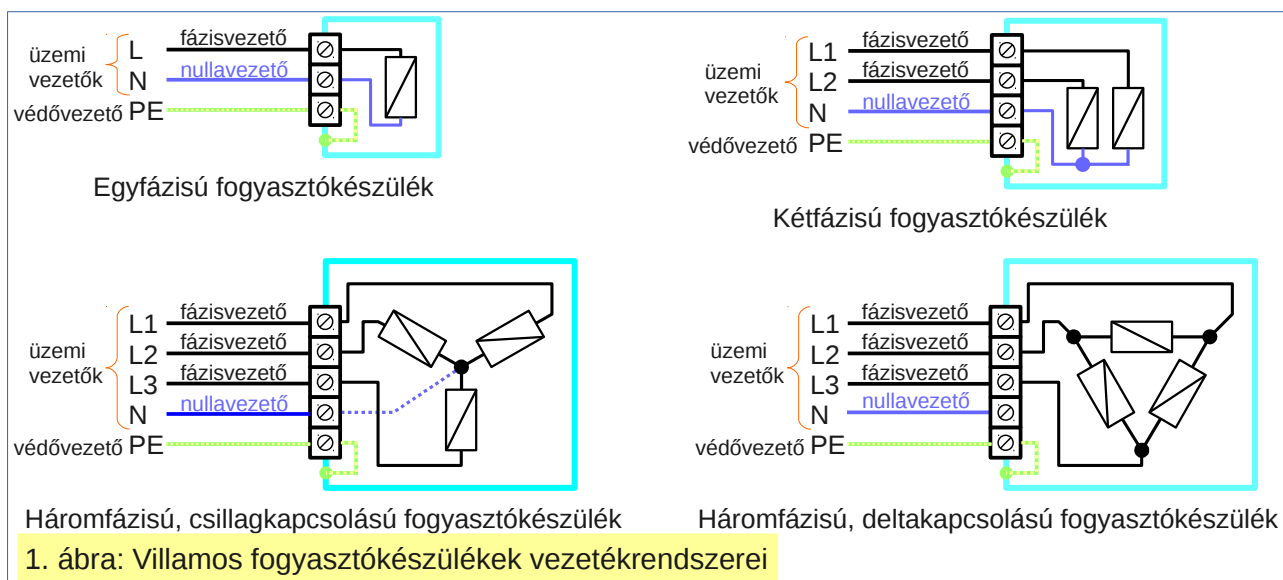


Egy vita margójára, avagy értem én, hogy ÁVK, de mégis mi hajtja?

Nemrég fültanúja voltam, amint a villamos szakma két jeles képviselője személyeskedésig fajuló vitába keveredett egymással egy szakmai vizsga tesztkérdései között felbukkanó, az áramvédő kapcsolók (röviden: ÁVK-k) alapvető működési elvét érintő kérdés két lehetséges választát illetően. Saját véleményem szerint mindkét félnek igaza is volt és természetesen nem is, a problémát a szakmában és az oktatóhelyeken használatossá vált nem túl precíz fogalomhasználat okozta. Ennek hatására döntöttem úgy, hogy az ÁVK-k működését részleteiben górcső alá veszem.

