

A mikrohullámú mérés-technika új irányzatai

DR. KENDERESSY MIKLÓS

Távközlési Kutató Intézet



DR. KENDERESSY
MIKLÓS

1958-ban szerzett gyenge-
áramú villamosmérnöki okle-
velet a Budapesti Műszaki
Egyetemen. Munkáját a Táv-
közlési Kutató Intézetben
kezdte, ahol jelenleg is dolgo-
zik. Első szakterülete mikro-
hullámú műszerek fejlesztése
volt. E témából szerzett egye-
temi doktori címet 1962-ben,
majd a műszaki tudományok
kandidátusa címet 1967-ben.

1969 óta foglalkozik mikro-
hullámú berendezések terve-
zésével. Ezen a téren elért
eredményeiért 1978-ban Al-
lami Díjat kapott. 1963 óta
rész vesz az egyetemi okta-
tásban, munkásságáért c.
egyetemi docensi fokozatot
kapott. 1958 óta tagja a
MATE-nak, jelenleg elnök-
ségi tag és az Elektronikus
Műszer Szakosztály elnöke.
A Virág—Pollák díj és a
Kolos Richárd díj tulajdo-
nosa.

ÖSSZEFOGLALÁS

A mikrohullámú mérés-technika egyre fontosabb szerepet játszik a kutatásban, gyártásban, és egyre növekvő alkalmazási területe van az iparban és gyógyászatban egyaránt. Ezért maga a mérés-technika is gyorsan fejlődik, új eszközök és új módszerek látnak napvilágot. A műszertechnika legfontosabb fejlődési eredménye a digitális vezérlés alkalmazása volt. Ezáltal nőtt a mérési pontosság, nőtt a mérési gyorsaság, és automatikus mérések váltak lehetővé, ami viszont csökkentette a mérési költségeket. A cikkben néhány új módszer van ismertetve ezeknek az elveknek a megvalósítására. Végül a mikrohullámú technika alkalmazása található ipari és orvosi célokra.

Bevezetés

A X. Nemzetközi Mérés-technikai Kongresszuson (IMEKO) Prof. dr. Delong, a Csehszlovák Tudományos Akadémia részéről néhány alapvető megállapítást tett, melyek a mérés-technika mai helyzetére nagyon jellemzők:

- a tudományos kutatásban egyre nagyobb szerepet játszanak a mérőműszerek, melyek fejlesztése, pontosságának növelése elsőrendű feladat;
- az ipari gyártás során egyre több mérést kell végezni, és ezeknek a méréseknek a pontossági igénye megközelíti a kutatásban alkalmazott műszerek pontosságát;
- az ipari gyártás költségei között a mérési költség egyre nagyobb hányadot jelentenek, ami szükségessé teszi a műszerek hatékonyságának fokozását, és ezáltal a költségek csökkentését.

Mindezeket dr. Almássy György már 1950-ben nagyon jól látta, érezte és hirdette, és egész életét arra tette fel, hogy a mérés-technikát, ezen belül a mikrohullámú mérés-technikát fejlessze. Egyetemi oktatóként villamosmérnökök százaival ismertette meg a mérés-technika fontosságát, tanította őket a mérések jelentőségére. Kutatóintézeti vezetőként pedig minden erejével azon dolgozott, hogy a mérés-technika fontosságát elismertesse, és munkatársaival együtt olyan műszereket fejlesszen ki, melyek elősegítik a mikrohullámú berendezések kutatását, fejlesztését és gyártását.

Dr. Almássy György professzornak nem lehetünk eléggé hálásak ezért a szakadatlan nevelő-fejlesztő munkáért.

