

A mikrohullámú technika első száz éve

1. Bevezetés

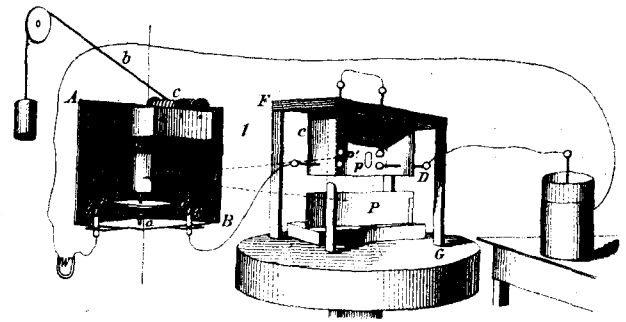
Nevezetes eseményre irányította a mérnök és természettudósok taborának figyelmét az IEEE, amikor az idén májusban New Yorkban megrendezett szokásos évi mikrohullámú konferenciáján Hertz-émlékülést tartott [1]. Idén ünnepelhetjük Hertz nevezetes kísérleteinek 100 éves évfordulóját. Olyan kísérletsorozat volt az, amelynek következményeit nem lehet túlbecsülni, hiszen ettől vette kezdetét a mikrohullámú technika, de tágabb értelemben a híradástechnika is. Az alábbiakban röviden összefoglaljuk e kísérlet előzményeit, lényegét és néhány következményét.

2. Előzmények

Ósi vágya és szüksége az emberiségnek, hogy energiát, erőforrást tároljon. Teszi ezt élelmiszerek, víz, fa, szén alakjában. Természetes következményként merült fel tehát, hogy a dörzsöléssel előállított energiát is igyekeztek összegyűjteni és elraktározni. Ugyanilyen természetes esemény, hogy a tárolásra kéznél lévő edényt, például palackot használjanak. Ezt próbálta megtenni Cunaeus 1745-ben, amikor egy palackba vizet öntött és azt fémzáton keresztül villanyozni, azaz fel-

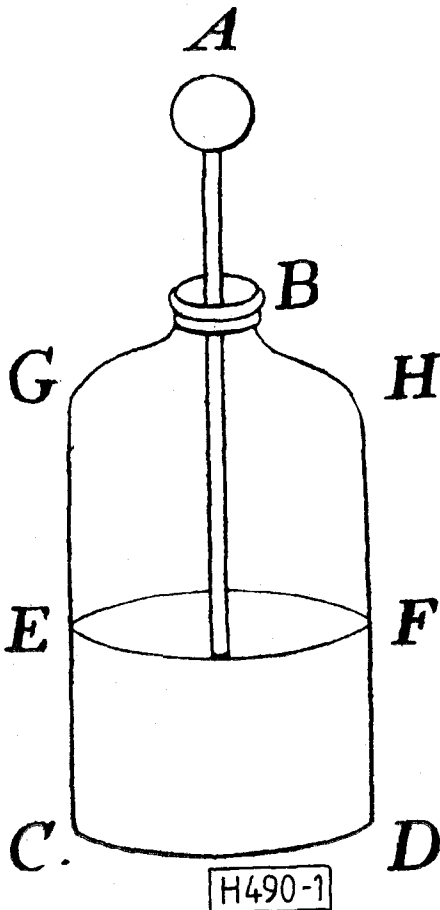
tölteni kezdte [2]. Erről írt Pieter von Musschenbroek (1662—1761) holland fizikus, kinek Cunaeus tanítványa volt — Leidenből Reaumurnek, s így tudta meg a világ a leydeni, vagy fegyverzett palacknak azt a tulajdonságát, hogy elektromosságot tud tárolni.

Hamar kiderült, hogy egy másik nagy nemzet is magának vindikálja az elsőbbséget, mert Ewald Jürgen von Kleist (1700—1748) [3] — egyébként plébános Pomerániában — 1745-ben szintén végzett hasonló kísérletet. A leydeni palack bevonult a klasszikus fizikai eszközök és kísérletek közé.