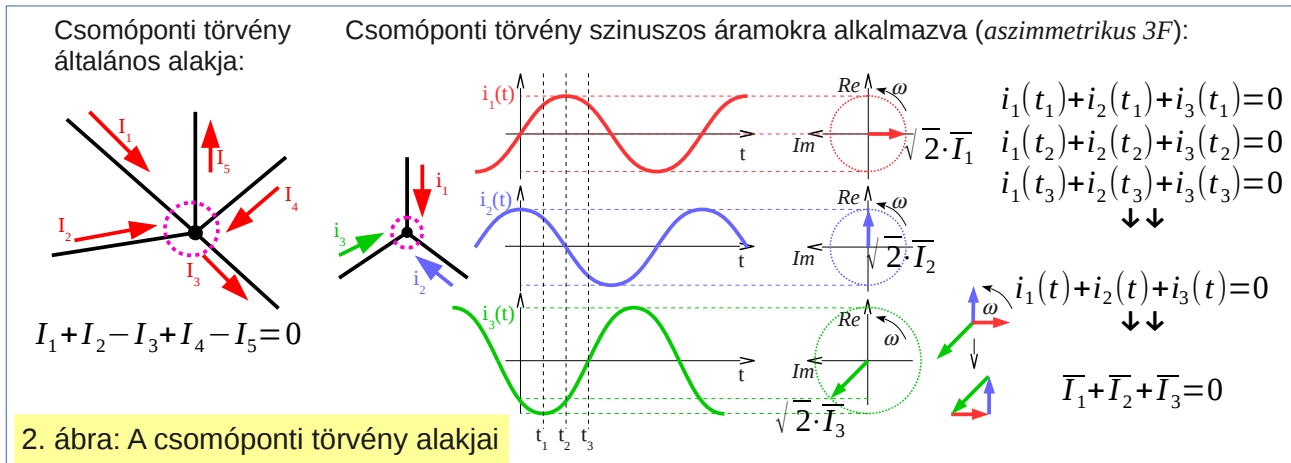
Az erősáramú fogyasztókra a tápforrástól több vezetőréssel csatlakozunk. Ezek egyrészt az üzemi áramot vezető vezetők: a fázisvezetők (a fogyasztó felépítésétől függően lehet 1, 2 vagy 3 fázisvezető) és a nullavezető (ez utóbbi a háromfázisú fogyasztókba nem minden esetben van bekötve, de a táphálózatban általában ki van

építve), másrészt I. érintésvédelmi osztályú készülékeknél még van egy további vezető, az ún. védővezető, amely a készülék megérinthető és hiba esetén feszültség alá kerülő fémrészeihez, röviden testéhez van kapcsolva (**1. ábra**).



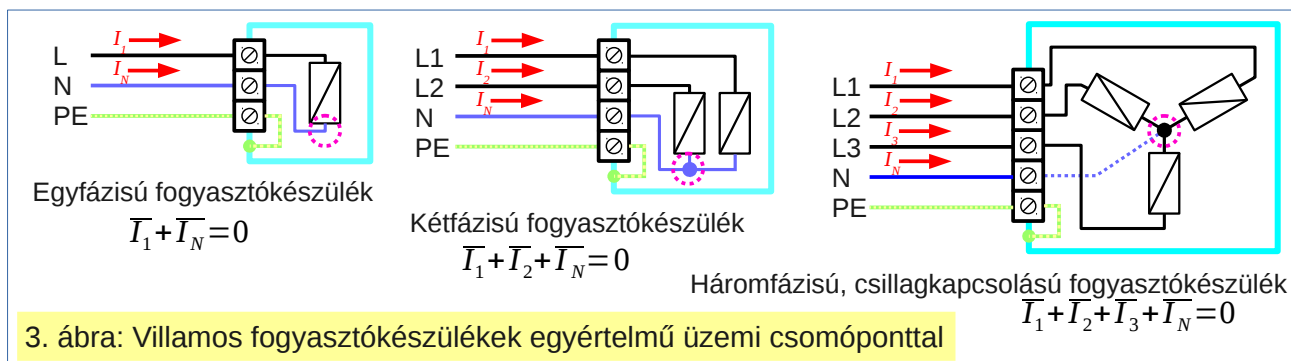
Hibátlan készülékben az üzemszerűen feszültség alatt lévő aktív részeket és a testet minimum alapszigetelés választja el egymástól, így a védővezetőn üzem közben nem folyhat áram. Természetesen az alapszigetelés véges mértékű szigetelési ellenállása miatt folyhat kismértékű szivárgó áram, de ettől most tekintsünk el, későbbiekben ezzel is foglalkozunk. Első közelítésben tekintsük tökéletes szigetelőnek az alapszigetelést.

A működés alapját képező első törvény a csomóponti Kirchoff törvény: Egy csomópont be- és kifolyó áramainak pillanatértékeiből képzett összeg minden időpontban zérus értékű. Az összegzésnél fel kell venni a pozitív mérőirányt, ez szabadon választható, esetünkben ez a befolyó áramok iránya, az ellentétes irány áramai negatív előjelet kapnak. Szinuszos áramok esetén a pillanatértékek összegzésével egyenértékű az áramok effektív értékehez és fázishelyzetéhez rendelt komplex vektorok, az ún. fazorok vektori összegzése (**2. ábra**).



