XV. FIATAL MŰSZAKIAK TUDOMÁNYOS ÜLÉSSZAKA

Kolozsvár, 2010. március 25-26.

A FREKVENCIA-FÜGGŐ *THEVENIN* IMPEDANCIA ANALITIKUS KÖZELÍTÉSE ÚJ MÓDSZERREL

KISS Péter

Abstract

The Thevenin equivalent representation is widely used in the harmonic distortion studies. For network representation it is necessary to use the driving point impedance in function of the frequency, which can be determined by computer simulation or site measurement.

The authors are working on the modeling of penetration and elimination of harmonic disturbance originating from the high power railways. The presented novel approximation of the frequency dependent network impedance results better accuracy of the frequency domain simulation. In this paper the improved accuracy achieved using the proposed analytical approximation method is discussed on the example of a railway substation.

Key words:

computer simulation, harmonic effect, power quality, traction supply systems, analytical calculation

Összefoglalás

A hálózati visszahatás tárgyalása során a Thevenin helyettesítő kapcsolás széles körben alkalmazott. A mögöttes hálózat a legegyszerűbben egy mérésponti impedancia helygörbével modellezhető, ami számítógépes szimuláció vagy helyszíni mérések eredménye.

A szerzők a nagyvasúti villamos vontatás hálózati visszahatásának és csökkentési lehetőségeinek modellezésével foglalkoznak. A frekvenciafüggő mögöttes hálózat cikkben ismertetett új közelítése a frekvencia-tartományi számítások pontosságát növeli. Jelen cikk az új analitikus közelítési módszert ismerteti egy vasúti állomás példáján.

Kulcsszavak:

számítógépes szimuláció, felharmonikusok, hálózati minőség, vasúti vontatás, analitikus számítások

1. Bevezetés

Az egyenáramú motorokkal felszerelt mozdonyok elterjedése óta a vasúti hálózathoz eredeztethető felharmonikus tartalom egyre nagyobb mértékű. A hálózati visszahatás csökkentése különböző felharmonikus szűrési módszerekkel lehetséges, amely egyben a rezonancia jelenségét is csökkenti. [1]

A nagyvasúti villamos vontatás hálózati visszahatásának és harmonikus szűrésének szimulációja csak úgy kivitelezhető, ha a modell mind a frekvencia, mind az idő tartományban számítható. A korábban már többször publikált újszerű modellezési módszerünk, a kéttartományos szimuláció a tisztán frekvenciatartományi számítások pontosítását szolgálja. Alkalmazása során a mozdony és az aktív szűrő nemlineáris modelljét az idő, míg a tápszakasz és a mögöttes nagyfeszültségű hálózat alkotta hálózatrészt a frekvencia tartományban számítjuk. [2]

Jelen cikkben a nagyfeszültségű mögöttes hálózat új közelítési módszerét tárgyalom. A modell a 25 kilovoltos magyar rendszerhez készült tápszakasz modell része. [2]

2. A tápszakasz modellje

A villamos vontatási hálózat négy fő része (1. ábra): [3]

- a mozdony;
- a hosszlánc-rendszer;
- az állomási transzformátor;
- a nagyfeszültségű táphálózat.

A tápszakasz modellezését és a kéttartományos szimulációt a [2] és a [4] irodalom ismerteti.

3. A NAF hálózat helyettesítő képe

A mozdony, a hosszlánc-rendszer és a transzformátor paraméterei ismertek, segítségével a modelleik könnyen számíthatók. Ezzel ellentétben a NAF hálózat impedanciája állomásonként különböző, ezért minden állomást a tápszakasz csatlakozási pontján mért mérési impedancia helygörbével (2. ábra) tudunk beszámítani. A mért impedanciát egy Thevenin helyettesítő kép impedancia tagjába szükséges behelyettesíteni.

3. ábra A valós rész és komponensei

4. ábra A képzetes rész és komponensei

Az M függvény tanulmányozásával megállapítható, hogy a valós rész esetében egy negyedfokú polinom trendvonalat lehet felvenni. Ennek általános egyenlete:

$$Pol = B_0 + B_1 \cdot x + B_2 \cdot x^2 + B_3 \cdot x^3 + B_4 \cdot x^4 \quad (1)$$

ahol x a változó (jelen esetben a frekvencia), és B_i a szorzótényezők vektora.