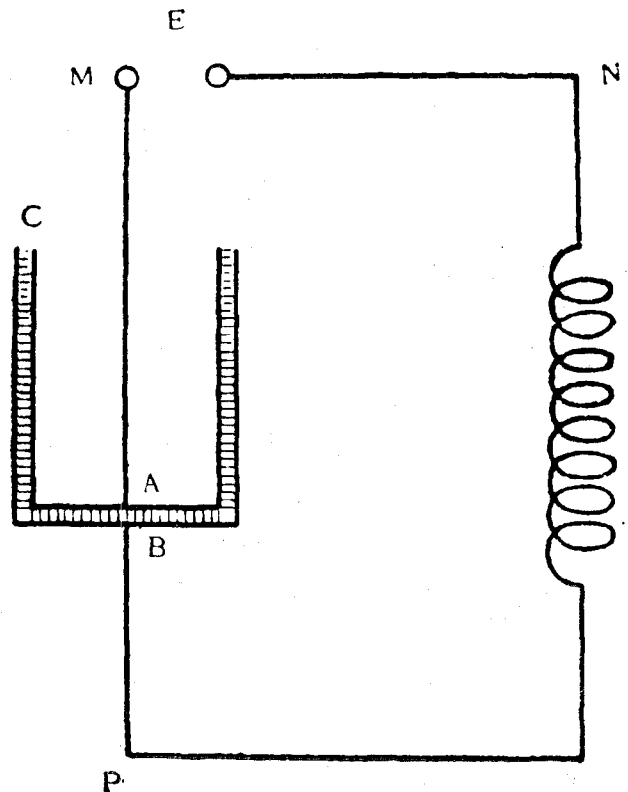
H490-2

2. ábra. Feddersen kísérleti elrendezése



H490-1

1. ábra. A leydeni palack



H490-3

3. ábra. Sűrítő áramköre, zárt oszcillátorként

Hosszú idő telt el, míg Faraday és Henry 1831-ben felfedezte az indukciót, majd Helmholtz 1847-ben az elektromos oszcillációt. A következő mér-földkő Lord Kelvin — még William Thompsonként — 1853-ban tett felfedezése, aki az áramoszcillációk hullámhossza és a kisülőkör ellenállása, kapacitása és induktivitása közötti összefüggést megalkotta. Nem kellett sokat várni a kísérleti bizonyítékra sem. B. W. Feddersen 1857-ben a Kieli Egyetemen készített doktori disszertációjában leírja, amit forgótűkör és fényképezés (!) segítségével sikerült kimutatnia a szikraköz kisülésekor keletkező hullámot, s meghatározni annak frekvenciáját. Kísérleti elrendezését mutatja a 2. ábra. Egy sűrítővel megvalósított oszcillátor képét 3. ábránkon mutatjuk be (4,5). (Vegyük észre, hogy milyen rövid idő telt el a fényképezés felfedezése és annak alkalmazása fizikai mérési eszközként...)

Feddersen sokat dolgozott módszere tökéletesítésén, Lipcsében jutott el odáig, hogy 1 MHz-nek megfelelő oszcillációt tudott létrehozni. Az ehhez tartozó hullámhossz 300 m még mindig nehezen kezelhető. A szemléleti problémákon túl ez is lehetett az oka annak, hogy sem Thomson, sem Feddersen nem vette észre, hogy a hővé alakuláson kívül sugárzási veszteségek is fellépnek az áramkörökben.

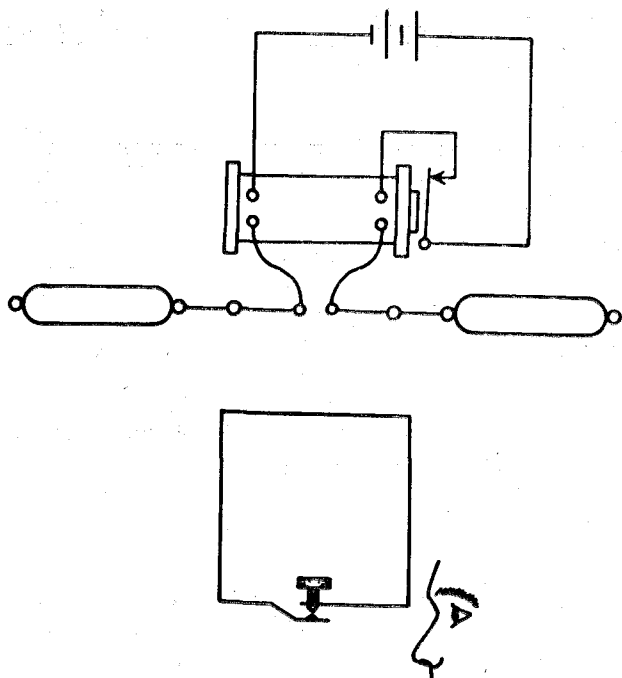
3. A hullámjelenségekkel kapcsolatos kísérletek

Hertz szemléletére erősen hatott, hogy sokat kísérletezett az ún. Knochenhauer-féle spirállal. Ez két párhuzamosan elhelyezett tekercs, vasmag nélkül, amelyben egyik tekercse szikraközben végződik, a másikra egyenfeszültséget kapcsolva, a felső tekercsen kisülés következik be.