Ha valamely vezetécsoport áramára teljesül a Kirchoff csomóponti törvény, akkor a vezetécsoport áramrendszerét (röviden: a vezetők áramát) kiegyenlítettnek nevezzük, mivel ezeket az áramokat egy csomópontba vezetve nincs szükség további áramok felvételére a csomóponti törvény teljesüléséhez. Ez természetesen nem jelenti, hogy ugyanerre a csomópontra nem csatlakozhatnak más áramjárta vezetők, csupán a további csatlakozó vezetők árama is kiegyenlített kell legyen.

A fogyasztókészülékek belső villamos szerkezete általánosan, a táphálózat felől vizsgálva, elemi kétpólusokból, rezisztív ellenállásokból, valamint induktív és esetenként kapacitív reaktanciákból álló impedanciahálózattal modellezhető. Ezen modellező hálózatban mindig található egy olyan csomópont, amelybe az összes üzemi vezető árama befolyik és vonatkozik rá a csomóponti Kirchoff törvény. Ez egy és két fázisról táplált, valamint háromfázisú csillagkapcsolású készülékek esetén egyértelmű (3. ábra).

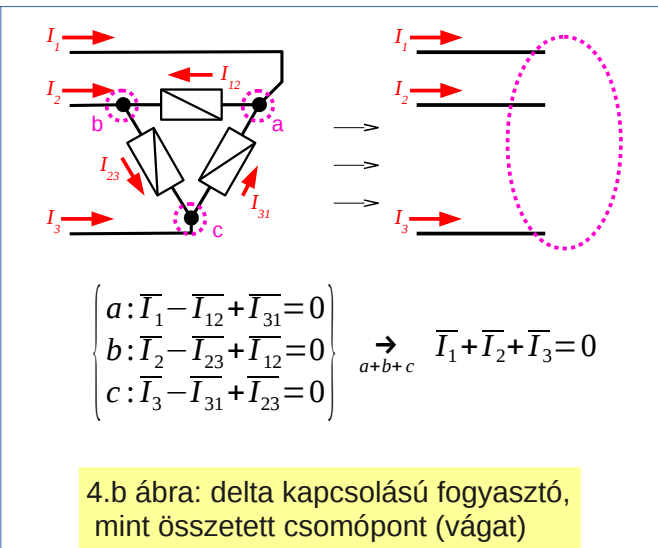
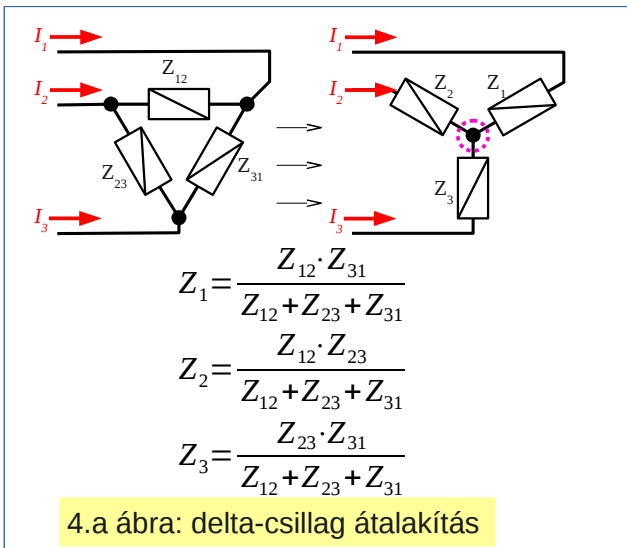


Deltakapcsolású háromfázisú berendezésekre az alábbiak alapján látható be:

- középiskolai tanulmányainkból ismert, hogy egy delta kapcsolás mindig átszámítható a három kapcsolás szempontjából egyenértékű csillag kapcsolásba (4.a ábra), amelyben megtalálható a keresett csomópont.

- magasabb szinten vizsgálva, a deltakapcsolást a három csomópontjával befoglalhatjuk egy zárt görbébe, amely a görbét metsző áramokra egy kiterjesztet csomópontként viselkedik, amelyre vonatkozik a csomóponti törvény. Hálózatanalízisben az így körülvágott entitást vágatnak nevezik, azért kezelhető csomópontként, mert a belső csomópontok

