

BUDAPESTI MŰSZAKI ÉS  
GAZDASÁGTUDOMÁNYI EGYETEM  
VILLAMOSMÉRNÖKI ÉS INFORMATIKAI KAR  
VILLAMOS ENERGETIKA TANSZÉK



## Mérési útmutató

### Érintésvédelem

Az Elektrotechnika tárgy laboratóriumi gyakorlatok 3 4. sz. méréséhez

**A mérések egy része csak feszültség alatti hálózaton történhet.**

**A hálózati feszültséget csak a mérésvezető engedélyével szabad bekapcsolni.**

**Mérés közben a hálózati elrendezés módosítása tilos!**

**A mérés befejeztével a hálózati feszültséget ki kell kapcsolni.**

**Mérés közben ügyeljünk társaink biztonságára is.**

**1. A mérés célkitűzése,** hogy a hallgató a kisfeszültségű közmű (áramszolgáltatói) elosztóhálózatról ellátott fogyasztóknál szokásos érintésvédelmi rendszereket és módokat megismerje, egy lakóházat leképző modellhálózaton annak üzemképességét vizsgálja, az érintésvédelmi hibákat megtalálja, és a hibaelhárításának módját kialakítsa.

## **2. Bevezetés, általános ismeretek összefoglalása.**

### **2.1. Az áram élettani hatása.**

Áramütés akkor következik be, ha az ember (állat) teste áramkörbe kerül, az emberi (állati) testen áram halad át. Az áramütés veszélyessége függ

a.) az áram erősségétől, a hatás erősen személyfüggő, 50 Hz-es frekvenciájú váltakozó áram esetén általában 1 mA az érzékelési küszöb, 10-15 mA az „elengedési áramerősség” (az áramütött nem tudja a megszorított tárgyat elengedni), 20 mA felett már légzési és szívműködési zavarok jelentkezhetnek;

b.) a behatás időtartamától, egy szívperiódusnál (a szívverés frekvenciája percenként 60 - 120, tehát egy szívperiódus 0,5-1 sec.-ig tart) hosszabb idő alatt a szív leállhat vagy szívkamraremegés (fibrilláció) állhat be; de néhány másodperc alatt a bőr megéghet, ellenállása lecsökkenhet, és ezért a szervezeten átfolyó áramerőssége megnövekedhet;

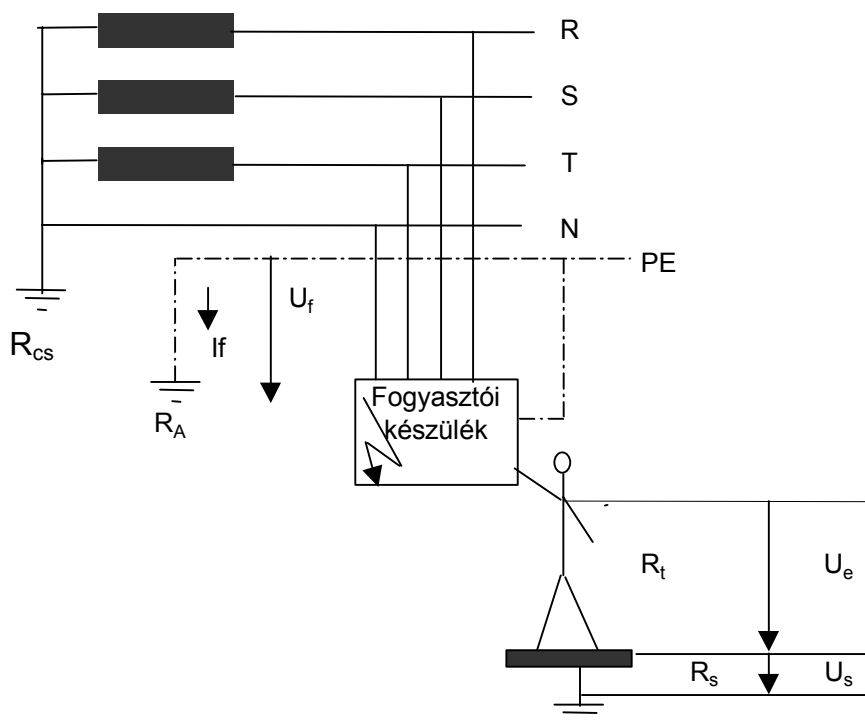
c.) az áram útjától, milyen életfontosságú szerven (szív, agy, tüdő) folyik az áram;

d.) a frekvenciától, az egyenáram némileg kevésbé veszélyes (nagyobb egyenáram kelt hasonló hatást, mint a kisebb váltakozó áram, és nem okoz szívkamraremegést sem) 1000 Hz-nél nagyobb frekvenciájú áram inkább éget, mint más élettani hatást okozna;

e.) az áramkörbe került személy egyéni adottságaitól és aktuális állapotától: pl. testsúly, fizikai erőnlét, érzékenység, bőr finomsága és állapota (izzadt, nedves), izgalmi állapot, ittaság stb.

Az áramütés áramerőssége - természetese - az Ohm-törvénynek megfelelően a testre jutó  $U_e$  érintési feszültség és a test ellenállásának hányadosa.

Az emberi test belsejének villamos ellenállását átlagosan  $300-500 \Omega$ -ra, a száraz, ép állapotú bőr ellenállását  $20-100 \text{ k}\Omega/\text{cm}^2$ -re vehetjük (a bőr ellenállása néhány másodperces behatás esetén néhány  $\Omega$ -ra lecsökkenhet!). Nagyon durva közelítésként, elsősorban elvi számításoknál a szokásos helyzetben lévő ember testének teljes ellenállását  $1 \text{ k}\Omega$ -mal szokás számítani. Ha az áramütés áramútja a kézzel érintett feszültség alatti részből kiindulva az ember lábán és a talajon át záródik, akkor az áramkör ellenállásában szerepel az úgynevezett „talpponti ellenállás”, ami a cipő és a padlózat ellenállásából áll (1. ábra.). (Természetesen, ha az áramkör nem az ember talppontján, hanem egy földpotenciálon lévő fémrésznek az egyidejű érintésekor a másik kézen, vagy más csupasz testrészen át záródik, akkor ez akár nulla is lehet.).



1. ábra.

ahol R, S, T fázisvezetők, N a nullavezető, PE védővezető

$R_{cs}$  a rendszer csillagpontjánál a földelési ellenállás

$R_A$  védővezető földelésének ellenállása

$U_f$  a hiba feszültség,  $I_f$  hiba áram,  $U_f = I_f \cdot R_A$

$R_t$  a test ellenállása,

$R_s$  a cipő, a padlózat ellenállása,  $U_s$  az erre eső feszültség

$U_e$  érintési feszültség, általában  $U_e \leq U_f$

## **2.2. Az áramütés fellépésének műszaki körülményei.**

Az áramkörbe kerülés kisfeszültségen azt jelenti, hogy az ember két különböző testrészével két különböző potenciálon lévő részt érint. (1000 V-nál nagyobb feszültségen - amit a biztonságtechnikában nemzetközileg egységesen nagyfeszültségnek neveznek, az áramszolgáltatók 35 kV-ig középfeszültségnek, és csupán az ezt meghaladót nevezik nagyfeszültségnek - ehhez nem szükséges a feszültség alatti részt megérinteni, elegendő azt a levegőn át „átívelési távolság” - ra megközelíteni, s így a levegőn át fellépő villamos íven keresztül is záródhat az áramkör.)

Az áramütéses balesetek egy része úgy következik be, hogy az ember (közvetlenül, vagy szerszámon, segédeszközön keresztül) általában a kezével üzemszerűen feszültség alatt álló (szabványos elnevezéssel: „aktív”) részt érint, ugyanakkor nem szigetelő talajon áll, vagy más testrészével földpotenciálon lévő fémrészhez ér. Ezt a nemzetközi szabványok „közvetlen érintés”-nek, s az ezek megakadályozására szolgáló intézkedéseket „közvetlen érintés elleni védelem” - nek (újabbban „alapvédelem”-nek, vagy „áramütés elleni védelemnek normál üzemben”-nek nevezi, a régi magyar szakkifejezés *érintés elleni védelem* volt). Ennek megoldásai valóban az érintést kívánják megakadályozni az aktív részek szigetelésével, burkolatba zárásával vagy megfelelő (érinthető távolságon kívüli) elhelyezésével.

