

Mikrohullámú berendezés-fejlesztés a Totaltel Kft-ben

BENEDEK ANDOR, HAMMER GÉZA, KORMOS LÁSZLÓ, TÓTH TAMÁS, VÁLY LÁSZLÓ

Totaltel Kft.
totaltel@totaltel.hu

Kulcsszavak: mikrohullámú távközlés, állandóhelyű hálózat, hozzáférési hálózat

Cikkünkben a rádiórelé-technika néhány új módszerének ismertetése után bemutatjuk a mikrohullámú berendezések fejlesztésére és gyártására szakosodott Totaltel Kft. új digitális rádióberendezés-családját. Áttekintjük a berendezésfejlesztés kiinduló célkitűzéseit, az ezek megvalósítására alkalmazott megoldásokat és az elért eredményeket.

1. Bevezetés

A régebben rádiórelének, ma inkább állandóhelyű, vagy fix telepítésű vezeték nélküli összeköttetésnek nevezett rendszer, amely legtöbbször a mikrohullámú frekvenciasávban működik, a híradástechnika alapvető eszközei közé tartozik. Múltja 60-65 évre tekint vissza, megjelenése nem sokkal követte a radarét: a második világháború alatt katonai célra kidolgozott mikrohullámú technika alkalmazása a hírközlésben szinte magát kínálta.

Emlékeztet, hogy a rádiórelé rendszerek kezdetben analóg impulzusmodulációval működtek (minthogy az impulzusmodulált radar technikáját így tudták legkönnyebben közvetlenül alkalmazni), de hamarosan kidolgozták a frekvenciaosztású frekvenciamodulált (FDM-FM) technikát is, amely sokkal hatékonyabbnak bizonyult. Ugyancsak emlékeztet, hogy a magyar híradástechnikai kutatás és ipar viszonylag hamar bekapcsolódott az ezzel kapcsolatos tevékenységbe: a BHG, a TKI, az FMV és az Orion nemzetközileg is jelentős kutatási eredményeket és berendezés-gyártást produkált; az egyik első digitális rádiórelé berendezés a világpiacon éppen az Orionból került ki.

Az optikai távközlés megjelenésével a rádiórelé technika fejlődése megtorpant: a nagytávolságú hálózatokban – ahol addig szinte kizárólag rádióátvitelt alkalmaztak – az optikai kábeles átvitel minden műszaki szempontból előnyösebbnek bizonyult; sőt, kétségesse vált, hogy a rádióátvitel (a katonai hírközléstől eltekintve) egyáltalában fennmarad-e. Ez a helyzet hozzávetőleg egy évtizedig állt fenn, úgy 1980-tól 1990-ig.

Gyökeres változás a mobil hírközlés megjelenésével, majd tömegessé válásával következett be. Ennek során egyfelől a rádióhírközlés helye a távközlő hálózaton belül jelentősen megváltozott: a nagytávolságú hálózatban az optika egyeduralma nem csökkent, azonban a felhasználóhoz közelebbi hálózati síkokban a rádióhírközlés vagy az egyedül lehetséges megoldással (mobil hozzáférés), vagy egy igen előnyös alternatívává (fix hozzáférés, transzfer) vált. Másfelől jelentősége korábban elképzelhetetlen mértékben megnőtt. (Zárójelben megjegyezzük: az angol nyelvű irodalomban e

jelentős és lényegbeli változást a név megváltozása is kísérte. A korábban használatos *radio* helyett a *wireless* elnevezés terjedt el általánosan.)

A fix telepítésű rádiórendszerek jelentőségének csökkenése, majd megváltozott szerepének látványos emelkedése időben egybeesett az elektronika tudományának, technológiájának látványos fejlődésével. Így a mai berendezések számos gyökeresen új elemet, megoldást alkalmaznak.

Ebben a cikkben – teljességre nem törekedve – áttekintést adunk az új eredményekről. Majd kissé részletesebben ismertetjük egy hazai fejlesztésű és gyártású berendezéscsalád fejlesztési célkitűzéseit, valamint a megvalósítás műszaki megoldásait.

