

Túlfeszültség keletkezése, túlfeszültség védelem

Dr. Szandtner Károly, BME Villamos Energetika Tanszék
Nagyfeszültségű Technika és Berendezések Csoport, MEE Oktatási Bizottság elnöke

1. A túlfeszültség fogalma, keletkezése

1.1. A túlfeszültség fogalma

Túlfeszültség a villamos elosztóhálózatokban illetve berendezésekben fellépő, a legnagyobb megengedett üzemi feszültség csúcsértékét meghaladó feszültség, amely nagyságától, jel alakjától vagy hullámformájától, frekvenciájától és fennállásának időtartamától függően igénybe veszi a berendezés szigetelését. Az igénybevételek megítélésénél célszerű a hálózat legnagyobb feszültségéhez (U_m) tartozó fázisfeszültségből $U_m/\sqrt{3}$ -ból, illetve az ehhez tartozó csúcsértékből $U_m \cdot \sqrt{2}/\sqrt{3}$ -ból kiindulni.

Az üzemi feszültségből származó igénybevételnél az a követelmény, hogy a belső szigetelésnek az üzemi feszültség hatására nem szabad számottevő szigetelésromlást (öregedést) mutatnia. A külső szigetelések méretezésénél az elérendő cél pedig az, hogy az üzemi feszültséget a külső környezet (légköri hatások, szennyeződés) hatása alatt is el kell viselniük a szigeteléseknek. További feszültség igénybevételek már túlfeszültség formájában jelentkeznek. A túlfeszültségek keletkezési módjuk és időtartamuk szerint három csoportra oszthatók: belső eredetű túlfeszültségek, külső ún. légköri eredetű túlfeszültségek és elektrosztatikus feltöltődésből eredő túlfeszültségek, amelyeket a villamos energia elosztó rendszerhez viszonyítva szintén a külső eredetű csoportba lehet sorolni.

1.2. Belső eredetű túlfeszültségek

A belső eredetű vagy belső túlfeszültségeket a villamos hálózatokban bekövetkező hibák vagy a különböző célú kapcsolási folyamatok okozzák. Az MSZ EN 50160:1995 „A közcélú elosztóhálózatokon szolgáltatott villamos energia feszültségjellemzői” című szabvány 1.3.19. pontja szerint az átmeneti, hálózati frekvenciájú túlfeszültség az, amely a hálózat egy adott helyén viszonylag hosszú ideig fennáll. Az átmeneti túlfeszültségek általában kapcsolási műveletek vagy hibák következtében keletkeznek, azaz normál üzemviteli körülmények során is felléphetnek. Hasonló módon tartós túlfeszültségnek nevezzük a kapcsolat vagy hiba folytán fellépő, rendszerint alig vagy egyáltalán nem csillapodó periodikus túlfeszültséget. Ezeket a hosszabb időtartamú túlfeszültségeket nagyságuk, frekvenciájuk (amely az üzemi vagy annak valamely harmonikusa lehet), időtartamuk és csillapodásuk paraméterei jellemzik.

Tartós túlfeszültségek fellépését elsősorban a következők válthatják ki:

- aszimmetrikus földzárlatok,
- hirtelen terhelésváltozások (hatásos és meddő teljesítmények egyaránt),
- rezonancia és ferrozonancia.

Az aszimmetrikus földzárlatok alkalmával kialakuló túlfeszültség nagyságára az ún. földzárlati tényező a jellemző. A földzárlati tényező az a viszonyszám, amely a háromfázisú hálózat egy adott pontján, a hálózaton bárhol bekövetkező (egy- vagy kétfázisú) földzárlat esetén, az ép fázison fellépő (egyfázisú földzárlat esetén a nagyobbik) feszültség effektív értékének és az ugyancsak az adott pontban a zárlat bekövetkezése előtti fázis-föld közötti feszültség effektív értékének a hányadosa (gyakorlati értékek: 1,2, 1,3, 1,38, 1,47, 1,56, 1,65 és 1,73). A földzárlati tényező nagysága alapján különböztetünk meg hatásosan és nem hatásosan földelt hálózatot. A hatásos földelés feltétele teljesül, ha a vizsgált pontban a pozitív sorrendű reaktancia (X_1), a zérus sorrendű reaktancia (X_0) és a zérus sorrendű ellenállás (R_0) között a következő viszony áll fent: $X_0/X_1 < 3$ és $R_0/X_1 < 1$. Ezek alapján a hatásosan földelt hálózat (hálózatrész) jellemzője az, hogy a földzárlati tényező a hálózat (hálózatrész) egyetlen pontján sem haladja meg az 1,4 értéket.

A közép feszültségű (Magyarországon a 35 kV-os vagy ennél kisebb névleges feszültségű) hálózatokban, amelyek csillagpontja nagy impedancián (ívoltó fojtótekerescsen) keresztül földelt vagy szigetelt, a hatásos földelés feltétele nem teljesül. Az egyfázisú földzárlat fellépésekor az ép fázisok feszültsége a vonali feszültség értéke lesz, esetleg meg is haladhatja azt (a földzárlati tényező értéke: $\sqrt{3}$). További példa: jelentős túlfeszültség léphet fel a szigetelt csillagpontú kábelhálózatról táplált motorok tekercsének közbenső testzárlata esetén is.

Az elmondottakból következik, hogy a földzárlatkor fellépő feszültséget a szigeteléseknek viszonylag hosszú ideig kell viselniük, másrészt pedig a földzárlati túlfeszültség alapján - a többi tartós túlfeszültség hatásának figyelembevételével mellett kell kiválasztani a légköri és kapcsolási túlfeszültségek ellen védelmet nyújtó túlfeszültség-védelmi készülékeket.

A taratós túlfeszültségek másik csoportját a hirtelen terhelésváltozások (hatásos és meddő teljesítmény egyaránt) okozzák. Ezek nagyságát a terhelésváltozás (szélsőséges esetben a terhelés ledobás) után kialakuló hálózatkép (a táphálózat zárlati teljesítménye, a generátorok feszültség szabályozása, a terhelés nélkül maradt távvezeték hossza) határozza meg. Kiemelhető és különösen fontos az igen nagy feszültségek (400 kV és ennél nagyobb névleges hálózati feszültség) tartományában az üresen járó hosszú távvezetéken kialakuló feszültségemelkedés (az ún. Ferranti-jelenség).

Rezonanciás vagy ferrozonanciás túlfeszültségek akkor alakulhatnak ki, ha a hálózat nagy kapacitású elemei (szabadvezetékek, kábelek) és induktív elemei (ferrozonancia esetén a nem lineáris mágnesezési jelleggörbén kialakuló munkapontban) az üzemi feszültség frekvenciájával vagy annak valamely harmonikusával megegyező frekvenciáján rezgőkört alkotnak. Ezek a túlfeszültségek viszonylag ritkák, de igen kellemetlen következményűek. Védekezni ezek ellen megfelelő hálózat méretezéssel (pl. a fojtó tekercsekkel ellátott fázisjavító berendezés, felharmonikusok figyelembevételét követő frekvencia elhangolással) lehet.

A szigeteléseket igénybe vevő túlfeszültségek következő csoportját a kapcsolási túlfeszültségek alkotják. Nagy frekvenciájú (néhány kHz) tranziens túlfeszültségek lépnek fel egyes esetekben az üzemi áram hirtelen megszűnésekor. Az MSZ EN 50160:1995 szabvány 1.3.20. pontja szerint ez az ún. tranziens túlfeszültség rövid idejű, periodikus vagy nem periodikus, általában erősen csillapított túlfeszültség, néhány ms vagy annál kisebb időtartammal. Ilyen gyors áram megszűnést követő ún. kapcsolási túlfeszültségek várhatók:

- távvezetékek (kábelek) bekapcsolása, valamint visszakapcsolása zárlatvédelmi működést követően,
- zárlatok keletkezésekor és zárlatok megszüntetésekor,
- terhelésledobásakor,
- kapacitív áramok megszakításakor,
- kicsi vagy mérsékelt nagyságú induktív áramok megszakításakor,
- olvadóbiztosítók kiolvadásakor.

Az első három kapcsolási túlfeszültségfajta a hálózat valamilyen két állandósult állapota közötti kiegyenlítődési folyamat során alakul ki. Lefolyását tehát elsősorban a hálózat paraméterei (saját-frekvencia, csillapodási viszonyok) befolyásolják, másodsorban a kapcsoló eszközök (pl. megszakítók) bizonyos tulajdonságai (pólusok együtt futása, ívöltő közeg stb.) is éreztetik hatásukat.

A három utóbbi túlfeszültségfajta kialakulása és a fellépő túlfeszültségek nagysága elsődlegesen a kapcsoló eszköz működési viszonyaitól függ.

Kapacitív áramok megszakításakor túlfeszültség amiatt keletkezik, hogy a megszakítás pillanatában a kikapcsolt kondenzátoron feszültség marad és ez a feszültség elősegíti a visszagyújtást a megszakítóban, amely jelenség többször is megismétlődhet. Korszerű megszakítók alkalmazásakor az így kialakult túlfeszültség általában nem nagyobb, mint az üzemi csúcsheszültség fázis értékének 3 ... 4-szerese. Ha a hálózat szigetelt csillagpontú, a visszagyújtással egy időben földzárlat fellépésére is számíthatunk. Ez esetben viszont a túlfeszültség értéke a vonali csúcsheszültség 3 ... 4-szeresét is elérheti. A gyakorlatban kapacitív áramokat szakítunk meg a kondenzátor telepek kapcsolásakor, valamint az üresen járó távvezetékek és kábelhálózatok kikapcsolásakor.

Induktív áramok - vagy még pontosabban fogalmazva a kis induktív áramok - megszakítása esetén szintén számíthatunk túlfeszültség létrejöttére. Ennek az a magyarázata, hogy a megszakítás pillanatában - ha az nem az áram nulla értékénél (átmeneténél) történik, azaz áram levágás van - az áramkör induktív elemeiben mágneses energia halmozódik fel, amely a parallel kapcsolódó - elsősorban „szórt kapacitív” elemekben - elektrosztatikus energiává alakul át, azaz feltölti ezeket a kapacitásokat és emiatt a megszakítón sorozatos visszagyújtás következhet be. A kialakuló túlfeszültség az induktivitás és a kapacitás arányától függ, a kapacitás növekedésével csökken. A fellépő túlfeszült-

ség a villamos energia egyensúlyból kiindulva, veszteségmentes esetben, ha az induktivitás árama i_0 (ezt nevezik gyakran levágott áramnak):

$$1/2L \cdot i_0^2 = 1/2C \cdot u^2 \Rightarrow u = i_0 \cdot (L/C)^{1/2}.$$

Végül ez a feszültség szuperponálódik rá a hálózati ún. visszatérő feszültségre. Induktív áramokat szakítunk meg például üresen járó transzformátor, fojtótekercs, elektromágnes és motor kikapcsolásakor.

