

## Villamos érintésvédelem

A villamos energia ipari méretű felhasználása a század elején kezdett egyre nagyobb mértékben elterjedni és ezzel egyidőben jelentkeztek az áramütésből eredő balesetek is. Ennek következtében nagyarányú kutatás indult meg annak felderítésére, hogy milyen hatással van az emberi szervezetre a villamos áram. Ugyanakkor már foglalkozni kezdtek azokkal a kérdésekkel is, amelyek az áramütés kialakulásának lehetőségeit kutatta, azok megakadályozását célozta, illetve az ellene való védekezés elveit és módszereit alapozta meg.

Ezekből a vizsgálatokból kapott eredmények felhasználásával alakultak ki az érintésvédelem elvi és gyakorlati megoldásai, amelyeknek legfontosabb részét minden államban kötelezően betartandó szabványokban, rendeletekben rögzítettek. Ezeket Magyarországon az MSZ 170/1.sz. „Érintésvédelmi szabályzat 1000 V-nál nem nagyobb feszültségű erősáramú villamos berendezések számára”, illetve az MSZ 172/2, 3, 4. sz. „Érintésvédelmi előírások 1000 V-nál nagyobb feszültségű berendezések számára” megnevezésű szabványok tartalmazzák.

Hazánkban elfogadott elveket az érintésvédelmi megoldásokat az alábbiakban foglaljuk röviden össze.

### 1. A villamos áram élettani hatásai.

Köztudott, hogy az ember életfunkcióit, mozgásait belső, ún. bioáramok vezérlik. Ha ebbe a jól szervezett, összehangolt rendszerbe valamilyen külső hatás következtében idegen áramingerek, impulzusok hatolnak be, akkor az életműködésben zavarok keletkeznek és nem kívánt, sokszor szabályozhatatlan funkciók jönnek létre. Ezek igen gyakran súlyos baleseteket eredményezhetnek.

Igen sok, élő és elhalt emberen, valamint állatokon végzett vizsgálatok alapján az emberi szervezetnek a villamos árammal szembeni érzékenysége, férfiak esetében, 50 Hz-es frekvencia esetén az alábbi átlagos értékeket állapították meg

- érzetküszöb	0,5 – 1 mA
- erős rázásérzet	6 – 14 mA
- izomgörcs	20 – 25 mA
- szabálytalan szív működés	25 – 80 mA
- szívkamralebégés	80 – 100 mA
- pillanatos halál	100 mA felett.

A közölt adatok átlagértékek és csak 50 – 100 Hz frekvencia esetén, egészséges férfiakra vonatkoztathatók. Beteg, gyengébb fizikumú férfiakra, nőkre, gyermekekre ennél kisebb értékek érvényesek.

100 – 1000 Hz frekvencia értékhatárok között az áramütés biológiai hatásai enyhébbek és 1000 Hz felett egyre inkább érvényesül az ún. skin hatás, amelynek következtében az áram útja a szervezetben a bőrfelület közelében alakul ki, elkerülve a létfontosságú szerveket.

A vizsgálatok szerint a fent felsorolt biológiai hatásokat egyenáram alkalmazása esetén az 50 Hz – re megadott áramértékek 4 – 5-szörös értékével lehet csak előidézni. Az egyenáram tehát veszélytelenebbnek tűnik a váltakozó áramnál, azonban a sejt bomlasztó elektrolízis, valamint az ívképzésre való hajlam miatt szintén veszélyes.

Egyes kutatók szerint nemcsak az emberi szervezeten áthaladó áram nagysága a jellemző a veszélyesség mértékének meghatározásában, hanem az áthaladó töltésmennyiség is. Tehát a veszélyességet az árambehatás időtartama is befolyásolja. Ezt azonban igen nehéz

meghatározni, ezért a töltésmennyiség helyett az emberi szervezetet érő energiát szokták megadni.

Dalziel amerikai kutató szerint a szívkamralebegést az esetek 0,5 % -ban kiváltó dózist a következő összefüggés írja le.

$$I_e^2 t = 0,0156 \quad [A^2s],$$

ahol  $I_e$  az emberi szervezeten átfolyó áram [A]

$t$  a behatás időtartama [s]

és az összefüggés  $0,03 < t < 3$  s időhatárok között érvényes.

A megadott összefüggésből kifejezhető az az áram, amely az emberi szervezeten meghatározott ideig átfolyva, 99,5%-os valószínűséggel még nem okoz szívkamralebegést

$$I_e = \frac{0,125}{\sqrt{t}}$$

a kapott kifejezést az 1. ábrán tüntettük fel, amelyből megállapíthatjuk, hogyha a behatás időtartama igen rövid, akkor viszonylag nagyobb áramok sem okoznak veszélyes balesetet.

Az emberi szervezet érzékenységet a villamos áram szempontjából más kutatók az emberi testet ért villamos energiával fejezik ki. Ezek szerint kellemetlen érzést okoz, ha az emberi szervezetet kb. 0,25 Ws, és halálos kimenetelű, ha 50 Ws energia éri.

## 2. Az emberi test ellenállása

Számos mérési sorozat eredményeképpen tudjuk, hogy az emberi test tisztán ohmos jellegű és nagyságát tulajdonképpen két fő részből állónak tekinthetjük. Az első rész a belső, testnedvekkel átitatott szövetekből álló, amelynek villamos ellenállása 200-300 ohm, vagy még kevesebb. A másik részt, a külső bőrfelületet alkotja, amelynek ellenállása függ a bőr pillanatnyi állapotától (száraz, nedves, izzadt, vékony, vastag stb.) valamint a mérésnél alkalmazott feszültségtől.

Az emberi test ellenállása a feszültség függvényében a 2. ábrán látható. A test ellenállásának feszültségfüggése azzal magyarázható, hogy a testre jutó feszültség megoszlik a be és a kilépésnél lévő bőrfelületek, valamint a belső részek soros ellenállásán. A soros feszültségosztás következtében a bőrfelületekre jut a feszültség nagyobb része, amely növekvő feszültség esetén egyre nagyobb számú helyen ég át. Miután a nagy ellenállást jelentő bőrfelület nagyobb feszültség esetén sok helyen ég át, az eredő érték közelíteni fog a belső részek által meghatározott ellenállás értékhez.

Az érintésvédelmi számításoknál az emberi test sokféle, előre nem látható állapotait nem szoktuk figyelembe venni, hanem a legkedvezőtlenebb esetet vesszük alapul. Így az ember ellenállását egységesen  $R_e=1000$  ohm-mal vesszük számításban. Orvosi kezelőhelyeken, műtőkben ennél lényegesen kisebb értékkel.

### 3. A villamos áram élettani hatását befolyásoló tényezők

- a) az emberi szervezeten átfolyó áram nagysága
- b) a behatás időtartama
- c) az áram útja
- d) az áram frekvenciája
- e) az emberi test ellenállása
- f) az egyén testi és lelki állapota.

A felsorolt tényezőkről már többé-kevésbé volt szó és szerepük könnyen belátható. Kérdés, hogyan befolyásolhatja a baleset súlyosságát, a balesetet szenvedett testi és lelki állapota. Könnyen belátható, hogy fáradt, kimerült, esetleg ittas személy reakcióképessége hosszabb, mint egy egészségesé, ezért az áramütés által kiváltott menekülési reflex is lassúbb lesz, vagyis a behatás időtartama meghosszabbodik. A nem egészséges ember viszont hajlamos az izzadásra, ezért a bőrének ellenállása lényegesen kisebb lesz, aminek következtében nagyobb áram fog kialakulni benne.

### 4. Az érintés-feszültség meghatározása.

Láttuk, hogy a villamos áramütés veszélyességét az emberi testen átfolyó áramerősség nagysága határozza meg.

Egy balesetveszélyes helyen azonban nem lehet megmondani előre az emberen átfolyó áram nagyságát, sőt utólag sem lehet egy bekövetkezett baleset után rekonstruálni, hogy mekkora áram haladt át a balesetet szenvedett ember testén, olyan sok és bizonytalan tényező befolyásolhatja.

Ezért inkább abból indulnak ki, hogy az emberi test ellenállását a legkedvezőtlenebb 1000 ohm-mal számítva mekkora feszültséget kell rákapcsolni, hogy bizonyos fiziológiai hatások jöjjenek létre. Az emberi testre jutó feszültség tehát az

$$U_e = I_e R_e$$

szorzatból meghatározható. Ha a baleset súlyosságának megítéléséhez az így kiszámítható feszültséget rendeljük, akkor minden szituációban előre számíthatóvá, illetve utólag rekonstruálhatóvá válik egy-egy baleset körülménye. Most már csak az áramérték megadása szükséges.