2. Néhány új módszer fix telepítésű, vezeték nélküli hírközlő berendezésekben

2.1. Digitális megvalósítás

Talán a legmesszebbmenő következményekkel a félvezető technológiának az a fejlődése járt, amely az analóg-digitál (AD) átalakítás pontosságának javítását tette lehetővé. Ez nyitotta meg az utat ahhoz, hogy a nagyfrekvenciás jelek (lineáris és nemlineáris) feldolgozását a korábbi – mondjuk, 20. századi – technikától lényegesen eltérő módon, numerikusan hajtsuk végre. Ehhez a nagyfrekvenciás – elvileg akár rádiófrekvenciás (RF), a mai gyakorlat szerint inkább középfrekvenciás (KF) – jel komplex burkolóját állítják elő, azt mintavételezik, majd digitalizálják; így a jelek számokká válnak, a műveleteket pedig matematikailag, mint mondtuk, numerikusan végzik el. E megközelítés olyan pontosságot tesz lehetővé, amelyet analóg módszerekkel – vagyis a jeleknek a megfelelő áramkörökön való átvitelével – nehezen, vagy ami ezzel egyenértékű, csak igen költségesen lehetne elérni.

A megfelelő (matematikai) műveleteket a digitalizált, mintavételezett komplex burkolón elvégezve, a transzformált számsorozat az igényeknek megfelelő alakban használható fel. Így analóg jellé visszakonvertálva min-

tákként, vagy a mintákból a folytonos alapsávi jeleket előállítva, vagy az analóg mintákból nagyfrekvenciás – KF vagy RF – jeleket előállítva dolgozható fel. (Utóbbival illetve a nagyfrekvenciás jelek mintavételezésével kapcsolatban emlékezzünk arra, hogy a legkisebb mintavételi frekvencia a jel *sávszélességétől*, és nem annak *maximális frekvenciájától* függ – konkrétan legalább a sávszélesség kétszerese. Alapsávi jeleket kapunk a mintasorozatból, ha azt aluláteresztő szűrőn vezetjük át, nagyfrekvenciás jeleket, ha sáváteresztő szűrőn.)

Ezen eszközök, eljárások segítségével létrehozható az, amit „szoftver rádióknak” vagy „át-konfigurálható rádióknak” neveznek. Ha egyszer a jelet numerikusan dolgozzuk fel, a szoftver határozza meg a feldolgozás tartalmát. De akkor egészen különböző szoftverek is állhatnak rendelkezésünkre, szükség szerint változtathatjuk, hogy éppen melyiket használjuk: így a jel sebessége széles határok közt változhat; a modulációk, kódolások, kiegyenlítések, zavar-elyomások és egyéb funkciók széles választékát valósíthatjuk meg ugyanazzal a berendezéssel. E lehetőségek némelyikét ténylegesen alkalmazzák a szóban forgó – fixen telepített – rádióberendezésekben.

2.2. Vezérelhető átviteli kapacitás

Az előző pontban tárgyalt módszerek lehetővé teszik hogy egy rádióberendezés változó, különböző sebességű jeleket vigyen át. Erre különféle okokból lehet szükség. Egységesebbé lehet tenni a gyártmányválasztékot – bár ez távolról sem a legfontosabb felhasználás; mód nyílik egy telepített hálózat kapacitásának növelésére. Ennél is valószínűbb: a forgalom napszaktól is függ, munkaidő alatt a vállalati felhasználók generálnak nagyobb forgalmat, munkaidőn kívül az otthonok, a magán felhasználók. Mindezek, főleg az utóbbi igényelheti a változó, vezérelt átviteli kapacitást.

Szoftver rádiót alkalmazva az órafrekvencia, a kódolás, a moduláció (ezek együttesen határozzák meg a sávszélességet), a szűrők karakterisztikája, a kiegyenlítők beállíthatók illetve távvezérelhetők.