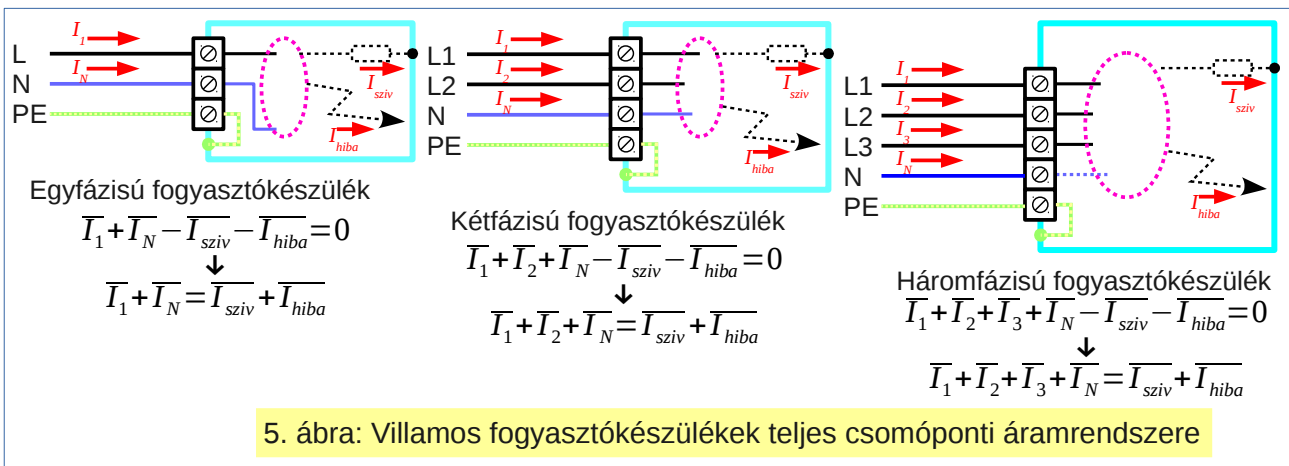
csomóponti egyenleteiből álló egyenletrendszer kifejtése egy, csak a külső áramokat tartalmazó csomóponti egyenlethez vezet (4.b ábra).



A továbbiakban a fogyasztókészüléket teljes egészében egy vágatként kezeljük.

A csomóponti áramok rendszerét kibővítjük a valamely üzemi vezetón befolyó, de nem üzemi vezető(kö)n visszafolyó árammal. A szakzsargon

ezt nevezi hibaáramnak, de ennek forrása kétféle lehet: az üzemi szigetelésben bekövetkezett hiba, az ebből eredő áramösszetevőt valóban nevezhetjük hibaáramnak, illetve lehet a korábban említett szivárgóáram. (5. ábra)



Ép készülékben hibaáram értelemszerűen nincs, a szivárgóáram olyan kicsi, hogy első közelítésben elhanyagoljuk, így a csomóponti egyenlet kettő zérus értékű taggal bővül, ép készülékben az üzemi áramok kiegyenlítettnek tekinthetők. Később megvizsgáljuk egy ép, de valamely mértékű

szivárgóárammal működő berendezés esetét is, most csak annyit jegyezzünk meg, hogy a hiba és szivárgóáramok jelenléte felborítja az üzemi áramok kiegyenlítettségét, a kiegyenlítettség nagysága megegyezik ezen két áram összegével.

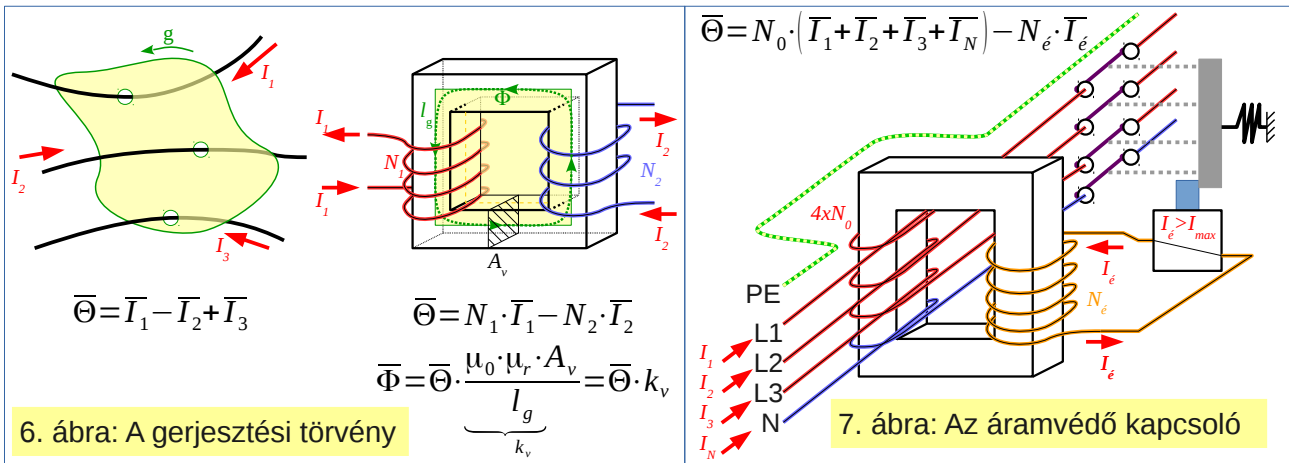
A működést leíró következő törvényszerűség

