XI. FIATAL MŰSZAKIAK TUDOMÁNYOS ÜLÉSSZAKA

Kolozsvár, 2006. március 24-25.

RÉZ VAGY ACÉL? ACÉL ÉS RÉZ FÖLDELŐHÁLÓ POTENCIÁL-ELOSZLÁSÁNAK VIZSGÁLATA

Bodnár Imre, Ladányi József

Up to now the earthing grid of the substations have been constructed exclusively only of cylindrical steel conductors according to the national practice in Hungary. However, the earthing grids of substations recently built in Hungary have also made of copper adopting the practice of West/European power utilities. Many arguments are in favour of the use of both materials. Considering electrical quantities, copper is better than steel, but from the point of view of economics the establishment cost of copper grid is higher than the cost the steel is more favourable than copper. The question: is it worth to change steel for copper else? For answer a question firstly, the equivalent internal impedance of the steel has been measured in laboratory. Characteristic of internal impedance of steel is non-linear vs. current. The authors on the bases of the measured internal impedance have done simulations for the comparison of steel and copper earthing grids. With the The CDEGS (Current Distribution, Electromagnetic Fields, Grounding and Soil Structure Analysis) software code has been used for the simulation study.

Magyarországon az alállomások földelőhálóját - a hazai gyakorlat szerint - eddig kizárólag acélból készült, azonban a nyugati gyakorlatot egyre inkább átvéve az újonnan épülő alállomások már réz földelőhálójával épülnek. Számos érv szól mindkét anyag mellett. Villamos paramétereket tekintve a réz kedvezőbb tulajdonságokkal rendelkezik, mint az acél, azonban gazdasági szempontból megvizsgálva a kérdést a réz földelőháló létesítési költsége jóval nagyobb, mint az acél esetében, köszönhető ez a fajlagos anyagárbeli különbségnek és a különleges szerelési technológiának. A kérdés tehát az, hogy megéri-e rézre cserélni az acélt vagy sem. A kérdés eldöntéséhez a szerzők először az acél nemlineáris belső impedanciáját vizsgálták meg laboratóriumi körülmények között. A mérések eredményeit felhasználva a réz és acél földelőháló összehasonlítására számítógépes szimulációt végeztek a szerzők a CDEGS kanadai szoftvercsomag segítségével.

Laboratóriumi mérések

Az alkalmazott 3x40 mm réz szalag hosszegységre eső egyenáramú ellenállása adott, $R' = 0,14 \text{ m}\Omega/\text{m}$. Az általunk vizsgált 2,5 m hosszú, 20 mm átmérőjű acél földelőháló elem hosszegységre eső egyenáramú ellenállása mérés alapján $R' = 0,45 \text{ m}\Omega/\text{m}$ értékre adódott. Az egyenáramú ellenállás értékek a további mérések összehasonlításai alapjául szolgálnak. A réz impedanciája az áram függvényében lineárisan változik, ezért a váltakozó áramú méréseket kizárólag az acél esetében végeztük el. A mérések célja az acél nemlineáris belső impedanciájának vizsgálata volt.

Ennek megfelelően a vizsgált acél földelőháló elemen átfolyó áramot változtattuk 0 - 1224 A közötti tartományban 50 Hz-es állandó vizsgálati frekvencia mellett. A valóságban azonban nem csak 50 Hz-es áramok okozhatnak nem kívánt potenciálemelkedést a földelőhálón, hiszen egy esetleges villámcsapás igen széles frekvenciaspektrumú áram-igénybevételt jelent. Ezért az átfolyó áramot 2 A állandó értéken tartva vizsgáltuk az acélrúd viselkedését 100-14000 Hz közötti frekvenciákon is. A mérés során koaxiális áram-visszavezetést valósítottunk meg, amely kiválóan képezi le a távoli földvisszavezetést. Az acélrúdban folyó áram hatására létrejövő mágneses tér gyakorlatilag az alumínium csövön belül marad. A szimmetrikus elrendezés miatt járulékos hatások, mint például árameloszlás torzulás az acélban, nem jönnek létre. A vizsgálat során mértük a köracélban folyó áramot (I), és az acél külső felülete mentén $L=2,5$ m hosszú szakaszon eső feszültséget (U). Az impedancia valós (R) és képzetes részeinek (X) kiszámításához ismerni kell az áram és a feszültség közötti fázisszöget (ψ) is. A mérés során gyakran torzultak a vizsgált jelek hullámalakjai, így a fázisszög pontos mérése – a feszültség- és az áram-időfüggvények nullátmenetei közötti távolság alapján mérő műszerrel – nem volt lehetséges.

1. ábra. A fázisszög meghatározása.

Ezért az 1. ábrán látható eljárást alkalmaztuk [1] a szög meghatározásához. Felvettünk három segédfeszültséget (U' , U_l , ΔU). Az U' magának az U felületi feszültségnek az erősített értéke, az U_l az árammal arányos és fázisban lévő feszültség, ΔU pedig az U' és az U_l fázisos különbsége. A segédfeszültségek értékeiből koszinusz-tétellel egyszerűen adódott a fázisszög. A mérések tapasztalatai szerint (2. ábra) a belső impedancia maximális értékét a viszonylag kisebb áramok tartományában (20 – 40 A) éri el, majd a nagyobb áramok tartományában közel exponenciális csökkenés figyelhető meg.

