

Elektromos kábelek vezetőinek gyártása, és kialakításaik

Az adatátvitelt és villamos energiát szállító kábelek behálózják világunkat. Nélkülözhetetlenek az energia szolgáltatás területén a XVIII. század óta, de napjaink informatikai hálózatai sem működnek nélkülük. A kábelek az elmúlt évtizedek során alapjaiban lényegesen nem változtak. Ez alatt elsősorban a réz és alumínium vezető kábeleket értem. Egy kivétel azonban van, az optikai kábel, mely merőben más elven működik mint réz eru híradástechnikai elodeik.

A környező világunknak szerves részét képezik. Megtalálhatóak készülékeinkben, lakásunkban, de sok esetben szélsőséges körülmények között is el kell látniuk feladatukat. A koolaj szivattyúk mérőszondáit kábeleken eresztik több száz méter mélységbe, ahol a kábelnek jelentős nyomást és hőmérsékletet kell elviselnie, nem beszélve a vegyileg agresszív környezetrol. Szigeteket kötnek össze tenger alatti közép- vagy nagyfeszültségű kábelekkel az energiaellátás céljából. Dániában, a tengerparttól néhány kilométerre a tengerbe telepített szélenergiák villamos energiáját ilyen kábeleken szállítják a szárazföldre.

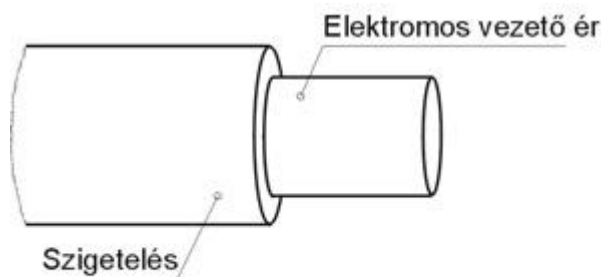
Optikai kábelek húzódnak a régi távolsági gerinc telefon hálózatok helyén, de manapság már egyre több helyen felszerelik ezt a korszerű adatátviteli eszközt a nagyfeszültségű kábelhálózatokra is.

Tehát úgy tunik, hogy a közeli jövőben továbbra is igen nagy jelentősége lesz a kábeleknek, és az általuk alkotott rendszereknek.

Sajnos annak ellenére, hogy a villamos és számítástechnikai berendezéseink, nem működhetnének kábelek nélkül, igen csak mostohán bánik a szakma eme széles körben használt anyagokkal. Magyarországon a kábelmérnök képzés majd húsz éve megszunt. Az egyéb villamos ipari közép- és felsőoktatási intézmények is csak általános ismereteket adnak hallgatóiknak a kábelekrol. Kevés az információ a kábelekrol, nehezen gyűjthető össze. Ezért úgy gondoltam, hogy az alapoktól kiindulva megismertetem a kábelek gyártását, felépítését, felhasználását.

Elektromos kábel ereinek gyártása és azok típusai

Itt álljunk meg egy szóra, hogy tisztázzuk a kábel általános felépítését! Az elektromos kábel alapvetően két részből áll: egy elektromos vezető ér, ami többnyire réz vagy alumínium (bizonyos speciális esetekben lehet más is) és erre a vezetőre kerülő szigetelés mely napjainkban valamilyen műanyag 1. ábra.



Elektromos kábel felépítésének elvi vázlata

1. ábra

A kábel erek anyaga

A kábelek elektromos vezető ereinek anyagát alapvetően három csoportba sorolhatjuk:

- réz (Cu)
- alumínium (Al)
- egyéb

A **réz** a legelterjedtebb villamos vezető. Az alumíniumnál kisebb az elektromos ellenállása és hotágulása, ezért kedveltebb a felhasználása az ilyen kábeleknek a kivételek körében.

