., 25 - 31.
- [4] IEC 60099-4 : Surge arresters. Part 4: Metal oxide surge arresters without gaps for a.c. systems.
- [5] Túlfeszültségvédelmi szakmai irányelv. ELMŰ, Bp., 1996.
- [6] Dr. Mihákovics Tibor: Miért szükséges a kábelhálózaton fémoxid túlfeszültség korlátozók beépítése. Elektromos Híradó, 1999/4. 10-11 old.
- [7] Metal-oxide surge arresters in AC systems. Part.1. Electra, No. 128, 1990. January, pp. 101 - 105.
- [8] IEC 60060 - 1: High - voltage test techniques. Part 1: General definitions and test requirements. (1989-11).
- [9] IEC 60099 - 5: Surge arresters. Part 5: Selection and application recommendations. (2000 - 03)
- [10] IEC 60099-4 Amendment 2. (37/231/CDV) (2000. 04)
- [11] Dimensioning, testing and application of metal oxide surge arresters in medium voltage networks. 1994. ABB High Voltage Technologies Ltd. (Wettingen).
- [12] IEC 60056: High-voltage alternating-current circuit-breakers.
- [13] Középfeszültségű hálózatok és kapcsoló berendezések zárlatbiztonságának, ivárlóságának és a védelmi berendezések jellemzőinek összefüggései - lehetőségek és javaslatok ezek megváltoztatására. Technovill Kft., Budapest, 1998. dec.
- [14] Working Group 33.10: Temporary overvoltages: Causes, effects and evaluation. Paper 33-210; CIGRE 1990 Session, Paris.
- [15] Selection guide for ABB HV Surge arresters. Technical Information Publ. SESWG/A 2300 E - 1990-04.

- [16] Application guidelines for station protection (ABB). Technical Information. Publ. SESWG/A - 2310 E / 1990-05.
- [17] CIGRE WG 33.06: Temporary Overvoltages and their Stresses on Metal Oxide Arresters, Chapter 3, Electra 1990.
- [18] Überspannungsschutzgeräte. Siemens Katalog HG 21.1./1989.
- [19] *H.R. Bracher, A. Mayer*: Metalloxid - Überspannungsableiter im Mittelspannungsnetz. Bull. SEV. 1989/9. 6. Mai, 521 - 526.
- [20] *P. Niemeyer*: Überspannungsableiter in Mittelspannungs Freileitungsnetzen. Der Elektriker/Der Energieelektroniker 6/90. 192 - 199.
- [21] *Y.Ozaki*....: New concepts on overvoltage protection by surge arresters. CIGRE, 1978 Session, 33 - 02.
- [22] *H. D. Fenske*....: Steckbare Metalloxid - Überspannungsableiter für Kabel und gekapselte Mittelspannungsanlagen. ETZ Bd. 110 (1989) H. 9 / 426 - 429.

SZERZŐ



Dr. Miháلكovics Tibor 1943-ban született Budapesten. A BME Villamosmérnöki Karának Erősáramú szakán 1966-ban szerzett oklevelet. 1966-tól a VEIKI Nagyteljesítményű Laboratóriumában dolgozott, 1983-tól annak vezetőjeként. 1989-től az ELMŰ Rt. Vizsgálóállomásának, majd a Minőségügyi Főosztálynak, 2002. szeptembertől pedig az INFOWARE Rt. Zárlati Laboratóriumának a vezetője. 1966-tól a MEE tagja. Magyar és idegen nyelvű publikációinak száma több mint 50. 1977-től a műszaki tudományok kandidátusa, 1984-ben MEE Zipernowsky-díjat kapott, az MTA Elektrotechnikai Bizottság tagja, az Elektrotechnika c. folyóirat rovatszerkesztője. T.:06/20/9252-889; e-mail: mihalkovicst@infoware.hu