A magyar előírások, amelyek megegyeznek a nemzetközi előírásokkal, alapját az képezi, hogy az áramütéses baleset semmiképpen nem okozzon halált. Ezért az emberi testet tartósan érő áramerősség legnagyobb értékét jóval a szívkamralebégést kiváltó határ alatt választotta meg. Ez pedig 50 mA. időn át érheti az emberi szervezetet

$$U_e = I_e \cdot R_e = 50 \cdot 10^{-3} \cdot 1 \cdot 10^3 = 50 \text{ V}$$

Ezt a feszültséget **limitfeszültségnek** ( $U_L$ ) nevezik és ez az érintési feszültség tartósan megengedett határértéke 100 Hz-nél nem nagyobb frekvenciájú, szinuszos váltakozó áram esetén, amelyet az embernek tartósan (súlyosabb károsodás nélkül) el kell viselni. Állandó egyen feszültség esetén – az egyenáram már tárgyalt okok miatt -  $U_L = 120 \text{ V}$ . 100-1000 Hz frekvenciájú váltakozó áram, valamint szaggatott egyenáram esetén az  $U_L$  értékét a szabvány nem írja elő pontosan, csak azt, hogy kísérleti vagy irodalom adatok alapján 50 és 120 V között kell meghatározni.

Egyes különleges helyekre, vagy berendezésekre, a körülményekre való tekintettel  $U_L$  értékét 50 V alatt is meg lehet határozni (pl. 25 V, esetleg 12 V váltakozó áram, egyenáram esetén 60 V, esetleg 30 V a szokásos érték.)

A limitfeszültség értékének megadásával így sikerült kiküszöbölni azt a nehézséget, amit az áramértékkel való számítás okozott.

Ezzel el lehetett érni, hogy egy-egy szituáció veszélyességének mértékét feszültséggel fejezhetjük ki, sőt ezt a feszültséget mindig meg lehet mérni. Így az érintésvédelem műszaki problémává vált, amelynek kezelése könnyű, csupán a megfelelő feltételeket kell biztosítani.

Azt, hogy ezeket a feltételeket hogyan lehet megvalósítani a következők során részletesen fogjuk tárgyalni.

## 5. Hogyan jöhet létre az áramütés

Ha az emberi test két, vagy több pontja különböző feszültségeket hidal át, akkor az Ohm-törvénynek megfelelő áramerősség jön létre a test egyes szakaszain. A belépő áramot a feszültség és az előzőekben leírt testellenállás határozza meg, amely mint láttuk tág határok között változhat, de az előírás értelmében mindig csak 1000 ohm-mal vesszük figyelembe. Ez esetenként igen nagy biztonságot hoz a számításban, de kiküszöbölni, vagy eltekinteni tőle nem lehet, mivel az emberi test ellenállását igen sok külső és belső, előre nem számítható tényező befolyásolja.

Az emberi testnek az áramkörbe kerülése alapvetően négy esetre vezethető vissza.

- a) fázis-föld érintés
- b) fázis-föld érintés
- c) hibafeszültség áthidalása
- d) lépésfeszültség áthidalása

Vizsgáljuk meg ezeket részletesen.

### 5.1. Fázis-föld érintés

Villamos energiarendszerünknek az a része, amely az ipari, háztartási, világítási fogyasztókat közvetlenül látja el (3x380/220 V-os háromfázisú rendszer) mereven földelt csillagponttal rendelkezik. Ez azt jelenti, hogy a háromfázisú rendszer csillagpontja minden közbeiktatott impedancia nélkül csatlakozik egy viszonylag nagyterjedésű földelő rendszerhez, (3. ábra).

A villamos energiarendszerek döntő többségében a kiefeszültségű hálózatok mereven földelt csillagponttal rendelkeznek és csak igen kis számban – különleges esetekben – található nem földelt, szigetelt csillagpontú hálózati rendszerek.

Itt kell megemlíteni azt, hogy a 380/220 V-os háromfázisú elosztórendszereket tápláló transzformátorok nagyobb feszültségű tekercselése (3kV – 35kV) kivétel nélkül delta (háromszög) kapcsolásúak és csillagpontjuk, ha olyan egyáltalán létezik, soha nincs a földdel mereven, kis impedancián át leföldelve.

A kiefeszültségű tekercsrendszer csillagpontjának leföldelése azt eredményezi, hogy a földet, mint referencia pontot kezelhetjük és a rendszerben lévő feszültségeket – kivéve a soros feszülteségeket, valamint a vonali feszültségeket – a földhöz, mint nullpotenciához viszonyíthatjuk.

Ha a talajt végtelen nagy keresztmetszete miatt igen jó vezetőnek tekintjük, akkor be lehet látni, hogy a talaj és bármelyik fázisvezető között a fázisfeszültség (220 V) jelenik meg, sőt terhelve sem fog lényegesen különbözni tőle.

Egy ilyen rendszerben tehát, ha valaki valamilyen módon érintkezésbe kerül a talajjal és az egyik fázisvezetővel, akkor az érintkezési pontok között a fázisfeszültség hatására létrejön az áramütés.

## 5.2. Fázis-fázis érintés

Ez a típusú áramütés a következő módon jöhet létre. A földtől teljesen elszigetelt személy egyszerre érint meg két fázisvezetőt. (4. ábra) Ekkor az áramütés nem a fázis feszültségtől, ha vonalfeszültségtől fog létre jönni, ezért rendszerint súlyosabb balesetet okoz.

E két esetnek az a közös tulajdonsága, hogy az **üzemszerűen feszültség alatt álló** alkatrész (vezető, villamosgép, vagy készülék csatlakozó kapcsa stb.) megérintését tételezi fel. Az ilyen jellegű balesetek megelőzése, illetve az ellenük való védekezés nem tárgya az érintésvédelemnek, azokat más előírások tartalmazzák. Itt csak annyit kell megjegyezni, hogy azokat a villamos berendezéseket, amelyek áramütéses balesetet okozhatnak, úgy kell szerelni, hogy abban az üzemszerűen feszültség alatt álló alkatrészeket **véletlenül** se lehessen megérinteni sem kézzel, sem valamilyen eszközzel. A szándékos érintés ellen egyébként úgyszemint lehet védekezni.

Az elmondottak miatt e két esettel a továbbiakban nem is fogunk foglalkozni.

## 5.3. Hibafeszültség áthidalása

A villamos gépek, készülékek, szerszámok burkolatait, kezelőfogantyúit használat közben alkalmanként vagy állandóan fogni kell. Normális körülmények között ezek megfogása veszélytelen, mert jól el vannak szigetelve az üzemszerűen feszültség alatt álló alkatrészekről. Ezek a burkolatok, fogantyúk stb. **üzemszerűen nem állnak feszültség alatt**, tehát áramütés veszélye nélkül meg lehet, sőt a munkavégzés érdekében meg is kell őket fogni.

Ha azonban a szigetelés sérülése következtében a burkolat érintkezésbe kerül a feszültség alatt lévő alkatrészrel, akkor annak érintése áramütést okozhat.

Sajnos nincs érzékszervünk arra, hogy meg tudjuk állapítani egy fém tárgyról, hogy a környezetéhez képest milyen potenciálon van, ezért az ilyen, a meghibásodás következtében feszültség alá került tárgyat gyanútlanul érintünk fogunk meg. Az ebből származó balesetek megelőzésével, ill. az ellene való védekezéssel foglalkozik az érintésvédelem.

Vizsgáljuk meg azt, hogy egy meghibásodás miatt feszültség alá került berendezés megérintése esetén mekkora feszültség jut az emberre.

A kérdés tisztázása érdekében az érintésvédelem klasszikus módszeréből indulunk ki. Adva van egy táptranzformátor, amelynek mereven földelt csillagpontja van és egy fogyasztót lát el. (5. ábra)

A fogyasztó érintésvédelmét úgy biztosítjuk, hogy az **üzemszerűen feszültség alatt nem álló**, de megérinthető fém alkatrészeit egy védőföldeléshez ( $R_v$ ) kötjük. Ezzel biztosítani lehet, hogy a megérinthető alkatrészek hibátlan állapotban a környezetükhöz képest nem lesznek potenciálon, így a géppel biztonságosan lehet dolgozni.