Az áramütéses balesetek nagy része azonban úgy következik be, hogy a balesetes a villamos szerkezet olyan részét (úgynevezett „test”-ét) érinti meg, amely üzemszerűen feszültségmentes, de hiba (testzárlat) következtében feszültség alá kerül (1. ábra.). Ezt a nemzetközi szabványok „közvetett érintés”-nek, s az ezek megakadályozására tett intézkedéseket „közvetett érintés elleni védelem”-nek (újabbban nagyon nem szerencsés elnevezéssel „hibavédelem”-nek) nevezi. A magyar (és német) szakmai köznyelv ezt továbbra is a korábbi, csaknem százéves elnevezéssel „érintésvédelem”-nek hívja.

Az érintésvédelmi módok nem a testek érintését kívánják megakadályozni, hanem azt, hogy az érinthető testek tartósan (hosszabb ideig) veszélyes érintési feszültség alá kerüljenek. Ennek főbb megoldásai:

- a.) Védelem a táplálás önműködő lekapcsolásával (ezeket az érintésvédelmi módokat korábban- nagyon jellemzően- védővezető érintésvédelmi módoknak nevezték)
- b.) A villamos szerkezet elszigetelésével (kettős vagy megerősített szigetelésű szerkezet alkalmazása)

c.) Biztonsági törpefeszültségű táplálással (ez általában 50 V-nál nem nagyobb váltakozó- vagy 120 V-nál nem nagyobb egyenfeszültséget jelent, de egyes különösen veszélyes alkalmazásoknál ennek felét, negyedét, sőt nyolcadát is előírhatják a rájuk vonatkozó előírások).

A - nemzetközi, európai és magyar - szabványok más érintésvédelmi módokat (a környezet elszigetelése, védőelválasztás, földetlen helyi egyenpotenciálrahozás, az állandósult érintési áram és kisütési energia korlátozása, feszültség-védőkapcsolás) is elismernek, ezeket azonban különlegességük és csak erősen korlátozott alkalmazási területük miatt nem említjük.

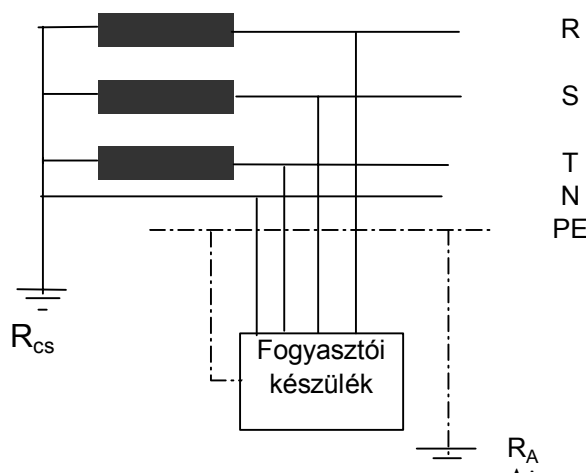
Szükséges megemlíteni, hogy a villamos balesetek nagy része nem áramütéses, hanem égési baleset, amit a berendezéseken fellépő villamos ív okoz!

### **2.3. A védővezetős érintésvédelmi módok.**

A védővezetős érintésvédelmi módok közös jellemzője, hogy ezek alkalmazásánál a villamos berendezés testét (az olyan vezetőanyagú - általában fém - érinthető részét, amely üzemszerűen nem áll feszültség alatt, de hiba esetén feszültség alá kerülhet) földelt védővezetővel (ezt az angol „protecting earthing” elnevezés alapján nemzetközileg PE betűjellel, és a védővezető szigetelését zöld/sárga színezéssel jelölik) kötik össze, és a tápláló áramkört annak túláramvédelme, vagy az abba beiktatott áram-védőkapcsolás által rövid idő alatt önműködően kikapcsolják, ha a védővezető testzárlat következtében veszélyes nagyságú érintési feszültségre kerül.

#### **2.3.1. Védőföldelés közvetlenül földelt rendszerben, (TT rendszer).**

A közműhálózati kisfeszültségű rendszereket (Európában mindenütt) a tápláló transzformátor csillagponti kivezetésénél - üzemi okokból - közvetlenül (impedancia beiktatása nélkül) leföldelik. Ezt mutatja a kétbetűs rendszerjelölés első T betűje (T=terra, földelés). Ha a fogyasztó-berendezések testjeit védővezetőn át ugyancsak földelik (2. ábra), akkor ezt a földelést mutatja a jelölés második T betűje.



2. ábra. A TT rendszer.

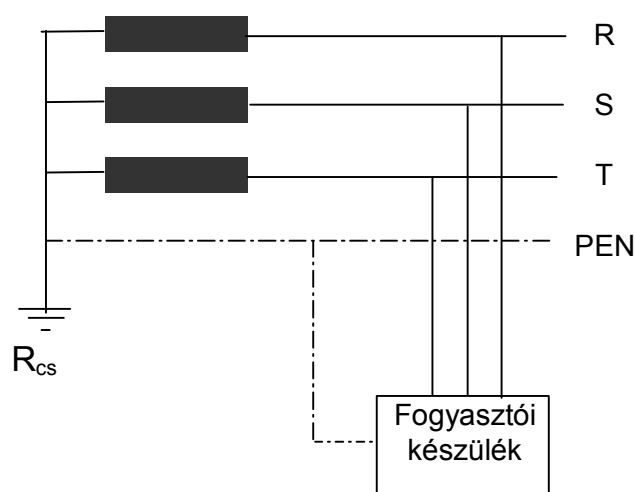
Ha a készülék testzárlatos lesz, akkor a fázisvezetőn, a hibahelyen, az  $R_A$  védőföldelésen, és a rendszer  $R_{cs}$  csillagponti földelésén át testzárlati áram lép fel. Ha ennek a testzárlatnak az áramerőssége kicsi, akkor ez a védőföldelés  $R_A$  ellenállásán aránylag kis (a megengedhető  $U_L = 50$  V-nál kisebb) feszültségemelkedést okoz. Ha az áramerősség nagy, úgy - az előírt rövid időn belül - kioldja a túláramvédelmet (az ehhez tartozó áramerősséget jelöljük  $I_a$ -val). A méretezési képlet:

$$R_A \cdot I_a \leq 50 \text{ V}$$

Ha a túláramvédelem kioldóárama - a rajta keresztül folyó üzemi áram miatt - nem választható az előző összefüggést kielégítő kis értékre, akkor az érintésvédelmi kioldást áramvédőkapcsolóval (lásd 2.3.3. pont) lehet megoldani.

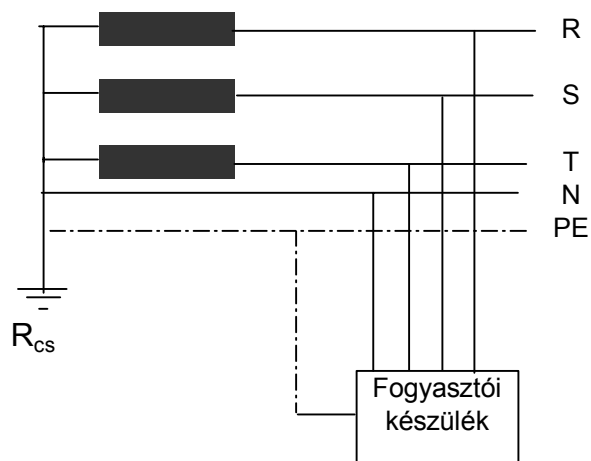
### 2.3.2. Nullázás (TN-rendszer)

Ha a közvetlenül földelt közműhálózatot üzemeltető áramszolgáltató ehhez hozzájárul, akkor a nullavezetőt védővezetőként is szabad felhasználni, ez a nullázás, nemzetközi jelölése TN-rendszer. (Hazánkban az áramszolgáltatói hálózatok több mint, 90%-a nullázott). Ebben a kétbetűs jelölésben, a második betű a testhez kötött nullavezetőt jelöli. Elvben ennek három megoldása van. Az első szerint sehol sem építenek ki külön védővezetőt, az egyfázisú üzemi áramok vezetésére szolgáló nullavezetőt (jelölése N=neutral) kötik minden fogyasztó készülék testére (3. ábra). Ebben az esetben a rendszer jelölése TN-C (a C=common jelzi, hogy a védővezető és a nullavezető mindenütt közös). Ez a lehetőség bizonyos esetekben csupán elvi, mert  $10 \text{ mm}^2$ -nél kisebb keresztmetszetű vezetéknek a közösítést - a közös vezető megszakadásának veszélye miatt - a szabvány tiltja. Azt a vezeték szakaszt, amely egyszerre tölti be a védővezető (PE) és az üzemi nullavezető (N) szerepét a két jelölés - PE és N - egybeírásával PEN vezetőknek (nullával egyesített védővezető) nevezik.