1950 óta sokat fejlődött a mikrohullámú technika, és sokat fejlődött a mikrohullámú mérés-technika is. Mint minden mérésnél, itt is a legfontosabb szempont a pontosság növelése volt, ennek érdekében végezték és végzik ma is a legtöbb kutatómunkát. Nagyon nagy jelentőségű változást hozott e téren is a számítógépek

előretörése. A nagy pontosságú, professzionális mérőműszerek új típusai vagy tartalmazznak valamilyen számítógépet (egy-egy mikroprocesszort), vagy kívülről számítógéppel vezérelhetők. Vezérlési módként leggyakrabban az IEC 625. szabványjának megfelelő buszrendszert használják. A mérőműszerek digitális vezérelhetőségének számos előnye van.

a) *Nagyobb mérési pontosság érhető el általa.* A mérőműszer saját hibáját meg lehet állapítani precíziós etalonok alkalmazásával. Ezeket a hibaértékeket a számítógép tárolja a frekvencia és/vagy bemenőszint függvényében. A tényleges mérés elvégzése után a tárolt adatokkal korrigálni lehet a mért értékeket, és így a korrigált értékek pontosabbak lehetnek, mint maga a mérőeszköz. Ezt a korrekciót kézi számításokkal is el lehetne végezni, de nagyon sok időt igényelne, ezért csak a számítógépek bevezetése tette lehetővé ennek a korrekciós mérésnek a gyakorlati alkalmazását.

b) *Nagyobb mérési gyorsaság érhető el.* A gyártási technológiák fejlődése következtében egyre több mérést kell végezni gyártás közben is. De a nagyobb gyártási volumenek következtében a bemerendő késztermékek száma is nő. Ilyen nagy mennyiségű mérés manuális elvégzése nagyon sok időt igényel, és nagy költséget is jelent. A digitálisan vezérelt mérőműszerek alkalmazásával a méréseket gyorsan és kis költséggel lehet elvégezni, ami növelte a gyártható mennyiséget, és növelte a késztermék minőségét, megbízhatóságát.

c) *Automatikus méréseket lehet végezni.* A mérések automatikus elvégzésének egyik előnye az, hogy nem igényel emberi munkát, de másik előnye, hogy olyan helyeken is lehet mérést végezni, ahová ember nem juthat el. Ilyenek az extrém hőmérsékletű, extrém nyomású terek, a sugárveszélyes helyek stb. Az automatikus mérőműszerek ilyen helyekre is beépíthetők, és sok-sok információt nyújtanak az ott lezajló folyamatokról.

Beérkezett: 1986. III. 5. (H)

d) *Új jellemzők mérése vált lehetővé.* A digitális vezérlésű mérőműszerek kezelése egyszerűbb, nem igényel méréstechnikai szakértelmet. Ezért fokozatosan tért hódítanak olyan területeken, ahol addig idegenkedtek tőlük a kezelési nehézségek miatt. A mikrohullámú mérőműszerek alkalmazást nyertek pl. a gyógyásban (tomográfia, diatermia) és az ipar számos területén (pl. vastagságmérés, nedvességmérés).

A digitális vezérlés alkalmazásán kívül azonban számos találmány született, a kutatók sok új ismeretet tártak fel, melyek alapvetően új mérési feladatot igényelnek, vagy új mérési módszereket tesznek lehetővé. A következőkben a teljesség igénye nélkül szeretnék néhány olyan új eredményt ismertetni, melyek lényeges változást hoztak a mérési módszerekben, és hosszú időre éreztetik még hatásukat.

1. Mikrohullámú impedanciamérés

Az impedanciamérés a mikrohullámú technika egyik legrégebbi mérési problémája. Ennek megfelelően számos megoldás is született rá, de egyikről sem mondható, hogy az az igazi, egyetlen jó megoldás. A legősibb megoldás az állóhullámmérő alkalmazása, kielégítő eredményt ad mérési pontosság tekintetében, ezért mind a mai napig használatos. Legnagyobb hibája a lassúság, és ezért folynak a kutatások, hogy milyen módon lehet legalább ilyen pontosság mellett lényegesen nagyobb gyorsaságot elérni.

Az impedanciamérés korlátozott változata, az állóhullám- vagy reflexiómérés szinte tökéletesen meg van oldva. A haladó és reflektált hullámok szétválasztása iránycsatolókkal vagy hibridekkel nagy pontossággal elvégezhető. Ezért ezek a mérések széles frekvenciasávban, gyorsan és pontosan végezhetőek. A mért adatok kijelzése történhet mutatós műszeren vagy képernyőn a frekvencia függvényében.

Probléma akkor lép fel, ha a reflektált jel nagyságán kívül annak fázisát is mérni kell, vagyis komplex impedanciát kell mérni. Ehhez a haladó és reflektált hullámok nagyságának mérésén kívül valamilyen harmadik eszközre is szükség van, mely annak fázisát is meg tudja mérni. Ez azonban lényegesen bonyolítja a mérést.