Megváltoznak a viszonyok, ha a gép egyik fázisának meghibásodik a szigetelése és a fázisvezető hozzá ér a megérintható, de a leföldelt alkatrészhez. Az 5. ábrán a vastag vonallal megjelölt zárt körben a fogyasztó névleges áramánál jóval nagyobb – zárlati áram jön létre. A létrejövő áramot a fázisfeszültség és a kör ohmos ellenállásainak viszonya fogja meghatározni. (a kör reaktanciáit ez esetben el lehet hanyagolni). Milyen ellenállásokat lehet ebben az áramkörben figyelembe venni

- a) a hozzávezetés ellenállását  $R_F$ ,
- b) a védőföldelés szétterjedési ellenállását  $R_V$ ,
- c) a transzformátor csillagponti földelésének, az üzemi földelésnek a szétterjedési ellenállását  $R_{\tilde{u}}$ ,
- d) a talaj és egyéb, nem ismert ellenállásokat  $R_{\text{egyéb}}$ ,

Ezekkel az ellenállásokkal fel lehet már a testzárlatos kör helyettesítő vázlatát rajzolni. (6. ábra)

Ránézéssel könnyen belátható, hogy a védőföldelés két sarka között fellépő feszültség különbség, a hibafeszültség,  $U_H$  az alábbi összefüggés segítségével határozható meg

$$U_H = I_Z R_V = U_F \frac{R_V}{\Sigma R}$$

ahol

$U_F$  a fázisfeszültség

$U_H$  a hibafeszültség, amely a meghibásodás folytán feszültség alá került test és a végtelen távoli földpotenciálú hely között fellépő feszültség.

$\Sigma R$  a körben lévő valamennyi soros ellenállás

Ha ezt a testzárlatos gépet megérinti, vagy megfogja valaki, akkor a 7. ábrának megfelelő szituáció jön létre. Testével tulajdonképpen a védőföldelésen létrejött feszültséget hidalja át.

A helyettesítő vázlatunkban ezt az esetet a 8. ábra szerint lehet figyelembe venni, amelybe berajzoltuk az emberi test ellenállását jelképező  $R_e$  ellenállást, valamint egy vele sorba kötött további ellenállást, amely az emberi test és a környezet közötti ellenállást veszi figyelembe ( $R_1$ ). Ez az ellenállás a legáltalánosabb esetben az ún. **talpponti ellenállás**, amely például a padozat minőségét (száraz, nedves, vezető, nem vezető stb.) valamint a lábbeli minőségét veszi figyelembe.

De ez az ellenállás lehet például egy gumi védőkesztyű ellenállása is vagy bármi, ami az emberi testet a földtől elszigeteli.

A 8. ábra szerint az emberi testen átfolyó áram értékét a következő módon lehet meghatározni, azzal a mindig fennálló feltétellel, hogy  $I_Z \gg I_e$ .

$$I_e = \frac{U_H}{R_e + R_1}$$

azaz az emberi testen átfolyó áram nagyságát a hibafeszültség és az emberi test ellenállása a talpponti ellenállással együtt határozza meg.

Az előzőekben kifejtett okok miatt nem az áramot, hanem a feszültséget kell meghatározni, ez pedig így írható fel

$$U_e = I_e R_e = U_H \frac{R_e}{R_e + R_1}$$

ahol  $U_e$  a testzártos gép megérintése esetén az emberre jutó feszültség

$U_H$  a védőföldelésen lévő feszültség, vagy hibafeszültség

látható, hogy ha  $R_1 \neq 0$ , vagyis az ember nincs közvetlen kapcsolatban a földpotenciálú hellyel, akkor  $U_e < U_H$ , vagyis a talpponti ellenállás csökkenti az emberi testre jutó feszültség nagyságát. Ez a csökkentés igen nagy talpponti ellenállás esetén olyan mértékű lehet, hogy az emberre elhanyagolhatóan kicsi feszültség jut. Ezt a hatást az érintésvédelem bizonyos módszerinél tudatosan ki is használjuk és élünk a lehetőséggel. Más esetben azonban a talpponti ellenállás értéke rendkívül bizonytalan és változó lehet (pl. egy száraz padozatú helyiség takarítás következtében átnedvesedik, vagy a géphez nyúló személy átázott cipőben van stb.) Ezért az érintésvédelem a talpponti ellenállás értékét a biztonság irányában való eltérés érdekében mindig  $R_1 = 0$  értékkel veszi figyelembe. Kivéve, ha az érintésvédelmet éppen a nagy talpponti ellenállásra alapozzuk.

Ha a talpponti ellenállást elhanyagoljuk, akkor az emberi testre jutó feszültség azonos lesz a védőföldelésen fellépő feszültségeséssel, azaz

$$U_e = U_H = I_z R_v$$

tehát az érintési feszültséget ez esetben a védőföldelés szétterjedési ellenállásának és a rajta folyó áramnak szorzatával definiáljuk.

A hibafeszültség áthidalásának egyik esete és a belőle származó áramütés tehát a fentiek szerint értelmezhető.

A hibafeszültség áthidalásának más elvi esete is lehetséges. Ez főleg akkor fordul elő, ha egy ember által egyidejűleg megérinthető két olyan villamos fogyasztó van, amelyek más-más fázisban hibásodtak meg (9. ábra). Ez esetben a két gépet megérintő nem a fázis, hanem a vonali feszültséget hidalja át, amely súlyosabb balesetet okozhat.

#### 5.4. Lépésfeszültség áthidalása

Az előző fejezetben szó volt arról, hogy a talaj, mint vezető a rendkívül nagy keresztmetszete következtében elhanyagolható ellenállású. Ez a feltételezés csak a földelő rendszertől távoli pontokon teljesül. A földelők közvetlen közelében már nem, hiszen a földelőt véges keresztmetszetű talaj övezi, ugyanakkor itt a legnagyobb az áramsűrűség is. Ezért egy árammal terhelt földelő környezetében a talaj potenciálja pontról pontra más lesz. Ha ezen a területen ember vagy állat közlekedik, akkor a lábai által áthidalt pontok közötti potenciálkülönbség okozhat áramütést.

A viszonyokat a 10. ábra tünteti fel. Lépésfeszültség ( $U_1$ ) az a feszültség, amely lépés közben a talajt érintő lábak között, a talajban folyó földzárlati áram hatására fellép. Kisfeszültségű hálózaton, ha az érintésvédelem egyébként helyesen van méretezve és kialakítva, akkor veszélyes lépésfeszültség nem keletkezik. Nagyfeszültségű hálózatoknál, ahol a földzárlati áramok is jóval nagyobbak, már komoly veszélyt jelenthet a lépésfeszültség kialakulása, különösen ott, ahol nem szigetelő anyagból készült hosszabb tárgyakat emberi erővel szállítanak, vagy rakodnak. Ezekben a helyeken a lépésfeszültség okozta baleset ellen is védekezni kell.

A lépésfeszültség fogalmának megismerése kapcsán láttuk, hogy a földelő közelében a talaj potenciálja meredeken változik, míg távolabb sokkal kisebb mértékben. Vizsgáljuk meg ezeket a viszonyokat két olyan földelő esetén, amelyeken áramot hajtunk át. (11.a. ábra)

Ha egy voltmérővel megmérjük a talaj potenciálját, pl. az „A” jelű földelőhöz képest akkor a 11.b. ábrán látható feszültségelosztást kapjuk a két földelő között. A földelők közelében a potenciál meredeken változik, a közbenső talajon alig. Ezt már a lépésfeszültség tárgyalásakor is láttuk, de itt most az érintésvédelem szempontjai szerint vizsgáljuk meg ezt a kérdést.

Tételezzük fel, hogy az „A” jelű földelő a meghibásodás során potenciál alá került villamos géphez csatlakozik. Kérés most az, hogy a gépet megérintő személyre mekkora érintési feszültség jut. Azt már láttuk, hogy a hibafeszültség

$$U_H = U_A = I \cdot R_A \text{ értékű lesz.}$$

Kérdés, hogy az érintési feszültséget befolyásolja-e a gépet érintő személy elhelyezkedése. A vizsgálathoz továbbra is tartjuk meg azt a korábbi feltételezést, hogy a talpponti ellenállás nulla értékű.

Egyszerűen belátható, hogy ha a gépet érintő személy pontosan a földelőn áll, akkor reá potenciál nem jut  $U_e = 0$ , és minél távolabb helyezkedik el a földelőtől, de még a másik földelő potenciál tölcserébe nem belépve, az érintési feszültség annál inkább megközelíti a hibafeszültség értékét. Ezért a további számításokban – kihasználva az eset adta biztonságot – mindig feltételezni fogjuk, hogy a meghibásodott gépet érintő személy nem a földelő közelében van, hanem attól elegendő távol ahhoz, hogy  $U_e = U_H$  értékkel lehessen számolni.

A mi szempontunkból a potenciál eloszlásnak azt a szakaszát, ahol az már csak igen csekély mértékben változik a végtelen távoli pontnak tekintjük. Ez a pont a gyakorlatban egyszerű földelőnél nincs nagyobb távolságban 2-5 m-nél. Ha a talaj fajlagos ellenállása kicsi, úgy távolabb kerül, míg rossz talaj, tehát nagy fajlagos ellenállás esetén közelebb.