Olvadóbiztosítók kiolvadásakor zárlati áramkörben a következő feszültség egyenlet érvényes:

$$U = i \cdot R_b + i \cdot R_h + L \cdot di/dt,$$

ahol U a hálózati feszültség, i az áram pillanatértéke, R_b a biztosító ellenállása (ívelés alatt az ível-
lenállás), $i \cdot R_h$ a hálózat egyéb részeiben keletkező ohmos (konduktív) feszültségesés, R_h a hálózat
többi részének eredő ellenállása, $L \cdot di/dt$ a hálózat induktivitásában keletkező feszültség. Figyelem-
be véve, hogy a zárlati áramkörben $R_h \ll R_b$, az egyenletben az $i \cdot R_h$ tagot elhanyagolhatjuk és így:

$$U = i \cdot R_b + L \cdot di/dt.$$

Az összefüggésből látható, hogy a hálózat induktivitásában keletkező feszültség - az áram növekvő
szakaszában, tehát az ívelés előtti időszakban - az áramforrás tápfeszültsége ellen hat. Az
olvadószal(ak) kiolvadását követően az áram nullára csökken, így $L \cdot di/dt = 0$ és a hálózati feszült-
ség $U = i \cdot R_b$. Ezután az R_b ellenállás további növekedésével az áram csökkenni kezd olyan mérték-
ben, hogy a pillanatnyi áram az induktivitásban most már ellenkező előjelű feszültség emelkedést ($-$
 $L \cdot di/dt$) eredményez és hozzáadódik a hálózati feszültséghez:

$$U + L \cdot di/dt = i \cdot R_b.$$

Ez a többletfeszültség tartja fenn az áramot a növekvő ívelenálláson. Amikor az ívelenállás (R_b) any-
nyira megnő, hogy az áram fenntartásához szükséges többletfeszültséget az áramkör nem tudja tovább
szolgáltatni, akkor az áram megszakad. A túlfeszültség nagysága attól függ, hogy a többletfeszültség
- amelynek nagysága arányos az olvadószalak hosszával - a hálózati feszültség mekkora pillanatérté-
kéhez adódik hozzá. Legnagyobb értékét akkor éri el, ha a hálózati feszültség legnagyobb értékéhez
(feszültségcsúcsban) adódik hozzá. Az épületvillamosítás minden területén megjelenik ez a készülék
fajta, így a zárlatvédelmi funkció kísérő jelenségeként fellépő túlfeszültségre mindenkor számítha-
tunk. A méretezés alapjául elfogadható, hogy a megfelelő műszaki színvonalú - nem intenzív oltású
- olvadóbetétek kiolvadásakor 1,8 ... 2,4-szeres túlfeszültség kialakulása várható.

Nem soroltuk föl, de megemlítjük, hogy a félvezetők (tirisztorok, szimisztorok stb.) kapcsolásánál
is számítanunk kell túlfeszültségekre fellépésére.

Összefoglalva: A belső túlfeszültségek fennállásának időtartománya: 0,1 ... 100 ms. A rövidebb
időtartamok a kapcsolási jellegű tranziens túlfeszültségekre vonatkoznak (amelyek az üzeminél
rendszerint nagyságrendekkel nagyobb frekvenciájúak), a hosszabb időtartamok az üzemi frekven-
ciájú túlfeszültségekre jellemzőek.

1.3. Külső, légköri eredetű túlfeszültségek

A légköri eredetű túlfeszültségek - a kialakulásukat tekintve - a hálózattól független körülmények között jönnek létre, amely körülmény lényeges különbséget jelent a korábban tárgyalt belső túlfeszültségekhez képest. A légköri eredetű túlfeszültségeket kiváltó villámáramok nagysága a hálózati feszültségtől függetlenül alakulnak ki. Közvetlenül elsősorban a szabadvezetékeket és a légekábeleket veszélyeztetik. Így az állomások berendezéseit, a kapcsolókészülékeket is a szabadvezetékéről beérkező túlfeszültség hullámok veszélyeztetik. Továbbterjedő nagyságukat azonban a szabadvezeteki szigetelések bizonyos mértékig behatárolják.

Légköri eredetű túlfeszültségek a következők szerint alakulhatnak ki:

- közvetlen villámcsapás a fázisvezetőbe,
- villámvédelmi árnyékolás céljából kialakított és leföldelt szerkezeteket (villámvédelmi felfogó rudak, védővezetők) érő villámcsapások levezetési árama hatására a földelési ellenálláson fellépő feszültségemelkedés a fázisvezető átütéséhez vezethet (ez az ún. visszacsapás),
- a szabadvezeték közelében becsapó villám illetve a levezetett villámáram hatására a vezetékben indukált feszültség alakul ki; elsősorban a közép- és kiefeszültségű hálózatokban jelent veszélyes mértékű túlfeszültség kialakulást.

A természetben előforduló villámáramok jellemzőit a műszaki szakirodalomban több szerző összefoglalta már. Ezek közül célszerű a legújabb kutatásokat összefoglaló végeredményt közölni, Dr. Horváth Tibor: „Villámvédelem felülvizsgálók tankönyve” című [2] munkája alapján, amely az előfordulás gyakoriságának figyelembevételével megadja a villámáram csúcsértékét, meredekségét, az áramhullám homlokidejét, a kiegyenlítő töltés értékét és a villám fajlagos energiáját (lásd az 1. táblázatot).

1. táblázat: A villámáram jellemző értékeinek előfordulási gyakorisága [2]

A jellemző érték	A villám polaritása és a kisülés, amire vonatkozik	50 % medián	10 % 5 % 1 % gyakorisággal nagyobb			
			A villámáram csúcsértéke, $kA_{csúcs}$	- első részvillám - ismételt részvillám + összes villám	33,3 12,0 35,0	72,3 25,0 166,0
Meredekség, $kA/\mu s$ maximum átlagos érték	- első részvillám - ismételt részvillám + összes villám - ismételt részvillám	13,2 40,0 2,4 20,0	26,2 118,4 18,1 69,1	31,8 161,0 30,4 98,3	45,9 286,7 93,6 190,0	
Az áramhullám homlokideje, μs	- első részvillám - ismételt részvillám + összes villám	5,5 1,1 22,0	13,5 3,5 122,9	17,4 4,9 200,2	28,0 9,2 499,8	
Kiegyenlítő töltés, C	- áramlökés - teljes villám + áramlökés + teljes villám	5,2 7,5 16,0 80,0	17,3 27,6 82,7 252,5	24,3 40,0 131,6 350,0	46,0 80,0 315,9 644,7	
Fajlagos energia, MJ/Ω	- teljes villám + teljes villám	0,055 0,650	0,32 7,90	0,53 16,00	1,30 60,00	

A táblázat adataiból látható, hogy külön szerepel a negatív első és ismételt részvillám, a pozitív villám és az összes illetve teljes villámra vonatkozó adatsor. A táblázat adatait elemezve a következő észrevételek tehetők:

- a pozitív villám csúcsértéke jelentősen meghaladhatja a hasonló gyakorisággal előforduló negatív első részvillám csúcsértékét, és a kiegyenlítődő töltés nagysága valamint a fajlagos energia is ezzel arányos;
- a hullám homlokán fellépő árammeredekség a negatív villám esetében általában nagyobb, mint a pozitív villámnál, sőt a negatív ismételt részvillámnál ez a meredekség gyakran egy nagyságrenddel is nagyobb lehet mint a pozitív villám felfutó szakaszának meredeksége.

Védővezető szerepe.

A nagyfeszültségű távvezetéseket a teljes hosszukban védővezetővel (védővezetőkkel) látják el. A középfeszültségű távvezetéknek rendszerint csak az állomáshoz csatlakozó 800 ... 1000 m-es részén van védővezető, hogy ezzel a túlfeszültséget a távvezeték szigetelési szintjének megfelelő értékre hozzák. A védővezetőt az állomásba általában bevezetik és ott hozzákötik az állomás földeléséhez. Ha a visszacsapás veszélye fennáll, akkor a védővezetőt nem vezetik be az állomásba, csak az utolsó oszlopig, vagy a berendezéssel azonos feszültségre szigetelik.

Visszacsapás problémája.

Ha a villámcsapás a védővezetőt vagy a távvezeték oszlopot éri, a fázisvezetők szigetelőjét

$$U = \sqrt{2} \cdot U_f + I_v \cdot R_{fl}$$

feszültség veszi igénybe, ahol U_f a fázisfeszültség, R_{fl} a földelés lökőhullámú ellenállása és I_v a villámáram. A visszacsapás elkerüléséhez a szigetelő átívelő feszültségét ennél nagyobbra kell választani. A különböző feszültségintű szigetelőkre vonatkozó lökőfeszültség értékek a 2. táblázatban láthatók.

2. táblázat: Szigetelők átívelő lökőfeszültségének közelítő értékei [9]

Névleges feszültség, kV	Szabadvezeték lökőfeszültség szilárdsága, kV _{cs}
20	170 ... 200
35	250 ... 300
120	700

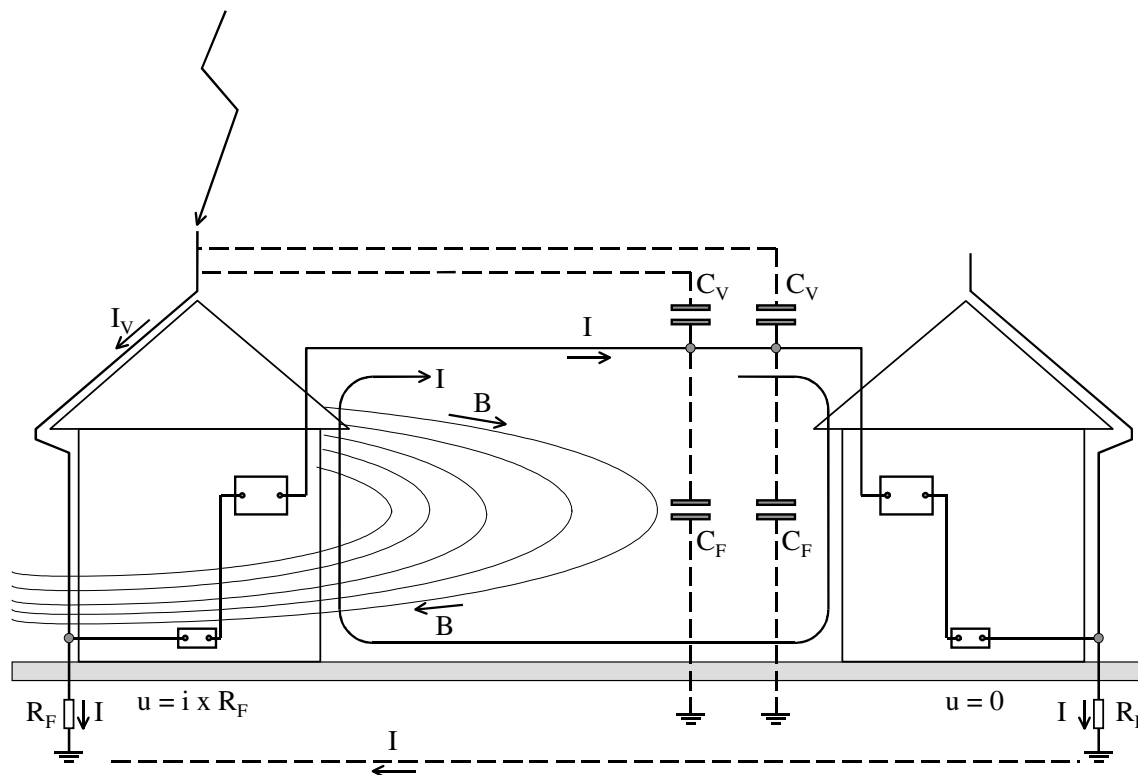
Az elektromágneses villámimpulzus csatolási módjai.

A villámcsapás hatására létrejön a villámcsatorna, amelyben kialakul a villámáram. A csatornában folyó villámáram azonban különféle utakon tovább terjedhet az épület belsejében, de nem kizárt a távolabbi épületekbe vagy földi tárgyakba való átterjedése sem. Ezt az átterjedést másodlagos ha-

tásnak nevezzük, amely vezetéssel, induktív csatolással vagy kapacitív csatolással jöhet létre (lásd az 1.ábrát).

Vezetési csatolás.