Néhány évvel ezelőtt megjelentek az áramkör-analizátorok és azok automatizált változatai [29]. Különlegesen jó eszközök ezek, melyek egyesítik magukban a legkifinomultabb mikrohullámú technológiát, a digitális hibakorrekció elvét és a nagy mérési sebességet. Lényegük az, hogy az amplitúdóban és fázisban összehasonlítható mikrohullámú jeleket lineárisan lekeverték alacsonyabb frekvenciasávba, és az összehasonlítást ott végezték el. Az összehasonlítás eredményét képernyőn jelezték ki, külön az amplitúdót és külön a fázist, vagy a kettőt együtt egy Smith-féle impedancia-diagrammon. A berendezés automatikus hibakorrekciót is tud végrehajtani, de különleges nagy pontosságú mérések esetén a feladathoz illeszkedő módszerek alkalmazása célszerű [24–28]. Ezek a berendezések nagyon jók, nagyon pontosak, nagyon gyorsak, de nagyon drágák. Ez pedig elegendő ok ahhoz, hogy más módszerek is alkalmazásra kerüljenek.

Ilyen alapvetően más módszert közölt Engen és Hoer 1977-ben [1, 2]. A módszer lényege egy hatkapu-áramkör, melynek első kapujához csatlakozik a jelgenerátor, második kapujához a mérendő impedancia, a maradék négy kapuhoz pedig teljesítménydetektorok, melyek tehát a rájuk jutó mikrohullámú jelnek csak az abszolút értékét mérik. Ezekből a teljesítményinformációkból egyértelműen ki lehet számítani a második kapura kapcsolt elem komplex impedanciáját. Ezt a módszert fejlesztette tovább Hoer [2] kétkapuk komplex reflexiók mátrixának mérésére. Ő két hatkapus áramkört alkalmazott ezen paraméterek megállapításához. Meg kell jegyezni, hogy jelen cikk szerzője már 1966-ban beszámolt hatkapus impedanciamérő készítéséről [3], ahogy ezt a tényt még 1984-ben is elismeri a szakirodalom [4].

Ezeknek az elveknek a felhasználásával számos impedanciamérő berendezés látott napvilágot egészen napjainkig [5–12], melyek egyrészt más-más országban, más kutatóhelyen elért eredményeket jelentenek, vagy a mérési pontosság fokozása érdekében végzett módosításokról számolnak be. Ezek szerint ilyen elven működő eszközök kutatásával foglalkoznak pl. az Egyesült Államokban Boulderben a National Bureau of Standards kutatói, a TRW és a Sperry kutatólaboratóriumaiban, Angliában a londoni University College-ban, Svájcban a lausannei Ecole Polytechnique Federale-ban, az NSZK-ban a braunschweigi Physikalisch-Technische Bundesanstalt-nál, Koreában a Standards Research Institute-nál, Kanadában a montreali Ecole Polytechnique-ban és még sok helyen. Ez a széles körű érdeklődés azt mutatja, hogy az impedanciamérés sok helyen jelent problémát, és hogy sok-sok kutató dolgozik a helyi feladat optimális megoldása érdekében.

A hatkapus impedanciamérő kissé módosított változatát dolgozták ki a müncheni Műszaki Egyetemen [13]. A módszer lényege, hogy két iránycsatolót alkalmaz a haladó és reflektált hullámok amplitúdójának mérésére, és ezen kívül két feszültségérzékelő szondát a fázisszög meghatározására. Az impedanciát a terheléshez legközelebb eső szonda helyén határozza meg. A módszer előnye, hogy mm-es hullámú tartományban is jól használható, és nagy pontossággal készíthető el. Ennek a módszernek egy továbbfejlesztett változatáról számolt be jelen cikk szerzője 1983-ban az Európai Mikrohullámú Konferencián Nürnbergben [14]. A konferencián egy másik impedanciaméréssel kapcsolatos előadás is elhangzott [15].