Sokszor érdekes lehet a földtől számított potenciál értékének a meghatározása is. Ehhez használjuk fel az elméleti villamosságtanból a félgömb földelőkre vonatkozó ismereteket és annak alapján írjuk fel az  $R_A$  földelő ellenállást úgy mintha az félgömb földelő lenne.

$$R_A = \frac{\rho}{2\pi r}$$

$\rho$  a talaj fajlagos ellenállása [ohm m]

$r$  a félgömb földelő sugara [m]

A félgömb földelőn ha  $I$  áram folyik a talajba, akkor a földelő közelében a talaj potenciálja az alábbi összefüggéssel fejezhető ki

$$U_x = U_A \frac{r}{x} = I R_A \frac{r}{x} = I \frac{\rho}{2\pi x}$$

ahol $U_x$	a földtől $x$ távolságban mért potenciál	[V]
$r$	a félgömb földelő sugara	[m]
$x$	a földelőtől mért távolság	[m]
$\rho$	a talaj fajlagos ellenállása	[ohm.m]
$I$	a földelőn átfolyó áram	[A]
$R_A$	a földelő szétterjedési ellenállása.	



Az itt közölt összefüggés természetesen csak  $x > r$  értékre ad helyes eredményt. A félgömb földelő sugarának meghatározása az

$$r = \frac{\rho}{2\pi R_A}$$

összefüggésből számítható.

A közölt összefüggések csak  $x \geq r$  esetén alkalmazhatók.

### 6.1. Az érintésvédelem elvi alapja

A 4. fejezetben megtudtuk, hogy a magyar előírások szerint csupán a limitfeszültségnél nem nagyobb feszültség juthat az emberi testre. Ez a feszültség súlyos, de még nem életveszélyes balesetet képes okozni. Nem beszéltünk azonban még arról, hogy milyen eljárást kell követni, ha valamely helyen az érintési feszültség meghaladja a limitfeszültség értékét.

Vegyük szemre a 6. ábrán látható helyettesítő vázlatot és próbáljuk meghatározni az ott fellépő érintési feszültség nagyságát. Ezt a körben szereplő három ellenállás viszonya határozza meg. A hozzávezetés ellenállása ( $R_F$ ) ebben a rendszerben elhanyagolható, tehát  $R_F = 0$ . Az üzemi földelés ellenállását ( $R_{\dot{u}}$ ) az áramszolgáltató köteles minél kisebb értékre készíteni. Értéke általában 2 ohm alatt szokott lenni. A védőföldelést ( $R_V$ ) a gép, berendezés üzembentartójának kell készíteni és az a tapasztalat szerint 10-20 ohm szokott lenni. Ennél kisebb szétterjedési ellenállással rendelkező földelést különleges módszerekkel lehet készíteni. Így az érintési feszültség pl.

$$U_e = U_f \frac{R_V}{R_V + R_{\dot{u}}} = 220 \frac{10}{10 + 2} = 183 \text{ V lesz.}$$

Ha tehát egy ilyen rendszerben testzárlat keletkezik, akkor a gép burkolatán olyan nagy érintési feszültség jön létre, amely meghaladja a megengedett limitfeszültség értékét és súlyos, halálos baleset előidézője lehet.

Ennek megakadályozása érdekében a Szabvány nemcsak az érintési feszültség nagyságát határozza meg, hanem előírja, hogyha valamely helyen az érintési feszültség nagyobb a megengedettnél, akkor azt a gépet, készüléket **meghatározott időn belül, önműködően** le kell kapcsolni a táphálózatról.

Ez az előírás a következőképpen fogalmazható meg.

Az ún. védővezetős érintésvédelemnek önműködően és gyorsan ki kell kapcsolniuk minden olyan testzárlatot, amely a megengedett limitfeszültségnél ( $U_L$ ) nagyobb érintési feszültséget okoz. Mégpedig a hordozható vagy üzembentartásban áthelyezhető fogyasztókészülékeket tápláló végponti áramkörök érintésvédelmi kikapcsolásának késleltetés nélkül (általában 0,2 s alatt) kell működni. Ebbe a kategóriába tartoznak általában a csatlakozó aljzatok és hozzájuk tartozó fogyasztó készülékek (pl. vasaló, főzőlap, stb.).

Minden egyéb (pl. csak rögzített fogyasztókészülékek, egyéb villamos szerkezetek érintésvédelmi kikapcsolását végző) érintésvédelmi kikapcsolószerv működését – szelektivitási vagy üzemi szükség esetén – legfeljebb 5 s időtartamra szabad késleltetni

Ezek az előírások tehát azt jelentik, hogy ha valahol nem biztosítható az érintési feszültségnek a limitértéknél kisebb értéke, ott önműködően lekapcsolásról kell gondoskodni. A lekapcsolási idő hordozható készülékek esetén 0,2 s-nál egyéb fogyasztóknál nagyobb nem lehet.

## 6.2. Az érintésvédelem szükségessége

Érintésvédelemmel el kell látni minden olyan erősáramú villamos szerkezetet, amely erősáramú táplálását (villamos vagy mágneses kapcsolaton át) más villamos szerkezettől kapja.

Gyengeáramú (híradástechnikai berendezések érintésvédelmére, beleértve a beépített tápegységet, külön szabvány tartalmaz előírásokat (MSZ 91). E szabvány azonban nemhogy engedményeket tenne, hanem még szigorít is, és a közhasználatú, hálózati, elektronikus készülékek érintésvédelmét visszautalja az MSZ 172 Érintésvédelmi szabályzat hatálya alá. Kimondja egyebek között ugyanis: „ A közhasználatú, hálózati, elektronikus készülékek érintésvédelmét az ún. I. vagy II. érintésvédelmi osztály követelményeinek megfelelően kell megvalósítani.

Az olyan **gyermekjátékok** esetén, amelyeket a gyermek felügyelet nélkül használhat, érintésvédelmi módként legfeljebb 25 V névleges értékű érintésvédelmi törpefeszültséget kell alkalmazni.

**Fodrászati, kozmetikai** vagy szakképesítés nélkül is kezelhető berendezések esetén azoknak a részeknek az érintésvédelmét, amelyek a kezelt személy testével rendeltetésszerűen érintkezésbe kerülnek, legfeljebb 25 V-os névleges értékű törpefeszültség alkalmazásával vagy a villamos szerkezet elszigetelésével vagy védőelválasztással kell megoldani.

## 6.3. Az érintésvédelem módszerei

Az érintésvédelem alkalmazott módszereit két csoportba szokták sorolni. Az egyik csoportba az ún. **aktív** érintésvédelmi módszerek tartoznak, amelyeket az jellemez, hogy ha az érintési feszültség meghaladja a megengedett értéket, akkor önműködően, az előírt időn belül lekapcsolja a meghibásodott készüléket.

A másik csoportba az ún. **passzív** érintésvédelmi módszerek tartoznak, amelyeknek jellemzője, hogy az érintési feszültséget mindig veszélytelen értéken tartják, tehát lekapcsolás nem szükséges.

### Aktív érintésvédelmi módszerek

	- -	<u>jele</u>
-	védőföldeléses jel	VF
-	nullázás	NU
-	egyenpotenciálra hozás	EPH
-	áramvédő – kapcsolás	ÁVK.

### Passzív érintésvédelmi módszerek

-	kettős szigetelés	KSZ
-	törpefeszültség	TF
-	védőelválasztás	VE

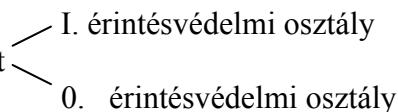
## 6.4. Érintésvédelmi osztályozás

A hazai gyakorlatban bevezetésre került egy olyan osztályozási rendszer, amely utalást ad az érintésvédelem megvalósításának módjára. Ezek az osztályok nem jelentenek rangsorolást, csupán jelzik a készüléken alkalmazott érintésvédelem módját.

- **0. érintésvédelmi osztály.** Ezeknél a gyártmányoknál az áramütés elleni védelem az alapszigetelésen alapul. Az üzemi szigetelés meghibásodása esetén a védelem a környezetre hárul. Ilyenek pl. az íróasztallámpák.

- **I. érintésvédelmi osztály.** Itt az áramütés elleni védelem nem csak az alapszigetelésen alapul, hanem járulékos biztonsági óvintézkedést is alkalmaznak olyan módon, hogy a gyártmány teste el van látva olyan szerkezettel, amelyhez a villamos hálózat védővezetője csatlakoztatható.

Ezáltal nem kerülhetnek tartósan veszélyes feszültség alá.

Csatlakozó vezeték miatt 

- **II. érintésvédelmi osztály.** Ezeknél a gyártmányoknál az áramütés elleni védelem nemcsak az alapszigetelésen alapul, hanem a gyártmányt kettős szigeteléssel vagy megerősített szigeteléssel látják el és a gyártmány nincs ellátva a védővezető csatlakoztatására szolgáló szerkezettel, így a védelem független a villamos hálózattól. Megkülönböztetnek fémburkolatú és fémburkolat nélküli II. év. osztályú készülékeket is. Egy gyártmány akkor minősül fémburkolatúnak, ha az érinthető fémrésze 50x50 mm-nél nagyobb.