Az 1. ábra szerint a felfogótól a levezetőn át jut a földbe a villámáram. A villámáram útjába eső impedanciákon, de különösen az $R_F = R_{fl}$ földelési ellenálláson illetve lököfeszültséggel szembeni ellenálláson $u_F = i_v \cdot R_F$ feszültség keletkezik. Ez a feszültségemelkedés illetve potenciál jelenik meg a közeli fém tárgyakon, a csupasz és a szigetelt vezetőkön, azaz a földeléssel összekötött minden helyen. A megemelkedett potenciált a szigetelt vezetők átviszik más épületekbe is, amely épületek földelési potenciálja az ideális nulla potenciálhoz képest nem emelkedett meg. Ilyen körülmények között a befutó vezetők és a földelt fémtárgyak között túlfeszültség lép fel. Ez a feszültség a készülékek és a berendezések szigeteléseit veszi igénybe, és a leggyengébb pontokon a szigetelés tönkremenetelét eredményezhetik. Ez a jelenség természetesen fordítva is lejátszódhat, amikor a villámsújtotta épületbe hozzuk be a távolabbi ideális nulla föld-potenciált és az épület saját földelőjéhez kötött fémtárgyakon illetve vezetőkön jelenik meg a nem kívánt túlfeszültség.



1. ábra Túlfeszültség keletkezése és terjedése vezetési, induktív és kapacitív csatolással

A vezetés útján létrejövő túlfeszültség nagyságrendi szemléltetésére induljunk ki az MSZ IEC 1312-1:97 szabvány 1. táblázatának III-IV védelmi szintre ajánlott, első villám kisülés 100 kA-es áramcsúcs értékéből és feltételezzük, hogy a földelési ellenállás $R_F = 2 \Omega$. A számítás végeredményeként $u = 100 \cdot 2 = 200$ kV feszültségemelkedés adódik, amitől a szigetelések nyilvánvalóan megsérülnek.

Induktív csatolás.

Az 1. ábrán látható módon a villámáram levezetése során a levezető körül mágneses erőtér alakul ki. Ez a B indukciójú mágneses tér kölcsönhatásba kerül (kapcsolódik) a villamos áramvezetők alkotta hurokkal vagy hurkokkal. Ha egy szigeteléssel megszakított, a oldalhosszúságú négyzetes hurokból indulunk ki, amely a levezetőtől d távolságra van, akkor

$$u = M \cdot di/dt$$

indukált feszültség keletkezik, ahol M a kölcsönös induktivitás (függvénye a -nak és d -nek, lásd a 3. táblázatot), di/dt pedig a villámáram legnagyobb meredeksége. Az előbb említett MSZ IEC 1312-1 szabvány 2. táblázata szerint ismételt kisülés esetén, védelmi szinttől függően 200, 150 és 100 kA/ μ s átlagos áram meredekség vehető számításba. Példaképpen a III-IV védelmi szintre előírt 100 kA/ μ s meredekséget alapul véve, egy 10 m oldalhosszúságú négyzetes hurokban, amely a levezetőtől 0,5 m-re van, azaz a 3. táblázat alapján $M = 6,2 \mu\text{H}$ kölcsönös indukcióval vehető figyelembe $u = 6,2 \cdot 100 = 620 \text{ kV}$ feszültség indukálódik. Több szintes épület esetében a villamos tápellátó hálózat, az adatátviteli vagy antenna hálózat összezsátolt nyomvonalai gyakran alkotnak ilyen hurkot vagy hurkokat, amelyek a külső falfelületen lefutó villámáram levezető mellett helyezkednek el 0,5 ... 1,0 m távolságban.

Hasonló módon ki lehet számítani egy túlfeszültségre érzékeny elektronikus berendezés 0,5 m x 0,5 m méretű hurkában kialakuló indukált feszültséget, amely viszonylag messze, pl. 10 m-re van a villám levezetőtől. A 3. táblázat alapján $M = 0,005 \mu\text{H}$ és $di/dt = 100 \text{ kA}/\mu\text{s}$ értékkel számolva $u = 0,005 \cdot 100 = 0,5 \text{ kV} = 500 \text{ V}$ indukált feszültség keletkezik, amely valóban veszélyt jelen az érzékeny és sérülékeny elektronikus alkatrészekre.

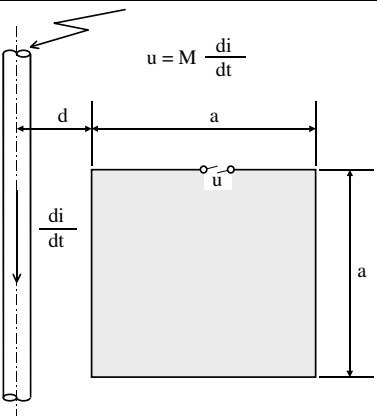
Ha a hurok szigetelése átüt, akkor a hurokban indukált áram indul meg, amelyet a 4. táblázatban közölt csatolási tényező segítségével lehet kiszámítani, a következők szerint:

$$i_h = M/L \cdot i_v,$$

ahol i_v a levezetett villámáram csúcsértéke. Az előző két hurok elrendezési példából kiindulva, amikor a hurok szigetelése átüt, a III-IV védelmi szinthez tartozó 100 kA-es csúcsárammal számolva az indukált hurokáramok: 6,0 kA és 0,17 kA = 170 A értékűek lesznek. Ezen áramok zárlati hőhatását a kicsi keresztmetszetű áramvezetők vagy az érzékeny elektronikus alkatrészek meghibásodás veszélye nélkül már nem képesek elviselni.

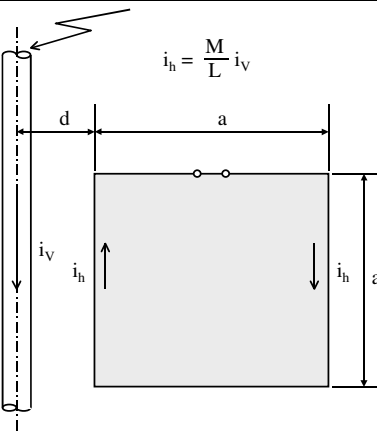
3. táblázat: Az M kölcsönös induktivitás értékei a villámáram levezetőtől mért d távolság függvényében, a oldalhosszúságú négyzetes hurokban [2, 8]

Kölcsönös induktivitás, M (μH)		Hurok távolsága a levezetőtől, d (m)			
		0,5	1,0	10,0	20,0
négyzetes	0,5	0,07	0,002	0,005	0,0025
hurok	1,0	0,23	0,14	0,02	0,01
oldalhossza,	5,0	2,4	1,8	0,4	0,23
a (m)	10,0	6,2	5,0	2,4	0,8



4. táblázat: Az M/L kölcsönös induktivitás és önindukciós tényező hányadosa a villámáram levezetőtől mért d távolság függvényében, a oldalhosszúságú négyzetes hurokban, $A = 1 \text{ mm}^2$ keresztmetszetű hurok vezetővel [2, 8]

Kölcsönös induktivitás és önindukciós tényező hányadosa, M/L		Hurok távolsága a levezetőtől, d (m)			
		0,5	1,0	10,0	20,0
négyzetes	0,5	0,023	0,004	0,0017	0,0008
hurok	1,0	0,035	0,022	0,003	0,0016
oldalhossza,	5,0	0,062	0,047	0,01	0,006
a (m)	10,0	0,077	0,06	0,017	0,01

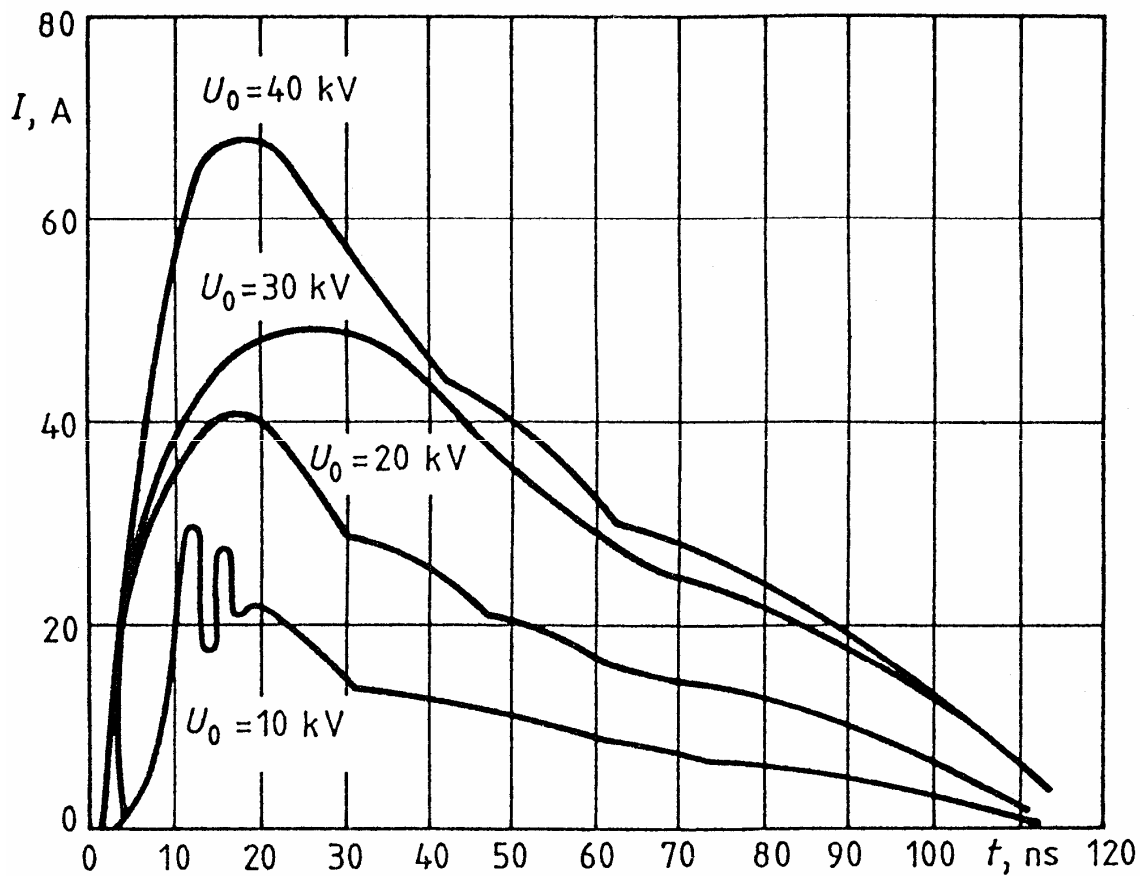


Kapacitív csatolás.

A villámcsatorna felfogó közeli szakaszának u_v feszültsége 1000 kV nagyságrendű lehet. Ez a feszültség jut a sorba kapcsolt villámcsatorna és vezeték közötti C_v , valamint a vezeték és a föld közötti C_F kapacitásokra (1. ábra). A C_v kapacitás töltőáram, amely átütéskor megjelenik a vezeték-hálózaton: $i_C = C_v \cdot du_v/dt$. A vezetékhez tartozó készülékeken megjelenő feszültség pedig: $u = u_v \cdot C_v/C_F$. Ha figyelembe vesszük, hogy a C_F földkapacitás sokkal nagyobb, mint a C_v kapacitás, akkor megállapíthatjuk: az u_v villám feszültség töredéke veszi csak igénybe a szigetelést, így az előbb megismert csatolásokhoz képest kisebb veszélyt jelent a villamos elosztóhálózat számára. Az érzékeny elektronikus elemek azonban, az ilyen jellegű csatolás hatására bekövetkező átütés miatt szintén tönkre mehetnek. A védelmek gyakorlati méretezés során ezzel a hatással - ennek ellenére - ritkán számolunk ma még.