Egyes intézetekben olyan kísérleteket is végeztek, hogy nem lehet-e hatnál kevesebb kaput alkalmazni impedanciamérőként. A közlemények tanúsága szerint igen. A már említett montreali Ecole Polytechnique-ban ötkapus megoldást dolgoztak ki [16], mely egy iránycsatolót és két fix szondát alkalmaz impedanciamérésre. A szerzők részletesen megvizsgálták, hogy milyen körülmények közt használható ez a mérőrendszer, és azt találták, hogy passzív áramkörök mérésénél jól alkalmazható, és részletes adatokat közölnek egy megépített mérőrendszer hibáiról. Még érdekesebb eredményről számol be egy 1985 közepén megjelent cikk [17]. A kísérleteket Svédországban végezték a Chalmers University kutatói. A mérési összeállítás

lényege egy hibrid és egy változtatható etalon impedancia, mely jelen esetben egy elektronikusan hangolható rövidzár. A méréshez egyetlen detektorra van szükség, ami nagy előny, mert nem kell a detektorokat egymáshoz illeszteni vagy kalibrálni. A mérőrendszerhez tartozik még egy számítógép, mely a rövidzár hangolását és az adatok kiértékelését végzi. A módszer egyetlen hátránya, hogy lassabb, mint a hatkapus mérőrendszerek, mert minden frekvencián több mérést kell végezni a rövidzár különböző állásainál. Mint hogy azonban automatikus rendszerről van szó, ez a hátrány elviselhető. Nagy előnye viszont az egyszerűség, nincs szükség különleges mérőeszközökre, és ezért ez a megoldás nagyon ígéretesnek látszik a mm-es hullámok tartományában.

Az impedanciamérőkről összefoglalóan el lehet mondani, hogy ez a téma ma is aktuális kutatási terület. Folyamatosan jelennek meg új módszerek, ami azt bizonyítja, hogy egyik sem jelent általánosan használható megoldást. A jövőben is arra kell számítani, hogy a mérési feladathoz illeszkedően új meg új módszereket fognak kidolgozni, melyek azt a konkrét mérést a leg-egyszerűbben, legpontosabban tudják elvégezni. A kutatólaboratóriumok számára pedig megmaradnak a transzponálás elven működő, univerzális, de igen drága áramkör analízátorok.

2. Vevőkészülékek mérései

Egy mikrohullámú vevőkészüléknek sok műszaki paramétere van, melyek mindegyikét meg kell mérni a fejlesztés és gyártás során. Ezek közül különösen fontos az érzékenység és a linearitás.

A linearitás jellemzésére sokféle fogalmat használnak. Ezek közül ismertebbek az „1 dB-es kompressziós pont”, az „AM-kompresszió” és az „AM—PM konverzió”. Újabb ezek helyett az „Intercept Point” megadása szokásos. Ha a bemenő és kimenő teljesítményeket kétszeres logaritmikuskálán ábrázoljuk, akkor 1-es meredekségű egyenest kapunk. A torzításra jellemző és a vételi frekvenciásvba eső harmadrendű ($2f_1 - f_2$) vagy ($2f_2 - f_1$) frekvenciájú intermodulációs termékek ugyanezen a skálán 3-as meredekségű egyenestként adódnak. A két egyenes metszéspontja az Intercept Point, melynek ordinátaértékét, tehát a hozzá tartozó kimenő teljesítmény értékét szokás megadni jellemző értéként. Ez az adat rendkívül jól jellemzi a kétkapu linearitását, és ugyanakkor nagyon jól használható kaszkádba kapcsolt kétkapuk eredő linearitásának számítására. A Távközlési Kutató Intézetben dr. Bodnár Pál kidolgozta az eredő Intercept Point számítási módszerét, valamint ennek kapcsolatát a már említett linearitási jellemzőkkel [18]. Az Intercept Point mérése általában ismert, két különböző frekvenciájú generátorral történik. A problémát az jelenti, ha ennek a két generátornak a szintje nem állítható tetszőlegesen, ha a kimeneti indikátorként szolgáló spektrumanalízátor is torzít. Különös nehézséget jelent az igen nagy szintű Intercept Point-ok mérése. Dr. Bodnár mindezen esetekre kidolgozott módszereket és meghatározta az ezekből adódó mérési hibákat.