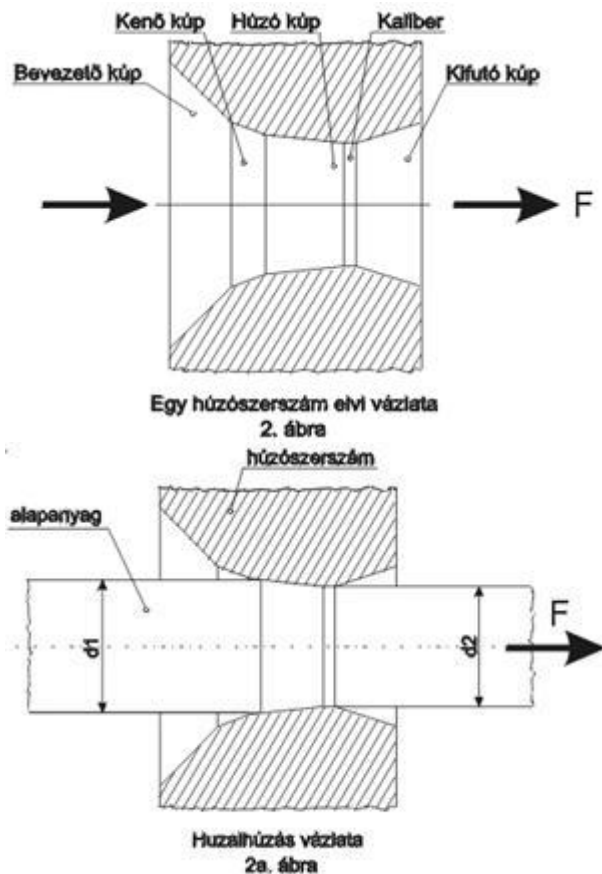
A kábelipari célokra alkalmas réz alapanyagát anódréz elektrolízisével állítják elő, majd az így nyert katódrezet redukáló atmoszférában újra megolvasztják és dróttuskóvá öntik. Ez lényegében egy 8mm átméretű rézhuzal melynek a tisztasága minimálisan 99,9% kell hogy legyen. A gyártás során legalább 16 féle különböző szennyező anyag kerülhet a rézbe, melyek a réz elektromos vezető képességét ronthatják. Ezek közül leginkább a P, Fe, Co, Si jelenléte rontja a réz vezetőképességét.

Az **alumínium** előállítása bauxitból kilúgozott timföld elektrolízisével történik. A fémolvadékot ezután egalizálják (egyenlosítik), finomítják, majd további megmunkálásra alkalmas tömbökbe öntik. A tömbökből többnyire öntve hengerelt módszerrel úgynevezett 'properzi'-féle alaphuzalt készítenek a kábelipar számára mely hasonlóan a réz alaphuzalhoz 8 mm átméretű de esetenként lehet 10 vagy 15mm átméretű is. Az alumínium tisztasága minimálisan 99,45% kell hogy legyen. Az alapanyag gyártása során legalább 11 féle szennyezővel kell számolni, melyek közül a Mg és a V jelenléte növeli a legerősebben az alumínium ellenállását.

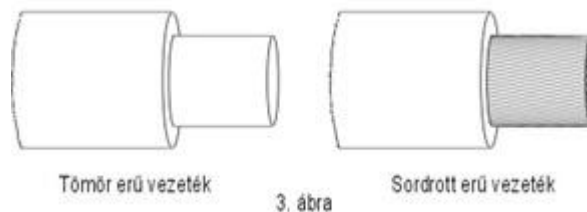
Az **egyéb** kategóriába többnyire a kompenzációs kábelek erei kerülnek. A kompenzációs kábeleket a hőmérsékletet mérő hőelemekhez használják. A mérés sajátossága, hogy a hőelemhez kapcsolt műszer csak akkor ad valós értéket, ha a műszer és a hőelem közötti kábel ugyanazon anyagból készült mint a hőelem. (Természetesen itt is vannak kivételek!) Tehát ha a méréshez egy NiCr-Ni hőelemet használnak akkor a kábel egyik vezetője NiCr ötvözet míg a másik vezető Ni kell hogy legyen. Ezen a területen felhasználhatnak még Fe, CuNi, Ni, Pt anyagokat is vezetőknek.