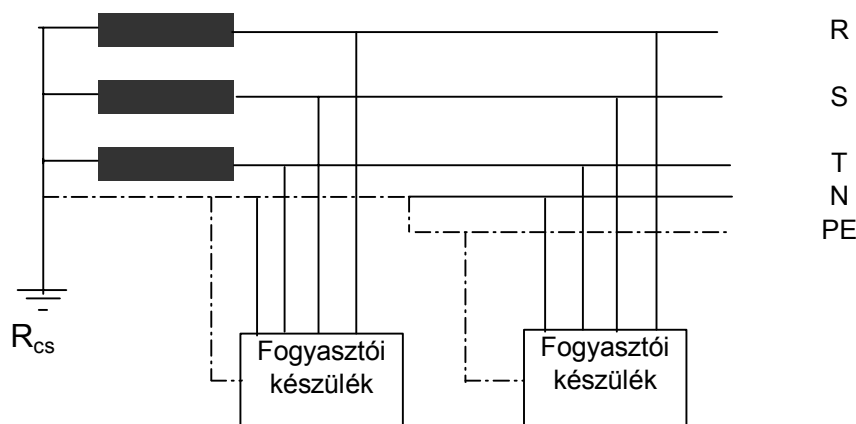
3. ábra. A TN-C rendszer).

A második lehetőség az, hogy a védővezetőt mindjárt a tápláló transzformátortól kezdve külön választják az egyfázisú üzemi áramokat vezető nullavezetőtől (4. ábra). Ezt a megoldást TN-S (S=separated, elkülönített) betűcsoporttal jelölik. Ez a megoldás is kizárólag elvi jelentőségű, mert az áramszolgáltató sehol a világon nem vállalja, hogy az elosztóhálózatán kiépítse a védővezető céljára szolgáló ötödik vezetőt.



4. ábra. A TN-S rendszer

A harmadik megoldás a gyakorlati: egy darabig közös az üzemi nullavezető és a védővezető (ez tehát a PEN vezető), majd egy ponton szétválnak (5. ábra). Ilyen megoldású rendszert TN-C-S betűcsoporttal jelölik. Azt, hogy a két vezető szétválasztása hol történjen (áramszolgáltatói csatlakozópontnál, az épületbe való becsatlakozásnál, a fogyasztásmérőnél, vagy csupán a 10 mm<sup>2</sup>-nél kisebb keresztmetszetű vezetékek csatlakozásánál) a helyi viszonyok és körülmények döntenek el. A szétválasztott szakaszon a védővezetőt (PE) nullázó vezetőnek nevezik.



5. ábra. TN-C-S rendszer.

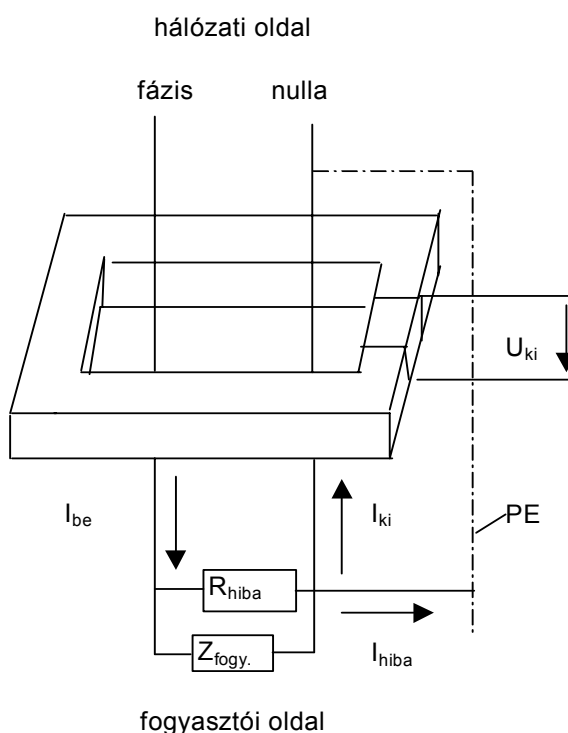
A TN rendszerű hálózaton fellépő testzárlati áram gyakorlatilag nem halad a talajon át, szinte teljesen fémes úton (a fázisvezetőn, a nullázó vezetőn és a PEN-vezetőn át) záródik. Ennek megfelelően a földhöz képest ennek hatására fellépő feszültségemelkedést nem lehet számítani, itt a méretezés csak azt veszi számításba, hogy a fázisfeszültség ( $U_o$ ) a zárlati kör impedanciáján (amit „*hurok impedanciá*”-nak, vagy egyszerűen „*hurokellenállás*”-nak neveznek és  $Z_s$ -el jelölnék) át tud-e hajtani olyan nagyságú áramot, ami a túláramvédelmet az előírt időn belül működteti:

$$Z_s * I_a \leq U_o$$

Áram-védőkapcsolás (2.3.3. pont) a nullázott hálózaton is alkalmazható, de csak azokon a szakaszokon, ahol az üzemi vezető és a nullavezető már szét van választva (tehát a PEN - vezetők szakaszán nem!).

### **2.3.3. Áram-védőkapcsoló (magyar rövidítése: ÁVK, angol: RCD = residual current device, német: FI)**

A védővezetős érintésvédelmi módoknál (főként a TN és TT rendszereknél) érintésvédelmi kikapcsolásra a túláramvédelem helyett igen előnyösen alkalmazott (ma a legmodernebbnek tekintett) kikapcsoló szerv. (Bizonyos megfontolások mellett az IT-rendszerben sem kizárt az alkalmazása). Tehát nem külön érintésvédelmi mód, hanem csupán a védővezetős érintésvédelmi módok kikapcsoló szerve. Való igaz, hogy érzékenysége következtében gyakran a fázisvezetőt közvetlenül érintő ember testén áthaladó áram hatására (védővezető nélkül) is kikapcsol, de egyetlen nemzeti vagy nemzetközi szabvány sem fogadja el védővezető alkalmazása nélkül kellő biztonságú védelemnek.



6. ábra. Az ÁVK elvi felépítése, egyfázisú kialakításban

Az áram-védőkapcsolás kifejezetten csak érintésvédelmi megoldás (túláramvédelmet nem lát el!). Lényege, hogy a védett áramkör valamennyi üzemi áramot vivő vezetőjét egy közös különbözőzeti áramváltó „ablakán” vezetik át, míg a védővezetőt ezt megkerülve építik ki. (6. ábra). Minden áramot vezető körül mágnes tér alakul ki. Ha a fogyasztóhoz menő és onnan visszajövő üzemi áramok összege zérus, vagyis testzárlat mentes állapotban, a különbözőzeti áramváltó ablakában nem lesz gerjesztés, a vasmagban nem keletkezik fluxus, az áramváltó kioldó tekercsében áram nem fog folyni. Ha viszont az áramvédő-kapcsolóval védett fogyasztói hálózaton testzárlat lép fel, akkor ennek árama a védővezetőn záródik, mely nem haladhat át a különbözőzeti áramváltó ablakán, így az ott a befolyó és kifolyó áramok összege nem lesz zérus, az áramváltó áttételének megfelelő nagyságú áram, ha meghaladja az áram-védőkapcsoló névleges különbözőzeti áramát, meghúzza és kikapcsol.

Lényeges, hogy a védővezetőt nem szabad a különbözőzeti áramváltón átvezetni, ha a fogyasztó egyfázisú, vagy egy fázisról üzemelő berendezése is van, akkor az üzemi nullavezetőt (N) nullázás esetén is át kell vezetni az „ablakon”, de csupán az áramváltó előtti szakaszon lehet közös a védővezetővel (PEN-vezető), és az N-vezető az áramváltó utáni szakaszon nem földelhető. Ezek figyelmen kívül hagyása esetében az áramvédő-kapcsoló működése teljesen bizonytalanra válik, testzárlat esetén sem kapcsol ki biztosan, viszont testzárlat nélküli esetben is (egy másik fogyasztó egyfázisú áramának hatására) bekövetkezhet leoldás.

Az áram-védőkapcsoló nagy előnye, hogy az ezt megszólaltató áram ( $\Delta I$ ) értéke teljesen független az áramkör üzemi áramerősségétől, így akár 100 A üzemi áram esetében is választható néhány mA-re. A szokásos névleges érzékenység 30 mA, de (különösen, ha több ilyen kapcsoló sorba kötése esetén a táppontban szelektív áram-védőkapcsolót alkalmaznak), akár 300 mA is lehet. Korábban az érzékenységet minden határon túl növelni akarták, de kiderült, hogy a védett hálózat, illetve szerkezet szivárgó árama (különösen benedvesedés esetén) a túlérzékeny kapcsolót feleslegesen kikapcsolta. Ezért ma már 10 mA-es érzékenységű áram-védőkapcsolót csak dugaszolóaljzattal egybeépítve, egyetlen kéziszerszám táplálására alkalmaznak, és a hazai körülmények között a szabadtéri berendezések védelmére a 100 mA-es érzékenység tűnik a legmegfelelőbbnek.