a gerjesztési törvény, ennek az elektromos áramokhoz kapcsolódó része így szól: egy zárt görbére jutó mágneses gerjesztés megegyezik a görbe által körbezárt felületet átdőfő áramok összegével. (6. ábra) A görbén szintén fel kell venni egy pozitív mérőirányt, a felületet ehhez a jobbkéz-szabály szerint igazodó irányban átdőfő áramok pozitív, az ellentétes irányúak negatív irányítottággal gerjesztenek.

A törvény mágneses mezőhöz kapcsolható részét, terjedelmi okok miatt összevontam más mágneses törvényekkel, melyekből a következő összefüggés alkotható meg: amennyiben a görbe egy mágneskör tengelyvonalát követi, a kialakuló mágneses fluxus az eredő mágneses gerjesztéssel arányos, a kör geometriai

felépítésétől és anyagától függően. A mágneses fluxus és a gerjesztés közötti arányosság többé-kevésbé nemlineáris a mágneskör anyagának mágnesezési görbéje miatt.

Minden tekercs árama a görbe felületét a meneteinek számszor döfi át, így lehetséges az egyes áramok gerjesztését előjelesen súlyozni a menetszámok és a csévélési irányok megfelelő megválasztásával. Mivel időben változó áramokról van szó, az eredő gerjesztés is időben változó lesz, az összegzés a csomóponti törvényhez hasonlóan időpontról időpontra végezendő, vagy szinuszos áramok esetén az áramfázorok súlyozott vektori összege alapján gerjesztésfázor számítandó.



Az ÁVK felépítése az 7. ábrán látható. Az üzemi vezetők egy közös mágneskört gerjesztenek azonos mértékben (azonos a menetszám) és azonos irányítottággal (azonos csévélési irány). A mágneskörtön elhelyeznek egy további, nagyobb menetszámú „szekunder” tekercset, feladata alapján nevezhetjük ezt érzékelőtekercsnek, amelyet elektrodinamikus vagy elektronikus áramérzékelő-kioldó zár rövidre.

Az üzemi vezetők tekercseinek menetszáma és irányítottága azonos, így kiegyenlített üzemi áramú fogyasztókészülék esetén a mágneskört az üzemi áramok nem gerjesztik. **Nagyon fontos**, hogy az ÁVK csak olyan rendszerben

működőképes, ahol az üzemi és hibaáramok elkülönítettek, nincsenek anyagtakarékossági okból a nullvezető áramával közösen vezetve (TN-C rendszer, PEN vezetővel), mivel utóbbi áramrendszere hiba esetén is kiegyenlített.

A továbbiakban a váltakozó áramra használható induktív elvű és az egyenáramokra is használható elektronikus kiegyenlítésű ÁVK működési törvényszerűségei eltérnek. A kétféle ÁVK további működésére csak nagy vonalakban térek ki, mivel számunkra a lényeg egy mindkét változatra jellemző közös következmény: az érzékelő tekercsben a mágneskör eredő gerjesztését zérus értékre kiegyenlítő áram folyik.

