

A Schumann-rezonanciák vizsgálata

SÁTORI GABRIELLA¹ (témavezető)

G. SÁTORI: Investigation of the Schumann resonances

OTKA nyilvántartási szám: T 4395

A kutatási eredmények ismertetése

A Föld felszíne és az ionoszféra által határolt térrész elektromágneses sajátfrekvenciáit nevezzük Schumann-rezonanciáknak. Az első három rezonanciamódus frekvenciája sorrendben: ~8 Hz, ~14 Hz, ~20 Hz. A Föld-ionoszféra üregrezonátor gerjesztő forrása a világzivatartevékenység. Ez a jelenségkör természetes és olcsó eszközként szolgálhat globális változások vizsgálatára.

A pályázatban kitűzött feladatok megvalósítása alapvetően két részre bontható:

- Schumann-rezonancia mérőrendszer kifejlesztése,
- a mérőrendszerrel nyert adatok felhasználásával új tudományos eredmények elérése.

Schumann-rezonancia mérőrendszer

a) Az MTA GGKI elektromos és mechanikai műhelyében kifejlesztettünk egy, a Schumann-rezonanciák mérésére szolgáló kvázi real-time digitális mérő-feldolgozó rendszert. A vertikális elektromos komponens mérésére egy 2 m magas szigetelő lábazon álló, 45 cm átmérőjű gömbantenna (alumínium öntvény), 20 Mohm bemeneti impedanciájú, alacsony zajú előerősítő és erősítő szolgál. Az előerősítő erősítési tényezője 700, az erősítő pedig további 2 nagyságrendű, 5 fokozatban változtatható erősítést tesz lehetővé. Az 50 Hz-es hálózati frekvenciát több fokozatban, összesen 80 dB-es elnyomással szűrjük ki. A 150 Hz-es felharmonikus zavaró hatásának kiszűrésére további szűrők szolgálnak. A mérőrendszer frekvenciaátviteli karakterisztikája az 5–25 Hz-es frekvenciasávban $\pm 0,5$ dB pontossággal frekvenciafüggetlen. A $\sim 100\text{--}200 \mu\text{V m}^{-1}\text{Hz}^{-1/2}$ amplitúdójú, felerősített természetes jelek egy többcsatornás AD konverter bemenetén keresztül, 100 Hz-es mintavételi frekvenciával személyi számítógépre kerülnek.

A komplex demodulációt használjuk az első három rezonanciamódus aktuális frekvenciájának és amplitúdójának a meghatározására. Ez a spektrális eljárás lehetővé teszi egy idősorozat spektrális komponensének, esetünkben a Schumann-rezonancia első három módusának megfelelő aktuális frekvenciák és amplitúdók időtartományban történő kifejezését. A komplex demodulációt Hanning-függvénnyel csonkított konvolúciós típusú digitális szűrővel valósítottuk meg. A szűrők centrális frekvenciájának a Schumann-rezonancia első három módusának megfelelő legvalószínűbb frekvenciát választottuk. Komplex demoduláció esetén a fázis lineáris kapcsolatban van a cent-

rális frekvencia körüli frekvenciaingadozással, amely előjelével a frekvenciacsúszás irányát mutatja a centrális frekvenciához képest, a fázisváltozás sebessége pedig a frekvenciaváltozás mértékét adja meg.

A fentiekben vázolt kvázi real-time digitális mérő-feldolgozó rendszer 1993 májusa óta folyamatosan, obszervatóriumi adatszolgáltatás szintjén működik. Ez a vertikális elektromos komponens esetében jelenleg egyedülállóan hosszú adatsort jelent a világon. A nemzetközi érdeklődést adatsorunk hosszúsága, s nem utolsósorban az adatok nagyon jó minősége váltotta ki.

A pályázat harmadik évében elkészült két indukciós szonda, amelyek a két horizontális mágneses komponens (H_x , H_y) mérésére hivatottak. A spektrális eljárás ugyanaz, mint a vertikális elektromos komponens esetében. A mágneses komponenseket időszakosan vagy folyamatosan 3–4 helyen mérik a világon. 1995 októberében lehetőség nyílt szinkronmérésekre (Institut für Geophysik der Universität Göttingen). A H_x , H_y komponensek aktuális frekvenciájának és amplitúdójának órás átlagait hasonlítottuk össze az alpmódus esetében (a német partner csak ezt mérte). A mérési időszakokra vonatkozó, átlagos napi frekvencia- és amplitúdóeloszlások komponensenkénti hasonlósága megnyugtató referenciát jelent mindkét fél számára, ugyanis a szinkronmérés a Schumann-rezonancia jelenségkör szempontjából nagyon közel, az alpmódusnak megfelelő hullámhossz (földkerület) $\sim 2\%$ -ának megfelelő távolságban történt.