- **III. érintésvédelmi osztály.** Ahol a gyártmány áramütés elleni védelme érintésvédelmi törpefeszültségű tápláláson alapul és amelyben nem állítanak elő a táplálásnál nagyobb feszültséget.

- **III. A érintésvédelmi osztály.** Azok a gyártmányok tartoznak ide, amelyekben sem a tápfeszültség, sem a belső feszültségek nem haladják meg az 50 V-os váltakozó ill. 120 V egyenfeszültség értékeket.

- **III. B. érintésvédelmi osztály.** Azok a gyártmányok tartoznak ide, amelyeknek sem névleges tápfeszültsége, sem a benne előállított feszültség névleges értéke nem nagyobb váltakozó áram esetén 25V, egyenáram esetén 60 V-nál.

- **III. C. érintésvédelmi osztály.** Azok a gyártmányok tartoznak ide, amelyeknek sem a névleges tápfeszültsége, sem a benne előállított névleges értéke nem nagyobb váltakozó áram esetén 12 V, egyenáram esetén 30 V-nál.

## 2. Aktív érintésvédelmi módszerek

### 2.1. Védőföldelés (VF)

A védőföldeléses érintésvédelem lényege az, hogy a védendő gép, készülék fémburkolatát egy megfelelően méretezett és elkészített földelőhöz csatlakoztatjuk (5. ábra). Ezt a hálózati rendszert, amelyben a csillagpont mereven földelt és a fogyasztók védőföldeléssel vannak ellátva TT rendszerűnek nevezik.

Itt a T betű, a terre = közvetlen földelés tényét jelöli.

Az 5.3. és a 6.1. fejezet kapcsán már láttuk, hogy testzárlat esetén az érintési feszültség az

$$U_e = U_f \frac{R_V}{R_V + R_{\bar{V}}}$$

összefüggéssel határozható meg. Azt is láttuk, hogy az ebben a rendszerben kialakuló érintési feszültség mindig nagyobb, mint a megengedett, tehát önműködő lekapcsolásról kell gondoskodni. A lekapcsolást ez esetben elláthatja a készülék áramkörébe iktatott olvadóbiztosító, vagy túláramvédelem.

Az Érintésvédelmi Szabályzat előírja, hogy egyszerű érintésvédelem alkalmazása esetén 50 V érintési feszültség fölött 5 másodpercen belül le kell kapcsolni a hibás készüléket a hálózatról.

Induljunk ki abból, hogy a készülék lekapcsolását az áramkörbe iktatott olvadóbiztosító fogja elvégezni. Ezen a biztosítón az  $I_z$  zárlati áram fog átfolyni és kiolvasztja.

Ismert dolog az olvadóbiztosítók kiolvadási karakterisztikája az áram függvényében (12. ábra).

Látható, hogy csak egy meghatározott áramerősség fölött válik pillanatműködésűvé, ez alatt a kiolvadási idő az átfolyó áramtól erősen függ. Mindenesetre a jelleggörbében található egy olyan áram, amely a biztosítót 5 s alatt olvasztja ki. Ezt a ténytet fel lehet használni a méretezésre. A védőföldelés szétterjedési ellenállásának értékét úgy kell megválasztani, hogy azon az 5 s-hoz tartozó áram ( $I_5$ ) éppen a megengedett érintési feszültséget, 50 V-ot hozza létre. Ezeknél kisebb áram nyilván kisebb feszültséget hoz létre, amely korlátlan ideig fenn állhat, a nagyobb áram ugyan nagyobb érintési feszültséget okoz, de az előírt időn belül lekapcsolódik. (Ez a gondolatmenet értelemszerűen a túláramvédelemre is igaz, csupán ott a túláram relé karakterisztikájából kell kiindulni.)

A most nyert eredménynek van egy hibája, a biztosítóbetéteknek nem ismert az előírt kiolvadási áramértékük, ezért ezeket az olvadóbetét névleges áramával ( $I_{BN}$ ) szokták egy szorzó ( $\alpha$ ) segítségével megadni.

$$I_5 = \alpha I_{BN}$$

Az  $\alpha$  szorzó ajánlott értékei:

	hordozható készülékek	egyéb készülékek
NOR olvadóbetétek esetén	-	2
Gyors olvadóbetétek esetén	-	3
Késleltetett olvadóbiztosítók esetén	-	4
Motorvédő jellegű („U” típusú) kismegszakító esetén	10	4
Egyéb kismegszakító esetén	5	4

Tekintettel arra, hogy a biztosítóbetétek névleges áramértékét a fogyasztókészülékek üzemi árama, indítási körülményei megszabják, a számítandó mennyiség a védőföldelés szétterjedési ellenállása, azaz

$$R_V \leq \frac{U_L}{\alpha \cdot I_{BN}} \text{ ohm}$$

Természetesen, ha a védőföldelés adott, akkor az, ott megfelelő érintésvédelemmel ellátható készülék teljesítményét meghatározza, mert a legnagyobb névleges áramú biztosítóbetét, amelyet még alkalmazni lehet

$$I_{BN} \leq \frac{U_L}{\alpha \cdot R_V}$$

A fenti módszerrel méretezett védőföldeléses érintésvédelem mindaddig megbízhatóan működik, amíg valami a körben meg nem változik. A földelési ellenállás értéke megnő, mert a talaj kiszáradt, vagy egyszerűen elszakadt a földelővezető. Vagy a számítottnál nagyobb értékű olvadóbetétet helyeztek a készülék elé, esetleg a biztosítót megpatkolták, vagy magát a

gépet nagyobbra cserélték. Ezért az időszakos felülvizsgálat és a változtatások következményének számítása elengedhetetlen.

Azok részére, akik a fentieket figyelmesen átolvasták és megértették, nyilvánvaló, hogy minél nagyobb teljesítményű gépet akarunk védőföldeléses érintésvédelemmel ellátni, annál kisebb szétterjedési ellenállással rendelkező védőföldelést kell készíteni. A szétterjedési ellenállás csökkentésének gyakorlati és gazdasági akadályai vannak. Igen kicsi szétterjedésű ellenállással rendelkező földelés még sok földelő párhuzamos kapcsolásával sem valósítható meg. Ezért a védőföldeléses érintésvédelemnek korlátai vannak. Általában 5kW feletti háromfázisú fogyasztót lehet még így megfelelő érintésvédelemmel ellátni, ennél nagyobbát már nem.

A védőföldelés ellenállásának minden határon történő csökkentése már azért sem lehetséges, mert ekkor a 6. ábra szerint a feszültség áttolódik a transzformátor csillagpontjában levő üzemi földelésre és ezzel a csillagpont potenciálja emelkedik meg.

Ott, ahol sok fogyasztó védőföldeléses érintésvédelmét kell megvalósítani, nem lehet minden géphez egyedi földelést készíteni. Ezekon a helyeken kialakítanak egy sok földelőből álló rendszert, ezeket párhuzamosan kötik és ehhez a földelő rendszerhez ún. földelőhálózathoz csatlakoztatják a védendő készüléket.

## 2.2. Nullázás (NU)

A védőföldeléses rendszernek az a hátránya, hogy a testzárlatos kör zárlati áramát a földelési ellenállások viszonylag nagy értéke miatt nem lehet tetszésszerűen nagyra növelni, hogy nagyáramú biztosítót is ki lehessen olvasztani vele. Ezért szab határt a védendő gép teljesítménye a védőföldelés alkalmazásának.

A problémán úgy lehet segíteni, ha a zárlati kört nem a földelések alkotta hurokból, hanem fémesen alakítjuk ki. Ezért a védendő berendezés üzemszerűen feszültség alatt nem álló, de megérintható vezetőből készült alkatrészeit megfelelő vezetővel összekötjük a táptranszformátor csillagpontjával (13. ábra). Ez a nullázásos érintésvédelem elve. Ezt a hálózati rendszert TN rendszerűnek nevezik, ahol a T betű ismét a csillagpont mereven földelt voltára utal, míg az N betű azt jelenti, hogy a rendszer nullavezetője közvetlenül a védendő gép testére van kötve.

Testzárlat alkalmával a vastagon húzott körben alakul ki a zárlat, az így létrejövő áram azonban a fémes kapcsolat miatt sokkal nagyobb, mint a védőföldeléses rendszerben, ezért igen nagy teljesítményű fogyasztók elé kapcsolt biztosítók kiolvasztására is alkalmas. A testzárlatkor keletkező áram igen nagy, rövidzárlat jellegű, mert értékét csak a fázis és a nullavezetőből alkotott hurok impedanciája, az ún. hurok impedancia ( $Z_H$ ) határozza meg. A kör reaktanciája általában nem hanyagolható el. Elhanyagolása csak az esetben lehetséges, ha ez a zárlati áram számított értékét 10 %-nál nagyobb mértékben nem hamisítja meg.