Az inductív elvű ÁVK működésében a tapasztaltabbak felismerhetnek a 7. ábrán egy módosított áramváltó transzformátort, amelyben a primer oldalon nem egy vezető árama, hanem az összes üzemi vezető árama egyidejűleg hoz létre gerjesztést. Az áramváltó működését a transzformátoregyenletek (8. ábra) határozzák

meg. A transzformátorok rövidzárlati áramánál több nagyságrenddel kisebb mágnesező gerjesztés elhanyagolásával a transzformátoregyenletekből következtethető az érzékelőtekercs áramának gerjesztékiegyenlítő szerepe.

$$\Theta(t) = N_1 \cdot i_1(t) - N_2 \cdot i_2(t)$$

$$\Phi_{sz1}(t) = N_1 \cdot i_1(t) \cdot k_{sz1}$$

$$\Phi_m(t) = \Theta \cdot k_v$$

$$\Phi_{sz2}(t) = N_2 \cdot i_2(t) \cdot k_{sz2}$$

$$u_1(t) = N_1 \cdot \frac{\Delta(\Phi_{sz1}(t) + \Phi_m(t))}{\Delta t}$$

$$u_2(t) = N_2 \cdot \frac{\Delta(\Phi_{sz2}(t) + \Phi_m(t))}{\Delta t}$$

$k_v \rightarrow \infty, \Phi_{sz1} \ll \Phi_m, \Phi_{sz2} \ll \Phi_m$
 \downarrow
 $\frac{U_1}{U_2} = \frac{N_1}{N_2}$
 $N_1 \cdot I_1 = N_2 \cdot I_2 \rightarrow \Theta = 0$

8. ábra: A transzformátoregyenletek

Az elektronikus kiegyenlítésű ÁVK (9. ábra) mágnescsőben kialakuló mágneses indukciót érzékelik pl. Hall elemes érzékelővel, majd ennek jelét egy szabályozott körben negatív visszacsatolásként felhasználva az

érezékelőtekercsen folyó árammal a mágnescső legerjesztik. Ebben az esetben a szabályozott kör gondoskodik arról, hogy az érzékelőtekercs árama mindig zérus értékűre egészítse ki a mágnescső gerjesztését.

Hall érzékelő karakterisztikája:

$$U_{Hall} = c \cdot B = c' \cdot \Phi$$

Szabályozási kör célértéke:

$$U_{Hall} \neq 0$$

$$\downarrow$$

$$\Phi \neq 0$$

$$\downarrow$$

$$\Theta \neq 0$$

9. ábra: Elektronikus kiegyenlítésű (DC/AC) áramvédő kapcsoló

Összefoglalva az ÁVK megismert törvényszerűségeit:

- a csomóponti törvény alapján az üzemi, a szivárgó és a hibaáramok összege zérus:

$$\overline{I_1} + \overline{I_2} + \overline{I_3} + \overline{I_N} - \overline{I_{hiba}} - \overline{I_{sziv}} = 0$$

- a mágnescső eredő gerjesztése zérus:

$$\overline{\Theta} = N_0 \cdot (\overline{I_1} + \overline{I_2} + \overline{I_3} + \overline{I_N}) - N_\epsilon \cdot \overline{I_\epsilon} = 0$$

A két egyenlet összevetése alapján az érzékelőtekercs árama arányos a hiba és a szivárgóáram összegével:

$$\overline{I}_{hiba} + \overline{I}_{sziv} = \frac{N_{\acute{e}}}{N_0} \cdot \overline{I}_{\acute{e}}$$

Ezt ráadásul úgy értük el, hogy ezeket az áramokat közvetlenül nem kell érzékelni. Aki már próbált zárlatot, vagy főleg meggyengült szigetelés miatt folyó szivárgóáramot lokalizálni, az tudja, hogy ezekre nem jelölhető ki egyértelmű áramút, nem életszerű, hogy ezt követlen módon érzékelni próbáljuk. Most mondhatnánk, hogy I. érintésvédelmi osztályú készülék esetében adott a védővezető, melyen ezeknek az áramoknak folynia kell, de itt két ellenvetést kell tennem:

- a villamos berendezés testjét és egyidejűleg földpotenciálú vezetőt megérintő személy párhuzamosan kapcsolódik a védővezetőből és a PEN vezetőből álló impedanciával, így áramosztás jön létre. A szivárgó és hibaáramok egy része így nem a védővezetőn, hanem a berendezést megérintő személyen folyik. Természetesen a készüléket tápláló hibátlan villamos berendezés esetén a személyen folyó szivárgóáram az életveszélyes mértéknél nagyságrendekkel kisebb kell legyen, a hibaáramot pedig a kioldószerelv előírt időn belül meg kell szakítsa, de ettől függetlenül a készülék teljes szivárgó és hibaárama nem csak a védővezetőn folyik. Ráadásul az ÁVK-val védett készülékre az MSZ HD 60364-4-41:2007 szabvány nagyobb hurokimpedancia vagy földelési ellenállás értéket enged meg, amelyek mellett az áramosztás során nagyobb hányad jut a készüléktestet megérintő személyre. További adalékként, ha egy készülék szivárgóárama meghaladja a 10mA-t, az MSZ HD 60364-5-54 szabvány szerint is megerősített vagy kettőzött védővezetőt kell alkalmazni, többek között ezen áramosztás mértékének megbízhatóan alacsony szinten tartása érdekében.