A vevőkészülékek másik fontos jellemzője az érzé-

kenység. Az érzékenység szó alatt általában a bemeneti zajtényezőt vagy zajhőmérsékletet értették. Mai, korszerű vevőkészülékeknél a bemeneti fokozatok nagyon kis zajúak, a zajhőmérséklet 20 K-ig csökkenhet, és ilyen kis értékek pontos mérése egyáltalán nem könnyű feladat. Ha a mérést jelgenerátorral kívánjuk végezni, akkor különös gondot kell fordítani a generátor sugárzására, mert a kisugárzott teljesítmény néha nagyobb, mint amire a vevő bemenetén szükség lenne. Ez teljesen meghamisítja a mérést. Kicsit jobb a helyzet a zajgenerátoros mérésnél, ott viszont a tükkörfrekvenciás vétel jelent bizonytalanságot. Mindkét esetben figyelembe kell venni a vevőkészülék (vagy a vizsgálandó szélessávú erősítő) kimenetére kapcsolt műszerek saját zajtényezőjét, ami a bemeneten mért értéket kisebb-nagyobb mértékben megváltoztatja. A jelgenerátor sugárzását gondos szereléssel, árnyékolással le lehet csökkenteni olyan kis értékre, hogy az a kimeneti csillapító utáni jelnél feltétlenül kisebb legyen. A tükkörfrekvenciás vétel és a műszerek saját zaja pedig korrekciókkal figyelembe vehető [19].

A zajtényezővel definiálható érzékenység mellett az utóbbi időben megjelent a működési érzékenység fogalma, amit rádiófelderítést végző automata vevőkészülékeknél lehet definiálni [20]. Ezeknél a vevőkészülékeknél a video erősítő fokozatokban egy komparátor van alkalmazva, és ha a bemenő jel a küszöbszintnél nagyobb, akkor a kimenetén van jel, ellenkező esetben nincs. Rövid idejű impulzusoknál azonban előfordul, hogy a komparátor rosszul működik, és akkor is ad jelet, ha nincs is bemenő jel, vagy ténylegesen bemenő jelet nem vesz észre. Minél magasabb a komparálási szint, annál kevesebb lesz a hamis indikáció, de annál kisebb lesz a hasznos jelek vételének valószínűsége is.

A hasznos jelek vételének valószínűségét úgy lehet mérni, hogy f_1 frekvenciával ismétlődő impulzusjeleket kell adni a bemenetre, és fel kell jegyezni az indikált impulzusok f_2 frekvenciáját. Az f_2/f_1 hányados adja meg a vétel valószínűségét. A vétel akkor jó, ha ez az arány megközelíti az egységet. Ez természetesen függ a bemenő jel nagyságától (vagy a komparátor beállítási szintjétől). Minthogy ez a mennyiség egy valószínűségi érték, ezért pontos meghatározásához sok mérést kell végezni, és a mérést a bemenő szint függvényében többször el kell végezni. Így végül is egy diagramot lehet kapni, mely a bemenő jel függvényében mutatja a vétel valószínűségét.

A másik ilyen jellemző a hamis indikációk aránya. Ennek méréséhez a vevőkészülék bemenetét illetet-ten le kell zárni, és hosszabb időn keresztül figyelni kell a hamis indikációk számát. Ezt a számot az időtartammal elosztva, megkapjuk az egységnyi időre eső hamis indikációk számát. Ilyen hamis indikáció a vevőkészülék saját zajának impulzusszerű növekedéséből származik. Ezért természetesen függ a komparátor beállítási szintjétől. Minthogy a hamis indikációk száma általában kicsiny, ezért hosszú idejű, ismételt mérésekről van szó, és ezért a hamis vétel arányának megállapítása nehéz és hosszadalmas feladat. Újabb kidolgoztak egy módszert ennek az arálynak a közelítő meghatározására, lényegesen rövidebb mérési idő alatt [21]. Egy vevőkészülék működési érzékenysége

annál nagyobb, minél nagyobb a vétel valószínűsége, és minél kisebb a hamis vétel aránya.

A vevőkészülék működési érzékenysége új fogalom, de nagyon hasznos jellemző. Ezért a jövőben sok munkát kell még befektetni annak érdekében, hogy ezt a fogalmat jól lehessen definiálni, és jól lehessen mérni.