Új tudományos eredmények bemutatása

A Nagycenken mért vertikális elektromos komponensre vonatkozó adatsor hosszúsága és pontossága lehetővé tette, hogy a Schumann-rezonancia (SR) jelenségkör eddig ismeretlen spektrális tulajdonságait tárjuk fel. Mindegyik SR-módusra egymástól különböző, sajátos napi frekvenciame- net jellemző és mindegyik SR-módus határozott évszakos változást is mutat. Ugyanakkor ugyanazon módusok napi frekvenciame- neteinek hasonlósága a két egymást követő év azonos évszakaiban a frekvenciaváltozások, illetve az azokat kiváltó folyamatok visszatérési tendenciáját támasztja alá.

A frekvenciaváltozások három csoportba oszthatók. A napi frekvenciaeloszlás, ami minden módusra más és más, elsősorban virtuális frekvenciaváltozás, amely annak köszönhető, hogy a forrás (az éppen aktív zivatargóc) mozog az észlelőhöz képest. A nodális pontoknál, ahol egy-egy módus amplitúdója lecsökken (elméletileg zérussá válik), a szomszédos módusok fáziscsúszási kölcsönhatásba lépnek a szinguláris helyzetben levő módussal, amely frekvencia-növekedésben vagy csökkenésben nyilvánul meg, attól

¹ MTA Geodéziai és Geofizikai Kutatóintézet, H-9401 Sopron, Pf. 5.

függően, hogy a szinguláris helyhez éppen közeledik-e vagy távolodik a forrás. A frekvenciaváltozások második csoportja a napi frekvenciaminimum és -maximum szintje közötti változás, amely a gerjesztő forrás, zivatarregió kiterjedésének változásával függ össze. A frekvenciaváltozások harmadik csoportja az átlagos napi frekvenciaszintek változása, amely valódi frekvenciaváltozással, például az ionoszférikus terjedési viszonyok megváltozásával áll összefüggésben.

Az első SR-módus esetében a nyári hónapokban, a dél-éltől órákban egy frekvenciamaximum alakul ki. Ezen maximum megjelenésének az időpontja fokozatosan a délutáni órákra tevődik át a téli hónapokban. Az őszi fokozatos átmenettel szemben, tavasszal ez a frekvenciamaximum még a délutáni órákban marad, majd viszonylag nagyon rövid ideig tartó (1–2 hét) jellegtelen frekvenciafluktuációt követően, április végén vagy május elején ismét kialakul a jellegzetes nyári napi frekvenciamenet.

A napi amplitúdóeloszlások ugyanabban az évszakban nagyon hasonlók egymáshoz mindhárom módus esetében, ugyanakkor meglehetősen eltérők egymástól nyáron és télen. A nyári hónapokban maximális az amplitúdó 14 és 17 óra között világszerte, jelezve ezáltal, hogy egy közép-európai megfigyelő számára az elsődleges zivatarforrás Afrika térsége. Az átlagos napi amplitúdóeloszlás elsősorban a különböző zivatargócsok jelentőségét tükrözi a megfigyelő pozíciójából. Az amplitúdók nagyságát az ionoszférikus D-tartomány okozta csillapítás is befolyásolja. A különböző módusokhoz tartozó amplitúdók aránya az éppen aktivizálódott zivatargócsok megfigyelőhöz képesti helyzetéről adnak információt.

A globális villámaktivitás nagymértékben függ a felszín közelében mért levegő-hőmérséklettől. A trópusi felszíni léghőmérséklet éves és határozott féléves változást mutat. A fő zivatargócsok is a trópusi régiókban helyezkednek el. Amennyiben a villámok száma nagymértékben (nem lineárisan) függ a hőmérséklettől, akkor a globális hőmérsékleti változásoknak az SR-amplitúdók változásában is tükröződni kell, ahogyan azt WILLIAMS javasolta.

