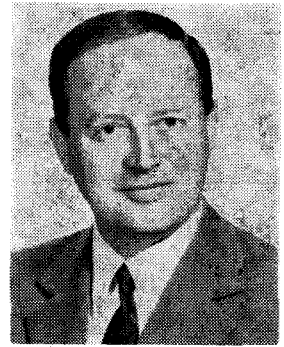


Rurál rádióösszeköttetések*

DR. BERCELI TIBOR
Távközlési Kutató Intézet



ÖSSZEFOGLALÁS

A cikk áttekinti a rurál rádióösszeköttetések főbb problémáit. Vizsgálja az egyszerű és olcsó felépítés lehetőségeit. Majd ismertetésre kerülnek a szerző új kutatási eredményei, melyek a korszerű rurál rádióberendezések kialakításánál hasznosíthatók.

Bevezetés

A rurál hírközlés [1] az egyetemes hírközlés szerves részét képezi, ugyanakkor különleges szerepe van, mert elszórtan elhelyezkedő előfizetőket köt össze egymással és a terület központján keresztül a világgal. A rurál hálózat egyik fontos jellemzője a területi jelleg. Ez azt jelenti, hogy sok irányban kell összeköttetéseket kiépíteni, de az egyes irányokban az előfizetők száma és forgalma csekély. Így az előfizetői összeköttetés kihasználtsága alacsony szintű.

Az előfizetői összeköttetések és a hálózat megfelelő kihasználtságát rurál területen a funkciók decentralizálásával és a többszörös hozzáférésű rendszerek alkalmazásával lehet elérni. A többszörös hozzáférés mind a vezetékes, mind a vezeték nélküli rendszerekben megvalósítható. A rurál hálózatokban igazi előnyei azonban a többszörös hozzáférésű rádiórendszernek vannak. Ezek ugyanis a területet teljesen beugározzák és így a hozzáférést a terület minden előfizetője részére viszonylag kis költséggel biztosítják.

A rádióösszeköttetések a rurál hálózatokban két fő feladatot látnak el: az elosztás és az átvitel feladatát. Az alkalmazott frekvenciasávok: 400–800 MHz, 1–2 GHz és 7–8 GHz. A berendezések és az antennák annál olcsóbbak, minél kisebb a frekvencia. Éppen emiatt a sávok kihasználtsága nagyobb a kisebb frekvenciákon. Különösen áll ez a 400–800 MHz-es sávra. Ezért az utóbbi időben felvetődött a 20–30 GHz közötti frekvenciák alkalmazása is rurál és előfizetői összeköttetések céljára [2].

Alapvető követelmény, hogy a berendezés viszonylag egyszerű és olcsó legyen. Ezt a célt csak mélyreható rendszertechnikai és áramköri vizsgálatokkal, valamint új megoldások kidolgozásával lehet elérni. Ebben a cikkben azokat a kutatási eredményeinket ismertetjük, melyeket egy-egy kis közösség munkájával az előbbi célok érdekében az utóbbi időben elértünk.

Átviteli módok

Először is azt a kérdést vizsgáltuk, hogy digitális vagy analóg jeleket célszerű-e átvinni. Egyértelműen a digitális átvitel mellett döntöttünk, mivel ily módon

DR. BERCELI TIBOR

A Budapesti Műszaki Egyetemen szerzett villamosmérnöki oklevelet. Ezután a Távközlési Kutató Intézetben előbb aspiránsként, majd tudományos kutatóként dolgozott. Jelenleg ugyanott főosztályvezető. A Budapesti Műszaki Egyetemen féléllású adjunktus volt, jelen-

leg címzetes egyetemi tanár. Kutatásait elsősorban a mikrohullámú technika területén végzi. E területen előbb kandidátusi, majd akadémiai doktori tudományos fokozatot szerzett. Munkájának eredményeiről 45 idegen nyelvű és 33 magyar nyelvű cikket írt. Tevékenységét Állami Díjjal ismerték el.

sokkal rugalmasabban használható összeköttetések létesíthetők. A digitális átvitel esetén ugyanis csupán a csatlakozó áramkörök cseréjével ugyanaz a berendezés használható beszéd-, telex- és adatsatornákhoz. Továbbá a rurál hálózatban szükséges sűrű elágazások és a többszörös hozzáférés digitális átvitelrel egyszerűbben oldhatók meg. Ugyanakkor kis sebesség esetén a digitális átvitelhez szükséges integrált áramkörök igen olcsóak.