3. Mikrohullámú feszültségmérés

Az elektrotechnika egyik legősibb fogalma a feszültség, melynek mérése éppen ezért igen fontos feladat volt. Különböző módon előállított, precíziós galvánelemekkel igyekeztek egyre pontosabban definiálni az egységet, de ez mindig csak gyengén sikerült. A mikrohullámú technikában a feszültség nehezen definiálható, nem egyértelmű mennyiség, ezért a mikrohullámú szakembereket ez a kérdés nem is nagyon érdekelte. Helyét, szerepét a teljesítménymérés töltötte be.

Közben a technika rohamosan fejlődött, és más mennyiségek mérési pontossága lényegesen felülmúlta a feszültségmérés pontosságát. Így történt ez a frekvencia- és időméréseknél is. Az atomi színképvonalakon alapuló frekvenciaetalonok (atomórák) pontossága 10^{-11} ... 10^{-12} , ami lényegesen jobb, mint bármely feszültségmérés pontossága.

Lényeges változás 1962 után kezdődött, amikor Josephson bejelentette az azóta róla elnevezett effektus létezését. Ennek az a lényege, hogy ha két, egymással lazán csatolt szupravetetőn áramot bocsátunk keresztül, akkor egy kritikus áramérték fölött az átmeneten feszültség lép fel, és ezzel egyidejűleg mikrohullámú frekvenciás rezgés jön létre. Az átmeneten fellépő feszültség és a rezgés frekvenciája között szoros kapcsolat van, ami csak atomi állandóktól függ:

$$f = 483,593\ 718\ \text{GHz/mV}.$$

Josephsonnak ezt a megállapítását azóta számos kutató fényesen igazolta. Ennek az összefüggésnek a felhasználásával a feszültségmérés pontosságát lényegesen javítani lehetett, meg lehetett közelíteni a frekvencia-mérés pontosságát. Így lettek a mikrohullámú szakemberek érdekeltek a feszültségmérésben, mert a Josephson-átmenet megfelelő kialakítása főleg mikrohullámú feladat.

A problémát annak a berendezésnek a kidolgozása jelenti, mely a Josephson-átmenet millivoltos feszültségét egy galvánelem feszültségével hasonlítja össze. Ehhez a galvánelem feszültségét le kell osztani ugyancsak mV-os szintre, és ott kell az összehasonlítást elvégezni. Ilyen berendezések kidolgozásával foglalkoznak pl. Braunschweigben [22] és Boulderben a mérésügyi hivatalok, valamint Japánban a Yokogawa cégnél [23]. A feszültségmérés pontossága végül is attól függ, hogy ezt az összehasonlítást milyen pontosan sikerül elvégezni.

4. Ipari alkalmazások

A mikrohullámú technikát egyre szélesebb körben alkalmazzák ipari folyamatok, műveletek gyártás közbeni, folyamatos méréseinél. Az alkalmazási területek igen széles körűek, ezek felsorolása egy cikk terjedelmében lehetetlen, ezért csupán néhány példa felsoro-

lásával szeretném felhívni a figyelmet az alkalmazási lehetőségekre:

- folyamatos gyártású lemezek vastagságának mérése a visszavert hullám fázisának mérésével;
- nedvességtartalom mérése, ami történhet egyes darabokkal vagy folyamatosan áramló anyagban;
- szállított anyagmennyiség mérése, pl. szénporát-áramlás mérése kazánok táplálásánál;
- távolság és iránymérések: tellurométer a geodéziában, rádiólokátor a közlekedésben.

Minden ilyen esetben a mérendő anyagon áthaladó vagy arról reflektált mikrohullámú jel valamilyen jellemzőjének (teljesítmény, fázis, frekvencia) megváltozását mérik.

Vannak olyan alkalmazások, ahol a mikrohullámú teljesítményt nem mérésre, hanem valamilyen technológiai folyamat elvégzésére hasznosítják. Ezek célja kizárólag az, hogy energiát közöljenek a folyamatban szereplő anyaggal, és kihasználják a mikrohullámok különleges terjedési tulajdonságait a gyártási műveletek során. Ilyen alkalmazási területek pl.:

— szárítóberendezések. Nagy mikrohullámú energiával különböző anyagokat lehet szárítani. Igen elterjedten használják a faiparban az alapanyagok szárítására vagy ragasztások kötési idejének csökkentésére. Élelmiszeriparban liofilizálásra, különböző porok előállítására használják. Építőiparban a beton kötési idejét lehet vele csökkenteni.