2.3. Interfész-választék

A klasszikus rádiórendszerek általában két nagy osztályba: kis- és közepes kapacitású PDH, és nagy kapacitású SDH rádió-berendezések osztályába sorolhatók. Ezek mindegyike az ITU-T G.703 ajánlás aktuális sebességhez tartozó interfészét alkalmazza, amelyek megfelelőek a hagyományos végberendezések (PCM multiplexer, digitális központ) csatlakoztatására. Az Internet terjedésével megjelent az igény LAN-ok (tipikusan Ethernet LAN-ok) közötti kommunikáció megvalósítására. Ehhez közbenső eszközökre, a kétféle interfészt illesztő média-konverterekre volt szükség.

Minthogy az Internet-átviteli képesség iránti igény, különösen ennek sebességével kapcsolatban fokozódik, egyre több, közvetlen Ethernet csatlakozást biztosító berendezés jelenik meg. A hagyományos és Ethernet típusú végberendezések együttélése miatt többféle típusú interfész egyidejű alkalmazása, és a rádiócsa-

torna rendelkezésre álló sávszélességének megosztása ezek között, reális igény és lehetőség. Ilyen módon, sok esetben hatékonyabb frekvenciafelhasználás biztosítható, mint különböző külső illesztő egységek alkalmazásával.

3. A Totaltel TDR-F berendezéscsaládja

3.1. Előzmények

A magyar mikrohullámú ipar kialakulása az 1950-es években kezdődött, két egymástól független fejlesztőhelyen: a BHG-ban és a Távközlési Kutató Intézetben (TKI). Az előbbit Uzsoki Miklós, az utóbbit Bognár Géza és Csibi Sándor neve fémjelzi. A BHG-beli fejlesztő gárda később az Orion-ba került, ahol kidolgozták az első hazai digitális mikrohullámú berendezéseket. A TKI elsősorban az analóg FDM-FM berendezések fejlesztése terén ért el jelentős eredményeket, a digitális rádiók fejlesztésébe – bár ezen a téren is folytak kutatások – intenzív módon csak később kapcsolódott be.

A berendezés-fejlesztés terén elért eredményeket jól jelzik az egyes témakörök művelői által írt monográfiák [1,2]. A digitális rádióberendezések fejlesztésében elért eredmények azonban a valaha nagy gazdasági sikereket produkáló iparvállalatoknak a nyolcvanas évek végén bekövetkezett rendszerváltással járó elsorvadás miatt nem válhattak terméké. Ebben a folyamatban a szocialista ipar általános működési jellemzői mellett objektív és szubjektív személyes okok is közrejátszottak (mint például a TKI-beli fejlesztés meghatározó személyisége, Róna Péter és nem sokkal később Szabó Zoltán 1989-ben bekövetkezett váratlan halála).

A fejlesztői kultúra megőrzése és továbbfejlesztése céljából alapítottuk meg 1991-ben a Totaltel Kft-t, melynek gerincét a TKI akkori vezető mikrohullámú berendezésfejlesztői alkották. Az így létrejött kisvállalkozás lehetőségeit természetesen erősen meghatározták a rendelkezésre álló erőforrások: a kis létszám, az eszközök teljes hiánya és a környezeti légkör. Ez utóbbit két egymással ellentétes tendencia jellemezte: egyrészt a szűkebb szakmai közösség jóindulatú támogatása, másrészt a volt kollégák egy részének ellenséges magatartása. A kezdeti nehézségeket a Totaltel kollektívájának sikerült legyőznie, részben saját áldozatkészsége révén, részben az Országos Műszaki Fejlesztési Bizottság és más szervek pályázatainak elnyert támogatás segítségével.

1991-92-ben megjelentek a TDR (Totaltel Digitális Rádióberendezések) család első, 15 és 23 GHz-es sávú tagjai, amelyeket később 5, 13, 18 és 38 GHz-es változatok követtek. Ezek a berendezések 2-34 Mbit/s sebességű átvitelt biztosítottak robusztus 4FSK moduláció alkalmazásával. A berendezések osztott kivitelűek, beltéri és az antennával egybeépített kültéri részből állnak, ilyen módon az előállított mikrohullámú teljesítmény veszteség nélkül, teljes egészében kisugározható. Digitális áramkörök FPGA technológián vannak megvalósítva. A TDR berendezésekből ezres nagyságrendű gyár-

tási széria készült, nyilvános és magánhálózatokban egyaránt alkalmazásra kerültek. A számos projekt közül a legnagyobb volumenűek: a Matáv Motorola RLL-rendszerében való részvétel, a Magyar Honvédség fix telepítésű hálózatának kiépítése [3], a PanTel, az Antenna Hungária és az NIIF hálózataiba történő szállítások, valamint regionális hálózatok, mint például az APEH vagy a Felső-Tisza-vidéki Vízügyi Igazgatóság magánhálózatának létrehozása emelhető ki.