### **Hogyan lehet értelmezni a nullázásos érintésvédelmi rendszerben az érintési feszültséget?**

Induljunk ki a 13. ábrán látható kapcsolási vázlatból. Ebben a kapcsolatban egyenlőre csak a transzformátor csillagpontjában van földelés, a fogyasztónál, vagy máshol nincs. Ha a fogyasztónál testzárlat keletkezik, akkor a fázisvezető – nullavezető körben kialakul a zárlati áram, amely nem folyik át a csillagponti földelésen, ezért a transzformátor csillagpontjának feszültsége továbbra is földpotenciálon marad. A fázisfeszültséget pedig a fázisvezető impedanciája és a nulla vezető impedanciája, mint egy feszültség osztó elosztja a fázis-, illetve nullavezetőre (14. ábra).

A nullavezető potenciálja a testzárlatos gépnél

$$U_0 = I_Z Z_0,$$

ahol a  $Z_0$  a csillagponti és a zárlatos gép közötti nullavezető szakasz impedanciája.

Tekintettel arra, hogy a testzárlatos gép környezete föld, illetve nulla potenciálon van, a **nullavezetőn lévő feszültségés egyúttal az érintési feszültség is**, azaz

$$U_e = U_f \frac{Z_0}{Z_H}$$

ha a kör reaktanciái elhanyagolhatók, akkor az érintési feszültség az ohmos ellenállásokkal is meghatározható

$$U_e = U_f \frac{R_0}{R_F + R_0},$$

ahol  $R_0$  a nullavezető ohmos ellenállása  
 $R_F$  a fázisvezető ohmos ellenállása.

A fenti összefüggésből belátható, hogy ha a nullavezető azonos anyagú és keresztmetszetű, mint a fázisvezető, akkor az érintési feszültség a fázisfeszültség fele lesz. Ez a feszültség általában nagyobb, mint ami megengedhető, ezért lekapcsolásról itt is gondoskodni kell. A lekapcsolás eszköze lehet itt is biztosítóbeté, vagy túláramvédelem. A számítás alapját az ún. biztos kikapcsolásra való méretezés képezi, vagyis a zárlati áramnak mindenképpen nagyobbak kell lenni, mint a biztosító 5 s-os kiolvadási árama, azaz

$$\alpha I_{BN} \leq I_Z = \frac{U_f}{Z_H}.$$

A leírt módon elkészített nullázásos érintésvédelem előnye, hogy gyakorlatilag bármilyen nagyteljesítményű fogyasztóhoz is alkalmazható, hiszen minél nagyobb teljesítményű a fogyasztó, annál nagyobb keresztmetszetű csatlakozóvezetékre van szükség és ez a hurokimpedancia értékét csökkenti le olyan mértékben, hogy a zárlati áram mindig többszöröse a fogyasztó névleges áramának, tehát a biztosító kiolvasztásának a feltétele teljesül.

A nullázásos érintésvédelem fenti előnyén kívül számos tényező és szempont van, amelytől eltekinteni nem lehet, sőt esetenként hátrányként jelentkezik.

### **Szempontok a nullázásos érintésvédelem alkalmazásánál**

a.) **A nullázásos érintésvédelem alkalmazásához előzetesen meg kell kérni az illetékes áramszolgáltató vállalat engedélyét.** Ennek az előírásnak a magyarázata egyrészt az, hogy a nullázásos érintésvédelem alkalmazásának feltételéhez az áramszolgáltatóra bizonyos kötelezettségek hárulnak. Így pl. a táptranzformátornak üzemi földeléssel kell rendelkezni, a vezetékhalózat nullavezetőjét rendszeres távolságokon megfelelő földeléssel kell ellátni, a táphálózaton megfelelő szakaszbiztosítókat kell elhelyezni, ennek ismeretében meghatározza a fogyasztónál alkalmazható legnagyobb névleges áramú olvadóbiztosítót, vagy védelmet és azok jellegét stb. Az engedélyezési kötelezettség másrészt azért áll, mert egy táptranzformátorhoz csak egyazon típusú érintésvédelmet szabad alkalmazni. Egyidejűleg TT és TN rendszerű érintésvédelem nem alkalmazható. A

nullázásra (TN) való áttérés idején 1 hónapnál hosszabb ideig a TN és TT rendszer együttes alkalmazása tilos.

A vegyes érintésvédelem veszélyét a 15. ábrán lehet belátni. Itt egy nullázásos és egy földeléses érintésvédelemmel ellátott fogyasztó van. Ha a földeléses érintésvédelemmel ellátott fogyasztó meghibásodik, akkor csillagpont feszültségemelkedése a nullázás miatt megjelenik a nullázott fogyasztó burkolatán is, és ez mindenképpen balesetveszélyes.

**b.) A nullavezetőbe, valamint a nullavezetőbe olvadóbiztosítót, vagy kapcsolókészüléket építeni tilos.**

Magyarázatul a 16. ábra szolgáljon. Ezen a nullavezető meg van szakítva. Ha egy ilyen hálózaton egy nullázott gép meghibásodik, akkor nem tud olyan nagy áram kialakulni, amely a készülék biztosítóját működtetni tudná, ezért a gép burkolatán az érintési feszültség, amely a fázisfeszültséggel csaknem azonos korlátlan ideig jelen lehet.

Ugyanilyen helyzet áll akkor is elő, ha a 16. ábrán feltüntetett módon bekapcsolnak egy egyfázisú fogyasztót. A fogyasztó ugyan nem fog működni, vagy csak igen korlátozott módon, de viszont az impedanciáján keresztül a nullavezetőt feszültség alá helyezi. Ezért a nullavezető szerelését is olyan gondosan kell végezni, hogy annak folytonossága semmilyen körülmények között ne szakadhasson meg.

Olyan kapcsolókészülék alkalmazása, amely a nullavezetőt kényszerkapcsolat révén a fázisvezetőkkel együtt szakítja meg, megengedett.

**c.) A nullavezetőt nem elegendő csak a transzformátor csillagpontjánál földelni, hanem a fogyasztók csatlakozásánál és a vezetők végén is, valamint közcélú hálózaton 350 m-ként.**

A nullázásos érintésvédelem elvi alapjaiból következik, hogy valamennyi védett gép burkolata azonos potenciálon van. A nullavezető széthordja az érintési feszültséget és az minden gépen megjelenik.

A nullavezető több ponton történő földelése csökkenti az érintési feszültség nagyságát és egyúttal némileg véd a nullavezető szakadásakor fellépő problémák ellen is, mert ekkor a rendszer átalakul földeléses érintésvédelművé, amely ugyan nem lesz kielégítő, de még mindig jobb, mint a védelem teljes hiánya. A nullavezető több ponton történő földelésének érintési feszültség csökkentő hatását a 18. ábrán lehet követni.

Itt két helyen van földelés, a transzformátornál és magánál a fogyasztónál. Ezzel egy söntágot képeztünk a nullavezetővel párhuzamosan. A zárlati áram ( $I_z$ ) a gépnél elágazik a nullavezető felé ( $I_z$ ) és a föld felé ( $I_f$ ). Ez esetben az érintési feszültség  $U_e = I_f \cdot R_v$  értékű lesz, amely kisebb, mint az egyetlen földelés esetén számított  $U_e = I_f \cdot R_v$ . A csökkenés mértéke a földelések szétterjedési ellenállásának függvénye.

**d.) A vezetékek ereit csak a színjelölésüknek megfelelő célra lehet használni.**

Mégpedig a

fekete színű szigetelés	fázisvezető,
világoskék színű szigetelés	nullavezető
zöld/sárga színű szigetelés	nullázó vezető.

Ezeknek az előírásoknak a meg nem tartása súlyos balesetek forrása lehet, mert előfordulhat, hogy a nullavezető helyett a fázisvezetőt kötik a védendő gép burkolatához, amelyen így a fázisfeszültség tartósan megjelenik. Ilyen hibából származó balesetet elég sokat tart számon a statisztika, ezért a vezetők színjelzésére és a bekötés utáni ellenőrzésre nagy gondot kell fordítani.