A polinom trendvonal és a mért ellenállás értékek között a maximális eltérés 70 %, ami a trigonometrikus komponens hozzáadásával csökkenthető. Az impedancia valós részének trigonometrikus komponense négy szakaszra osztható:

- két intervallumnál nem szükséges kompenzáció (a 800 hertznél kisebb és az 1900 hertznél nagyobb frekvencia-tartományban;
- 900 és 1200 Hz között egy kisebb amplitúdójú, míg
- 1300 és 1800 Hz között egy nagyobb amplitúdójú és frekvenciájú komponens szükséges.

Az egyes szakaszokat ún. ablakozó függvények segítségével lehet elválasztani. Ezek alapján a trigonometrikus komponensek általános egyenlete:

$$Trig_i = C_i \cdot \sin(D_i \cdot x + \varphi_i) \cdot Win \quad (2)$$

ahol C_i és D_i a szorzótényezők, φ_i a fázisszögek vektora, míg Win az ablakozó függvény:

$$Win = \left[0.5 + \frac{\arctan(x - W_2)}{\pi} \right] \cdot \left[0.5 - \frac{\arctan(x - W_1)}{\pi} \right] \quad (3)$$

ahol W_1 és W_2 az ablak alsó és felső határa.

A képzetes résznek – a modellező szoftver modellezési módszere miatt – az induktivitását modellezzük. Az alkalmazott „virtuális induktivitás” esetenként negatív értékeket is felvesz. Ezen esetekben természetesen kapacitív hálózatról van szó, ám a modell szempontjából a lényeges a megfelelő reaktancia érték, amelyet így eggyel kevesebb elemmel (számítással) nyerünk. A valóséhoz hasonló módszerű modellezéséhez köbös polinom trendvonal és három komponensű trigonometrikus függvényre volt szükség, az eredmény a 4. ábrán látható.

5. Számítási eredmények, következtetések

Amennyiben a gyakran alkalmazott átlagos impedanciás helyettesítést összevetjük az új, közelített értékekkel, a teljes hálózatot érintő számítások jelentős eltérést mutatnak (5. ábra), elsősorban azokon a frekvencia összetevőkön, amelyek az áramkiemelés számítások [2] során a legjelentősebbnek adódtak. Részletes számítások találhatóak a [5] irodalomban. A legfontosabb következtetés az, hogy hálózati visszahatás számításoknál, azaz akkor, amikor a hálózati rezonancia tanulmányozása a cél, lényegesen pontosabb eredményt kaphatunk akkor, ha nem hanyagoljuk el a mögöttes hálózat frekvencia-függését.

5. ábra Alállomási áramok.
A: átlagos Zh, B: közelített Zh

Irodalom

- [1] Dán A., Tersztyánszky T., Varjú Gy.: *Villamosenergia-minőség*, Invest-Marketing Ltd, Budapest, 2006.
- [2] A. M. Dán, P. Kiss: *Advanced Calculation Method for Modeling of Harmonic Effect of AC High Power Electric Traction*, 12th International Conference on Harmonics and Quality of Power, Cascais, Portugália, 2006. október 1-5.
- [3] Dán A., Varjú Gy.: *Felharmonikus szűrés és alapharmonikus meddőteljesítmény kompenzáció. Alkalmazás a nagyvasúti villamos vontatási állomásban*, Elektrotechnika 81. évf., Budapest, 1988. 10-11. sz.
- [4] P. Kiss, A. Dán: *The Application of the Double Domain Simulation by Different Harmonic Filtering Methods of 25 kV Electric Traction Systems*, 13th International Conference on Harmonics and Quality of Power, Wollongong, Ausztrália, 2008. szeptember 28-október 1.
- [5] P. Kiss, A. Dán: *Novel Analytical Approximation Method of Frequency Dependent Thevenin Impedance*, 2009 IEEE Bucharest PowerTech Konferencia, Bukarest, Románia, 2009. június 28-július 1.

Kiss Péter, egyetemi tanársegéd

Munkahely: Bduapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Villamos Energetika Tanszék

Cím: H-1111 Budapest, Egry József utca 18.

Telefon / Fax: +36 1 463 2999

E-mail: kiss.peter@vet.bme.hu