1.4. Elektrosztatikus feltöltődésből eredő túlfeszültségek

Az elektrosztatikus feltöltődés vezető- és szigetelőanyagok érintkezése, egymáson való elmozdulása, majd szétválása során alakul ki. Ez a töltés szigetelt vezető testekben felhalmozódva olyan kisülést hozhat létre, ami egyrészt tüzet és robbanást okozhat, másrészt a villamos berendezésekben átütést, sérülést és hibás működést eredményezhet. Az elektrosztatikus kisülések (ESD) során a feszültség meredeksége 2 kV/ns körül van, a feszültség maximuma a 20 kV -ot is meghaladhatja, a kisülés árama pedig elérheti a $40 \dots 70 \text{ A}$ -t is. A 2. ábra az elektrosztatikus kisülések különböző hullámformáit ábrázolja az idő függvényében.



2. ábra elektrosztatikus kisülések $I = f(t)$ hullámalakjai [1]

Az elektrosztatikus feltöltődés néhány jellemző feltöltődési feszültsége a szokásos tevékenységek során [1]:

- szőnyegen való járás közben max. 35 kV,
- PVC padlón való járás közben max. 12 kV,
- ülés közben max. 6 kV,
- habanyaggal párnázott széken max. 18 kV,
- műanyag fóliával végzett munka során max. 7 kV.

Az elektronikus alkatrészek érzékenységét az elektrosztatikus feltöltődéssel szemben a következő néhány jellegzetes példa mutatja, amely a különféle félvezetőket károsító túlfeszültség (ESD érzékenység) értékhatárait adja meg [1]:

• VMOS alkatrész	30 ... 1800 V,
• MOSFET alkatrész	100 ... 200 V,
• Ga-As-FET	100 ... 300 V,
• EPROM alkatrész	100 V,
• CMOS alkatrészek	250 ... 3000 V,
• Rétegellenállások (vékony és vastagréteg)	300 ... 3000 V,
• Bipoláris tranzisztorok	380 ... 7000 V,
• Schottky TTL	1000 ... 2500 V.

Az elektronikus alkatrészek egyre kisebbek, gyorsabb működésűek és nagyobb integráltsági fokúak, így az elektrosztatikus feltöltődéssel és kisüléssel szembeni érzékenységük is tovább növekszik. A korszerű félvezetők határrétegeinek átütésére 100 V-nál kisebb feszültség és néhány μJ energia is elég. Az elektrosztatikus veszélyek ellen természetesen mindenkor lehet védekezni. Például egy védett MOS munkahelyen minden vezető anyagot - az embert is beleértve - le kell földelni. A szigetelőanyagokon felhalmozódó töltéseket a levegő ionizációjával kell semlegesíteni. Nagyon fontos szabály, hogy a szigetelőket nem szabad leföldelni.

Néhány szóban meg kell még említeni az elektrosztatikus kisülés gyújtóképességét, amely a kisülés energiájától függ [5, 7]. Fokozott szikraérzékenységű anyagot (pl. hidrogén, metán acetilén) már 0,1 mJ-nál kisebb energiájú szikra képes begyújtani, felrobbantani. Ekkora energiájú kisülés egy feltöltött szigetelő felület és a hozzá közeledő földelt fém tárgy között is keletkezhet. Ezért ahol ilyen anyagokkal dolgoznak sem feltöltött műanyag, sem szigetelt fémtárgy nem lehet. A földtől elszigetelt, műanyag talpon álló emberi testen 10 ... 15 mJ energiájú feltöltődés keletkezik, amely földelt tárgy érintésekor egyszerre sül ki. Ez az energia a szerves folyadékok (benzin, alkohol) gőzének és a lebegő szerves poroknak (liszt) a begyújtására elegendő. Nagyobb szigetelt fémtárgyakon 20 mJ-nál nagyobb energia halmozódhat fel, aminek a kisülése a kis szikraérzékenységű lebegő porokat (fémek pora) is képes begyújtani, ezért ezeket a feltölthető fémtárgyakat földelni kell.

Összefoglalva elmondható, hogy a villamos hálózatokba beépített érzékeny elemek védelméről árnyékolással, illetve az áramkörbe beiktatott túlfeszültség-korlátozókkal lehet gondoskodni. Ezekről a korszerű túlfeszültség-korlátozóktól elvárható ma már a kis szikraérzékenységű, fokozottan tűz és robbanásveszélyes anyagok védelme és az ilyen veszélyességi fokozatú közegben való alkalmazhatóság.

2. Túlfeszültség védelmi készülékek és eszközök

A villamos kapcsolókészülékek nagy többségét alkotó szűkebb értelemben vett kapcsoló eszközök mellett megkülönböztetjük a túlfeszültség védelmi vagy túlfeszültség-korlátozó készülékeket. Ezek

elsősorban feladatukban térnek el a többi készülékektől. feladatuk, hogy rendellenesen nagy feszültségek - túlfeszültségek felléptekor alkalmasan kialakított szerkezetükkel működésbe lépjenek, és a túlfeszültségeket a berendezés többi része szigetelésének védelme érdekében korlátozzák. A hálózaton fellépő feszültség igénybevételek és a hálózat, illetve egyes elemeinek szigetelés kiválasztása, méretezése és vizsgálata a szigeteléskoordinálás elvein nyugszanak. A szigeteléskoordinálás nyújt alapot ahhoz, hogy a készülékek számára - a névleges feszültségből kiindulóan - a hálózatban betöltött szerepüknek és beépítési helyüknek megfelelően előírjuk a szükséges próbafeszültségeket (ipari frekvenciájú próbafeszültség, lököpróbafeszültség, kapcsolási hullámú próbafeszültség). A továbbiakban az erősáramú elektrotechnikában használatos túlfeszültség védelmi eszközökkel foglalkozunk, röviden összefoglalva a különböző fajta készülékek főbb jellemzőit.

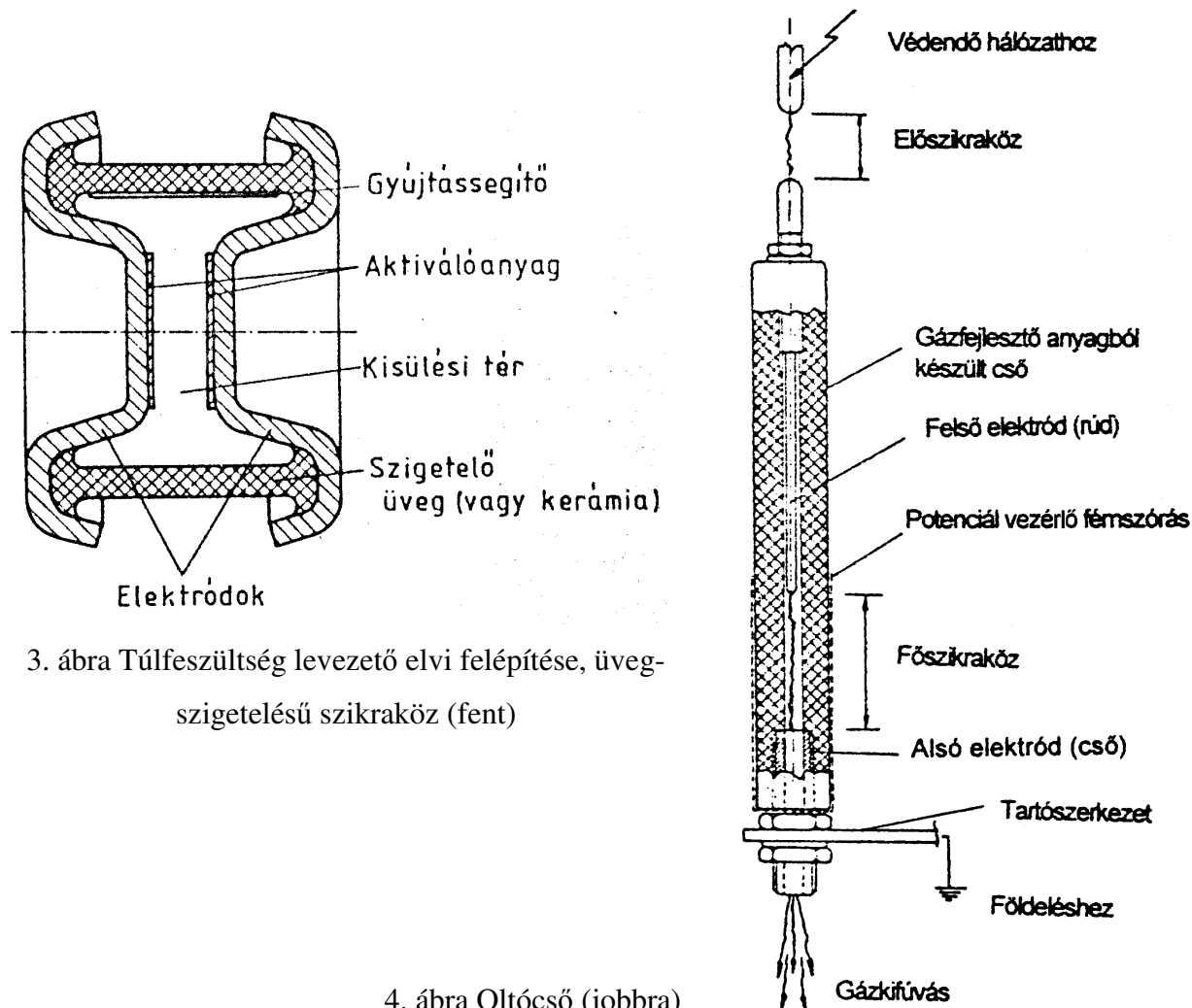
2.1. Szikraköz

A szikraköz a legegyszerűbb túlfeszültség védelmi eszköz. A hálózat és a föld közé kapcsolva léghözét úgy állítják be, hogy csak a hálózat névleges feszültségét jóval meghaladó túlfeszültség hatására üssön át. A szikraköz átütésével megszűnik a túlfeszültség (a föld felé levezetődik a túlfeszültséget létrehozó energia), de ezt követően a szikraközön földzárlati áram folyik tovább, amelyet a hálózat feszültségforrása táplál. Ívöltő szerkezet hiányában ez az áram csak akkor szűnik meg magától, ha nagysága legfeljebb néhány A értékű (pl. kompenzált hálózat egyfázisú földzárlati árama). Ilyen kicsi értékű áram előfordulási valószínűsége erősen korlátozott, mivel a középfeszültségű hálózatokban (ahol a földzárlati áramot kompenzációval csökkentik) általában több fázisban egyidejűleg lép fel túlfeszültség, és ütnek át a védelmül szolgáló szikraközök. A szikraköz ugyan hatásosan megszünteti a túlfeszültséget, de az átütésnél fellépő nagy meredekségű feszültségváltozás veszélyezteteti a tekercselések (transzformátor, fojtótekerccs, mérőváltók) szigetelését, mivel egyenlőtlen feszültségeloszlást okoz rajtuk, ezen kívül a kialakuló zárlati áram termikus és dinamikus hatása sem kívánatos. A megszólalási feszültség nagy szórása miatt közép és nagyfeszültségen tartalék védelemként vagy mint koordináló szikraközként alkalmazzák.

2.2. Nemesgáztöltésű túlfeszültség levezető

A nemesgáz (pl. argon, neon) töltésű túlfeszültség levezetők, valójában szikraközök a gázkisülés elvét használják ki. A gyújtó feszültség értékének túllépésekor (ez típustól függően 70 ... 15 000 V) a hermetikusan lezárt kisülési térben ellenőrzött ív alakul ki néhány ns-on belül, amely a folyamatot beindító túlfeszültséget rövidrezárja. A kicsi ívfeszültség kivételesen nagy levezető képességet biztosít (max. 60 kA). A kisülés után a túlfeszültség levezető kiolt és ellenállása a zavar nélküli üzemiállapotra jellemző nagy értéket ($\geq 10 \text{ G}\Omega$) veszi fel.