3.2. Az új berendezéscsaláddal kapcsolatos célkitűzések

A 2000-es évek elején új, a korábbinál számos szempontból korszerűbb berendezéscsalád kifejlesztését határoztuk el. A legfontosabb követelményként a berendezések rugalmas alkalmazhatóságát fogalmaztuk meg, ezért a család a TDR-F (F, mint Flexibilis) nevet kapta.

A berendezéseket a TDR család gyártási és alkalmazási tapasztalatai alapján, ahhoz képest lényegesen jobb paraméterekkel és szolgáltatásokkal terveztük megvalósítani. Általános célként a konkurens berendezésekkel versenyképes, gazdaságosan gyártható és alkalmazható berendezések fejlesztését tűztük ki.

A műszaki követelményeket konkrétan a következő célokban fogalmaztuk meg:

- a berendezések osztott kivitelűek, kültéri és beltéri egységük között egyetlen koaxiális összekötő kábellel;
- a berendezések kültéri egysége az átvitt jelek típusától és az átviteli kapacitástól független;
- a beltéri egység független az alkalmazott kültéri egység frekvenciasávjától;
- a berendezések kisebb és nagyobb állapotszámú modulációval (kisebb és nagyobb frekvenciahatékonysággal) egyaránt működnek;
- a berendezések átviteli kapacitása elektronikus úton változtatható;
- egy adott frekvenciasávú kültéri egység minimális számú törésváltozáttal fedi le a teljes sávot;
- a kültéri egység csatornafrekvenciája és adóteljesítménye elektronikusan változtatható (RFC és RTPC, távoli frekvencia és adóteljesítmény vezérlési funkció);
- a berendezések átviteli minőségi jellemzői lényegesen felülmúlják az ETSI szabványokban előírt minimális követelményeket;
- a berendezés a hagyományos G.703 E1 és E3 csatlakozások mellett, Ethernet interfészen közvetlen LAN-LAN kapcsolatra is alkalmas;
- a berendezések központi helyről menedzselhetők mind SNMP protokollt alkalmazó rendszerben, mind a TDR berendezésekkel kompatibilis módon;
- a konstrukció és az alkalmazott technológiák gazdaságos gyártást és nagy megbízhatóságot garantálnak.

3.3 A célkitűzéseket megvalósító műszaki megoldások

Az előző pontban részletezett követelmények teljesítésére a következő megoldásokat terveztük és valósítottuk meg.

Modulátor és demodulátor

A berendezések modulációs rendszerül kvadratúra amplitudómodulációt (QAM) választottunk. A középfrekvencián működő és digitális jelfeldolgozást alkalmazó univerzális modulátor és demodulátor 4...128 állapotú működésre alkalmas 20 Msymbol/s maximális szimbólumsebesség mellett. A modem ilyen minőségű működését az alkalmazott A/D és D/A konverterek, valamint az FPGA technológiában megvalósított DSP biztosítja. A modem $\alpha=0,4$ lekerekítési tényezőjű emelt \cos karakterisztikájú átviteli csatornát realizál. Ilyen módon például egy 28 MHz sávzélességű csatornán 40...140 Mbit/s aggregált bitsebességű jelet képes továbbítani. A moduláció állapotszáma és sebessége elektronikusan változtatható.

A modem ilyen jellemzői képezik az alapját az átviteli kapacitás változtathatóságának. A modemnek része az átviteli út esetleges torzításait kompenzáló adaptív időtartománybeli kiegyenlítő is.