#### **e.) Csak földelt-csillagpontú hálózatokon szabad nullázásos érintésvédelmet alkalmazni.**

Nem alkalmazható a nullázásos érintésvédelem olyan rendszerben, amelynek csillagpontja nincs mereven földelve, hanem az a földtől szigetelt. Bányák földalatti létesítményeiben és igen ritkán más helyeken használnak ún. szigetelt csillagpontú elosztórendszereket is. Ilyen hálózatokon nullázásos érintésvédelmet alkalmazni szigorúan tilos, mert ezekben a rendszerekben, ha a jelölt helyen keletkezik be egy földzárlat, nem fog olyan áram kialakulni, amely a védelmet működtetni tudná, ugyanakkor a csillagpont potenciálja fázisfeszültségre kerül. Vele együtt fázisfeszültségre kerül a nullavezető is és a hozzákapcsolt valamennyi gép burkolata is. Ez esetben tehát a veszélyes érintési feszültség mindenütt megjelenik, és tartósan ott marad.

### **2.3. Egyenpotenciálra hozott hálózati rendszer (EPH).**

Az egyenpotenciálra hozás (EPH) a testek és más vezetőanyagú (nem villamos) szerkezetek vezetői összekötése azok azonos vagy közel azonos potenciálra hozása céljából.

Ez lehetséges egy egyenpotenciálra hozó hálózattal, egy épület vagy más nagyobb, körülhatárolt terület egyenpotenciálra hozásával.

Lehet helyi egyenpotenciálú összekötéssel akkor, ha ott az érintésvédelem hatásosságát kívánjuk növelni, mert a védőföldelés szétterjedési ellenállásának csökkentését technikai okok miatt nem lehet megvalósítani.

Földeletlen egyenpotenciálra hozás önálló érintésvédelmi módszerként is alkalmazható.

Ezek az érintésvédelmi módszerek hatásosságukat azáltal érik el, hogy az egyenpotenciálra hozó hálózat segítségével megakadályozzák egy épületen, egy létesítményen belüli potenciáli különbség kialakulását és ezzel veszélyes érintési feszültség áthidalását.

Az egyenpotenciálra hozó hálózatot úgy kell kialakítani, hogy megfelelő keresztmetszetű vezetővel minden fémtárgyat, üzemszerűen feszültség alatt nem álló fémszerkezetet összekötünk egymással. Az EPH hálózatba minden fémtárgyat be kell vonni, különösen, ha az több helyiséget, több szintet összeköt, mert nem szabad lehetővé tenni, hogy az érintési feszültség olyan helyen is megjelenjen ahol az EPH hálózat nincs kialakítva.

Az EPH rendszerben a méretezést a nullázásnál megismert biztos kioldásra való módszerrel lehet megvalósítani, azaz

$$I_Z = \frac{U_f}{Z_H} \geq \alpha \cdot I_{BN}.$$

Ha földeletlen EPH rendszert alkalmazunk, akkor a védelmet működtető zárlati áram nem fog kialakulni a zárt áramkör hiánya miatt, de nincs különösebb baj, mert nem kell feltétlenül lekapcsolást létrehozni, mivel az egyenpotenciál miatt érintési veszély nincs.

### **2.4. Áram – védőkapcsolás (ÁKV).**

Közismert tény, hogy egy háromfázisú szimmetrikus terhelésű fogyasztó által felvett áramok vektorainak összege minden időpillanatban 0. Ha azonban egysarkú földzárlat lép fel, akkor a szimmetrikus terhelő áramok mellett fellépnek a zérussorrendű áramok is. Ezek összege sohasem nulla, hanem a hibás fázisban  $3 I_0$ .



Ezt a körülményt és fizikai jelenséget fel lehet használni az érintésvédelem területén is. Ha a védendő gép áramkörébe egy zérussorrendű áramot érzékelő szerkezetet kapcsolunk, akkor érzékelve a zérussorrendű áramot, lekapcsolást hoz létre. Az áram – védőkapcsolás működését a 20. ábra mutatja.

A védett M készülék táplálására szolgáló vezeték huzalai a T összegző transzformátoron haladnak át. Normális állapotban az átfűzött vezetők gerjesztésének eredője nulla, így nem indukálódik áram a szekunder tekercsben. Testzárlat esetén a zérussorrendű áramok gerjesztik a vasmagot és a szekunder tekercsben áram indukálódik. Ez az áram működtetni képes egy áramrelét, amely kikapcsolást hoz létre a védett készülék táplálásánál. A P nyomógombbal a relé működésképesége ellenőrizhető. A forgalomban lévő típusok már 0.03 A áram hatására is működésbe tudnak lépni.

Tekintettel arra, hogy a zérussorrendű áramok a földön keresztül záródnak a védendő gépen vagy földelést kell elhelyezni, vagy nullázni kell. A kettő együttesen is alkalmazható.

A védelem helyes működéséhez megkívánt földelési ellenállás értéke az alábbiak szerint számítható.

$$R_F = \frac{U_L}{I_m},$$

ahol  $U_L$  a limitfeszültség értéke [V]

$I_m$  az áram – védőkapcsoló működtető árama [A].

A védelem egy és háromfázisú fogyasztóknál egyaránt alkalmazható.

- Előnyei: - független a védett gép teljesítményétől,
- szelektív, csak a hibás gépet kapcsolja le,
  - gyors, működési ideje 0,1 – 0,2 s,
  - földeléses, vagy nullázott rendszerben egyaránt használható,
  - a földelés értékével, elhelyezésével kapcsolatosan nincsenek különleges igények.

Hátrányai: - nincsenek, legfeljebb az, hogy a kereskedelemben ritkán beszerezhető.

### 3. Passzív érintésvédelmi módszerek.

Mint korábban megtárgyaltuk, ezek az érintésvédelmi módszerek az érintési feszültséget olyan szinten tartják, hogy abból veszélyes áramütéses baleset nem fordulhat elő, ezért a meghibásodott berendezés lekapcsolást nem igényel.

#### 3.1. Kettős szigetelés (KSZ)

A kettős szigetelés elvi megoldását a 20. ábra mutatja. A védendő készülék – az M jelű motor – rendelkezik a saját menet, ér stb. szigetelésével, amely minden hasonló villamos gépnek normális tartozéka.

Ha ez meghibásodik, akkor a motor burkolatán megjelenik az érintési feszültség és balesetveszély lehetséges. Ha azonban megakadályozzuk azt, hogy ehhez a géphez a kezelője vagy bárki hozzáérhessen, akkor a balesetveszélyt már meg is szüntettük.

Ezt pedig úgy érhetjük el, hogy

- a.) a motort, készüléket olyan szigetelőanyagból készült tokba, burkolatba helyezzük el, amely megakadályozza a motor megérintését. Ez a tok a második szigetelés.

- b.) ha a burkolatot nem lehet szigetelőanyagból készíteni, hanem csak fémből, akkor a motor és a burkolat közé egy minden villamos, mechanikai, hő stb. igénybevételnek ellenálló szigetelőanyagot kell építeni, amely semmilyen körülmények között sem engedi meg a motor és a fémburkolat közötti érintkezést. Itt ez a második szigetelés. Mind a szigetelőanyagú, mind a fémből készült burkolat, ház esetén a csatlakozó vezeték bevezetésénél megfelelő robosztus átvezető szigetelőt és hajlítás gátlót kell alkalmazni, a házból való kivezetésnél lévő élek okozta sérülések elkerülésére.

Mindkét megoldásnak az a lényege, hogy az esetleg meghibásodott gép megérintését, megakadályozza. Ilyen, kettősszigetelésű készülékek korlátlan ideig üzemeltethetők a belső szigetelésük meghibásodása után is. A kezelőre nem jelent veszélyt. A legtöbb kéziszerszám, háztartási gép ilyen érintésvédelemmel kerül forgalomba. Ezeket megismerni a 22. ábrán látható nemzetközi jelről lehet.

Tekintettel arra, hogy a kettős szigetelés minden veszélyt kiküszöböl, az ilyen készülékeket leföldelni fölösleges, sőt tilos. Tilos azért, mert a földelés révén külső eredetű potenciál kerülhet a gép burkolatára, és ez okozhat balesetet. Ezek a kettős szigeteléssel készült fogyasztókészülékek a II. érintésvédelmi osztályba tartoznak.

### 3.1. Törpefeszültség (TF).

Az érintésvédelemnek a legkézenfekvőbb megoldása az, ha az alkalmazott feszültség nem haladja meg a limitfeszültség ( $U_L$ ) nagyságát. Ennél balesetveszéllyel elvben nem kell számolni. Problémák azért itt is vannak. Először is tisztázni kell a törpefeszültség nagyságát és előállítási módját.

Törpefeszültségűnek nevezzük azt a berendezést, amelynek névleges feszültsége bármely két vezetője között 1000 Hz-nél nem nagyobb frekvenciájú, szinusos váltakozó áram esetén 50 V-nál, legfeljebb 10% hullámosságú egyenáram esetén 120 V-nál nem nagyobb és ezeket az értékeket nem haladja meg a berendezés bármely vezetője és a föld között fellépő feszültség sem. (Váltakozó áram esetén ezek effektív értékek.)