A kábel erek gyártása

A már említett réz vagy alumínium alaphuzalokból, úgynevezett huzalhúzással azaz üregben való többszöri áthúzással készülnek az erek gyártására felhasznált huzalok. Ezek legkisebb átmérete 0,02mm is lehet. A technológiai okokból szükséges lágyítást gyártás közben végzik el. A lágyítás hőmérséklete alumínium húzása esetén 350-450 oC, míg a réznél 300-520 oC lehetséges. A kábelgyártás szempontjából a huzalok előírt szilárdsága, villamos vezető képessége és felületi minősége a lényeges, a huzalokon többnyire nem alkalmaznak különleges felületkezeléseket, hacsak nem szükséges a réz vezető ónozása. A hidegen húzott huzal úgy készül, hogy az alaphuzalt megfelelően kiképzett, fokozatosan szűkülő nyílású húzószerszám sorozaton húzzák át. A húzószerszám anyaga keményfém, vagy gyémánt lehet 2.ábra. A húzószerszámon áthúzott huzal átmérete lecsökken, hossza eközben nyúlik 2a.ábra.



Az így elkészült réz vagy alumínium huzalok alkalmasak különféle kábel ér szerkezetek összeállítására, melyek lehetnek tömör, vagy sodrott kivitelűek. Például ha a húzás utolsó fázisában végtermékként kapott 1,38mm átméretű réz huzalt PVC szigetelő anyaggal leszigetelünk egy H07V-U 1x1,5mm² (MCu) típusú tömör érű vezetékét kapunk. Amennyiben 0,25mm átméretű huzalokból 30 szálat összesodrunk és azt szigeteljük le hasonló módon akkor H07V-K 1x1,5 mm² (Mkh) típusú sodrott érű hajlékony vezeték lesz a termékünk 3.ábra.



A kábel ér szerkezeteinek kialakítását elsősorban a felhasználói igények és a gyártási technológia határozza meg. Tömör ereket gyártanak azon kábelekhez, melyek beszerelés után rögzített állapotban fix helyen látják el funkciójukat például a lakásunk falaiban húzódó vezetékek többsége ilyen H07V-U (MCu). Sodrott erekkel azok a termékek készülnek ahol fontos a hajlékonyság, illetve a kábel használata során mozgásnak, rázkódásnak van kitéve. Ezek közé tartozik a H05VV-F (MT) mellyel a háztartási gépeink vannak csatlakoztatva a fali konnektorhoz.

Sodrott kialakítást alkalmaznak akkor is amikor a kábel rögzített elhelyezéssel lesz, de az ér legyártása nem célszerű tömör kivitelben. Ilyen például egy 240mm² keresztmetszetű réz ér, ahol a tömör ér gyártása sem egyszerű feladat, valamint a kábel fektetésénél és bekötésénél is komoly gondokat okozhatna. A tömör érrel elkészített kábelt nehezen lehetne behúzni kábelcsatornába, kábeltálcára mivel az ilyen nagy keresztmetszetű ér hajlításához komoly erők szükségesek. Ezért ezt a kábelt célszerű 61db 2,24 mm átméretű réz huzalból összesodorni. Mivel az elemi szálak igen vastagok, az így készült ér és kábel nem nevezhető hajlékonyknak, nem alkalmas mozgatható vagy vibrációnak kitett berendezések bekötésére, viszont a kábel fektetés előtti átcsévélése, majd a fektetése egyszerűbb, a könnyebb kezelhetőségből adódóan kisebb a kábel sérülésének veszélye. A kábelek bekötésekor a kábelfej kiképzésekor szintén könnyebb vele a munka így időt, és az esetleges sérülésekből keletkező többletköltséget lehet megtakarítani. Tehát a feladattól függetlenül számos szerkezet alakítható ki. A leggyakrabban azonban négy alapesettel és azok variációival találkozhatunk 4. ábra.



4. ábra

Tömör ereket a többnyire a kis keresztmetszetű kábelekben alkalmaznak. A hazai gyakorlat szerint alumínium kábeleket 16 vagy 25mm² keresztmetszetig tömör, az attól nagyobb ereket sodrott kivitelre gyártják (Pl.: SZAMKAM kábel 4x16 - 4x240). A német gyártók viszont a teljes méretsort tömör kivitelben készítik (Pl.: NAYY 4x16-4x240).