- a legfontosabb érv, hogy az MSZ HD 60364-5-54 szabvány nem engedi érzékelő vagy működtető tekerics beiktatását védővezetőbe.

Mivel az ÁVK működéséhez nem kell a szivárgó és hibaáramokat közvetlenül érzékelni,

alkalmas védővezető nélküli érintésvédelmi módok kiegészítő védelmére is. Minden olyan hibát lehet vele észlelni, ahol a hibaáram nem az üzemi vezetőkön záródik, függetlenül a készülék ÉV osztályától. Így nyer értelmet a fürdőszobák áramköreibe épített ÁVK még kettős szigetelésű készülékek esetében is. (Lásd fürdőkád vs. hajszárító.)

A fentieket összegezve az ÁVK működésének leírására a következőt javaslom: az ÁVK közvetlenül az üzemi vezetők áramának kiegyenlítetlenségét érzékeli, amelynek oka a szivárgó és hibaáramok jelenléte.

Most vizsgáljuk meg, milyen hatással van az ÁVK működésére a gyakorlatilag minden készüléknél jelen lévő szivárgó áram. Az ÁVK-k egyik legfontosabb adata a névleges kioldóáram. Ha az üzemi áramok kiegyenlítetlenségének mértéke ezt meghaladja, mindenképpen létre kell jönnie a kioldásnak. Továbbá a névleges kioldóáram felénél kisebb kiegyenlítetlenség esetén semmiképpen nem szabad kioldania. Az ÁVK névleges kioldóárama ezzel egy toleranciatartományt jelöl ki a berendezés szivárgó áramára, ha az nem nagyobb a névleges kioldóáram felénél, az ÁVK téves kioldás nélkül képes ellátni feladatát.

Például az ÁVK-k tévesek tűnő kioldását leggyakrabban a napjainkban egyre szélesebb körben alkalmazott elektronikus tápegységekbe épített túlfeszültség-levezető okozza, amelynek szivárgóárama a hőmérséklettel növekszik. A hatás fokozódik egy áramkörrel táplált több tápegység esetén, a bekapcsoláskor hibátlanul mutató kör üzemmelegen már kiválthat kioldást. Ilyenkor az egy körről táplált fogyasztók szétosztása célszerű, több független ÁVK-val védett áramkörre.

Az ÁVK-k másik legfontosabb adata a névleges áram. Egy hibátlan készülék esetén az üzemi vezetőkön folyó kiegyenlített áram nem hoz létre gerjesztést és így kioldást sem, még akkor sem, ha az áram már többszörösen nagyobb az ÁVK áramvezetőinek és kapcsolószerkezetének terhelhetőségénél. Az áramvédő

kapcsoló tápáramkörét ezért egy az ÁVK névleges áramánál nem nagyobb névleges áramú túláramvédelmi eszközzel védeni kell. Ez lehet olvadóbiztosító, kismegszakító vagy megfelelő áramkorlátokra beállított megszakító. Ha ezt elhagyjuk, az ÁVK esetleges túlterhelését csak az indián füstjelek megjelenése fogja jelezni.

Végezetül vizsgáljuk meg a jelen cikket inspiráló, egymással szembeállított válaszlehetőségeket, miért volt igaza mindkét félnek, és miért nem.

