FIATAL MŰSZAKIAK TUDOMÁNYOS ÜLÉSSZAKA XVII.

Kolozsvár, 2012. március 22–23.

AZ ÁRAMVISSZAVEZETŐ HATÁSÁNAK VIZSGÁLATA ENERGIAELLÁTÁS ÉS EMC SZEMPONTBÓL 1X25 KV-OS VASÚTI HÁLÓZAT ESETÉN

BODNÁR Imre, VARJÚ György

Abstract

The traction current of an a.c. railway line is flowing through the catenary and feeder conductor to the traction unit and returns through the rail and earth to the feeding substation. The new signalling system (ETCS) allows for the use earth return conductor connected in parallel with the rail. In this paper the mostly advantageous effects of the earth return conductor are investigated, based on simulation calculations.

Key words:

Railway power supply AC, Current return conductor, EMC, railway simulation

Összefoglalás

A váltakozó áramú villamos vasútvonal hosszláncán és tápvezetékén folyó vontatási áram a vasúti sínben és a földben folyik vissza a tápláló alállomás felé. Az új rendszerű biztosítóberendezések (ETCS) esetén lehetőség van a sínekkel párhuzamosan kapcsolt földáram-visszavezető alkalmazására. A cikk ennek az energiaellátás és EMC szempontjából többnyire kedvező hatásait vizsgálja szimulációs számítások alapján.

Kulcsszavak:

AC vasúti táplálás, áramvisszavezető, EMC, vasúti szimuláció

1. A Magyarországon alkalmazott villamos vasúti felsővezeték-rendszer kialakítása egyvágányú pálya esetén

A magyarországi villamosított vasútvonalak egyvágányú szakaszain jellegzetesen alkalmazott kialakítás szerint a tápláló hálózat 50 mm² keresztmetszetű acél vagy bronz tartósodronyból és 100 mm² keresztmetszetű réz (CuE) munkavezetékekből, valamint a kettőt összekötő többnyire acél függesztőkből kialakított felsővezeteki hosszláncból, illetve a nyíltvonalon használatos tápvezetékekből áll. Ez utóbbi jellemzően 150 mm² ACSR sodrony, illetve újabban már 240 mm² AASC sodrony. A vontatási áram visszavezetése a vasúti síneken, illetve abból kilépve a földön keresztül történik. A korszerű biztosító berendezésekkel rendelkező vonalak villamosításánál, illetve rekonstrukciós munkálatainál felmerülhet az áramvisszavezető alkalmazása. Ebben az esetben a vontatási áram a síneken, a földön és az áramvisszavezető(kö)n folyik vissza az alállomás felé.

2. Az áramvisszavezető hatásai

Áramvisszavezető alkalmazásának hatására megváltozik a vezetők közötti árameloszlás, a kialakuló mágneses tér, a sínpotenciál nagysága, az eredő impedancia (és így a kialakuló feszültségesés), valamint a hálózaton létrejövő veszteség nagysága.

2.1 Hatás az árameloszlásra

Az áramvisszavezető elsődleges hatása az a vezetők közötti árameloszlás megváltozásában nyilvánul meg, ezért első lépésben a vasúti tápszakasz vezetőiben (beleértve a síneket és a földet) folyó áramok eloszlását, kell meghatározni. Ez a MULTC program [1.] segítségével történt, a vontatójármű helyén beinjektált 100A áram feltételezésével. Ennek megfelelően a számítógépes szimuláció eredményeként adódó – a hossz mentén már állandósult – áramerősség értékek a vezető áramok százalékos értékeinek is tekinthetők (1. ábra).

1. ábra. A vontatási áram megoszlása egyvágányú pálya vezető rendszerében áramvisszavezető nélkül, illetve egy és két áramvisszavezető alkalmazása esetén 1x25 kV-os táplálás mellett $\rho = 30\Omega\text{m}$ esetén

2.2 Hatás a mágneses indukcióra

A pálya űrszelvényében és annak környezetében annál nagyobb lesz a mágneses indukció (B) értéke, minél nagyobb arányban folyik az áram vissza a hosszlánc és tápvezeték árammal hurkot képező sínekben. A hosszlánc és a tápvezeték árama által létrehozott mágneses indukciót az űrszelvény térrészében a sínekben folyó áram mágneses tere erősíti. Abban az esetben viszont, ha a vasúti űrszelvényen kívül eső távolabbi térrészben vizsgáljuk a mágneses indukció nagyságát (pl.: távközlő vezetékekben történő indukáló hatás elemzése céljából), akkor a sínáram éppen ezzel ellenkezőleg, kompenzáló áramként fog hatni.