Az áram-védőkapcsolót ellátják egy próbagombbal. Ennek megnyomása egy ellenálláson keresztül a különbözőzeti áramváltót megkerülő áramot hoz létre, és ezzel ellenőrzik a kapcsoló működőképességét. Ezzel azonban csak a kapcsolót lehet ellenőrizni, de a védővezető folytonosságát (és így a kapcsolás hatásosságát) nem.

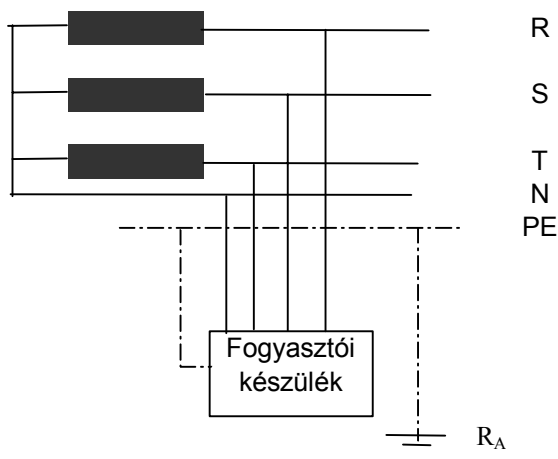
#### **2.3.4. Védőföldelés közvetlenül nem földelt rendszerben (IT-rendszer).**

A közvetlenül földelt nullavezetőjű (TT- TN-rendszerű) hálózatok földzárlat esetén nem tarthatók üzemben. Ezért olyan helyen, ahol az ellátás folytonossága elengedhetetlen, a váratlan kikapcsolás életveszélyt, vagy igen nagy anyagi kárt okozna (pl. kórházi műtők, földalatti bányahálózatok, kohók, egyes vegyi üzemek), a nullavezetőt nem (vagy csak nagy ellenálláson át) földelik. Érintésvédelemre ez esetben is szükség van, mert egyrészt földzárlat (testzárlat) esetén a vezetékhalózat és a fogyasztókészülékek földhöz viszonyított kapacitásán átfolyó „földzárlati áram” emberre veszélyes nagyságú lehet, másrészt kettős (két helyen, és eltérő fázisokban fellépő) földzárlat esetében a testzárlatos szerkezetek esetében veszélyes feszültség lépne fel. Ezért ezen rendszerekben is kötelező a földelt védővezető kiépítése. (Az IT jelölés a táptranszformátor szigetelt (I=isolated, szigetelt), vagy nagy impedanciát át földelt (amit esetleg csak a hálózat és a szerkezetek földkapacitása képvisel), csillagpontjára utal,



míg a második helyen álló T betű a testek védőföldelését jelenti.). Ilyen, IT rendszer látható a 7. ábrán. Ennek méretezési képlete az első földzárlatra:

$$R_A * I_d \leq U_L$$



7. ábra. IT rendszer.

Itt az első földzárlat nem okoz kioldást, ezért a képletben nem a kioldóáram, hanem a hálózat adottságaiból (elsősorban földkapacitásából) kiadódó „földzárlati áram” szerepel. A második földzárlatra is méretezni kell, de ez bonyolultabb, ezért itt nem tárgyaljuk.

### 3. Kérdések:

1. Mit értünk érintésvédelem (közvetett érintés elleni védelem) alatt?
2. Mik az önműködő kikapcsoláson alapuló (védővezetős) érintésvédelmi módok?
3. Mi a különbség a TN és s TT rendszer között?
4. Mi a különbség a TN-C, TN-S és a TN-C-S rendszerek között, és hol alkalmazzák ezeket?
5. Mi a hurokellenállás (hurokimpedancia)?
6. Ismertesse az áram-védőkapcsolás elvét!
7. Áram-védőkapcsolás esetén hol szabad a nullavezetőt leföldelni, vagy a védővezetővel összekötni?
8. Mi az előnye az IT-rendszernek?
9. Mit nevezünk érintési feszültségnek, és mi befolyásolja a nagyságát?

#### **4. A mérési feladatok.**

1. Ellenőrizze a védővezető folytonosságát!
2. Mérjen szigetelési ellenállást a különböző fogyasztói készülékeken.
3. Mérje meg a fázisvezető és a nullavezető, a fázisvezető és a védővezető, valamint a nullavezető és a védővezető közötti szigetelési ellenállást.
4. Mérje meg az áram-védőkapcsolók kioldási áramát és lekapcsolási idejét.
5. Határozza meg a hurokimpedanciák nagyságát a TN-rendszerű hálózat különböző részein!

Nem érintésvédelmi célú mérések:

6. Ellenőrizze a háromfázisú aljzaton a fázissorrendet.
7. Határozza meg a tápfeszültség felharmonikus tartalmát.

#### **5. A mérésről készített jegyzőkönyvnek tartalmazni kell:**

1. az egyes mérések alkalmával kapott számszerű eredményeit, szigetelési ellenállás mérésekor az alkalmazott vizsgálat feszültség nagyságát is.
2. az észlelt hibák leírását,
3. a hibák elhárításának módját.

#### **6. A vizsgálat céljaira szolgáló modell rövid ismertetése.**

A vizsgálatokat a Ljubljana-i Műszaki Egyetem által kifejlesztett és a METREL cég által az európai érintésvédelmi előírásoknak megfelelően kialakított modellen végezzük, amely a 8. ábrán látható. A modell alapkiképzése háromfázisú ellátás vizsgálatára szolgál, de megfelelő tartozékkal egyfázisú ellátás vizsgálatára is átalakítható. Jelen vizsgálat keretében az egy fázisról történő ellátási helyzetet vizsgáljuk. Lehetőség van TT, TN és IT ellátási és érintés védelmi módozatok vizsgálatára. Ezek közül vizsgálatunknál a TN és TT rendszer vizsgáljuk.

A modell egy kommunális fogyasztónál előforduló ellátási elemeket és fogyasztói készülékeket, berendezéseket tartalmazza. A kiefeszültségű elosztóhálózat különböző áramköreinél, elemeinél, készülékeinél, valamint a dugaszoló aljzatainál határozhatjuk meg az érintés védelem hatásosságát. Alkalmos a modell a földelési rendszerek vizsgálatára is, ezen belül egyedi földelések, földelő hálók, valamint a fajlagos földelési ellenállás is mérhető. Áramvédő kapcsolás működése is szimulálható.



## **7. A vizsgálat céljaira szolgáló műszer.**

A méréseknél alkalmazott **EUROTEST 61557** kombinált üzemi mérőműszert szintén a szlovéniai **METREL** cég gyártja. A műszer érintésvédelmi méréseknél teljesíti az MSZ EN 61557 szabvány sorozat előírásait. A beépített mikroprocesszor következtében mindenféle érintésvédelmi mérés nagy biztonsággal, szinte automatikusan elvégezhető. Lehetőséget biztosít nagymennyiségű mérési adat tárolására, és az adatok számítógépes feldolgozására és értékelésére is.

Az alkalmazandó műszer homloklapját és a homloklapon lévő gombok és kapcsolók funkcióit a 9. ábrán és a következőkben mutatjuk be.

A homlokfal közepén egy **háttérvilágítással rendelkező folyadékkristályos** kijelző van.

A kapcsolók funkciói:

**ON/OFF jelű működtető gomb** a készülék be és kikapcsolására szolgál. Amennyiben 10 percig nem használjuk a készüléket, az úgy automatikusan kikapcsol.

**HELP jelű működtető gomb**, amennyiben a készülék működéséről kívánunk információt, a sűgó menű adja meg a csatlakoztatás módját, illetve adatokat hívhatunk elő.

**Háttérfény működtető gombbal** a kijelző háttérfényét kapcsolhatjuk, ha a készüléket 20 másodpercig nem használjuk, a kijelző háttérfénye automatikusan kikapcsol

**SAVE működtető gombbal** az eredményeket tárolhatjuk

**RCL (recall) működtető gombbal** a tárolt eredményeket hívhatjuk elő.

**SETUP működtető gombbal** a kontrasztot, az időt és dátumot, egyes paramétereket állíthatunk be, illetve a memóriát törölhetjük.