Kis sebességű digitális átvitelhez lényegében háromféle modulációs módszer használható: ASK, PSK vagy FSK. Vegyük ezeket sorra a következőkben. Az ASK (amplitúdó billentyűzés) legegyszerűbb és leginkább használatos módja az úgynevezett „on-off” (ki-, bekapcsolgatás) moduláció. Eszerint az adójelet az átviendő digitális jelsorozat ki-, bekapcsolgatja. Előnye, hogy megvalósítása mind a modulátor, mind a demodulátor oldalon a legegyszerűbb. Hátránya, hogy az adóteljesítménnyel szembeni igénye a legnagyobb. A PSK (fázis billentyűzés) kisebb adóteljesítményt, de nagyobb sávzsélességet igényel és a demodulátor bonyolultabbá válik. Ugyanis a PSK moduláció spektrumában, az elnyomott vivő miatt, a demoduláció egyik fontos feladata a vivő visszaállítása. Az FSK (frekvencia billentyűzés) szintén kisebb adóteljesítményt és nagyobb sávzsélességet igényel, mint az ASK, viszont a demodulátor bonyolultsága kisebb mértékű, mint a PSK esetében, mert nincs szükség a vivő visszaállításra.

Az ASK és PSK átviteli mód esetében még arra is lehetőség van, hogy egy adó-vevőhöz, csak egy vivőellátót alkalmazzunk. Ugyanis ilyen esetben a vivőellátó modulálatlan jelet szolgáltat, amit megfelelő megkötésekkel mind az adóhoz, mind a vevőhöz használhatunk.

Vivő előállítása

A berendezésekben az egyik fontos feladat a vivő előállítása. A vivőnek nagy frekvenciastabilitással

* Elhangzott a Magyar Tudományos Akadémia 1984. november 1-i tudományos ülészakán.

kell rendelkeznie. Ezt úgy érik el, hogy a vivőfrekvenciát vagy kvarc-oszcillátorból állítják elő, vagy a kvarc-oszcillátorhoz mint referenciához húzzák hozzá a vivőt előállító oszcillátor frekvenciáját. Mindkét megoldás viszonylag bonyolult felépítést igényel, mivel a kvarc-oszcillátorok a mikrohullámokhoz képest csak kis frekvenciákon rezegnek. Ezért van nagy jelentőségük a közvetlen mikrohullámú oszcillátoroknak, melyek lényegesen egyszerűbbek és olcsóbbak. Ezeknél azonban a frekvencia instabilitásának a szükséges értékre való csökkentése okoz nagy problémát.

A szabadonfutó mikrohullámú oszcillátorok frekvenciastabilitását elsősorban az alkalmazott rezonátor hőmérsékletfüggése és terhelt jósági tényezője határozza meg. A korábbi években olyan anyagok használatára törekedtek, mint az invár vagy az úgynevezett szuperinvár, melyek hőmérsékletfüggése kicsi. Ez az út nem bizonyult teljesen sikeresnek, mivel a hírközlési rendszerekben igen nagy fokú frekvencia-stabilitást követelnek meg.

A legújabb kutatási eredmények alapján azonban a szabadonfutó oszcillátorok frekvenciájának kellő stabilizálása is megoldhatóvá vált. Megjelentek a többkomponensű és kis veszteségű kerámiák. Ezekkel ma már nagy jóságú és előírt hőmérsékletfüggésű rezonátorok készíthetők. A hőmérsékleti együtthatónak nemcsak a nagysága, hanem az előjele is beállítható. Ezért a kerámia rezonátoroknak egyre szélesedik az alkalmazási körük. Igen hasznosak stabil oszcillátorok és szűrők kialakítására.

Kerámia rezonátoros oszcillátor

Kidolgoztuk a kerámia rezonátoros oszcillátorok néhány változatát [3]. Példaképpen a 11 GHz-es sávra készült oszcillátort ismertetjük részletesebben. Az oszcillátor felépítését az 1. ábra mutatja. Az áramkör mikroszalagvonalas. A frekvenciameghatározó elem a kerámia tárcsarezonátor, mely a mikroszalagvonalhoz csatolódik. Az oszcillátor aktív eleme Gunn dióda. Ez a hordozón át fűrt lyukban helyezkedik el és közvetlenül a mikroszalagvonalal van összekötve. A kerámia rezonátor és a Gunn dióda közötti mikroszalagvonal-szakasz feladata, hogy a terhelést a dióda csatlakozásánál a szükséges értékre állítsa be.