Áramvisszavezető alkalmazása esetén az abban folyó vontatási áram az eredő mágneses indukciót csökkenteni fogja, mert a hosszlánc áramával ellentétes irányban fog gerjeszteni. A mágneses indukció csökkenésének irányába hat az is, hogy az áramvisszavezető a felsővezetéki oszlopokon a hosszlánc közelében van, így lényegesen csökken a táplálást végző hosszlánc és az áramvisszavezetés vezetői által alkotott hurok mérete. A maximális mágneses indukció ott fog létrejönni, ahol a felsővezetékben folyó vontatási áram és a sínáram is nagy lesz. Esetünkben ez a tápszakasz betáplálási helyénél és a vontatójármű pozíciójának megfelelő áramfelvételi helyénél, a betáplálás irányában fog fennállni. Több vontatójármű együttes üzeme esetén a vonatási áramok természetesen vektorosan összegeződnek, az eredő mágneses indukció nagysága pedig ennek megfelelően alakul majd.

A MULTC-val történő vizsgálatok során 2m magasságban meghatározásra került a vágánytengelyre merőleges irányban mért $\pm 0,5\text{m}$, $\pm 5,0\text{m}$ és $\pm 20\text{m}$ távolságban a mágneses indukció nagysága. A 0,5m-es oldaltávolság a vonaton belüli helyeknek felel meg, míg az 5m-es a peron középrészének, a 20m-es pedig az a határ ahol már nem csak vasúti létesítmények fordulhatnak elő. A vizsgálat eredményei szerint a legnagyobb mágneses indukció a betáplálás környezetében lévő véghatásos szakasznál, a tápvezeték felé eső oldalon a vágánytengelytől mért 0,5m-es távolságban $13\mu\text{T}/100\text{A}$ értékre adódott.

Ezt a szakaszt elhagyva a vontatójármű mögötti területen $11\mu\text{T}/100\text{A}$, előtte pedig $1,5\mu\text{T}/100\text{A}$ érték adódott.[2.] Az áramvisszavezető alkalmazásakor megállapítható, hogy a mágneses indukció értéke az eredeti érték mintegy 60%-ára csökken. A vágánytengelytől távolodva gyakorlatilag a távolság négyzetével fordított arányban csökken a mágneses indukció nagysága.

2. ábra. A mágneses indukció nagysága (μT) egyvágányú pályán áramvisszavezető nélkül (a), illetve egy áramvisszavezető alkalmazása mellett (b) a vágánytengelyre merőleges síkban, $I_v=100\text{A}$ vontatási áram esetén. Vízszintes tengelyen a vágánytengelytől mért távolság, a függőleges tengelyen pedig a sínalptól mért magasság látható m-ben megadva

2.3 Hatás a sínpotenciálra

A sínpotenciál maximális értékét egy 30km hosszú tápszakaszra a 100A áramot injektáló vonatnak a betáplálási helytől való távolságának a függvényében a 3. ábra szemlélteti.

Megállapítható, hogy a sínpotenciál maximum értékei az alábbiak szerint adódnak:

- áramvisszavezető alkalmazása esetén (az ábrán a „V”-vel jelölt eset): $15,25\text{ V}/100\text{A}$
- áramvisszavezető nélkül („N”-el jelölt eset) $26\text{ V}/100\text{A}$.

Az áramvisszavezető alkalmazása tehát a sínpotenciál maximális értékét $15,25/26 = 0,59$ arányban, azaz gyakorlatilag 60%-ra csökkenti.

Figyelembe kell venni azonban, hogy a sínpotenciál nagysága jelentősen csökken a sín-föld közötti $g(\text{S/km})$ levezetés (ballaszt) növekedésével.