**START működtető gomb**, az egyes beállított méréseket indítja.

**ESC működtető gombbal**, a folyó művelet megszakítható.

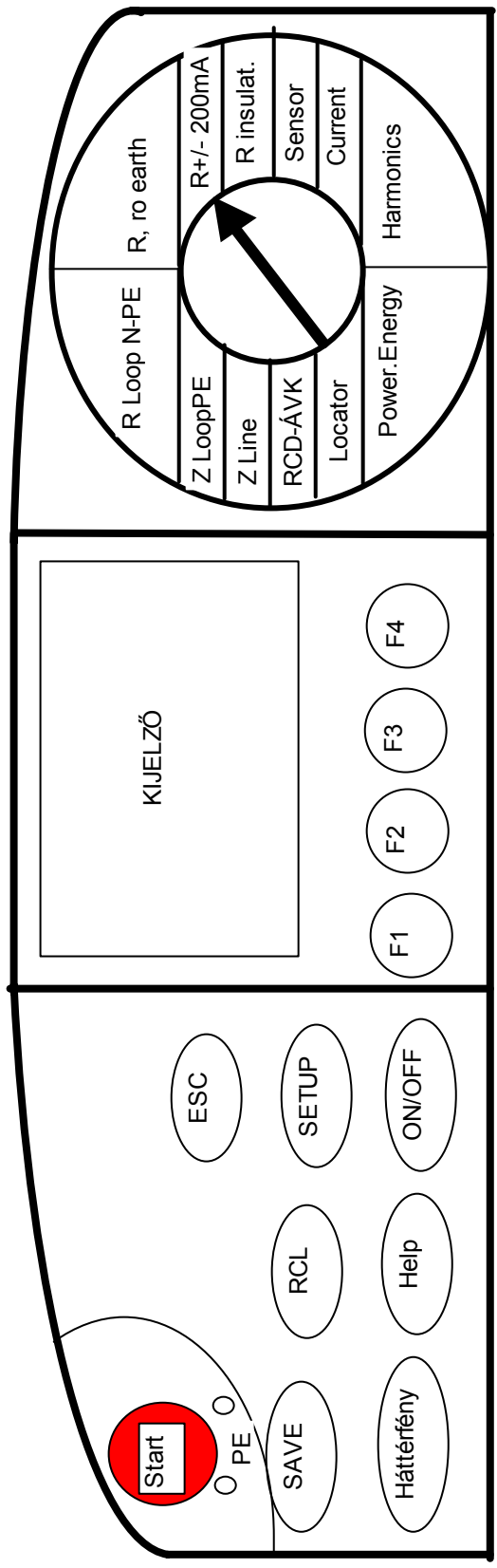
**START működtető gomb**, az egyes beállított méréseket indítja.

**ESC működtető gombbal**, a folyó művelet megszakítható.

A homlokfal jobb oldalán lévő forgó átkapcsolóval az egyes mérési funkciók közül választhatunk. Ezek a következők:

**R,  $\rho_{\text{earth}}$**  állásban a fajlagos földellenállás és a földelési ellenállás határozható meg.

**R+/-200mA continuity** állásban a védővezető folytonossága ellen őrizhető.



9. ábra.

EUROTEST 61557 kombinált műszer.

**R<sub>insulation</sub>** (RISO) állásban a szigetelési ellenállás mérése végezhető.

**Sensor** állásban a megvilágítás mérhető (az erre szolgáló külön mérő fejjel).

**Current** állásban megfelelő lakatfogóval szivárgási és terhelő áram mérése végezhető.

**Harmonics** állásban a feszültség ill. az áram (megfelelő lakat fogóval) eredő felharmonikus tartalma és 21.-ik összetevőig az egyedi egyes felharmonikusok tartalma mérhető.

**Power, Energy** állásban a teljesítmény, a teljesítménytényező ( $\cos\phi$ ), és a fogyasztás (vill. energia) mérhető.

**Locator** állásban háromfázisú hálózaton a forgásirány, a fázissorrend ellenőrizhető.

**RCD (residual current device)** beállításban az áramvédő kapcsoló (ÁVK) FI relé működése vizsgálható, (leoldási idő, érintési feszültség, hurok ellenállás, földelési ellenállás).

**Z<sub>Line</sub>** állásban a fázis-fázis, vagy fázis-nulla vezetők impedanciája és a várható rövidzárási áram határozható meg.

**Z<sub>Loop</sub>** állásban a fázis-védővezető hurok impedanciája, a várható rövidzárási áram és az érintési feszültség határozható meg.

**R<sub>LOOP N-PE</sub>** állásban a nullavezető (N)-védővezető (PE) hurok hurokellenállása és a várható rövidzárási áram határozható meg.

## **A mérések során szerzett tapasztalatok alapján kiegészítésre kerülhet.**

### **8. Az egyes mérési feladatok esetében a műszer, bekötése, beállítása és az elvégzendő mérések.**

#### **8.1. Szigetelési ellenállás mérése.**

**Kapcsoljuk le a hálózati modellünket a hálózati ellátásról. Ugyanis csak feszültség mentesített (kikapcsolt) hálózaton végzendő a mérés!!!! Vezetők közötti szigetelési ellenállás mérésekor minden kapcsolót kapcsoljunk ki, minden terhelést válasszunk le.**

Csatlakoztassuk a három kivezetéses mérőszinórt a készülékhez.

A készülék forgó átkapcsolóját állítsuk az **R<sub>insulation</sub>** állásba, és válasszuk meg **F2** gombbal a mérési feszültséget (50, 100, 250, 500 vagy 1000V), majd állítsuk be az ellenállás alsó értékét. Amennyiben a mért eredmény alatta marad a beállított értéknek a kijelzőn a **Result under limit**. (a mért érték a beállítási érték alatt) jelenik meg.

Az ellenállás alsó határértékének beállításakor az **F3** gombbal léphetünk be a beállító menübe, és ott az ablak alján lévő nyilakkal mozoghatunk a táblázatban fel és le. Az **F1** gombbal térhetünk vissza a kezdőmenübe.

Csatlakoztassuk a mérő kábeleket a mérendő hálózat kiválasztott vezetékéhez, amelyek közötti szigetelési ellenállást meg kívánjuk mérni. Az egyik vezetékhez az L1-L sarkot (mérő feszültség pozitív pólusa), még a másikhöz az egyesített L2-N és L3-PE sarkot csatlakoztassuk (további felvilágosítás a **Help** gombbal).

**Start** gomb lenyomásával indítjuk a mérést, és csak akkor engedjük el, ha állandósul a mérési eredmény.

*Kommunális hálózatnál a szigetelési ellenállás 0,5 MOhm-nál nagyobb legyen.*

### **8.2-8.3. A földelési ellenállás és a fajlagos földelési ellenállásmérése.**

A méréseket nem végezzük el, mivel a méréshez szükséges négyvezetékes csatlakozó kábel és lakatfogók nem képezik a műszer szerves részét.

### **8.4 A védővezető folytonosságának ellenőrzése.**

**A vizsgált hálózatnak a vizsgálat ideje alatt feszültségmentesnek kell lenni, ezért a modellt ezen mérés elvégzése előtt a tápláló hálózatról le kell választani.**

Csatlakoztassuk a háromeres mérőkábelt a mérőműszerünkhöz.

A műszer homlokfalán lévő forgó átkapcsolót állítsuk **az R+/- 200mA Continuity** állásba.

Célszerű a műszer a berregést adó üzemmódba kapcsolni az **F3** gombbal, ha a mért érték a beállított értéknél kisebb berregű jelzést kapunk mintegy 2 mp.-ig.

Állítsuk be a maximális ellenállás értéket. **F2** gombbal a kijelölő menü ablakába lépünk, ahol a fel le nyilakkal ellátott gombokkal beállíthatjuk a felső ellenállás értéket, majd **F1** gombbal térhetünk vissza a főmenübe.

Ezután kompenzáljuk a mérőzsinórt. Ezen mérésnél az L1-L és az egyesített L2-N és L3-PE vezetőket érintsük össze majd a **Start** gomb megnyomásával indítsuk a mérést, és az **F4** gombbal állítsuk be a kompenzációt. A kompenzáció törlését nyitott vezetékkel végezzük el hasonló lépésekkel.

Csatlakoztassuk a mérővezetőket a hálózathoz L1-L és az egyesített L2-N L3-PE vezeték a két mérő zsinór, melyet azon szakasz két végéhez csatlakoztatjuk, amelynek folytonosságát ellenőrizni kívánjuk (Help gomb is megadja a csatlakoztatás módját). A **Start** gombbal indítjuk a mérést. Minden esetben két mérést végez el a készülék váltott polaritással.