A túlfeszültség levezető illetve szikraköz elvi felépítését a 3. ábra mutatja. A hermetikusan zárt, nemesgázzal (argon, neon) töltött kisülési teret egy üreges henger alakú szigetelő alkotja, amelynek két végén, egymással szemben helyezkednek el az elektródok. Az 1 mm-nél kisebb távolságra elhelyezett elektród felületeket emissziót elősegítő bevonattal látják el. Ez az aktiváló anyag lényegesen csökkenti az elektronok kilépési munkáját. A gyakorlatban döntő jelentőségű kérdés, hogy a túlfeszültség levezetővel gyorsan növekvő feszültség (kb. $1 \text{ V}/\mu\text{s}$) esetén milyen védelmi szint érhető el. A túlfeszültség hatásos korlátozása miatt gyors megszólalás az igény, ezért a hengeres szigetelő belső felületére gyújtássegítőt hordanak fel.



3. ábra Túlfeszültség levezető elvi felépítése, üveg-szigetelésű szikraköz (fent)

4. ábra Oltócső (jobbra)

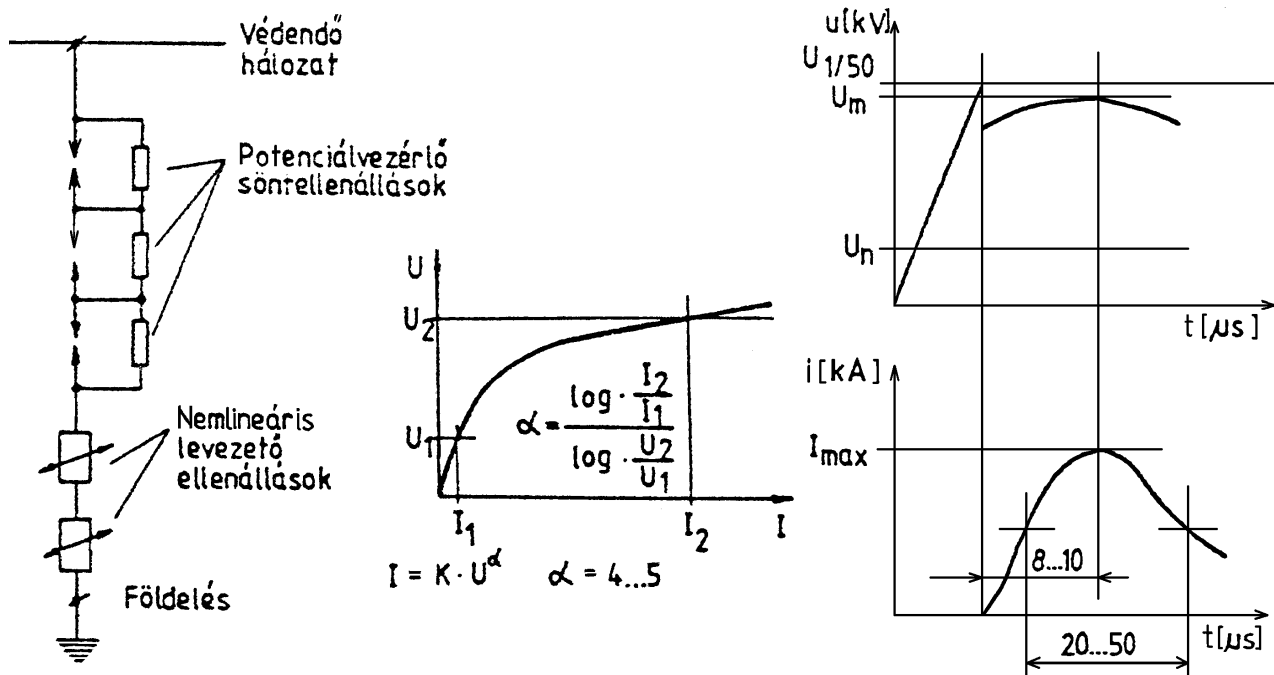
2.3. Oltócső

Lényegét tekintve olyan speciális anyagból készült cső, amelynek falából az ív hőhatása semleges gázokat fejleszt. A cső egyik végén rúd, a másik végén cső alakú elektród található. A függőlegesen álló oltócső felső elektródja elő szikraközön keresztül csatlakozik a védendő, fázis feszültségen lévő vezetékhez. Az alsó leföldelt tartó elektródja belenyúlik a szigetelőcső belsejébe (4. ábra). A túlfeszültség hatására az elő szikraköz és az oltócső belső szikraköze átüt, levezetve a túlfeszültség-hullám töltését. A hálózati feszültség táplálta utánfolyó áram által fenntartott ív hőhatására keletkező

gázok lefelé kifújva kedvező esetben eloltják az ívet. Az oltócsövek megszólalási feszültség szórása a szikraközökéhez hasonlóan eléggé nagy, viszont oltóképessége jobb. Ezért elsősorban a légköri túlfeszültségek elleni védelemre szolgálnak, és hazánkban általában a középfeszültségű (6 ... 35 kV), ritkábban a 120 kV-os hálózaton alkalmazzák.

2.4. Túlfeszültség levezető

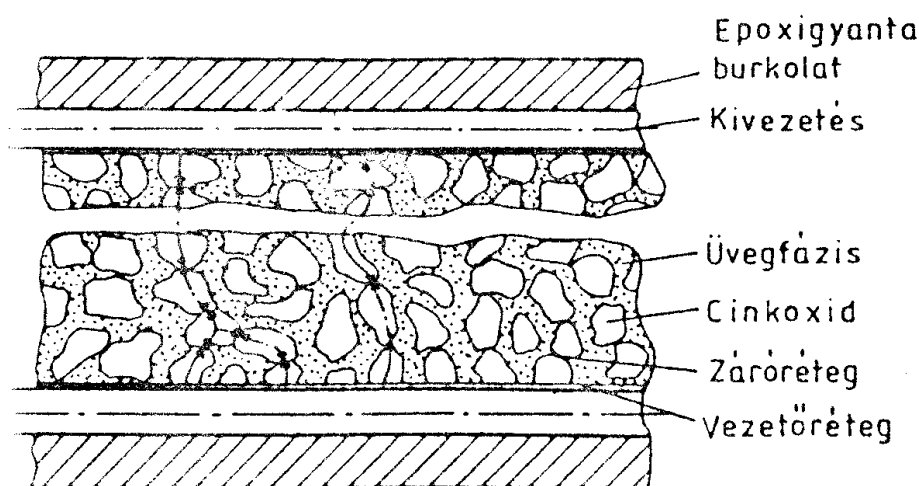
Sorba kapcsolt szikraközöket, feszültségfüggő (szilíciumkarbid = SiC) nemlineáris félvezető ellenállásokat, esetleg ívfúvó tekercset tartalmaz (5. ábra). A működése során, amikor a feszültség hullám eléri a levezető megszólalási feszültségét (pl. $U_{1/50}$ amplitudó az ábrán), a szikraközök átütnek és a levezetőn áram folyik. Ez az áram feszültségesést hoz létre a levezető ellenállásain, így a feszültség nem nullára, hanem egy előre meghatározott értékre csökken, amelyet a levezető maradék feszültségének nevezünk (U_m). A levezető áram maximumát (I_{max}) az a körülmény korlátozza, hogy a levezetőn eső maradék feszültség kisebb legyen a szikraköz megszólalási feszültségénél, ellenkező esetben a levezető nem képes már a túlfeszültséget a megszólalási szintre korlátozni. A levezető működése után az üzemi feszültség igyekszik az ívet fenntartani. Az üzemi 50 Hz-es feszültségen azonban a nemlineáris elemek ellenállása olyan nagy, hogy a levezetőn átfolyó utánfolyó áram néhány A-ra csökken. Ezt a kicsi áramot a sorba kapcsolt szikraközök az első áram nullaátmenetnél kioltják. A levezető megszólalási feszültségét úgy kell megválasztani, hogy a kapcsolási eredetű túlfeszültségek ne szólaltassák meg. Gyakorlati alkalmazási területe a közép és nagyfeszültségű feszültség tartományban (6 ... 220 kV).



5. ábra Túlfeszültség levezető felépítése, nemlineáris ellenállása, működése [4]

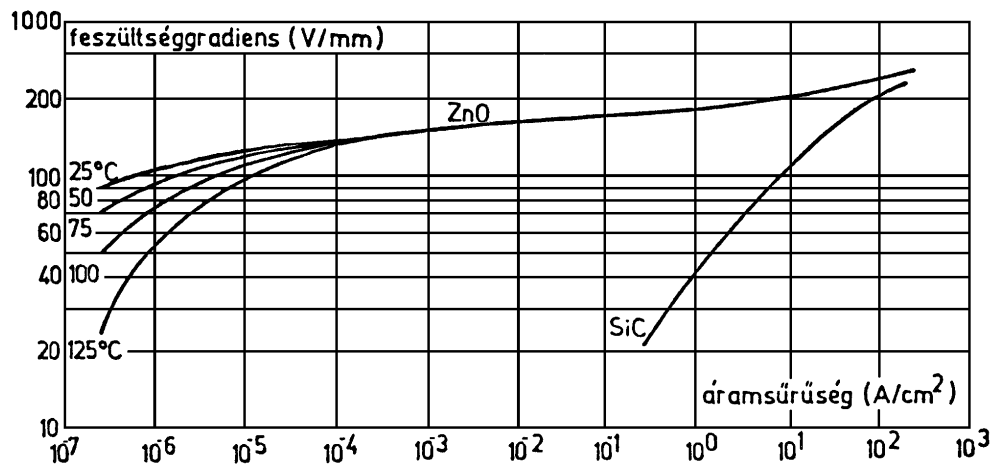
2.5. Fénoxid túlfeszültség-korlátozók

A szilíciumkarbid (SiC) ellenállású túlfeszültség levezet működését megismerve belátható, hogy ott a szikraközökre csak azért van szükség, mert az 50 Hz-es üzemi feszültségnél adódó maradékáram olyan nagy, hogy ezt a terhelést az ellenállás termikusan nem képes elviselni. A fénoxid túlfeszültség korlátozók cinkoxidos (ZnO) ellenállásokkal készülnek. Példaképpen ha megnézzük, a cinkoxid varisztor kerámia kompozíció, amely 90 %-ában ZnO, többi részében Bi_2O_3 és CoO (bizmut- és kobaltoxid) tartalmú. Ezen anyagok finom porszerű keverékéből sajtolással hengeres formákat állítanak elő, amely nagy hőmérsékleten való szintereléssel mechanikailag szilárd testté áll össze, amelyben a kb. 10 μm átmérőjű ZnO magokat 0,005 ... 0,01 μm -es vékony Bi_2O_3 réteg választja el egymástól (6. ábra).



6. ábra Fénoxid túlfeszültség korlátozó (varisztor) szerkezeti felépítése [1]

Egyetlen bizmutoxid réteggel borított cinkoxid szemcsén 1,5 V feszültség esik 1 mA/cm^2 áramsűrűség esetén. Az így készített nemlineáris ellenállás 1 mm vastagságú rétegére 120 ... 150 V üzemi feszültség adható, amelynek hatására olyan áramérték folyik, ami nem okoz káros mértékű melegedést. Megfigyelhető az is, hogy amíg az áramerősség 1 mA/cm^2 -ről 100 A/cm^2 -re növekszik, vagyis 10^5 -szeres értékre, addig az ellenálláson eső feszültség mindössze kb. 60 %-kal nő. Ezeknek az elemeknek a nemlinearitása sokkal nagyobb, mint az előzőekben megismert szilíciumkarbidos levezetőké (7. ábra). Mivel egy cinkoxidos korlátozónál el lehet érni, hogy a névleges feszültségre kapcsolva kb. 0,1 ... 1 mA-es áramot vegyen fel, olyan levezetőt készíthetünk, amelyben nincs szikraköz, csak ellenállás. Fel kell hívni a figyelmet viszont arra, hogy a kis áramok tartományában a hőmérséklet növekedésével a nemlineáris jellegéből veszít az ellenállás, ezáltal „hőmegfűtésre” hajlamos. A gyártók ebből az okból kifolyólag referencia feszültség-áram(sűrűség) értékpárt (U_{ref} , I_{ref} , j_{ref}) adnak meg.