— vendéglátóiparban különböző mikrohullámú sütő-, melegítőkészülékeket alkalmaznak ételek készítésére vagy mélyhűtött ételek felmelegítésére;

— bányászatban sziklák repesztésére lehet felhasználni, az anyagban levő víztartalom gyors elgőzöltetése révén;

— műanyagiparban hegesztésre, melegítésre alkalmazható;

— vegyiparban a kémiai reakciók elősegítésére lehet jól használni;

— plazmaégetés készítésének egy speciális módjánál mikrohullámú energiával ionizálják az égőt tápláló gázt. Mindez a felsorolás azt kívánja kihangsúlyozni, hogy milyen sokféle alkalmazási terület van, és hogy egy-egy új feladat megoldásakor érdemes megvizsgálni a mikrohullám alkalmazási lehetőségét is.

5. Orvosi, biológiai alkalmazások

A mikrohullámokat régóta alkalmazzák a gyógyászatban, de főleg hőkeltési tulajdonságát használják ki. Újabban egyre intenzívebben foglalkoznak a mérés-technikai, diagnosztikai alkalmazással is. Különösen érdekes terület a mikrohullámú tomográfia, melyről egyre több cikk jelenik meg napjainkban. Ugyancsak az utóbbi idők új kísérleti területe a mikrohullámok olyan hatásainak vizsgálata, ahol a hőhatás ki van zárva. Mindezekről a területekről azonban részletes ismertetőt kapunk dr. Predmerszky Tibor és dr. Szabó László cikkéből.

Összefoglalóan meg kell állapítani, hogy a mérés-technika és így a mikrohullámú mérés-technika is egyre nagyobb szerepet játszik a kutatásban, technológiai

folymatokban, gyártásban egyaránt. Egyre jobban nő a tudományos kutatás műszerigénye, egyre több és pontosabb műszerre van szükség a számítási eredmények kísérleti ellenőrzéséhez. Egyre több műszerre van szükség az ipari gyártásban is, és ide olyan műszereket kell kidolgozni, melyek pontossága nagy, de csak speciálisan egy-egy mérési feladat elvégzésére alkalmasak. Ezáltal ezeknek az „ipari” műszereknek az árát kell csökkenteni. Ezek az igények azt jelentik, hogy:

- még nagyobb pontosságú műszereket kell kifejleszteni a kutatómunka támogatására. Ezek a műszerek legyenek univerzálisak, hogy a kutatás során felmerülő különböző igényeket kielégítsék;
- nagy megbízhatóságú, nagy pontosságú speciális műszerek kellenek az ipar számára.

Mindebből pedig az következik, hogy mind nagyobb erőket kell alkalmazni a mérés- és műszertechnika fejlesztésére. Korszerű gyártás elképzelhetetlen korszerű műszerek nélkül.