A módszerrel, nem csak a védővezető, hanem bármely más feszültségmentesített vezeték szakasz folytonossága is hasonlóan ellenőrizhető.

### **8.5 Hurok impedancia és várható rövidzárási áram.**

Csatlakoztassuk a villásdugós mérőzsinórt a műszerhez.

A forgó átkapcsolót a **Z<sub>Loop</sub>** állásba tegyük.

Az **F4** gombbal a fázisvezető és védővezető közötti feszültséget lehet megjeleníteni.

**F1** gombbal válasszuk meg a kezdő polaritást, ugyanis ha ÁVK van a mérési körben, lehetséges, hogy egyes esetekben kiold, ezt megelőzhetjük a polaritás megváltoztatásával.

Csatlakoztassuk a villásdugót a mérendő dugaszoló aljzatba, majd a **Start** gomb megnyomásával indítsuk a mérést.

gG (a g jelölés zárlat és túlterhelés elleni védelemre egyaránt alkalmazható biztosítóra utal, míg a G általános típusú biztosítót jelöl) az  $I_a$  kiolvadási áram 0,4 sec és 5 sec-nál, és a megengedhető max. hurok ellenállás értéke (220 V-nál):

olv. biztosító $I_n$ névl. árama	kiolv. idő <0,4 sec	kiolv. idő <0,4 sec	kiolv. idő <5 sec	kiolv. idő <5 sec
	$I_a$ A	$Z_s$ ohm	$I_a$ A	$Z_s$ ohm
2	16	13,7	9,2	23,9
4	32	6,8	18,5	11,8
6	47	4,6	28	7,8
10	82	2,6	46,5	4,7
16	110	2	65	3,3
20	147	1,4	85	2,5
25	183	1,2	110	2
32	275	0,8	150	1,2
40	320	0,6	190	1,1
50	470	0,4	250	0,8
63	550	0,4	320	0,6
80	840	0,2	425	0,5
100	1020	0,2	580	0,3
125	1450	0,1	715	0,3

gL (a g jelölés ugyanaz, mint előbb L a vezetékek védelmére szolgáló biztosító típusra utal) biztosítónál az  $I_a$  kiolvadási áram 0,4 sec és 5 sec-nál, és a megengedhető max. hurok ellenállás értéke (220V-nál):

olv. biztosító $I_n$ névl. árama	kiolv. idő <0,2 sec	kiolv. idő <0,2 sec	kiolv. idő <5 sec	kiolv. idő <5 sec
	$I_a$ A	$Z_s$ ohm	$I_a$ A	$Z_s$ ohm
2	20	11	9,21	23,9
4	40	5,5	19,2	11,5
6	60	3,7	28	7,9
10	100	2,2	47	4,7
16	148	1,5	72	3,1
20	191	1,2	88	2,5
25	270	0,8	120	1,8
32	332	0,7	156	1,4
35	367	0,6	173	1,3
40	410	0,5	200	1,1
50	578	0,4	260	0,8
63	750	0,3	351	0,6
80	-	-	452	0,5
100	-	-	573	0,4
125	-	-	751	0,3
160	-	-	995	0,2



Automatikus biztosító (ez a kis automata lenne?)

	B típusú	B típusú	C típusú	C típusú	K típusú	K típusú
túláram véd. $I_n$ névl. árama	$I_a = 5 \cdot I_n$ A	$Z_s$ ohm (0,2 sec)	$I_a = 10 \cdot I_n$ A	$Z_s$ ohm (0,2 sec)	$I_a = 15 \cdot I_n$ A	$Z_s$ ohm (0,2 sec)
2	10	22	20	11	30	7,3
4	20	11	40	5,5	60	3,7
6	30	7,3	60	3,65	90	2,4
10	50	4,4	100	2,2	150	1,5
16	80	2,8	160	1,4	240	0,9
20	100	2,2	200	1,1	300	0,7
25	125	1,8	250	0,9	375	0,6
32	160	1,4	320	0,7	480	0,5
35	175	1,3	350	0,65	525	0,4
40	200	1,1	400	0,55	600	0,37
50	250	0,9	500	0,45	750	0,29
63	315	0,7	630	0,35	945	0,23

### **8.6 Vonali impedancia és a várható rövidzárási áram.**

Csatlakoztassuk a műszerhez a mérőkábelt.

Forgó átkapcsolót tegyük a  $Z_{Line}$  állásba.

Csatlakoztassunk a megfelelő aljzatba és **Start** gombbal indítsuk a mérést.

### **8.7 N-PE hurokellenállás és a várható rövidzárási áram.**

Csatlakoztassuk a villásdugós mérőzsinórt a műszerhez.

Forgó átkapcsolót tegyük az  $R_{Loop}$  N-PE állásba. M

A készülék minden esetben automatikusan felismeri és a műszerhez helyesen csatlakoztatja a fázis és a nullavezetőt.

Csatlakozzunk a mérendő dugaszoló aljzathoz és a Start gombbal indítsuk a mérést.

### **8.8 A PE védőföldelő esetleges elkötésének vizsgálata.**

A mérést feszültség alatt álló hálózaton kell végezni, mely során a mérőműszer folyamatosan ellenőrzi a hálózati feszültséget.

Csatlakoztassuk a készülékhez a villásdugaszolós mérőzsinórt.

A forgó átkapcsolót tegyük az  $R_{Loop}$ ,  $Z_{Loop}$ , vagy RCD állásba.

Mindegyik dugaszoló aljzatot sorban mérjük meg.

Ha bedugaszolt villásdugó esetében a **Start** gomb melletti **PE** érintkezőt megérintjük (ne álljunk szigetelő padlón) műszer automatikusan ellenőrzi, hogy a PE vezetéken fellép-e meg nem engedhető feszültség (elkötés eredményeként), fennállása esetén a kijelzőn üzenet (**Veszélyes PE feszültség**) és hangjelzés is jelentkezik. A hiba elhárításáig a készülék a **Start gombbal nem indítható**.

### **8.9 ÁVK kapcsoló esetében az érintési feszültség és a földelési hurok ellenállásának mérése kioldás nélkül.**

Csatlakoztassuk a villásdugós mérőkábelt a műszerhez.

A forgó átkapcsolót tegyük az **RCD** (ÁVK) állásba.. A főmenü ablakában válasszuk az **F1** gombbal az érintési feszültséget (Contact Voltage)

Állítsuk be az érintési feszültség max értékét (50, vagy 25 V) az **F4** gombbal.

Válasszuk meg az ÁVK  $\Delta I_n$  névleges hiba áramát az **F2** gombbal, és az ÁVK típusát F3-al. (standard).

Csatlakoztassuk a villásmérő zsinórt a mérendő aljzatokba. A **Start** gomb megnyomása után a műszer kiegészítő szonda nélkül a hurok impedanciát és a fázishoz képesti érintési feszültséget méri.

A föld/hurokellenállás mérésekor a funkció gombbal Earth/Loop Resistance (RCD  $R_s$ ) -t válasszuk.

Ha csak L és PE csatlakozás van a **Start** gombot kétszer kell megnyomni.

A mérés hosszabb ideig, akár egy percig is tarthat.

### **8.10 ÁVK (RCD) mérése.**

#### **Leoldási idő mérése.**

Csatlakoztassuk a villásdugós mérőzsinórt a műszerhez.

**RCD** állásban a forgó átkapcsoló.

**F1** gomb hatására **RCDI** ablak jelenik meg, ahol már a beállított határ feszültség szerepel.

**F2**-vel válasszuk ki az ÁVK névleges hibaáramát

**F3** gombbal a mérőáramot választhatjuk meg, és állítsuk be az ÁVK típusát (standard).

Csatlakoztassuk a villásdugót a mérendő aljzatba, és a **Start** gombbal indítsuk a mérést. A mérési eredmény a kijelzőn leolvasható.

### **Kioldási áram mérése.**

Csatlakoztassuk a villásdugós mérőzsinórt a műszerhez.

**RCD** állásban a forgó átkapcsoló.

**F1** gombbal növekvő áram funkciót válasszuk., majd **F2** gombbal az ÁVK névleges hibaáramát, **F3** gombbal a kezdő vizsgáló áramot állítsuk be.

Csatlakoztassuk a villás mérőzsinórt a vizsgálandó aljzathoz.

Nyomjuk meg a **Start** gombot és a mérés elvégzése után a mért érték a kijelzőről leolvasható.