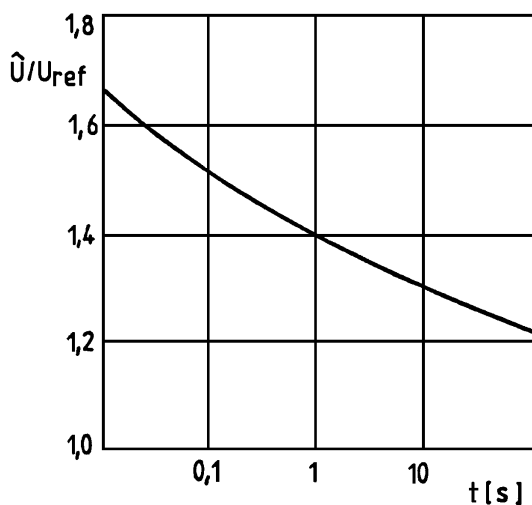


7. ábra Nemlineáris ellenállások karakterisztikái [4]

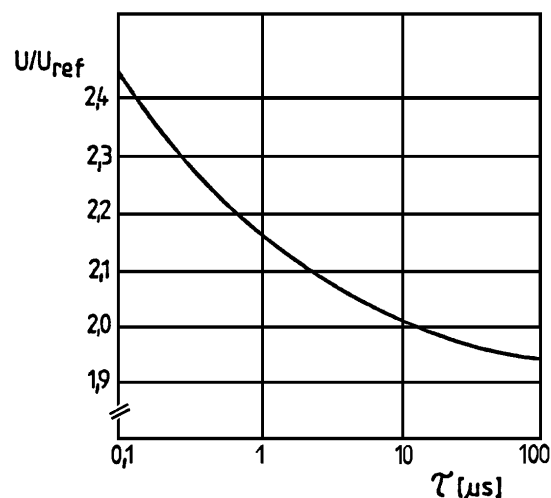
Az ilyen ellenállásból készült levezető hosszúsági méretét az üzemi feszültség, keresztmetszetét a légköri, vagy belső túlfeszültség során levezetendő energia szabja meg. A feszültség 5 %-os biztonsági ráhagyással:

$$U_{\text{ref}} = 1,05 \cdot \sqrt{2/\sqrt{3}} \cdot U_n,$$

ahol U_n az előforduló legnagyobb hálózati feszültség vonali értéke (U_{neff}). Számolni kell azonban a földzárlat következtében az ép fázisokban fellépő feszültség emelkedésre (lásd a korábbi fejezetet) is, amely hatásosan földelt hálózatban az üzeminek kb. 1,4-szeres értéke, ami $1,32 \cdot U_{\text{ref}}$ értéknek felel meg. Ezt az igénybevételt a zárlat kb. 1 másodperces időtartamára az ellenállásnak el kell viselnie. Mint a 8. ábrából látható, ezt az igénybevételt a cinkoxid ellenállás kiállja. A túlfeszültségnél levezethető áram függ az igénybevétel időtartamától. Az ellenállás hosszúságát az üzemi feszültség alapján meghatározva ($U_{\text{ref}} \approx 150 \text{ V}$, 1mm vastagságú rétegre), az átmérő alapján adódik, hogy egy túlfeszültség levezetés során legfeljebb $0,13 \text{ kJ/cm}^3$ fajlagos energiát képes a cinkoxid fölvenni annak veszélye nélkül, hogy termikus okból kifolyólag instabillá válna.



8. ábra Fémoxid korlátozó feszültségnövekedés megengedhető időtartama [4]



9. ábra Fémoxid korlátozó maradékfeszültség növekedése 10 kA-es áramimpulzusnál [4]

Abban az esetben, ha az áramimpulzus τ felfutási ideje (az amplitúdó 10 és 90 %-a között) $100 \mu\text{s}$ -nál gyorsabb, akkor valamelyest megnövekszik az ellenálláson megnövekvő feszültség az ugyanazon amplitúdójú, de hosszú homlokidejű áramimpulzusnál mérhető feszültségeséshez képest. A 9. ábrán pl. 10 kA csúcsértékű áramimpulzusok esetében mért jelleggörbe látható.

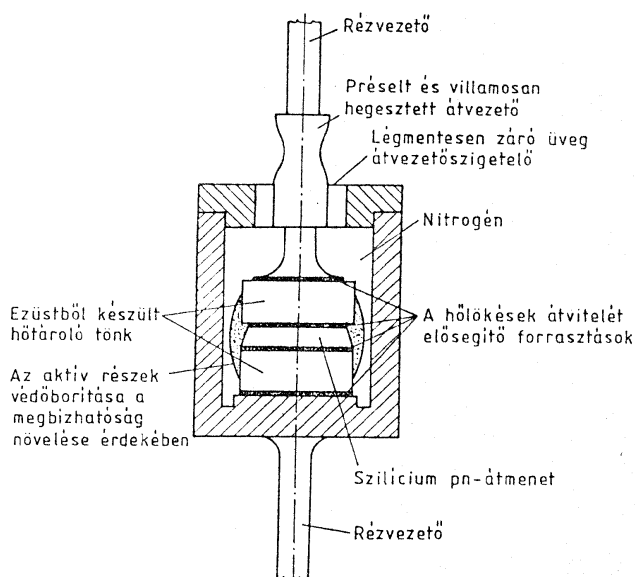
A szikraköz nélküli cinkoxidos túlfeszültség korlátozó előnyei:

- a szikraköz és a potenciálvezérlés hiányában egyszerűbb, olcsóbb és megbízhatóbb működésű, mint a szikraközös túlfeszültség levezető;
- a védelmi szint az ellenállásoktól függ és nem a szikraköztől, amelynek megszólalási értéke gyakran jelentős szórást mutat;
- a túlfeszültség korlátozó szennyezettsége nem okoz működési zavart, amely a szikraközös levezetőnél előfordulhat.

Alkalmazási hátránya abban jelentkezik, hogy energia elnyelő képessége véges, „hőmegfutasra” hajlamos és gyártása ennek megfelelően fejlett technológiát igényel.

2.6. Szuppresszor dióda mint finom fokozatú túlfeszültség korlátozó

Az érzékeny félvezető elemek védelme során a túlfeszültségeket gyakran néhány V-ra kell korlátozni. Az ilyen finomvédelem céljára elsősorban Z- vagy kapcsolódiódákat vagy más néven szuppresszor diódákat alkalmaznak, mivel ezekkel az elemekkel viszonylag pontosan be lehet állítani a kicsi határfeszültségeket. Előszeretettel alkalmazzák a nagy hőkapacitású (heat sinks) Z-diódákat (10. ábra).



10. ábra Nagy hőtároló kapacitású védődióda (transient suppressor) keresztmetszete [1]

Nagyfrekvenciás alkalmazások esetén a Z-dióda kapacitását műkapcsolásokkal kell csökkenteni. A Z-diódák kapacitásának csökkentése érdekében kapcsolódiódákkal kötik sorba őket. Az ilyen soros kapcsolás csak egyféle polaritású feszültséget korlátoz. Tetszőleges polaritású túlfeszültség korlátozására két ilyen eszköz ellen-párhuzamos kapcsolása alkalmas. A védőkapcsolás kapacitásának további csökkentését a dióda záróirányú előfeszítésével lehet elérni.

Az érzékeny finomvédelmekben gondoskodni kell arról, hogy túlfeszültség korlátozás esetén a terhelő áramok a megengedett érték alatt maradjanak. Ezt a durva- és finom védelem között elhelyezett korlátozó elemekkel lehet elérni. Ilyen célból ellenállás lenne a legkedvezőbb, ez azonban a

hasznos jelet is elnyomja. Frekvenciafüggő elemeket alkalmazva (pl. fojtó, kondenzátor, alul- és felül áteresztő szűrő) olyan beállítást készítenek, hogy a túlfeszültség impulzust erősen, míg a hasznos jelet alig nyomják el. Egyedüli védelmi alkalmazása nem ajánlott, többlépcsős védelmi rendszer utolsó elemeként viszont ma már gyakran alkalmazzák.

2.7. R-C csillapító tagos túlfeszültség korlátozók

R-C csillapító tagok alkalmazásával a kapcsolási és léghelyi eredetű túlfeszültségek egyaránt korlátozhatók. Kivételes esetektől eltekintve a kiefeszültségű hálózatokban alkalmazzák, elsősorban félvezetők (diódák, tiriszorok, szimisztorok stb.) záró irányú igénybevételeinek csökkentésére. Előnyük az előzőekben megismert túlfeszültség védelmi eszközökkel szemben, hogy ezekkel a túlfeszültség elvben tetszőlegesen kis értékre korlátozható.

Az R-C tag hatása abban nyilvánul meg, hogy a hálózati elemeinek L szórt induktivitásával együtt csillapított rezgőkört alkot. A rezgőkört úgy méretezik, hogy a sorba kötött R ellenálláson és C kondenzátoron fellépő legnagyobb feszültség U_m csúcserőértéke a hálózati fázis feszültség $U_{nm} = \sqrt{2} \cdot U_n$ (háromfázisú hálózatban U_n vonali érték) csúcserőértékének legfeljebb (1,5 ... 2)-szerese legyen.

3. Túlfeszültség védelem az épületek villamos energia elosztó rendszerében

A léghelyi eredetű, közvetlen villámcsapásból származó és az elektrosztatikus feltöltődés okozta szikrakisülések túlfeszültség védelmi problémáiról beszéltünk már. A következő pontokban a másodlagos villámvédelmi és a belső eredetű túlfeszültségek elleni védekezést (különválasztva a közép és kiefeszültségű hálózatrészekben alkalmazni kívánt megoldásokat) kívánjuk bemutatni, néhány példával illetve javaslattal kiegészítve.

3.1. Túlfeszültség védelem a közepfeszültségű, 10 kV-os kábelhálózaton

A villamos energia elosztórendszer közepfeszültségű, 10 kV-os kábelhálózati részén az ELMŰ Rt. szakembereinek korábbi véleménye szerint léghelyi eredetű túlfeszültségre számítani nem kellett. Időközben az álláspontjuk - a hálózati hibák és a pontosabb hálózat analízis következtében - megváltozott, így a hatásos túlfeszültség-korlátozó rendszer kiépítése szerepel a programjukban.

Belső eredetű és ezen belül elsősorban kapcsolási eredetű túlfeszültségek fellépésével azonban már korábban is számoltak. A 120/10 kV-os alállomásban elhelyezett régi kisolajterű EIB típusú vagy az újabb SF₆-os illetve vákuum megszakítók közül elsősorban az EIB, majd a vákuum és végül az SF₆-os megszakító kikapcsolását kíséri a legnagyobb túlfeszültség. Az SF₆-os megszakítók ritkán okoznak túlfeszültséget, ugyanis kifejezetten lágy ívoltási tulajdonsággal rendelkeznek. A közepfeszültségű megszakítók működése során keletkező túlfeszültségek elleni védekezés úgy képzelhető el, hogy a 10/0,4 kV-os transzformátor primer kapcsainál a három fázisvezető és a föld közé, de

még az is elképzelhető, hogy a fázisok közé fénoxid (ZnO) túlfeszültség korlátozókat épít be az áramszolgáltató.