Réz kábelek esetében a kép egységesebb. Mind a hazai és a német gyártók hasonló módon 16 mm² felett nem gyártanak réz kábelt tömör erekkel. Ennek oka, hogy a réz kábel sokkal elterjedtebb, és a gyártók a kínálati palettát itt inkább bővítik mint az alumínium kábelekénél.

Természetesen a kis keresztmetszetű kábeleket is gyártják sodrott kivitelbe (mint ahogy azt már említettem). Ennek oka a megfelelő hajlékonyság elérése. De míg az előbb említett példában az erek sodratai 1-2 mm átméretű huzalokat tartalmaztak, addig a hajlékony kábelek erei 0,05mm - 0,6mm átméretű huzalokból épülnek fel. Ezeket az ereket építik be a hajlékony PVC, gumi, vagy poliuretán szigeteléssel ellátott kábelekbe. Hogy átláthatóbb legyen a kábel erek sodrataira vonatkozó adathalmaz, szabványosították azt. A DIN VDE 0295, IEC 60228 és HD 383 szerint a gyakran használt szerkezeteket táblázatba foglalták, ahol megkülönböztetnek különböző finomsági osztályokat. A leggyakrabban használt finomsági osztályok:

- Class1 tömör ér szerkezet (nem hajlékony kábelekhez pl.: H07V-U (MCu))
- Class2 sodrott ér szerkezet (nem hajlékony kábelekhez pl.: NYY)
- Class5 finoman sodrott ér szerkezet (hajlékony kábelekhez pl.: H05VV-F (MT))
- Class6 extra finoman sodrott ér szerkezet (hajlékony kábelekhez pl.: H01N2-E hegesztőkábel)

Egy példán keresztül világítsuk meg hogy mi is a különbség az egyes osztályok között. Vegyünk egy 6mm² keresztmetszetű réz kábel ereket, és vizsgáljuk meg milyen elemi szálakból épül fel ez a keresztmetszet az egyes osztályokban:

ér	Szerkezeti felépítés			
	huzalszám (db) x átmérő (mm)			
	Class 1	Class 2	Class 5	Class 6
6mm ²	1x2,76	7x1,05	84x0,3	192x0,2

Látható, hogy még Class1 egy darab huzalból áll, addig a Class6 csoportban ugyan ez a keresztmetszet 192 db huzalból lett felépítve. Természetesen a szabványa az itt említett finomsági osztályokon kívül még tartalmaz egyéb szerkezeteket is, sőt a gyártók a szabványtól eltérő felépítéseket is kialakíthatnak.

Az erek névleges mérete mindig szerepel a kábel jelölésében pl.: H07V-U 1x6. Esetünkben egy egyszerű és 6mm² keresztmetszetű kábeltól van szó. De mint minden szabvány, az ide vonatkozó is megengedett túréseket. A kábelgyártás gépei az elmúlt évtizedekben egyre korszerűbbek lettek, egyre pontosabban dolgoznak. Mivel a mai korszerű berendezések gyártási méretszórása sokkal kisebb mint a szabvány által megengedett, így a gyártók többsége el tudja készíteni az ereket a megengedett túrésemező alá. Azaz, ha valaki veszi a fáradságot és megméri egy 240mm² névleges keresztmetszetű kábel keresztmetszetét, szinte biztos hogy a névleges értéknél kisebb, de a szabvány által még megengedhető értéket fog kapni.

Megjegyzés: Sajnos azonban találkoztunk olyan külföldi gyártókkal, akik a megengedett minimális értékeket nem tartották be, ezzel jelentős alapanyagot spórolva, olcsóbban kínálták terméküket. Szerencsére ez azonban nem jellemző.