Hertz érdeme volt a 4. ábrán bemutatott kísérleti elrendezés létrehozása. A telep energiáját egy induktor nagyfrekvenciás jellel alakítja át. A jelet egy kiegyenlített félhullámú dipol sugározza ki, melynek középpontjában szikraköz van, lényegében gyorskapcsolóként alkalmazva. A vevő egy félhullámú hangolt hurok. Vétel esetén az energia az állítható távolságú szikraközön keresztül kisül. Az adó és a vevő közötti kapcsolatot az elektromágneses hullámok hozzák létre. Hertz számítással kimutatta, hogy 36 kV-os feszültség mellett a kimenő csúcsteljesítmény 16 kW volt, a hullámhosszat ezzel az elrendezéssel 6 m-re sikerült leszorítani. Ez a hullámhossz már lehetővé tette a hullámjelenség laboratóriumi méreteken történő tanulmányozását.

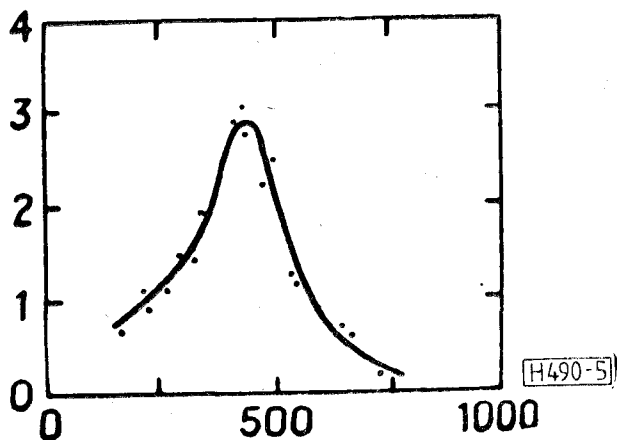
Hertz több kísérletet végzett a detektorral is. Próbál Galvani 1800-ban elvégzett kísérletéhez hasonlóan békacombot használni, de nem ért eredményt. Ennek — mint ma már tudjuk — az az oka, hogy itt váltakozóáramot kellett volna detektálni, szemben az eredeti elrendezésben észlelt egyenáram helyett. Az adott kísérleti elrendezés lehetővé tette rezonancia kimutatását, amit elektromos hullámokra szintén Hertz végzett el elsőként.

A vevő kerületét változtatva változott az a távolság, amely a detektor szikraközében lehetett. Egy ilyen rezonancia görbét mutat az 5. ábra. A



H490-4

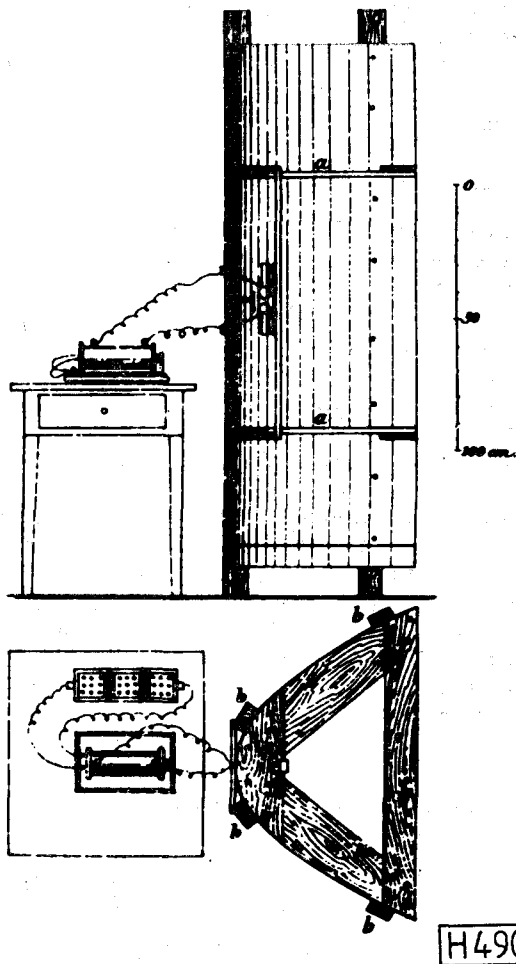
4. ábra. Hertz kísérleti elrendezése



5. ábra. Rezonancia kimutatása Hertz kísérleteiben

ban, a minimumban 0,1 mm-es résnél kapott ki-maximális szikraköz 3 mm volt a rezonanciapont-súlést. Ez feszültségarányban 1:10 arányt, azaz 20 dB-t jelent.