Üzemvitel ebben az esetben: a nemlineáris levezetési ellenállású ZnO túlfeszültség-korlátozókat állandóan az üzemi frekvenciájú feszültség veszi igénybe. Erre szuperponálódnak a kapcsolási eredetű túlfeszültségek, valamint az időszakos túlfeszültség igénybevételek. A korlátozóknak a teljes élettartamuk során el kell viselniük ezt a lüktető igénybevételt, erre kell méretezni a beépített elemeket, továbbá termikusan stabilan kell az adott hálózati ponton üzemelniük.

Figyelembe véve, hogy a termikus stabilitása ezeknek a túlfeszültség-korlátozó elemeknek ma még 100 %-os biztonsággal nem szavatolhatók (7. ábra alapján a melegedés következtében megváltozik a védelmi karakterisztikájuk, azaz hajlamosak a "hőmegfutásra"), az áramszolgáltató a saját hálózatrészén a beépítést csak lassú ütemben hajtja végre. Ez azt jelenti, hogy az alállomási túlfeszültség-védelem jelentős százalékban ma már megoldott, a helyi transzformátor kamrákba való beépítés viszont még csak kis százalékban valósult meg (nehezen oldható meg az üzemzavar elhárítása).

3.2. Túlfeszültség védelem a kiefeszültségű, 0,4 kV-os elosztóhálózaton

A kiefeszültségű elosztóhálózaton kialakuló túlfeszültségek elleni védekezést több tényező teszi szükségessé:

- a napi üzemeltetés folyamatossága, a napi üzemvitel fokozott biztonsági igénye,
- az épületen elhelyezett primer villámvédelmi berendezés, amely a töltés kiegyenlítődés során a villámáram levezetésekor az ohmos, az induktív és a kapacitív csatolásokon keresztül elősegíti a feszültség behatolását az épület villamos hálózatába,
- az épülettömbben üzemelő korszerű, így a feszültség igénybevételre fokozottabban érzékeny számítástechnikai és híradástechnikai eszközök illetve berendezések veszélyeztetése miatt,
- a középfeszültségű hálózaton az áramszolgáltató még nem helyezett el minden helyen túlfeszültség korlátozókat.

A kiefeszültségű hálózaton a villámcsapás másodlagos hatásának illetve a belső eredetű túlfeszültségnek a csökkentésére az alábbi megoldások együttes alkalmazása javasolható:

- Egyenpotenciálra hozás, EPH hálózat kiépítése:

Ez tulajdonképpen nem más, mint a passzív túlfeszültség védelem alkalmazása, amelynek a legfontosabb feladata a veszélyes mértékű potenciál különbségek kialakulásának megakadályozása. Ezt a célt a különböző rendeltetésű (villámvédelmi, PEN, EPH) földelő szondák, EPH gerincvezetők és sínek, árnyékolások és nagyobb kiterjedésű nem villamos vezetői célt szolgáló fémszerkezetek tervszerű összekötésével illetve összecsatolásával lehet elérni. Ehhez külön túlfeszültség

védelmi tervet célszerű készíteni, amelynek tartalmaznia kell a műszaki megoldásokat és a védelem kiépítésének előírásait.

- Erős- és gyengeáramú hálózat vagy hálózatrészek célszerű nyomvonal vezetése:

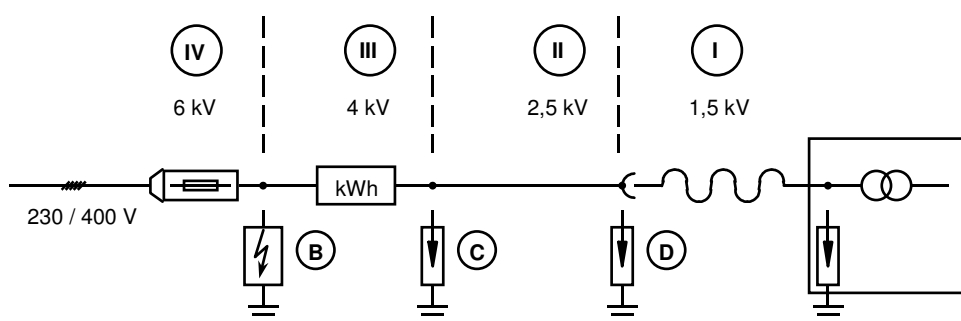
A védekezésnek ez a módja is tulajdonképpen passzív túlfeszültség védelmi lehetőségként fogható fel. Az egyenpotenciálra hozást az induktív csatolások, illetve a magas szintű védelmi követelmények miatt elméletileg sem lehet megvalósítani. Célként csak azt tűzhetjük ki, hogy a vezetékben indukálódó feszültségeket számottevően csökkentjük azzal a kézenfekvő módszerrel, hogy törekszünk az egyes készülékekhez menő vezetékek illetve kábelek egymáshoz közeli vezetására.

- Többlépcsős túlfeszültség védelem:

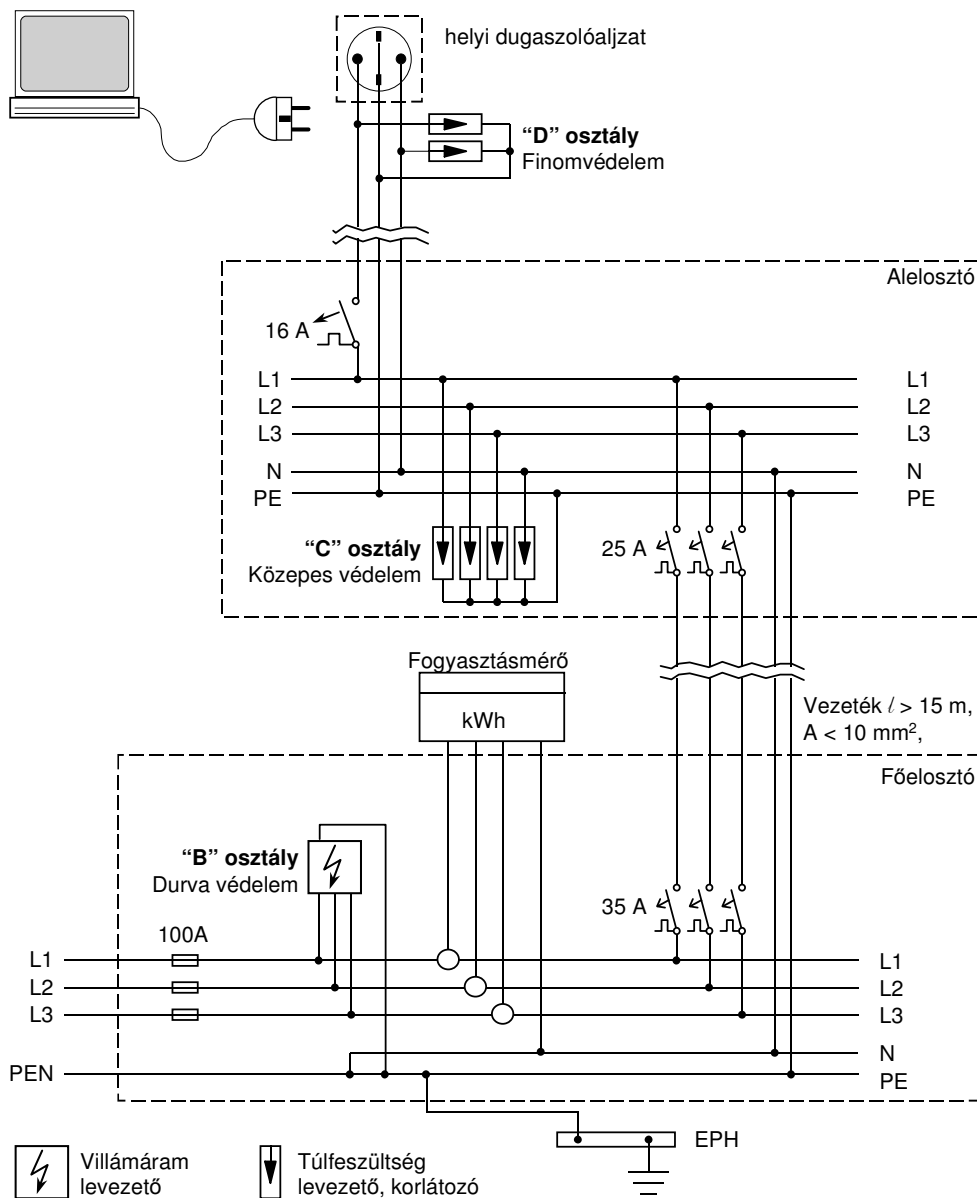
Az előbb megismert passzív túlfeszültség védelmi módszerek a legmondosabb kivitelezés ellenére sem képesek megakadályozni a túlfeszültség létrejöttét, ezért szükség van az ún. többlépcsős túlfeszültség védelem kiépítésére, amelyet aktív védelemnek is nevezünk.

3.3. Többlépcsős túlfeszültség védelem a kisméretű, 0,4 kV-os elosztóhálózaton

Az épület kisméretű villamos energia elosztó rendszerében előforduló túlfeszültségek tág határok között változó energiatartalommal, feszültség- és frekvencia amplitúdóval jellemezhetők. Hatásosan védekezni az ilyen jellemzőkkel rendelkező túlfeszültség hullámok ellen csak többlépcsős túlfeszültség védelmi rendszer kiépítésével lehet. Ez az ún. "komplex túlfeszültség védelmi rendszer" általában három védelmi zónát (fokozatot) tartalmaz. Ezekhez a szintekhez rendelhetők hozzá a durva (B fokozat), közepes (C fokozat) és finom (D fokozat) túlfeszültség korlátozó elemek illetve készülékek (11. és 12. ábra). A mai korszerű túlfeszültség védelemtől elvárjuk, hogy feleljen meg a vonatkozó hazai, nemzetközi, európai (MSZ 274-5T, MSZ IEC 99-1, MSZ IEC 1312-1, MSZ EN 50164-1T) szabványoknak illetve ajánlásoknak és lehetőség szerint vegye figyelembe a mértékadó külföldi (DIN VDE 0110, DIN VDE 0675, vagy BS előírások) szabványokat.



11. ábra Többlépcsős túlfeszültség védelmi rendszer felépítése [6, 8]



12. ábra TN-C-S hálózat többlépcsős túlfeszültség védelmének vázlatja [6, 8]

a.) Durva túlfeszültség védelmi fokozat.

Az épületek villamos energia betáplálását általában közvetlenül vagy közvetve a 10/0,4 vagy 20/0,4 kV-os transzformátorok biztosítják. A transzformátorok nagyfeszültségű oldalának túlfeszültség védelme áramszolgáltatói felelősségi körbe tartozik, rendeletileg ma még nem kötelező.

A transzformátorok szekunder oldalától az üzemeltetőnek kell gondoskodni a túlfeszültség védelem kiépítéséről. Rendeletileg a fogyasztót ma még erre ugyan nem kötelezi előírás, azonban az MSZ 447: 1998. szabvány 2.6 pontja tartalmaz előírásokat a védelem kiépítésére, amely előírás alkalmazása ajánlható. Ezt az ún. "durva túlfeszültség védelmi fokozatot", - amely felépítését tekintve általában nagy áramot és feszültséget elviselő szikraköz - a transzformátorhoz kapcsolódó gyűjtősínhez kell csatlakoztatni (kapcsolótéri főelosztó berendezés), vagy a házi méretlen fogyasztói hálózat csatlakozási pontján, a fogyasztásmérő berendezése előtt kell elhelyezni.