Először is a dióda admittanciáját kell meghatározni, mégpedig a teljesítmény függvényében, mivel a dióda nemlinearitása jelentős mértékű. Ezért nagyjelű méréseket végeztünk a diódán. A nagyjelű leíró függvények mérési módszerét alkalmazva meghatároztuk a diódára jellemző egykapu leíró függvény reciprokát a teljesítmény függvényében. Ezzel megkaptuk a dióda görbéjét adott frekvencián. Az oszcillátor tervezésénél arra törekedtünk, hogy egyidejűleg közel maximális kimenőteljesítményt és lehetőleg kis zajt érjünk el. Zaj szempontjából az áramkör beállítása akkor optimális, ha a dióda görbéje a terhelés görbéjét merőlegesen metszi az impedancia vagy admittancia diagramon [4].

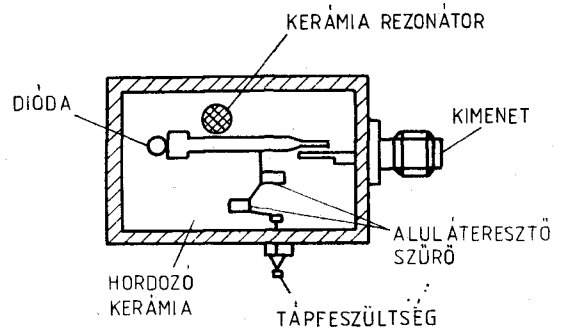
Az oszcillátor optimális beállítását a 2. ábra adja meg. Itt Smith-diagramon ábrázoltuk a dióda görbéjét és a dióda kapcsaira transzformált terhelés görbéjét. A két görbe metszéspontja határozza meg a munkapontot. A dióda görbéjének a teljesítmény, a

terhelés görbéjének pedig a frekvencia a paramétere. Így a görbékről a munkaponti teljesítmény és frekvencia leolvasható. A tervezés során a terhelés transzformációját változtattuk és így kaptuk meg az ábrán látható optimális beállítást. Ekkor a kimenő teljesítmény közel maximális, a két görbe metszése pedig majdnem merőleges, s ezért a zaj minimális.

Az oszcillátor mért jellemzői a következők: kimenő teljesítmény 20 mW, a frekvencia változása $+5\text{ }^\circ\text{C}$ és $+65\text{ }^\circ\text{C}$ közötti hőmérséklet-tartományban max. 1 MHz. Az FM zaj effektív lökete a vivőtől 10 kHz távolságban 100 Hz széles sávban mérve 9 Hz. A frekvencia stabilitása tovább javítható, ha az oszcillátort szabályozott fűtéssel látjuk el, mely a környezeti hőmérsékletet közel állandó értéken tartja. Ekkor azonban fokozott gondot kell fordítani arra is, hogy a tápfeszültség hőmérsékletfüggése kicsi legyen.

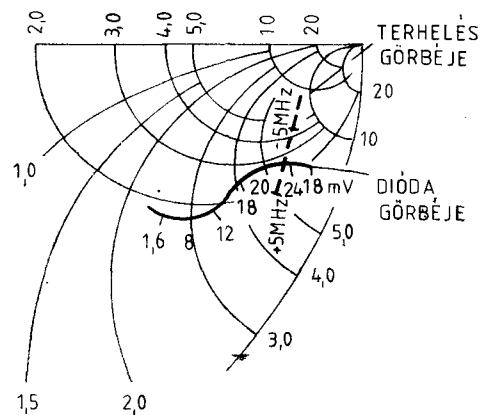
Automatikus frekvenciaszabályozás

Előnyös és viszonylag egyszerű módszer a frekvencia stabilizálására az automatikus frekvenciaszabályozás (AFC), melyet a vevőben alkalmazhatunk. Ilyenkor a középfrekvenciás sávzsélességet a szabadonfutó helyi oszcillátor frekvenciaingadozásának megfelelően meg kell növelni, ami viszont a zajt is megnöveli. Ez ellen egyrészt úgy lehet védekezni, hogy a helyi oszcillátor frekvenciaingadozását szabadonfutó állapot-