3. ábra. A sínpotenciál maximális értéke a vonathely függvényében

2.4. Hatás az impedanciára

A villamos vasútvonal vezetékrendszere (a síneket is beleértve) egy többvezetékes rendszert képez közös földvisszavezetéssel. Az egymással csatolt vezeték-föld hurkokban fellépő feszülteségések a földvisszavezetési impedanciák alapján fejezhetők ki. Az egymástól s_{ik} távolságra lévő i és k vezetők közötti földvisszavezetési kölcsönös impedancia a Carson-Clem összefüggést felhasználva:

$$Z_{Eik} = 10^{-3} \cdot 0,987 \cdot f + j\omega \cdot 0,2 \cdot 10^{-3} \ln \frac{D_e}{s_{ik}} \quad (1)$$

Az i -ik vezető földvisszavezetési önimpedanciája:

$$Z_{Si} = Z_i + Z_{Eii} \quad [\Omega/\text{km}], \quad (2)$$

ahol $Z_i = R_i + jX_i$, $[\Omega/\text{km}]$, a vezető belső impedanciája és Z_{Eii} a földvisszavezetési külső impedancia, ami az (1) összefüggésből az $s_{ik} = r$ (vezetősugár) helyettesítéssel adódik. A vezetékrendszert leíró impedancia rendszer elemeinek meghatározása, majd annak egy egyenértékű hurokra való redukálása a PLINE programmal [3.] történik. Az egyvágányú vonal felsővezeték rendszerének redukált eredő impedanciáját a vizsgált két változatra az 1. táblázat adja meg.

1. táblázat. Az egyvágányú pálya sín és földvisszavezetést is tartalmazó eredő soros impedanciája 50Hz-es hálózati frekvencián

áramvisszavezető	L (mH/km)	R (Ω/km)	X (Ω/km)	Z (Ω/km)	$\angle Z^0$ (fok)
nincs	1,159	0,107	0,364	0,380	73,7
240mm ² AASC	0,929	0,109	0,292	0,311	69,5

Az áramvisszavezető alkalmazásával az eredő Z impedancia mintegy 20%-al csökken, ami elsősorban az X reaktancia csökkenésének köszönhető, mivel a vontatási áramnak az áramvisszavezetőn folyó része a csak földben és sínben történő visszavezetéshez képest lényegesen kisebb hurkon záródik. Ugyanakkor az eredő impedancia R ellenállás komponense kis mértékben megnőtt. Ez egyben azt is jelenti, hogy az áramvisszavezetős felsővezeték rendszer eredő vesztesége kis mértékben nagyobb, mint az áramvisszavezető nélküli rendszeré.

2.5 Hatás a védőtényezőre

A visszavezető vezetőknek (a sínek is beleértve) a villamos vasút által okozott indukáló hatás csökkentésének mértékét a k védőtényező fejezi ki, ami definíció szerint: $k = I_f / I_{sum}$, ahol I_{sum} a teljes (vontatási) áram, az I_f pedig az áram földön visszafolyó része.

$$k = \frac{I_f}{I_{sum}} = \frac{I_{sum} - I_{sin}}{I_{sum}} \quad k_{AV} = \frac{I_f}{I_{sum}} = \frac{I_{sum} - (I_{sin} + I_{AV})}{I_{sum}} \quad (4)$$

A vizsgált esetekre a földáram értékét az 1. ábra táblázatos értékeinek az utolsó oszlopa adja meg. Megállapítható, hogy a védőtényező az áramvisszavezető nélküli 0,490 (sín-védőtényező) értékről egy áramvisszavezető esetén 0,334, kettő esetén pedig 0,289 értékre csökken (javul).

3. Összefoglaló megállapítás

Az áramvisszavezető alkalmazása valamennyi vizsgált hatást kedvező irányban befolyásolja, kivéve a vonal eredő veszteségét, amelyet kismértékben megnövel.

Irodalom

- [1.] Varjú György F. J. Sollerkvist: *A general model and numerical method for multiconductor systems in frequency domain*, IEEE/KTH Stocholm Power Tech Konferencia kiadványában, Stockholm, Svédország, 1995., 227-232. oldal.
- [2.] Dr. Varjú György: *Villamos vasutak által okozott mágneses erőter nagyságának számítása a MAV-nál alkalmazott táplálási és felsővezeték rendszerekre* c. jelentés. 2008. 4-42. oldal.
- [3.] *PLINE 2.0 PC program for Calculation of Power Line Parameters*.

Bodnár Imre, doktorandusz

MÁV Magyar Államvasutak Zrt. TEB Központ, Erőáramú Osztály. Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Villamosmérnöki és Informatikai Kar, Villamos Energetika Tanszék
H-1063, Magyarország, Budapest, Kmetty György u., 1-3.

E-mail: bodnar.imre@vet.bme.hu

Dr. Varjú György, professor emeritus

Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Villamosmérnöki és Informatikai Kar, Villamos Energetika Tanszék

H-1521, Magyarország, Budapest, Goldmann György tér 3. V2. ép. 456/a.

Telefon: +36-1-463-3016 E-mail: varju.gyorgy@vet.bme.hu