Az erek keresztmetszetének a megadása

Az erek keresztmetszetét mm²-ben adjuk meg. Léteznek ettől eltérő megadási módok is. Az 1970-es években megjelenő szakirodalomban még komoly táblázatok foglalkoztak a különféle keresztmetszet megadási módok

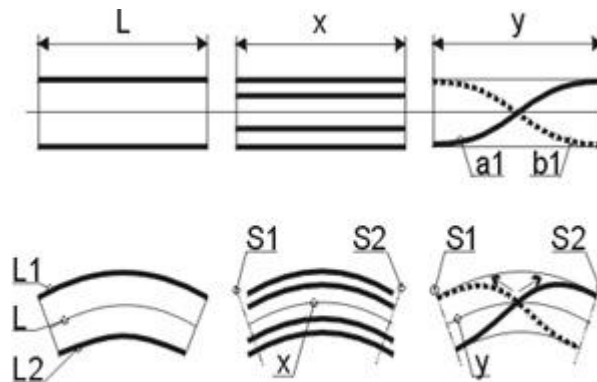
közötti átszámítással azaz AWG (American Wire Gauge), B&S (Brown & Sharpe) és SWG (British Standard Wire Gauge). Manapság már csak az AWG megadási móddal találkozhatunk, az amerikaiak ugyanis huségesek az általuk kialakított rendszerhez, és nincs különösebb törekvésnek jele, hogy a világon egységesítenék a rendszert. A tisztánlátás kedvéért egy példa hogy hol is találkozhatunk AWG keresztmetszet megadásával: UTP 4x2xAWG24 . Ugye így már ismerosebb. UTP és FTP informatikai hálózatokhoz használatos kábelek jelölésénél találkozhatunk a leggyakrabban vele. A kábel ereinek száma 4x2 azaz 8 (ezt a belső speciális felépítés miatt jelölik így) az erek keresztmetszete pedig AWG24, ami megegyezik a 0,51mm átméőőő (0,2047 mm² keresztmetszete) réz vezetovel.

A sodrott erek mechanikai tulajdonságai

Többször felmerült a kérdés, hogy mi az oka annak, hogy az erek sodrottak? A párhuzamosan nyalábbá összefogott huzalokkal szemben a sodrott, csavarvonal mentén futó szálakban a kábel hajlításakor kiegyenlítődnek a húzó- és nyomóhatások. Ezért egyrészt hajlékonyabb lesz a kábel, másrészt nem lépnek fel maradó alakváltozások és az ismételt hajtogatási igénybevételeket is sérülés nélkül elviseli. Az érszerkezet hajtogatását a tömör ér fogja a legrosszabbul viselni. Az 5. ábrán látható L hosszúságú tömör ér meghajlításakor az L1-es szakasz meg fog nyúlni, az L2-es szakasz pedig rövidülést szenved. A középvonal elméletileg változatlan marad. Amennyiben a hajtogatást folyamatosan végezzük, az L1 és L2 szakaszokban felléőő nyúlás-zömülés az anyag felkeményedését majd törését okozza. Ezért nem lehet tömör eru kábellel mozgásnak vagy vibrációnak kitett berendezést beköőőni.

Az X hosszúságú mintában az ereket párhuzamosan összefogva majd meghajlítva a huzalok megtartják eredeti hosszukat, mely eredményeként a felső szálak az S1-S2 síkok közé behúzódnak, az alsó szálak pedig kilépnek a két sík határolta térből. Amennyiben ez egy nagy hosszúságú kábel része lenne, az erek viselkedését úgy kellene vizsgálnunk mint az L1 és L2 szakaszokat, azaz a felső huzalokban húzó, míg az alsókban zömítő igénybevételek lépnek fel. Ezek az igénybevételek akkorák is lehetnének hogy kábel törését eredményeznék. Ilyen felépítésű szerkezeteket ezért nem gyártanak.

A többeru szerkezeteket sodrásával elkerülhető az elöbőő említett probléma, az ér hajlékony marad. Az Y hosszúságú összesodrott szerkezet egyenes állapotban szimmetrikus (a1-b1). Hajlításakor az érnek nem kell alakváltozáson átmennie csak a nyíllal jelzett irányba elmozdulnia. Így a középvonal alatti huzal 'felesleg' elmozdul a felső 'huzalhiányos' térbe, ennek hatására az erekben nem jön létre nyúlás vagy zömülés. A huzalok minél vékonyabbak annál nagyobb lesz a szerkezet hajlékonysága, és az erek élettartama a hajtogatással szemben.



5. ábra