„Az ÁVK a testzárlati hibaáramot érzékeli”

Eddig pontosan erről volt szó: Nem érzékeli a hibaáramot, ugyanis a hibaáram nem folyik át rajta. Az üzemi vezetők áramának kiegyenlítettségét érzékeli, amelyet okozhat a hibaáram is, ami nem csak testzárlat következményeként folyhat (pl. ízlésesen konnektorba beledugott százaz szög tapogatása). De okozza a szivárgóáram is. Ha precízen kell fogalmazni, akkor az idézett állítás pontatlan és hiányos. A szakmai köznyelvben mégis elterjedten hallható, mivel ok-okozati kapcsolatot mutat be: testzárlati hibaáram folyt – leoldott az ÁVK, bizonyos körülmények között ennyi elég is. De vannak körülmények, ilyen egy szakmai vita, ahol ennyi kevés. Ez ugyanaz a kérdés, mint amikor felvetik, hogy mit érzékel váltakozó feszültségmérés állásban egy Deprez alpműszerrel szerelt hagyományos multiméter (pl. Ganzuniv 3). A legtöbben rávágják, hogy a mért feszültség effektív értékét, ami ismét pontatlan és hiányos. A Deprez alpműszer kitérése ugyanis a mért mennyiség középértékével arányos. A pontos megfogalmazás, hogy váltakozóáramú állásban az egyenirányítótól függően félhullámú vagy abszolút középértéket érzékel, és azt olyan skálatényezővel jelzi ki, hogy szinuszos esetben effektív értéket mutasson. Látható, hogy bizonyos körülmények között a pontatlan és hiányos válasz is fedí a valóságot.

„Az ÁVK az üzemi vezetők áramának aszimmetriáját érzékeli.”

A legnagyobb gond itt a szimmetria pontos

definíciójának tisztázása. Szigorúan véve akkor tekintjük szimmetrikusnak valamely vezetők áramát, ha az szinuszos, minden vezetőben azonos effektív értékű és fázisszögeik egyenletesen osztják fel a 360°-os kört a vezetők számával megegyező részre. E módon szimmetrikus áram folyik háromfázisú rendszerben a fázisvezetőkön ha mindegyik effektív értéke egyforma és bármelyik vezetők áramához viszonyítva a másik kettő áram fázisszöge 120° és 240°. Viszont ezt a definíciót alkalmazva szimmetrikusnak kell tekinteni egy egyfázisú rendszert is (természetesen szivárgó és hibaáramok nélkül), mert a fázis és nullvezető áramának effektív értéke azonos, fázisszögeik 180°-ban térnek el egymástól, viszont nem tekinthetjük szimmetrikusnak a háromfázisú szimmetrikus csillagkapcsolású fogyasztót tápláló áramokat, ha a csillagpontot is bekötik a nullvezetőbe, mert a nullvezetőn nem folyik áram, így az effektív értéke nem egyenlő egyik fázisvezető áramáéval sem. Ha meg akarunk felelni a kialakult fogalmainknak, a definíciót csak a fázisvezetők áramára alkalmazhatjuk, a nullavezetőt is tartalmazó üzemi vezetők áramának szimmetriájáról beszélni értelmetlen.

A félreértés itt is egy ok-okozati kapcsolatból levezetett téves következtetés miatt van: ha valamely vezetők árama szimmetrikus akkor azok árama kiegyenlített. A szakmai köznyelvben emiatt a két fogalom összemósódott, bizonyos iskolákban még ma is szinonímjaként használják a szimmetrikus áramrendszert a kiegyenlítettnek. A probléma az, hogy fordítva nem igaz, aszimmetrikus áramrendszer is lehet kiegyenlített, ilyen a háromfázisú rendszerhez csatlakoztatott egyfázisú fogyasztók esete is.

A második idézettel is az a probléma, hogy bizonyos körülmények között igaznak tekinthető. Például amikor a mondat műszakilag eleve értelmetlen, lásd fent, beindulhat a „mire gondolt a költő” típusú rejtvényfejtés, feloldásképpen a szimmetria alatt érthető kiegyenlítettség is, főleg ha már korábban is keverve volt a két fogalom.

Nagy általánosságban mindkét idézet támadható, egy szakmai vizsgán elvárható lenne precíz megfogalmazás legalább a feladatkiíró részéről, mondjuk az alábbi módon:

„Az ÁVK a testzárlati hibaáram hatására leold”

„Az ÁVK a fázisvezetők áramának aszimmetriáját érzékeli.”

Ha így lett volna megfogalmazva, már nem lehetett volna vitát indítani melyik állítás igaz és melyik hamis.

Remélem sikerült némileg hozzájárulnom az ÁVK-k körüli zavarok tisztázásához. Mindenkinek további jó munkát kíván a szerző: Korcsmár Bálint, okleveles villamosmérnök