Mikrohullámú aktív áramkörök

A moduláció állapotszámának növelése egyre szigorúbb követelményeket támaszt az adóteljesítményt előállító fokozatok, különösen a mikrohullámú végerősítő linearitásával és a középfrekvenciáról a mikrohullámú sávba illetve vissza transzponáló lokáljelforrások fáziszajával szemben. Ezen követelmények kielégítése kiváltképpen a milliméteres sávokban okoz nehézséget, minthogy ott az elérhető adóteljesítmény limitált, illetve a magas frekvencia miatt a kis fáziszaj követelménye csak különleges tervezéssel biztosítható.

A szükséges adóteljesítmény előállítására a technika mai szintjén az alacsonyabb mikrohullámú sávokban GaAs FET-ek, a magasabb, milliméteres hullámsávokban GaAs alapú MMIC-k (monolitikus mikrohullámú integrált áramkörök) állnak rendelkezésre. Az ezekkel elérhető teljesítményeket a QAM rendszerek nem használhatják ki, a teljesítmény-eszközök a telítési teljesítményükhöz képest csak alulvezéltséggel (backoff) használhatók. A nagy kivezérléseknél fellépő nemlinearitásnak kétféle káros hatása van: egyrészt a modulátor által előállított sávkorlátos jel spektrumát kiszélesíti, másrészt a moduláció konstellációs képének torzítása által az átvitel teljesítőképességét rontja.

Minthogy a korszerű rendszerekben alkalmazott hibajavító kódolás az utóbbi hatást jelentékenyen csökkenti, a lényeges követelményt a spektrális jellemzőket meghatározó spektrum-maszk előírások jelentik. Ezek kielégítésére az általánosan elérhető MMIC-áramkörök esetén 4-16 QAM üzemmódban a teljesítmény-fokozatokat legalább 1-6 dB backoff-fal kell jártni. Ez konkrétan a 18-23-38 GHz-es sávokban 20, illetve 15 dB adóteljesítményt jelent 4 QAM, illetve 16 QAM moduláció esetén. Minthogy az állapotszám további növelése még nagyobb adószintcsökkentést kívánna, a rendszerben alkalmazható maximális szintű modulációt 16 QAM-re korlátoztuk.

A nagy állapotszámú moduláció alkalmazása a rendszerben szükséges kis fáziszajú szintetizált lokáljelfor-

rásokra is komoly követelményeket ró. A gazdaságos megvalósítás érdekében ezért a berendezések adó-vevőiben közös lokállátást alkalmazunk.

Szélessávú megoldások

A FET- és MMIC-alapú mikrohullámú áramkörökkel széles sávú, adott esetben a teljes kommunikációs sávot átfogó aktív áramkörök: tükrörelnyomásos keverők, kiszajú erősítők, teljesítményerősítők realizálhatók. Egy-egy mikrohullámú berendezés alkalmazási frekvenciasávjának szélességét az adás-vételt szétválasztó és a jelek fel- és letranszponálásához szükséges sávszűrők realizációs problémái korlátozzák. Hogy ez a sáv szélesség minél nagyobb legyen, mind adás-, mind vevőoldalon kettős keverést és magas, 1,5-3 GHz közötti középfrekvenciákat alkalmazunk. Az egyes berendezés-törésváltozatok sáv szélességét meghatározó mikrohullámú szűrők így kis veszteséggel realizálhatók. Ilyen módon elérhető, hogy egy-egy kültéri egység-törésváltozat a milliméteres sávokban a teljes sáv felét, az alacsonyabb sávokban, ahol az adási és vételi frekvenciák távolsága (DS, duplex távolság) kisebb, a sáv harmadát átfogja.

Vezérelhető mikrohullámú jellemzők

A szintetizált lokáljelforrások és a KF- és RF fokozatokban alkalmazott szabályzóköri elemek lehetővé teszik mind a csatornafrekvencia, mind az adóteljesítmény távvezérléssel történő beállítását. Az adóteljesítmény szabályozásával ezen túlmenően ATPC (automatikus adóteljesítmény szabályozás) funkciót is megvalósítottunk. Ennek révén normál terjedési viszonyok mellett, tehát az idő nagy százalékában az adó leszabályozott, kis teljesítménnyel működik, ezáltal a környezetre gyakorolt zavaró hatás csökken, ugyanakkor a jobb linearitás kedvezőbb átviteli minőséget eredményez. Hullámterjedési okokból bekövetkező szintcsökkenés, fading esetén az automatikusan a névleges szintre emelt adóteljesítmény a csatorna előírt megbízhatóságát garantálja.