Hertz az elektromágneses hullámok sebességét is meghatározta. Bebizonyította ezzel egyrészt azt, hogy Maxwell elmélete ilyen szempontból is helyes, vagyis a terjedés sebessége véges mennyiség. A Hertz által meghatározott hullámhossz-frekvencia sorozat $2 \cdot 10^8$ m/sec-ként került publikálásra. Az eredmény — ugyan így is elég közel van a Maxwell által meghatározott $3 \cdot 10^8$ m/sec-os értékhez — azonban ha korrigáljuk a mérés publikálásában elkövetett számítási hibát [1] és visszszámoljuk helyesen, akkor $2,8 \cdot 10^8$ m/sec-os értéket kapunk, ami már csak 7% eltérést jelent a valós mennyiségtől.



H490-6

6. ábra. Parabolikus tükör alkalmazása az elektromágneses hullámok terjedésének vizsgálatára

Ugyancsak sikerült Hertznek kimutatni a Maxwell által felvetett szkin-hatást is. Hertz ehhez ezüstözött árnyékolást használt. Azt tapasztalta, hogy 1/1000 mm vastag rétegen már áthaladtak a hullámok.

Koaxiális hullámvezetőkkel végzett kísérleteit Hertz egy 5 m hosszú és 30 cm átmérőjű vonallal végezte. A külső köpenyt nem folytonos fémből, hanem 24 tengelyirányú kifeszített rézdrótból alakította ki. Ez lehetővé tette számára, hogy méréseket végezhesen a vonal belsejében. Az elvégzett kísérletek azt mutatták, hogy a használt 6 m-es hullámoknál ez az elrendezés elegendő árnyékolást ad. A hullámvezető belsejében mozgatott tekercs segítségével sikerült állóhullámokat kimutatni, meghatározni a terjedés sebességét. Ezek a kísérletek az 1930-as években vonultak be a gyakorlati életbe a koaxiális vezetők megalkotása során.

Hertz kimutatta, hogy a módszerével keltett hullámok egyenes vonalban terjednek. Ehhez az oszcillátort parabolikus tükör gyújtóegyenésébe állította. A kísérleti elrendezést a 6. ábra mutatja. A hullámok törésére Hertz szurokból készült hasábot használt (7. ábra). Ha az elektromos hullámok a hasábon átmennek, irányuk megváltozik. A rezonátorral, mely itt köralakú, meg lehet keresni a

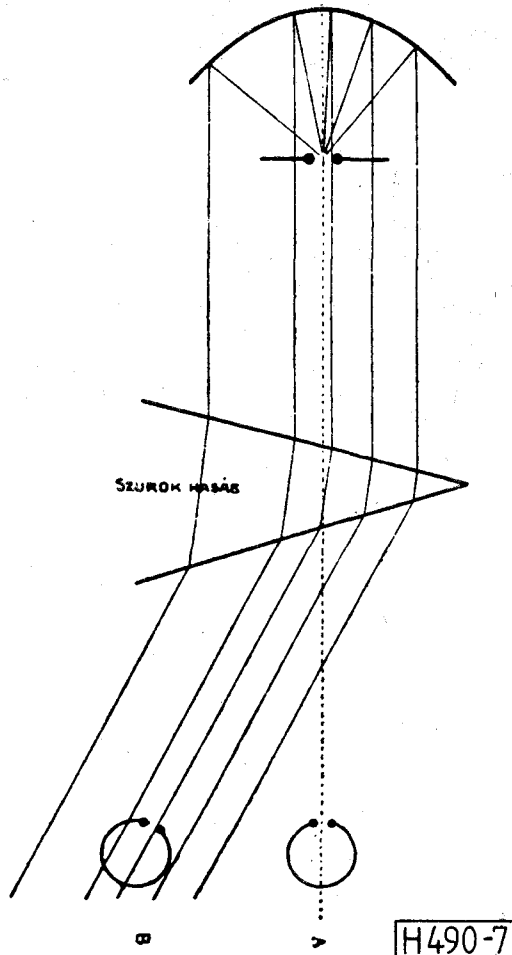
megtört hullámok irányát. (Mint érdekességet megjegyezzük, hogy szerző közreműködésével készített mikrohullámú hullámjelenségeket demonstráló készülék a 3 cm-es hullámsávban paraffinprizmát használ erre a célra.)