Nem szinusos (de áramirányt váltó) váltakozó áramok és 10 %-nál nagyobb hullámosságú egyenáramok esetén a megengedett legnagyobb érték az adott termékre vonatkozó állami szabványban meghatározott, 50 V és 120 V közötti érték, ennek hiányában a csúcserőtel váltakozófeszültség esetén 71 V-nál, egyenfeszültség esetén 120 V-nál nem lehet nagyobb.

A törpefeszültség szintjének meghatározása után, annak előállítási módját is tisztázni kell. A törpefeszültség előállításának módjától függően megkülönböztetünk

- a.) érintésvédelmi törpefeszültséget
- b.) üzemi törpefeszültséget.

Érintésvédelmi törpefeszültség előállítása történhet:

- biztonsági transzformátorral, amely transzformátor megfelel az MSZ 9229 szabvány követelményeinek (ilyenek, pl. külön csévetesten elhelyezett primer és szekunder tekercs, amelyek között a feszültség áthatolás kizárt, a tekercsek közötti szigetelési ellenállás legalább 4 Mohm stb.),
- olyan forgó-átalakítóval, amely eleget tesz a kettős szigetelésre előírtaknak (galvanikus szétválasztás a táphálózat és a kivezetés rendszer között, szigetelési szint stb.),

- olyan önálló áramforrással, amely teljesen független a törpefeszültségnél nagyobb feszültségű rendszertől (pl. szárazelem, napelem, nem villamos hajtású generátor, akkumulátor telep),
- elektronikus feszültség-átalakítóval, amely a reájuk vonatkozó előírás szerint meg van akadályozva, hogy kapcsaikon a törpefeszültségnél nagyobb feszültség jelenjen meg.

Ahhoz, hogy a törpefeszültségű hálózat minden tekintetben megfeleljen az érintésvédelmi előírásoknak, nemcsak az itt közölt feszültség értékeket és azok előállítási módját kell teljesíteni, hanem még további feltételeket is:

- Az érintésvédelmi törpefeszültségű rendszerben nem szabad védővezetőt alkalmazni.
- Az érintésvédelmi törpefeszültséggel táplált villamos szerkezetek testét nem szabad összekötni földdel, földeléssel, egyéb fémszerkezettel, más villamos szerkezetek testével, védővezetőjével.
- Csak olyan dugaszolók és aljzatok használhatók, amelyek nem csatlakoztathatók nagyobb feszültségű hálózathoz, ezek nem rendelkezhetnek védőérintkezővel (23. ábra).
- A érintésvédelmi törpefeszültségű hálózat vezetőkeit a más feszültségű rendszerek vezetőkeiről gondosan el kell választani.

Ha a felsorolt feltételek valamelyike is nem teljesül, a rendszer nem tekinthető érintésvédelmi törpefeszültségű rendszernek, hanem legfeljebb üzemi törpefeszültségű rendszernek, vagy súlyosabb esetben annak sem.

Az üzemi törpefeszültséget nem érintésvédelmi célra állítják elő, hanem készülékek belső áramköreinek táplálására (pl. személyi számítógép 9 V-os tápfeszültsége). Az itt alkalmazott feszültség szintje azonos az érintésvédelmi törpefeszültség szintjével.

Üzemi törpefeszültségnek nevezzük azt a berendezést, amelynek áramkörei nincsenek a törpefeszültségünél nagyobb feszültségű üzemi vezetőkkel fémes kapcsolatban, de a törpefeszültség előállítása, elosztása, illetve alkalmazása nem teljesíti az érintésvédelmi törpefeszültségű hálózatra vonatkozó előírásokat.

Az elmondottak értelmében sem érintésvédelmi, sem üzemi törpefeszültség nem állítható elő olyan szerkezettel, amelyben a primer és a szekunder tekercsek egymással fémes (galvanikus) kapcsolatban vannak. Így nem lehet alkalmazni autótranszformátort, megcsapolt akkumulátor telepet törpefeszültség előállítására. Az ilyen rendszereket úgy kell kezelni, mintha a nagyobb feszültségű rendszer részei lennének és az érintésvédelmét a nagyobb feszültségre előírt megoldások szerint kell kialakítani.

### **3.3. Védőelválasztás (VE).**

A védőelválasztás lényege az, hogy olyan hálózati rendszert hozzunk létre, amelynek táplálása megegyezik az érintésvédelmi törpefeszültségű rendszerek táplálására megengedett módszerek valamelyikével. Tehát biztonsági transzformátor, biztonsági tápegység, a hálózattól független áramforrás. Az alkalmazható feszültség szint azonban 500 V-ig terjedhet. A védőelválasztással kialakított rendszer tehát olyan feszültség szinttel rendelkezik, amely veszélyes áramütést okozhat, ha további feltételt nem szabunk. Ezért kiegészítésül még az alábbi feltételekkel kell megvalósítani

- a leválasztott részen üzemi földelést tilos létesíteni, és meg kell akadályozni, hogy a rendszerben bárhol földelés lehessen,

- gondoskodni kell, hogy a védőelválasztást létrehozó transzformátor kététekerceses ún. biztonsági transzformátor legyen.
- a transzformátor szekunder oldalára csak egyetlen fogyasztó csatlakozhat, amelynek vezetéke nem lehet 10 m-nél hosszabb.

Az ilyen rendszerben (24. ábra) üzemeltetett készülékeke testzárlata esetén csak a vezeték – föld szórt kapacitások és a szigetelési ellenállások által meghatározott áram folyhat át a testzárlatos gépet megérintő emberen. A hálózat kis kiterjedése miatt ez az áram csak  $\mu\text{A}$  nagyságrendű, tehát teljesen veszélytelen.

### 3.4. Elszigetelés

Az 5.3 fejezetben szó volt arról, hogy a talpponti ellenállás ( $R_1$ ) értékének milyen nagy szerepe lehet az érintési feszültség nagyságának kialakításában. Az eddig tárgyalt érintésvédelmi módszereknél a talpponti ellenállás értékét mindig nullának tételeztük fel és elhanyagoltuk. Az elszigetelés megnevezésű módszer lényege az, hogy az semmilyen körülmények között se csökkenhessen le. Ilyen rendszerben, ha egy gép testzárlatos lesz, akkor a gépet megérintő személyt nem érheti áramütés, mert a végtelen értékű talpponti ellenállás miatt nem alakulhat ki zárt áramkör. Ezért ebben a rendszerben is korlátlan ideig állhat fenn egy gép testzárlata, lekapcsolásáról nem kell intézkedni. Elvét és megoldásait a 25. ábra mutatja.

Lényege az, hogy a védendő gép környezetét olyan méretű szigetelő padozattal (gumi, műanyag, fa stb.) vesszük körül, hogy a gép kezelője még társa segítségével se tudja a gépet és valamilyen földpotenciálú helyet egy idejűleg megérinteni. (25.a.ábra)

Ha a gép közelében földpotenciálú tárgyak (csövek, falak stb.) vannak, akkor azokat megfelelő szigetelő burkolattal kell ellátni. (25.b.ábra)

Ha egymás közelében több gép van, akkor védekezni kell a kettős testzárlat ellen, mert ha az egyik gép az „a” fázisban, a másik a „b” fázisban lesz testzárlatos, akkor az egyszerre érintés súlyos balesetet okoz. Ez ellen való védekezésül a gépek burkolatát a 25.c. ábrának megfelelően össze kell kötni. Az így kialakuló kétsarkú fáziszárlat árama működtetni fogja a védelmeket, és a meghibásodott gépeket lekapcsolja a hálózatról.

A gépeket összekötő vezetékek keresztmetszetét a zárlat hatására kialakuló áramra kell méretezni, a gépek előtt lévő biztosítót, védelmet pedig az így kialakított hurokimpedancia vonali feszültség ismeretében az

$$I_{BN} \leq \frac{\sqrt{3} \cdot U_f}{\alpha \cdot R_H}.$$

összefüggéssel.

### 3.5. Elkerítés, burkolás

Teljesen alárendelt helyen ott, ahol a gépek testét üzemközben érinteni nem kell és a karbantartási munkákra megfelelően képzett személy áll rendelkezésre, elegendő érintésvédelmet ad, ha az illető gépet olyan kerítéssel, burkolással vesszük körül, amely a véletlen érintést megakadályozza. A kerítésnek, burkolásnak megfelelő szilárdságúnak, háló esetén megfelelő sűrűnek kell lenni. A kerítés, illetve burkolás csak megfelelő szerszámmal legyen eltávolítható, ajtaját le kell lakatolni. Figyelmeztető táblákkal kell ellátni és magát a berendezést feszültség alatt állónak kell tekinteni. Az elkerekített területről kábelek burkolatai, csövek, egyéb fém tárgyak érintési feszültséget nem hozhatnak ki.