A forgalmi csatornák rugalmas multiplexálása

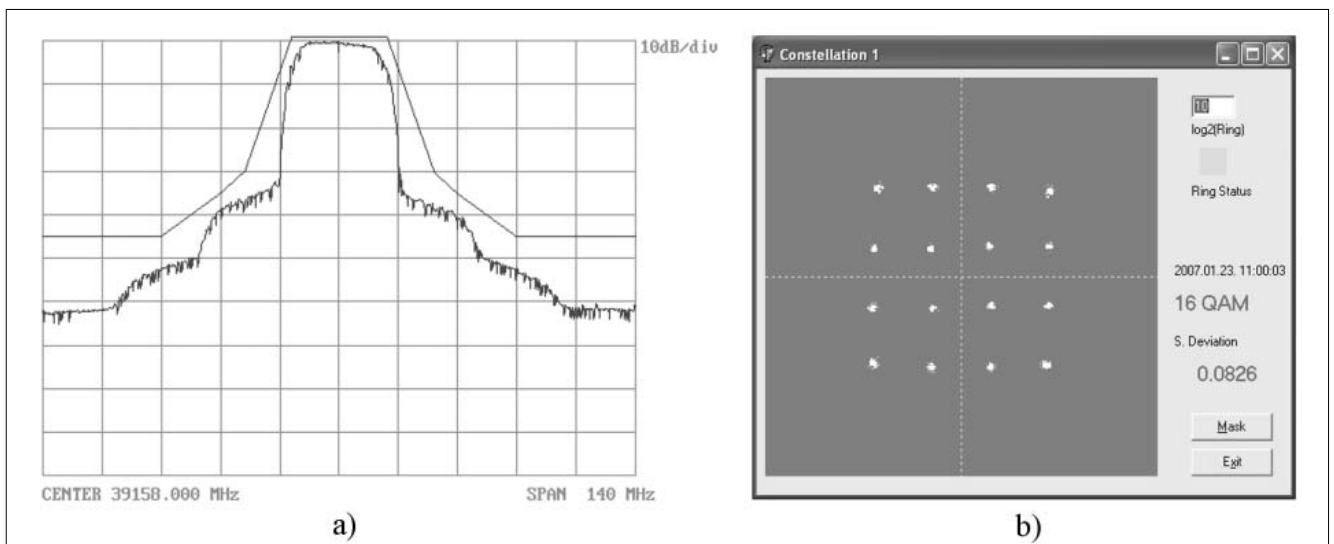
A berendezésekben a különböző átvinni kívánt jeleket (E1, E3 és Ethernet) egyetlen lépésben multiplexáljuk az átvitelre alkalmas soros bitfolyamba, amelyben a fenntartási információt hordozó segédjelek és a hibajavító kódolás redundáns bitjei is helyet kapnak. Az így előállított rádió-keretben az egyes időrések és forgalmi csatornák összerendelésével, illetve az összerendelés megváltoztatásával a rádiócsatorna rendelkezésre álló sáv szélességét dinamikusan oszthatjuk meg a forgalmi csatornák között. Ezáltal mind a rendszer kapacitása, mind a kapacitás egyes forgalmi csatornák közötti megosztása elektronikusan változtatható. Említésre érdemes, hogy a HDLC keretekbe ágyazott Ethernet keretek továbbítása nagyobb hatékonysággal történik, mint a hagyományos Ethernet-E1 vagy Ethernet-E3 átalakítók esetén, például a 16 E1 csatorna helyén továbbított Ethernet keretek RFC 2544 szerint mért maximális át-eresztőképessége (throughput) megközelíti a 40 Mbit/s értéket.