### **Automatikus vizsgálat.**

Az előző méréseket mind elvégzi a műszer, ha az **F1** gombbal **AUTO** állásba kapcsolunk. **F2** gombbal a névleges hiba áramot, **F3** gombbal az ÁVK típusát állítsuk be.

Csatlakozzunk a mérendő hálózathoz, majd a **Start** gombbal indítsuk a mérést. Sorban a kijelzőn kapjuk az eredményeket.

### **8.11. A feszültség hullám felharmonikus tartalmának mérése.**

A feszültség hullám felharmonikus tartalmának mérésekor a készülékhez az egyik végén dugaszolóval készített mérőzsinórt csatlakoztassuk. (még ne dugjuk be a modell hálózat aljzatába a dugót).

Állítsuk a forgó átkapcsolót a **Harmonics** állásba. A kijelző ablaknál az F1 gombbal válasszuk a Harmonics:Voltage funkciót.

Csatlakoztassuk a hálózat modell dugaszoló aljzatához a mérőzsinórt. (további felvilágosítások a **Help** gombbal)

A mérést a **Start** gombbal indítsuk. Folyamatosan frissülnek a teljes torzítás és az egyes harmonikus tartalom mérési eredményei. Választás az F2 gombbal.

Mérés leállítása a **Start** gomb ismételt lenyomásával történik.

## **Függelék.**

A modellen max. tizenkilenc különböző hibahelyzet is beállítható, melyeket a vizsgálónak kell felderíteni. A 8. ábrán bemutatott modell hátoldalán egy zárható fedél alatt található kapcsolókat, és számozásukat az F1. ábrán láthatjuk. A jobb oldalon elhelyezkedő automatikus kikapcsoló az 1. fázisvezetőn lévő hiba esetén védi a modellt, illetőleg a teljes kikapcsolásra és az engedély nélküli külső bekapcsolás elleni védelemre szolgál, valamint ezzel kell a modellt visszakapcsolni, ha a modellt vezérlő elektronika miatt lép fel kikapcsolás.

Az S1-S22 kapcsolók bekapcsolásával szimulálható hibák jegyzéke:

Vonali impedanciák:

**S1 kapcsoló** (hiba L3-N körben a 3 fázisú csatlakozónál, a 300mA-es FI és az F2 bekapcsolva), hibamérés a 3 fázisú aljzatnál.

**S2 kapcsoló** (hiba L1-N körben az S3 kapcsoló táblánál (switchboard), a 300mA-es FI és az F7 bekapcsolva) hibamérés a 2. aljzatnál.

**S3 kapcsoló** (hiba L1-N körben az 1. aljzatnál, a 300mA-es FI és a J4 bedugva) hibamérés a 1. aljzatnál.

(hiba L1'-N' körben a 3. aljzatnál, a 30mA-es FI és a F8 bekapcsolva bedugva) hibamérés a 3. aljzatnál.

Hibák a PE körben

**S4 kapcsoló** (3.földelő összekötés és a PE teljes rendszere)

**S5 kapcsoló** (2.földelő összekötés és a 2. lámpa).

**S6 kapcsoló** (3.fázisú motor, 1. földelő összekötés és a PE rendszere) nem mérjük, az egyfázisú ellátás miatt.

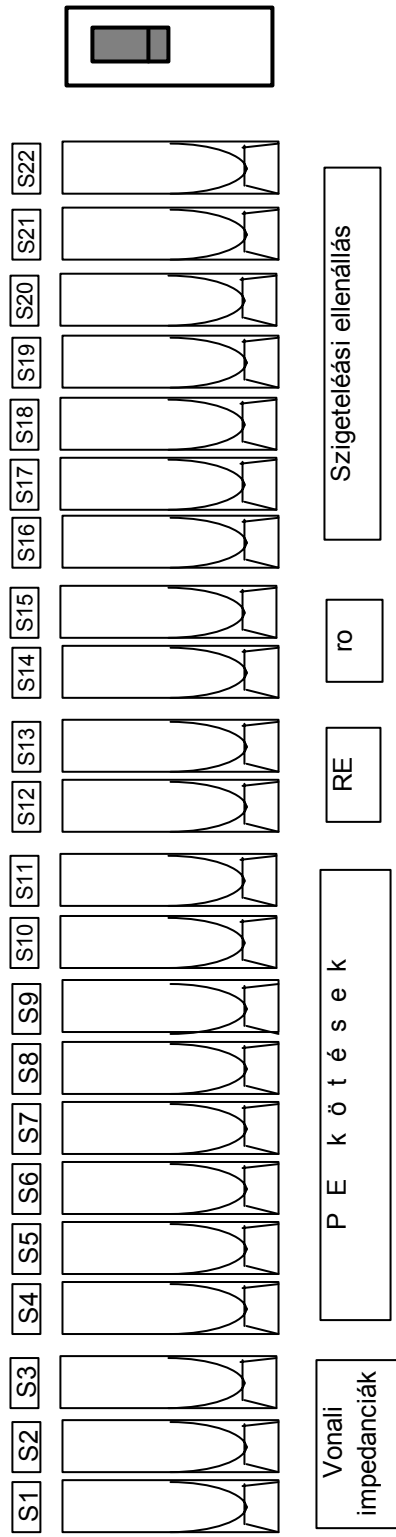
**S7 kapcsoló** (1.földelő összekötés és a 1. lámpa).

**S8 kapcsoló** (3. fázisú aljzat, 1. földelő összekötés és a PE rendszere) nem mérjük, az egyfázisú ellátás miatt.

**S9 kapcsoló** (az egyenpotenciálra hozás és a 2. földelő összekötés)

**S10 kapcsoló** (az egyenpotenciálra hozás és a gázvezeték között)

### Hibák szimulálására szolgáló kapcsolók.



F1.ábra.

**S11 kapcsoló** (az egyenpotenciálra hozás és a melegvíz ellátás között)

Földelési hiba:

**S12 kapcsoló** (J1 és J2 kihúzva)

**S13 kapcsoló** (1. villámvédelmi földelés)

Fajlagos földelési ellenállás: (két kapcsoló működtetésével állítható be az elektróda távolság)

<b>S14 kapcsoló</b>	<b>S15 kapcsoló</b>	<b>a</b>
ki	ki	1 méter
be	ki	3 méter
ki	be	10 méter
be	be	12 méter

Szigetelési hiba:

**S16 kapcsoló** (L1'-N' között a hiba 3. aljzat, F8 kikapcsolva)

**S17 kapcsoló** (L1'-PE között a hiba 3. aljzat, F8 bekapcsolva)

**S18 kapcsoló** (L1-padlózat között, mosógép a hiba, 30 mA-es FI bekapcsolva, F6 és J5 bekötve)

**S19 kapcsoló** (L1-PE között, mosógép a hiba, J5 kihúzva F6 nincs beiktatva)

**S20 kapcsoló** (L1-PE között, 3 fázisú motor, F3 kikapcsolva) nem mérjük.

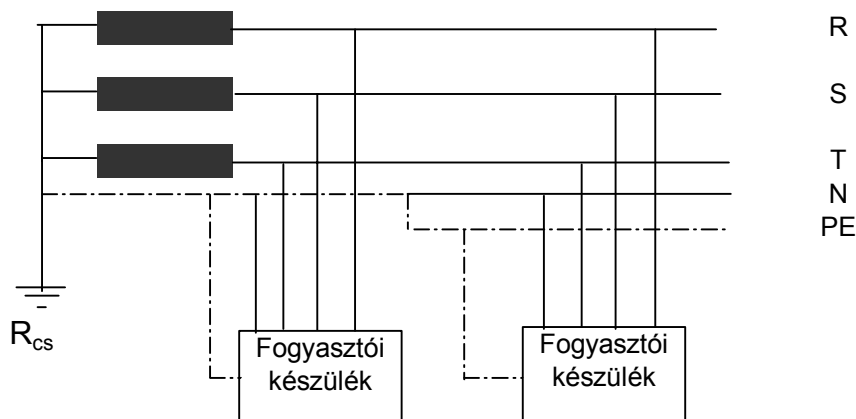
**S21 kapcsoló** (L2-N között, 3 fázisú aljzat, F2 kikapcsolva) nem mérjük

**S22 kapcsoló** (L1-L2 között, 3 fázisú aljzat, F2 kikapcsolva) nem mérjük

A régi kérdések, és a rájuk adható válasz:

### **3. Kérdések, és röviden a válaszok:**

1. Ismertesse közcélú kiefeszültségű elosztóhálózat esetében, melyről több lakást tartalmazó épületet látunk el, a szokásos érintés védelmi módszert



A **TN-C-S** rendszer a szokásos, ahol a közcélú hálózaton a nullával egyesített védővezető van (PEN, vagyis TN-C), míg az egyes lakásfogyasztóknak szétválasztott nulla és külön védővezetője (TN-S) van. A lakásfogyasztó nulla és védővezetőjét csak egy helyen, általában a fogyasztói elosztó szekrény és a fogyasztásmérő között szabad egyesíteni, további egyesítése a két vezetőknek nem megengedett.