A durva túlfeszültség védelmi fokozat ("B" osztályú védelem) főbb műszaki adatai:

- üzemi feszültség	255/440 V,
- védelmi szint (1,2/50)	< 3,5 ... 4 kV,
- levezetőképesség (10/350)	60 ... 100 kA,
- megszólalási idő	≤ 100 ns.

b.) A közbülső vagy közepes túlfeszültség védelmi fokozat.

A második ún. "közbülső túlfeszültség védelmi fokozat"-ot általában varisztor látja el. Mivel a varisztor megszólalási feszültség szintje és működési ideje lényegesen kisebb, mint a szikraközé, ezért előbb lép működésbe. Energia levezető (elnyelő) képessége viszont lényegesen kisebb, mint a szikraközé, így a szikraköz begyűjtéséhez a két eszköz közé megfelelő soros impedanciát (Z) kell beiktatni. Ezt az impedanciát vagy a vezeték hálózat, vagy mesterséges illesztő impedancia szolgáltatja. Ha ez az impedancia hiányzik, akkor a szikraköz nem tud begyűjtani és a varisztor szétrobbanhat. A közbülső védelem egységeit általában a szinti alelosztókba építik be (szükség esetén az illesztő impedanciákkal együtt), amely alelosztók a talpponti elosztókon keresztül vagy közvetlenül a kapcsolótéri főelosztóból kapják a betáplálást.

A közepes túlfeszültség védelmi fokozat ("C" osztályú védelem) főbb műszaki adatai:

- üzemi feszültség	230/400 V,
- védelmi szint (8/20, 15 kA)	<1,5 ... 2,5 kV,
- levezetőképesség (8/20)	15 ... 20 kA,
- megszólalási idő	≅ 25 ns.

c.) Finom túlfeszültség védelmi fokozat.

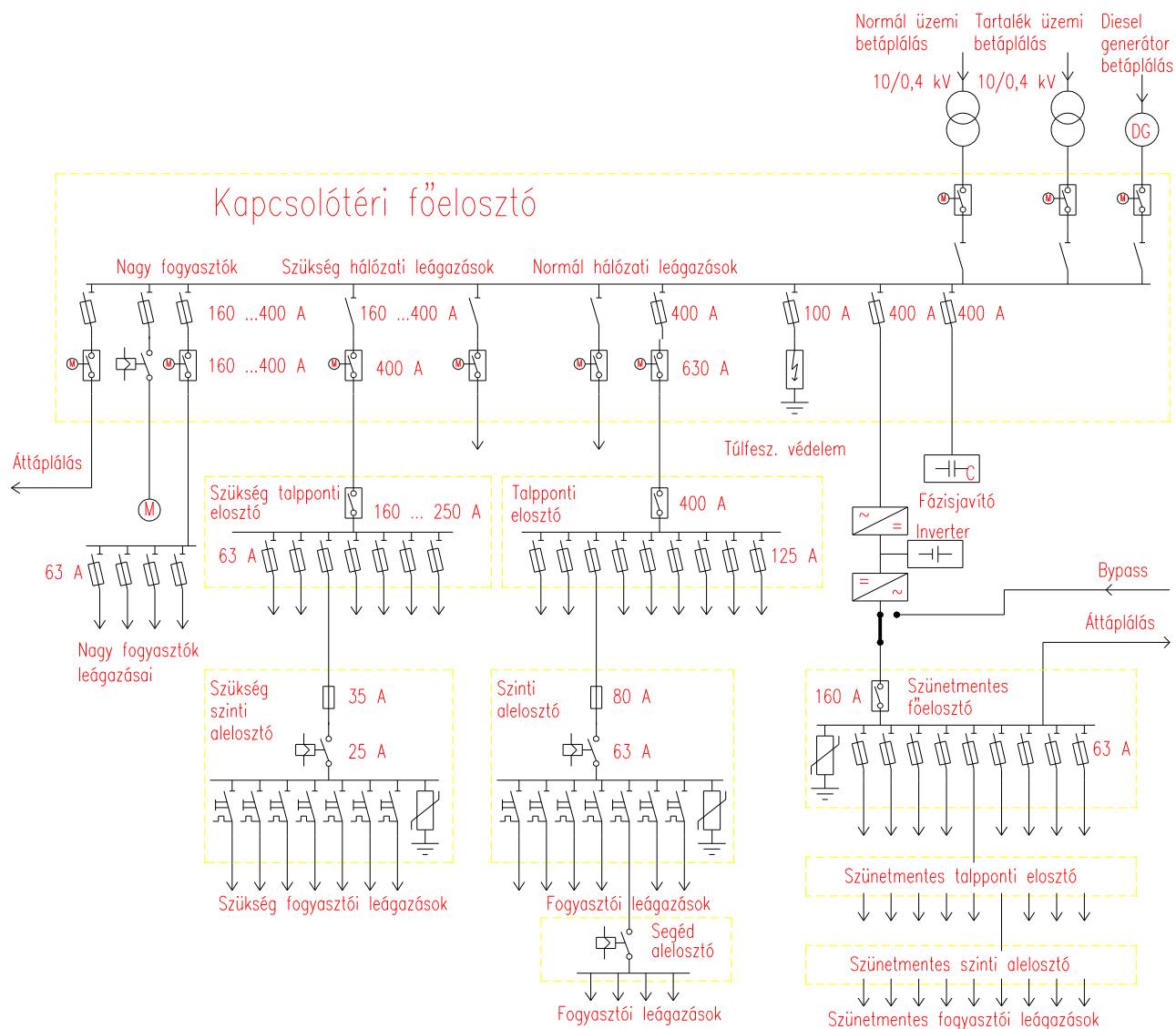
A harmadik ún. "finom túlfeszültség védelmi fokozat" feladatait általában szupresszor dióda (lavinadióda vagy hasonlóan gyors működésű eszköz) látja el. Megszólalási feszültség szintje és működési ideje kisebb, mint a varisztoré, így a túlfeszültség fellépésekor ez a védelmi fokozat fog legelőször működésbe lépni. Csak igen kicsi energiaszintű túlfeszültségek korlátozására képes. Ennek megfelelően a dióda előtt is szükség van egy soros impedanciára, hogy az impedancián létrejövő feszültség és a dióda megszólalási feszültségének hatására a varisztor is begyűjtson. Ennek a túlfeszültség védelmi fokozatnak a feladata továbbá az épületben futó vezetékburkokban indukálódó feszültségek korlátozása. A finom védelem egységeit általában a dugaszoló aljzatokba (fix telepítésű vagy lengő aljzatok) vagy a készülékek hálózati tápegységeibe építik be, amelyek a szinti alelosztókon keresztül közvetlenül kapják a betáplálást. Általában elégséges csak a nagy értékű és túlfeszültségre különösen érzékeny berendezéseket finom túlfeszültség védelemmel ellátni, amely berendezések ma már szünetmentes energiaellátást kapnak. Ide tartoznak a számítástechnikai eszközök, telefonközpontok, hangosító berendezések, füst- és tűzérzékelő rendszerek, épületinformatikai rendszerek, különböző funkciójú híradástechnikai berendezések stb. Nem igényelnek viszont

finom túlfeszültségvédelmet a világítástechnikai eszközök, a termikus fogyasztók (forróvíztárolók, hőtárolós kályhák, hőszugárzók, villamos tűzhelyek), motorikus fogyasztók stb.

A finom túlfeszültség védelmi fokozat ("D" osztályú védelem) főbb műszaki adatai:

- üzemi feszültség	230/400 V,
- védelmi szint (8/20, 5kA)	< 1,0 ... 1,5 kV,
- levezetőképesség (8/20)	5 kA,
- megszólalási idő	$1\text{ns} < t_{\text{meg.}} < 25\text{ ns.}$

A többlépcsős túlfeszültség védelmi eszközöknek ki kell bírniuk a rajtuk átfolyó részáramokat, a feszültség igénybevételt és alkalmasnak kell lenniük a hálózati utánfolyó áram (zárlati áram) megszakítására. A túlfeszültség védelem felsorolt mindhárom fokozatának készülékei legyenek alkalmasak továbbá a saját működőképességük helyi- és távkijelzésére (külön látjelzők). A nagyépület nagy megbízhatóságú villamos energia elosztó rendszerében való elhelyezésre mutat példát a 13. ábra



13. ábra Nagyépület villamos energia elosztó rendszerének túlfeszültség védelme [6]

4. Összefoglalás

A villamos energiaellátás, az épületek nagy megbízhatóságú villamos energia elosztó rendszerének kiépítése megköveteli, hogy a túlfeszültségvédelmi kérdésekkel, problémákkal és ezek megoldásával foglalkozzunk. A számítástechnikai és híradástechnikai eszközök alkotóelemei, azaz a sérülékeny félvezetők és integrált áramköri elemek másodlagos villám hatásokra és EMC zavarokra érzékenyek. Megfelelő védelmükről (többlépcsős túlfeszültségvédelem, elektrosztatikus feltöltődés korlátozás, árnyékolás, egyenpotenciálra hozás stb.) ezért külön kell gondoskodni. A túlfeszültség okozta káros hatások jelentős része megfelelő szakmai gyakorlattal és jó mérnöki felkészültséggel a minimumra csökkenthető. A gazdaságos védekezési megoldás elemzése kiemelt tervezői feladat.

Köszönetnyilvánítás

A szerző köszönetet mond Márkus Istvánnak, a BME Villamos Energetika Tanszék Nagyfeszültségű Technika és Berendezések Csop.tud. segédmunkatársának, az ábrák szakszerű elkészítéséért.

Irodalom

- [1] Panzer, P.: Elektronikus készülékek túlfeszültség- és zavarfeszültség-védelme. Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1990.
- [2] Horváth, T.: Villámvédelem felülvizsgálók tankönyve. Magyar Elektrotechnikai Egyesület, Budapest, 1997.
- [3] Néveri, I. főszerkesztésében: Villamos kapcsolókészülékek kézikönyv. Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1984.
- [4] Stefányi, I. - Szandtner, K.: Villamos kapcsolókészülékek. Műegyetemi Kiadó, Budapest, 2002. Nívódíjas egyetemi jegyzet, 51309.
- [5] Tímár, P.L. szerkesztette: Villamos energetika III. kötet, második javított kiadás. BME Villamosmérnöki és Informatikai Kar és a Magyar Elektrotechnikai Egyesület, Budapest, 1994.
- [6] Szandtner, K. - Kovács, K.: Épületinformatika. BME Nagyfeszültségű Technika és Berendezések Tanszék kiadványa, a Phare HU-94.05 támogatásával készült felsőfokú szakképzési jegyzet, Budapest, 1997.
- [7] Horváth, T. - Berta, I. - Pohl, J.: Az elektrosztatikus feltöltődések. Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1984.
- [8] Fehér, Z.: EMC orientált villámvédelem, az elektromágneses összeférhetőség (EMC) követelményeinek megfelelő villám- és túlfeszültség védelem. Dehn+Söhne GMBH+CO. KG. Magyar képvisellete különkiadása, Budapest, 2000. 02. 29.
- [9] Kádár, A. szerkesztette: Erősáramú zsebkönyv. Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1976.
- [10] MSZ IEC 1312-1: 1997 Az elektromágneses villámimpulzus elleni védelem. 1. rész. Általános alapelvek.
- [11] MSZ IEC 99-1: 1994 Túlfeszültség védelmi eszközök. 1. rész: Túlfeszültség levezetők nem lineáris ellenállásokkal és szikraközökkel, váltakozó áramú rendszerek részére.
- [12] MSZ EN 60071-2: 2000. Szigeteléskoordináció. 2. rész: Alkalmazási útmutató.
- [13] MSZ 447: 1998 Kisfeszültségű, közcélú elosztóhálózatra csatlakoztatás.
- [14] MSZ EN 50160:1995 A közcélú elosztóhálózatokon szolgáltatott villamos energia feszültségjellemzői.