A féléves hullám létezését a SR-amplitúdókban először mutattuk ki a világon, bizonyítva ezáltal, hogy a Schumann-rezonanciák alkalmasak kis hőmérsékletváltozások indikálására. A trópusokon mért felszíni hőmérsékletben a féléves hullám amplitúdója $< 1,5\text{ }^\circ\text{C}$! A SR-amplitúdókban kimutatott féléves hullám amplitúdója messze a szignifikancia szint felett van, így a Schumann-rezonancia jelenségkör ennél kisebb globális hőmérséklet-változás (~ néhány tized $^\circ\text{C}$ változás!) indikálására is alkalmas. A felfokozódott nemzetközi érdeklődés nem véletlen, ugyanis a jelenség óriási jelentőségűvé válhat a globális klimatikus trendek kimutatásában, vizsgálatában.

A Schumann-rezonancia paraméterek mérése egyedülálló lehetőséget teremt olyan extraionizációs folyamatok tanulmányozására is, amelyek a Föld-ionoszféra hullámvezető felső falában, az ionoszférikus D-tartományban fejtenek ki hatásukat. Az 1992. július 26–28-i, valamint az 1992. szeptember 16–18-i időszakban a geomágneses aktivitásra jellemző K_p -indexek növekedésével párhuzamosan az első rezonanciamódus frekvenciájának 0,1–0,3 Hz-nyi „elcsúszását” tapasztaltuk a magasabb frekvenciák irányá-

ba. Az aktuális napi frekvenciamenetek megőrizték szokásos alakjukat, csak a frekvenciák tolódtak el felfelé. Ezek szerint a frekvenciacsúszás okát a Föld-ionoszféra hullámvezető felső falában végbement vezetőképességnek a geomágnesesen háborgatott időszakban történő megváltozásában kell keresni, nem pedig a forrás-vétel geometriában történt változásban. Esetenként a magnetoszférából kiszóródó relativisztikus elektronok minden más ionizáló forrásnál erősebb ionizációt idéznek elő a középső légkörben 40–60 km-es magasságban, közepes és magas szélességeken. A K_p -index jelzi a napszél sebességének a növekedését, a megnövekedett napszélsebesség pedig alapvetően felelős a magnetoszféra külső részében felhalmozódó relativisztikus elektronokért. Így a K_p -index jó indikátora a magnetoszférikus relativisztikus elektronok jelenlétének, műholdas elektronfluxus adatok vagy napszélsebesség értékek hiányában. A két skálamagasságú ionoszféra-modell szerint két teljesen elkülönülő disszipációs réteg van a Föld-ionoszféra hullámvezető felső falában, az ionoszféra D-tartományában. A 70–80 km körül elhelyezkedő felső régiót „tangenciális disszipációs réteg”-nek nevezik, jelezve, hogy az ELF-tér tangenciális komponense vezérli a disszipációt. A 40–50 km-es magasságban elhelyezkedő régió a „radiális disszipációs réteg”, amelyben a radiális (vertikális) elektromos komponens disszipálódik. A vertikális elektromos komponens igen alkalmasnak látszik az olyan ionizációs zavarok vizsgálatára, amelyek a „radiális disszipációs réteg”-et befolyásolják. A magnetoszférából kiszóródó relativisztikus elektronok éppen ezen tartományban módosíthatják az ionoszférikus vezetőképességet. Az 1992. júliusi és szeptemberi események hátterében a magnetoszférából a középső légkörbe kiszóródott relativisztikus elektronok jelenlétére következtettünk. Később a birtokunkba került műholdas adatok bizonyították, hogy az említett események során a frekvencia elcsúszását a nagyobb frekvenciák irányába a „radiális disszipációs réteg” magasságába kiszóródott relativisztikus elektronok hatása váltotta ki.

A pályázat legfontosabb eredménye

A féléves hullám létezését az SR-amplitúdókban először mutattuk ki a világon, bizonyítva ezáltal, hogy a Schumann-rezonanciák alkalmasak kis hőmérséklet-változások indikálására. A trópusokon mért felszíni hőmérsékletben a féléves hullám amplitúdója $< 1,5\text{ }^\circ\text{C}$! Az SR-amplitúdókban kimutatott féléves hullám amplitúdója messze a szignifikancia szint felett van, így a Schumann-rezonancia jelenségkör ennél kisebb globális hőmérséklet-változás (~ néhány tized $^\circ\text{C}$ változás!) indikálására is alkalmas. A felfokozódott nemzetközi érdeklődés nem véletlen, ugyanis az SR-paraméterek ezen képessége óriási jelentőségűvé válhat a globális klimatikus trendek kimutatásában, vizsgálatában.

Köszönetnyilvánítás

Köszönöm munkatársaim közreműködését a pályázatban megfogalmazott feladatok sikeres megvalósításában, valamint az Országos Tudományos Kutatási Alap támogatását.