2. Miért nem alkalmazhatunk nullázásos érintésvédelmet bányahálózatok esetében?

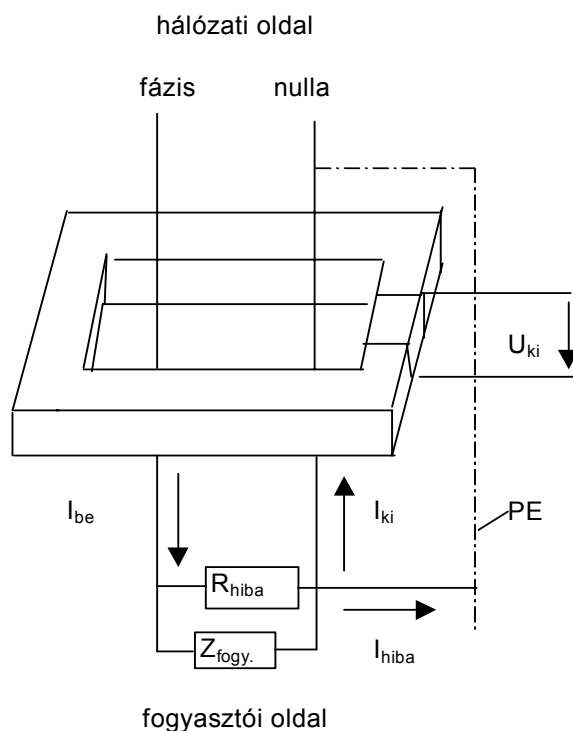
Kisfeszültségű bányahálózatok általában szigetelt csillagpontúak, nullázással és a nullavezető földelésével földelt csillagpontúvá válnának.

3. Ismertesse az áramvédő kapcsoló elvi működését.

A hiba mentes hálózaton a vasmag ablakában a bejövő és a kimenő áram azonos, így eredő gerjesztésük zérus, vagyis a kioldást kezdeményező tekercs kimenő feszültsége közel zérus lesz. Amennyiben szigetelési hiba következtében a bejövő áram egy része a PE védővezetőn keresztül folyik vissza (pl. egy készülék hibás szigetelése miatt), ekkor a vasmagban a bejövő és visszafolyó áram különbségéből adódó gerjesztés által létrehozott fluxus a vasmagon lévő tekercsben feszültséget hoz létre, melynek nagysága az áramkülönbség (hibaáram) növekedésével nő. Ha a hibaáram meghaladja az áramvédő (FI) relé beállítási értékét,  $U_{ki}$  hatására kioldás következik be és a készülék a fogyasztót leválasztja a hálózatról. A fogyasztó visszakapcsolása, csak a hiba, a meghibásodott készülék megkeresése és leválasztása után lehetséges.

4. Mutassa be, a nulla és a védővezető egyesítésének helyes és helytelen megoldásait ÁVK alkalmazása esetén,

## Helyes kapcsolás



Helytelen ha a védővezetőt és a nullát a FI relé fogyasztói oldalán egyesítik, mert ekkor a védővezetőn folyó hibaáram a vasmag ablakán átfolyik, és nem lesz különbség a befolyó és visszafolyó áram között. Nem következik be leoldás.

5. Miért szükséges, hogy a bejövő nullavezető keresztmetszete  $10 \text{ mm}^2$ -nél nagyobb legyen?

Kellő mechanikai szilárdsággal rendelkezzen és az erőművész szerelő, még fogóval se tudja megszakítani, mert ha meg tudná szakítani, annak végzetes következményei lennének.

6. Kinek feladata és joga, a közcélú kiefeszültségű elosztóhálózat érintésvédelmét meghatározni?

Annak megállapítása, hogy egy kiefeszültségű elosztóhálózat nullázottnak tekinthető-e, az illetékes hálózatot üzemeltető áramszolgáltató feladata és jogosultsága. Az áramszolgáltató új fogyasztó bejelentkezésekor a fogyasztói igénybejelentő lapon, mely egyben a fogyasztói szerződés is, nyilatkozik a hálózat érintésvédelmének módjáról.

7. Mit értünk érintésvédelem alatt, mi az érintésvédelem célja, és milyen érintésvédelmi módszereket alkalmazunk?



Feszültség alatt álló, vagy meghibásodás következtében feszültség alá kerülhető fém alkatrészeket a fogyasztók véletlenül se érinthessék meg, azokon 50 V-nál nagyobb feszültség ne léphessen fel, illetőleg ha felléphet, azok előírt időn belüli lekapcsolása biztosított legyen

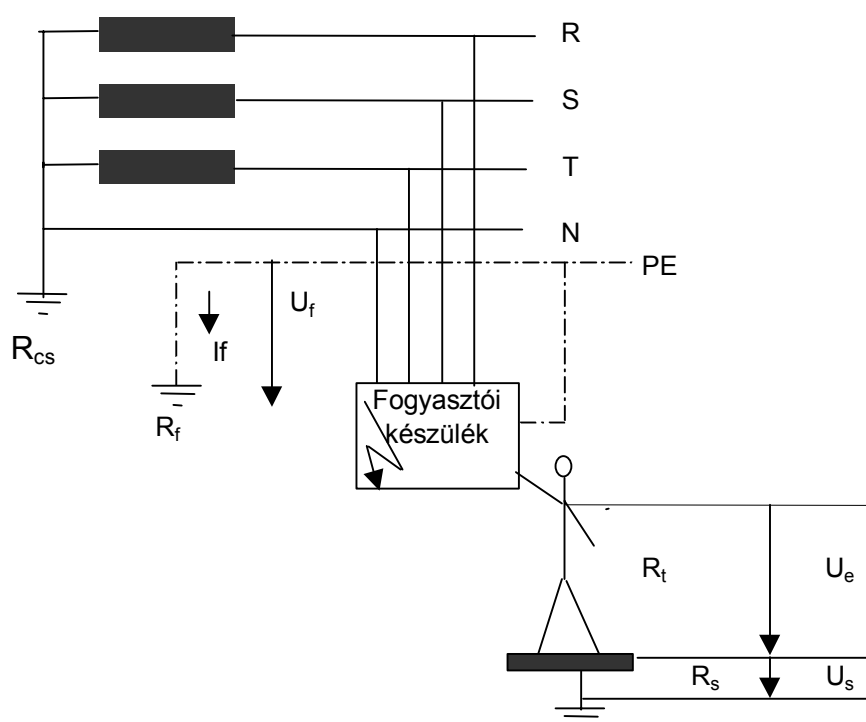
8. Miért fontos a védővezető folytonosságának ismerete és ellenőrzése?

Nem folytonos védővezető esetében az 50 V-os limit feszültségnél nagyobb, feszültségértékek tartósan felléphetnek egyes védettnek hitt vezeték szakaszokon.

9. Mit eredményez TN-C-S rendszernél, ha a fogyasztónál több helyen is összekötötték a nullát és a védővezetőt.

Érintés védelem nem fog helyesen működni, pl. FI relén nem folyhat különbözeti, hiba áram.

10. Mit nevezünk érintési feszültségnek, és mi befolyásolja nagyságát;



ahol R, S, T fázisvezetők, N a nullavezető, PE védővezető

$R_{cs}$  a rendszer csillagpontjánál a földelési ellenállás

$R_f$  védővezető földelésének ellenállása

$U_f$  a hiba feszültség,  $I_f$  hiba áram,  $U_f = I_f \cdot R_f$

$R_t$  a test ellenállása,

$R_s$  a cipő, a padlózat ellenállása,  $U_s$  az erre eső feszültség

$U_e$  érintési feszültség, általában  $U_e \leq U_f$

Az áthidalt, érintett, hiba feszültség, nem azonos, általában nagyobb az érintési feszültséggel, mely az emberi testre jut összetevője. Az emberi test ellenállásán túlmenően az emberen átfolyó áramot az ember talpa és föld közötti ún talpponti ellenállás (a talaj és a cipő anyagától, annak nedves vagy száraz állapotától számottevően függ!) is befolyásolja. A biztonság javára tévedünk, ha  $R_s$  bizonytalan értékét 0-nak vesszük.  $R_s = \infty$  esetén, az ember el van szigetelve a földtől.