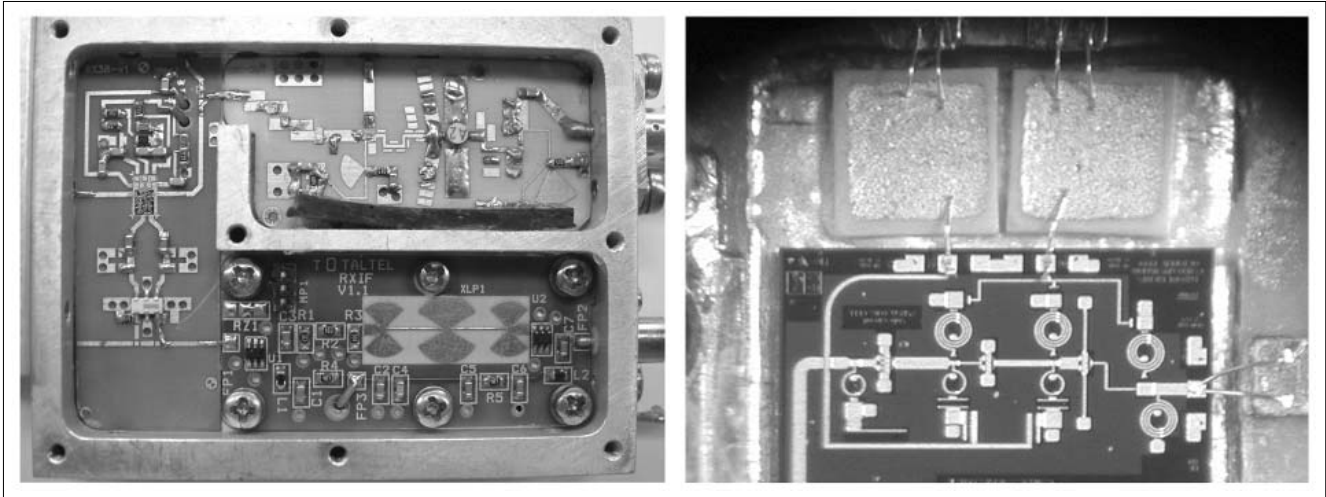
A rendszer felügyeleti funkciói és szoftverei

A rendszer belső állapotainak üzem közbeni figyelésére, diagnosztikai célokra számos olyan készséget építettünk be, amelyek lehetővé teszik bármilyen, rendszeren belüli vagy kívüli forrásból származó hiba vagy zavartatás esetén, a hiba jellegének feltárását a hatékony ellenlépések megtétele céljából. Erre a célra beépített, üzem közbeni bithibaarány-mérés, a modulátor konstelláció-képének, a vett jel spektrumának üzem közbeni megfigyelése és teszt-hurkok állnak rendelkezésre. A berendezések sokféle információt szolgáltatnak az aktuális állapotokról (adó- és vevőszintek, egységek hőmérséklete, egységek típusa és sorozatszama stb.), illetve regisztrálják és tárolják az átviteli minőségre vonatkozó paraméterek értékét és időstatisztikáit.

A berendezések állapotjelzőinek kiolvasását illetve a berendezések konfigurálását a rendszer beépített menedzsment-rendszere biztosítja, mely egyaránt lehető-

1. ábra TDR-F 38 berendezés
a) adó spektrum, b) demodulátor konstelláció





2. ábra Mikromodul és MMIC wire bonding technológiával

vé teszi a kezelést a hálózat valamely állomásáról, vagy centralizált hálózatfelügyeleti központból. A távfelügyeleti funkciók választhatóan szabványos SNMP protokoll-alapú működéssel, vagy a hazai hálózatokban több helyen is alkalmazott MX-MSS rendszerrel érhetők el.

Az 1. ábrán illusztrációképpen bemutatjuk egy 38 GHz-es rádiószakasz adó kimeneti spektrumát, a rá vonatkozó ETSI-maszkkal, 15 dBm névleges adóteljesítmény mellett, valamint a demodulátor konstellációs ábráját. A berendezés aktuális beállításában 32E1 csatorna, vagy két E3 és két E1 csatorna, vagy ezek egy részének és egy LAN-LAN kapcsolat Ethernet-jelének egyidejű átvitelét biztosítja.