Az eredményekből jól látszik, hogy a maximális impedancia $Z' = 4,5 \text{ m}\Omega/\text{m}$, ami az egyenáramú ellenállás tízszerese. A hálózati frekvenciás mérések után megvizsgáltuk az acél belső impedanciáját nagyobb frekvenciákon a korábban leírt 50 Hz-es méréssel, azzal a különbséggel, hogy itt az áramerősség

2. ábra. Az impedancia áram függése.

konstans és a frekvencia változik. A mérést először $I = 2$ A esetén végeztük el, majd $f = 500$ Hz frekvencián felvettünk egy mérési pontot $I = 5$ A-es áram mellett is az áramtól való függés megfigyelésére. A mérési eredmények alapján megállapítható, hogy az áram növekedésével nagyobb impedancia adódik, tehát az áram nagyságától függő nemlinearitás itt is jól megfigyelhető. A 2 A-es áram mellett végzett mérés ese-

3. ábra. Az impedancia frekvencia függése.

tén az impedancia ellenállás és reaktancia komponensei közel egyenlők voltak $f = 500$ Hz-en, de az áram növekedésével ($I = 5$ A) jelentősebb mértékben nőtt a ellenállás összetevő, mint a reaktancia komponens. Megfigyelhető, hogy az ellenállás komponens a vizsgált frekvencia tartományban 4 kHz felett nem változik jelentősen, mert az áramkiszorítás elér egy olyan határt, ami után már nem nő tovább. Az induktív komponens a frekvencia növekedésével arányosan nő. A CDEGS szoftver a földelőháló vezetőinek belső induktivitását a μ_r relatív permeabilitásból számítja, ezért a szimulációt megelőzően a mérési eredményekből μ_r áram függését szükséges volt számítani.

Az alkalmazott szimulációs technika

A CDEGS szoftver elsősorban réz háló szimulációjára lett kifejlesztve. Ferromágneses anyagok esetén meg kell külön adni az adott anyag fajlagos ellenállását és relatív permeabilitását viszonylagos egységekben a rézre vonatkoztatva. Az acél esetében bonyolultabb a helyzet az impedancia nemlinearitása miatt. Az acél nemlineáris impedancia-áram jelleggörbáját három intervallumra osztottuk. Minden intervallumban képezve az impedancia valós részének középértékét, számítható a fajlagos ellenállás középértéke. A relatív permeabilitás középértékeit hasonló módon számítottuk. Az acél esetén minden egyes hálóelemnél külön-külön beállítottuk a fajlagos ellenállását és relatív permeabilitását a rajta átfolyó áramnak megfelelően. A réz földelőháló árameloszlását alapul véve iterálással meghatároztuk a végleges árameloszlást az acél hálón belül. A réz és az acél háló szétterjedési ellenállás szempontjából való összehasonlításhoz a földelőháló egy pontjában $I = 20$ kA áramot injektáltunk be. Ilyenkor a teljes áram a földbe folyik el. Ezt követően a háló egyik pontjába beinjektáltunk 20 kA áramot, míg egy másik pontjából 15 kA-t vettünk ki. Ez a módszer a háló egyes pontjai között létrejövő potenciálkülönbségek tanulmányozására alkalmas. A valóságban mindig több áram-injektálási pont van, mivel a rövidzárlati helyen kívül injektálási helyeket jelentenek a transzformátorok csillagpont csatlakozási helyei, a távvezetékek védővezetőinek és a kábelek köpenyeinek csatlakozási helyei is [2].

A földelőhálóba beinjektált és az abból kivett áramok különbsége a föld felé záródik és így a hálón potenciálemelkedést idéz elő, illetve az injektálási pontok között folyó áramok a háló pontjai között jelentős potenciálkülönbséget okoznak (4. ábra). Ez részben érintésvédelmi szempontból, részben pedig EMC szempontból aggályos. Látható, hogy acél esetén akár 5-szörös potenciálkülönbség is kialakulhat a rézhez képest, azonban ekkor is csak 21 V-al lépi túl a szabványos 300 V-ot. További munkánk során vizsgálni fogjuk, hogy milyen hatással van a háló potenciálviszonyaira egy esetleges villámcsapás. A munka ezen részét a már elvégzett nagyfrekvenciás mérésekre alapozzuk.

4. ábra. A hálók skalárpotenciálja és a hálón belüli potenciálkülönbségek.

A vizsgálatok eredményei jól mutatják, hogy a réz és acélháló között szétterjedési ellenállás szempontjából nincs jelentős különbség. Az acél háló belső pontjai között viszont akár 5-szörös potenciálkülönbség is kialakulhat, mint a réz esetében. Ez a különbség csökkenthető az acél földelőháló ablakméretének csökkentésével, illetve potenciálkiegyenlítő kábelekkel vagy megfelelő keresztmetszetű árnyékolással rendelkező szekunder kábelek alkalmazásával.

Irodalomjegyzék

1. Prof. György Varju: Laboratory measurements of the equivalent internal impedance of UIC type railway rail, Budapest 2001.
2. ETV-ERŐTERV Rt., Szombathely 400/120 kV-os transzformátorállomás Földelési terv, rajzsám: P224210/3092/A.

Bodnár Imre villamosmérnök hallgató

Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Villamos Energetika Tanszék

H-1111 Budapest, Irinyi József utca 42.

Telefon: (+36 30) 440 5629, e-mail: bodnar.imre@eszk.ktk.bme.hu

Ladányi József villamosmérnök hallgató

Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Villamos Energetika Tanszék

H-1076 Budapest, Dózsa György út 6 III/9.

Telefon: (+36 70) 573 5027, e-mail: ladanyi.jozsef@eszk.ktk.bme.hu