IRODALOM

- [1] *Engen, G. F.*: The six-port reflectometer: An alternative network analyzer. IEEE Trans. MTT—25. No. 12. 1977. dec. 1075. old.
- [2] *Hoer, C. A.*: A network analyzer incorporating two six-port reflectometers. IEEE Trans. MTT—25. No. 12. 1977. dec. 1070. old.
- [3] *Dr. Kenderessy Miklós*: Automatische Impedanzmessung im Mikrowellenfrequenzbereich. Proc of IMEKO Symposium 1966. okt. 10.
- [4] *Labaar, F.*: The exact solution to the six-port equations. Microwave Journal 1984. szept. 219. old.
- [5] *Weidman, M. P.*: A semiautomated six port for measuring millimeter-wave power and complex reflection coefficient. IEEE Trans. MTT—25. No. 12. 1977. dec. 1083. old.
- [6] *Cronson, H. M., Susman, L.*: A six-port automatic network analyzer. IEEE Trans. MTT—25. No. 12. 1977. dec. 1086. old.
- [7] *Cullen, A. L.*: Measurement of 2-port devices by a reflectometer system. IEE Proc. Pt. H. Vol. 129. No. 6. 1982. dec. 333. old.
- [8] *Zürcher, J. F., Borgeaud, M., Gardiol, F. E.*: A compact portable six-port reflectometer. Mikrowellen Magazin Vol. 9. No. 2. 1983. 168. old.
- [9] *Stumper, U.*: Sechstorschaltungen zur Bestimmung von Streukoeffizienten. Mikrowellen Magazin Vol. 9. No. 6. 1983. 669. old.
- [10] *Nak Sam Chung, Jeong Hwan Kim, Joon Shin*: A dual six-port automatic network analyzer and its performance. IEEE Trans. MTT—32. No. 12. 1984. dec. 1983. old.
- [11] *Kaliouby, L., Bosisio, R. G.*: A new method for six-port swept frequency automatic network analysis. IEEE Trans. MTT—32. No. 12. 1984. dec. 1678. old.
- [12] *Juroshek, J. R., Hoer, C. A.*: A technique for extending the dynamic range of the dual six-port network analyzer. IEEE Trans. MTT—33. No. 6. 1985. jún. 453. old.
- [13] *Groll, H. P., Kohl, W.*: Six port consisting of two directional couplers and two voltage probes for impedance measurement in the millimeter-wave range. IEEE Trans. IM—29. No. 4. 1980. dec. 386. old.
- [14] *Dr. Kenderessy Miklós*: Simple automatic impedance meter in the microwave range. Proc. of 13. European Microwave Conference 1983. szept. 8.
- [15] *Hartmann, Th., Hetzner, W., Detlefsen, J.*: Complex impedance measurement with network analyzer by downconversion using unstabilized W-band impatt sources. Proc. of 13. European Microwave Conference 1983. szept. 8.
- [16] *Shihe Li; Bosisio, R. G.*: The measurement of complex reflection coefficient by means of a five-port reflectometer. IEEE Trans. MTT—31. No. 4. 1983. ápr. 321. old.
- [17] *Brantervik, K., Kollberg, E. L.*: A new four-port automatic network analyzer. IEEE Trans. MTT—33. No. 7. 1985. júl. 563. old.
- [18] *Dr. Bodnár Pál*: Az Intercept Point módszer a statikus nemlineáris torzítás meghatározására. Doktori értekezés. Budapesti Műszaki Egyetem, 1983.
- [19] *Pastori, W. E.*: Fehlermöglichkeiten bei der Rauschzahlmessung können vermieden werden durch Korrekturen, die den Einfluss der Spiegelfrequenzen und der Folgestufe eliminieren. Mikrowellen Magazin Vol. 10. No. 3. 1984. márc. 271. old.
- [20] *Tsui, J., Shaw, R.*: Sensitivity of EW Receivers. Microwave Journal Vol. 25. No. 11. 1982. nov. 115. old.
- [21] *Tsui, J.*: False alarm measurements on receivers. Microwave Journal Vol. 27. No. 9. 1984. szept. 213. old.
- [22] *Grimm, L., Hinken, J. H.*: Spannungsnormale mit Josephson-Element. Elektronik 13. 1983. júl. 1. 105. old.
- [23] *Seiči Naito, Yasushi Higashino, Makoto Ibuka*: Niobium thin film point-contact Josephson junction for voltage standard. Proc. of IMEKO Congress 1985. ápr. 22.
- [24] *Dr. Kása István*: New Measurement Method for Complex S-parameters. Proc. of the IMEKO-Symposium on Microwave Measurements. Budapest, 1972. 195—207. old.
- [25] *Dr. Kása István*: Exact solution of network analyzer calibration and two-port measurements by sliding terminations. CPEM 74. London, 1974. 90—92. old.
- [26] *Dr. Kása István*: Closed-Form Mathematical Solutions to Some Network Analyzer Calibration Equations. IEEE Trans. on IM. 1974. dec. No. 4. 399—402. old.
- [27] *Dr. Kása István*: A Circle Fitting Procedure and Its Error Analysis. IEEE Trans. on IM. 1976. márc. 8—14. old.
- [28] *Dr. Baranyi András, dr. Ladvánszky János*: On the Exact S-parameter Measurement of Active Devices. Proc. of 10th European Microwave Conference. Warszawa, 1980. szept. 278—282. old.
- [29] *Hackborn, R. A.*: An Automatic Network Analyzer System. The Microwave Journal 1968. Vol. 11. No. 5. 45—52. old.