Konstrukciós és technológiai jellemzők

A berendezések kültéri egységének konstrukciója kis méreteket és nagyfokú flexibilitást biztosít. Az alacsonyabb mikrohullámú sávokban a berendezés mikrohullámú áramkörei egyetlen modulban, a milliméteres sávokban egy-egy adó- vagy vevő részáramkört tartalmazó mikromodulokban vannak megvalósítva.

A milliméteres mikromodulok GaAs lapkákön realizált MMIC áramkörei termokompressziós kötéssel (wire bond-

ing) vannak a befogadó mikroszalagvonalas áramkörök-höz csatlakoztatva, az ehhez szükséges technológiát az utóbbi években honosítottuk meg.

Ilyen áramkör mikroszkópi képét mutatja a 2. ábra. Az antennával integrált teljes kültéri egység és beltéri egység (1+0 és 1+1 kivitelű) képe a 3. ábrán látható.

A beltéri berendezésben alkalmazott, FPGA-ban realizált DSP megoldások nagyfokú reprodukálhatóságot és kiváló minőségi jellemzőket eredményeznek.

Alkalmazási változatok

A beltéri egység konstrukciója lehetővé teszi a különböző interfészek cserélhetőségét és vegyes alkalmazását. A berendezés egy-egy – a benne elhelyezett interfész-egységek által megszabott – kiviteli változatában is számos alkalmazási változatot nyújt, a megfelelő kapacitás-kiosztás szoftveres konfigurációja útján.

A beállítható üzemmódokból példaképpen bemutatunk néhányat a következő oldali táblázatban, amely az egyes üzemmódokban egyidejűleg továbbítható G.703 (E1 vagy E3) csatornák számát és az Ethernet-kereteket hordozó bitfolyam sebességét mutatja. A táblázatból az is látható, hogy hogyan lehet a sávszélesség-

3. ábra TDR-F berendezés kültéri és beltéri egységek



csatorna sáv- szélesség	moduláció	lehetséges átviteli kapacitások			rendszerérték @ 10 ⁻³ BER	
		E1 csat.	E3 csat.	Eth. Mbit/s	13 GHz	38 GHz
28 MHz	4 QAM	1 16 12	1 – –	– – 11	108 dB	102 dB
14 MHz	16 QAM	8 4 –	– – –	19 27 37		
28 MHz	16 QAM	2 32 24 20 16 1 –	2 – – – – 1 –	– – 23 31 39 37 74	96 dB	90 dB

Beállítható üzemmódok, az egyes üzemmódokban egyidejűleg továbbítható csatornák száma és az Ethernet-kereteket hordozó bitfolyam bitsebességei

hatékonyságot a teljesítmény-hatékonyság árán növelni, ami módot ad az adott alkalmazásban szükséges optimum elérésére.

A berendezés beltéri egységének 1+1 tartalékolt kiviteli változata beállíthatóan melegtartalékolt, frekvencia- vagy térdiverziti üzemmódot biztosít.

4. Összefoglalás

Cikkünk bemutatta a Totaltel Kft által kifejlesztett TDR-F flexibilis digitális mikrohullámú berendezéscsaládot. A berendezések amellet, hogy bármilyen piacon való megmérettetésre alkalmasak, a bevezetett megoldások továbbfejlesztésével számos további alkalmazás (újabb frekvenciasávok, más működési módok stb.) kidolgozásának alapját képezhetik.

Az elért eredmények a Totaltel fejlesztő kollektívájának eredményei. Az írás nem lenne teljes a résztvevők; Bakos Gyula, Béres Vilmos, Csánki Ferenc, Geleji Vilmos, Gyenes Imre, Kovács Gábor, Kovács Vendel, Nemcsics Elek, Tóth Ferenc, Vymeták József és Zakariás László felsorolása nélkül.

Irodalom

- [1] Frigyes István, Szabó Zoltán, Ványai Péter: Digitális mikrohullámú átviteltechnika, Műszaki Könyvkiadó, 1980.
- [2] Róna Péter: Analóg rádiórelé berendezések, Műszaki Könyvkiadó, 1983.
- [3] Kovács Attila: A Magyar Honvédség mikrohullámú hálózatának átalakítása, Haditechnika, 2003. November, pp.27–28.