Hertz később az általa előállított jelek frekvenciáját már 500 MHz-re emelte.

Bár Hertz munkásságában a legismertebb részt az elektromágneses hullámokkal kapcsolatos kísérleti és elméleti munka tevékenységének hozzávetőleg csak a felét teszi ki. Ezeket a műveit az Annalen der Physik c. lapban publikálta 1888-ban. Ezek a művei később az „Untersuchungen über die Ausbreitung der Elektrischen Kraft” címmel 1892-ben könyvalakban is megjelentek. A munka jelentőségét mutatja, hogy ezt már a rákövetkező évben „Electric Waves” c., angolul is kiadták.

4. Egyéb munkák

Ezek életművének első kötetében lettek kiadva. Innén kiemeljük a fotoelektromos jelenség felfedezését, a szigetelőkben fellépő dielektromos polarizáció magyarázatát, a fény és az elektromos jelenségek közötti kapcsolat tisztázását. Új szempontokat felvonultató mechanikakönyvét asszisztense, Philipp Lenard (1862–1947) fejezte be.



H490-7

7. ábra. Elektromos hullámok törése szurokból készített hasábbal



8. ábra. Heinrich Hertz

5. Záró megjegyzések

Hertz munkássága az akkor ún. „Tiszta tudomány” jegyében telt el. Felfedezéseit nem szabadalmaztatta, azokat igyekezett gyorsan publikálni. Munkásságának gyakorlati következményeit és gyümölcseit mások aratták le.

A Hertz-féle hullámok egyértelmű következménye a távközlés fejlődése. Egyéb tevékenységek is fontos eredményei lettek. Az ultrabolya sugárzás

és a gázkisülés kölcsönhatásaként felfedezett fotoelektromos jelenség a kvantumfizika kezdeteként értékelhető, és hozzásegítette Elstert és Gietert ahhoz, hogy két évvel később felfedezzék a fotocellát.

6. Néhány életrajzi adat

Heinrich Rudolf Hertz 1857-ben született. 1875-ben érettségizett. Felsőfokú mérnöki tanulmányait Drezdában, Münchenben és Berlinben végezte. Tanította őt Herman van Helmholtz (1821—1894) és Gustav Kirchoff (1824—1887). Doktori disszertációját 1880-ban mágneses térben forgó gömbindukciós jelenségeinek vizsgálatából írta. Ezután három évig dolgozott elméleti fizikusként. Itt publikálta 1884-ben első jeletősebb művét, amely elkötelezte a Maxwell-elmélet mellett. Hertz 1885. március 29-én érkezik Karlsruheba, ahol élete legfontosabb műveit alkotta. Itt már professzor, saját laboratóriummal, műhely és személyzet áll rendelkezésére. Egy kollégájának lányát, Elizabeth Dollt veszi feleségül 1886-ban. Karlsruheban 1889-ig marad, utána Bonnba megy. Itt is végez elektromágneses kísérleteket, de itt kezd el a katódugarak fémen történő áthatolásával is foglalkozni. Itt hal meg — néhány hónappal 37. születésnapja előtt — vérmérgezésben, amelyet ma rutinszerűen gyógyítanak. Emlékének adózunk fényképek bemutatásával (8. ábra).

Dr. Mojzes Imre

IRODALOMJEGYZÉK

- [1] J. B. Bryant: Heinrich Hertz — the beginning of microwaves. IEEE New York, 1988. ISBN 0—87 942—710—8.
- [2] J. S. T. Gehler's Physikalisches Wörterbuch. Band. IV. p. 397, Leipzig, 1827.
- [3] Simónyi K.: A fizika kultúrtörténete. p. 525, Gondolat, Bp., 1986.
- [4] Elektrotechnika. Szerk.: Kellner József és S. Pöschl Imre, Athenaum, Budapest, 1922.
- [5] W. Feddersen: Entladung der Leidener Flasche. Ostwald's Klassiker der Exakten Wissenschaften No 166. Leipzig, 1908.