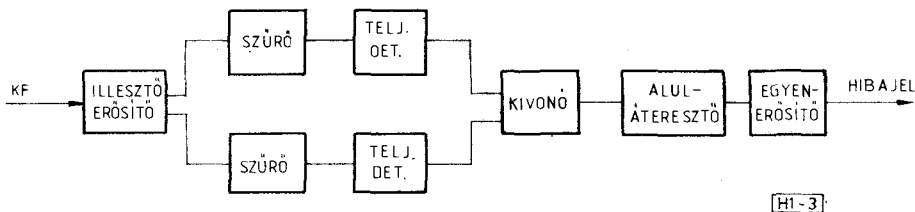
H1-1

1. ábra. Kerámia rezonátoros oszcillátor rajzolata



H1-2

2. ábra. Az oszcillátor optimális beállítása



3. ábra. Spektrum diszkriminátor tömbvázlata

ban lehetőség szerint lecsökkentjük, másrészt a közép-frekvenciás sáv szélességét az AFC áramkör után beszűkítjük.

Külön gondot okoznak azonban az olyan modulációs módok (pl. PSK), melyek spektrumában a vivő el van nyomva. Ilyenkor a szokásos diszkriminátorok nem használhatók a frekvencia szabályozásához szükséges hibajel előállítására. Ezért új megoldást dolgoztunk ki [5], mely a 3. ábrán látható. Ez az áramkör a spektrum eltolódásával arányos hibajelét szolgáltat, ezért *spektrum diszkriminátor*nak nevezhetjük. Lényege az, hogy a szűrők után a detektorok a szűrőn átjutó teljes spektrum teljesítményével arányos egyenkomponenst állítanak elő és így a szűrők megfelelő beállításával a spektrum eltolódásával arányos jelet kapunk.

A spektrum diszkriminátor megfelelő méretezésével és hőkompenzált kialakításával nagyon jelentős javulás érhető el automatikus frekvenciaszabályozás esetén a középfrekvencia stabilitásában. Ez lehetővé teszi egyszerű felépítésű helyi oszcillátor alkalmazását.

A középfrekvencia stabilitása a demoduláció szempontjából is nagyon fontos. Különös jelentősége van ennek az elnyomott vivőjű modulációk esetében, melyeknél külön áramkörrel kell a vivőt visszaállítani. A szokásos vivővisszaállítók igen érzékenyek a középfrekvencia változásaira. Ezen a problémán is sikerült a spektrum diszkriminátor alkalmazásával segíteni [6]. A spektrum diszkriminátorból nyert jelet ilyenkor előreszabályozásra használjuk és a vivővisszaállító oszcillátorának a frekvenciáját szabadonfutó üzemben az előreszabályozó jel állítja be a mindenkor középfrekvenciának megfelelően. Ezt mutatja a 4. ábra, melyen frekvenciakétszerezős vivővisszaállító tömbvázlata látható. Itt a spektrum diszkriminátor nyílt hurokban üzemel. Hatása az 5. ábra alapján mérhető fel. Az 5. ábrán a vivővisszaállító befogási tartománya látható a hőmérséklet függvényében a spektrum diszkriminátor alkalmazásával és anélkül. A javulás igen jelentős: 7-szeres.

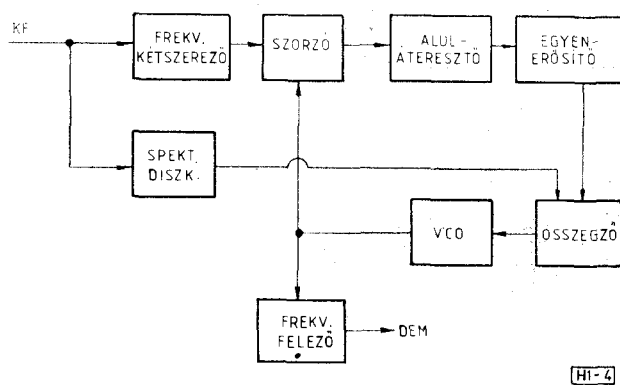
Fin-vonalas áramkörök

A fin-vonalas technika alkalmazásával új megoldású keverőt és szűrőt dolgoztunk ki [7]. Ezeket az áramköröket közös duroid hordozón képeztük ki, melynek mindkét oldalán fémes rajzolat van, mint ez a 6. ábrán látható. A fin-vonalas megoldás nagy előnye, hogy az elektromos paramétereiket meghatározó áramköri rajzolat fotolitográfiai úton olcsón és pontosan gyártható, ugyanakkor az egyes rezonátorok jóságai tényezője megközelíti a csőtápvonalas üregrezonátorokét.

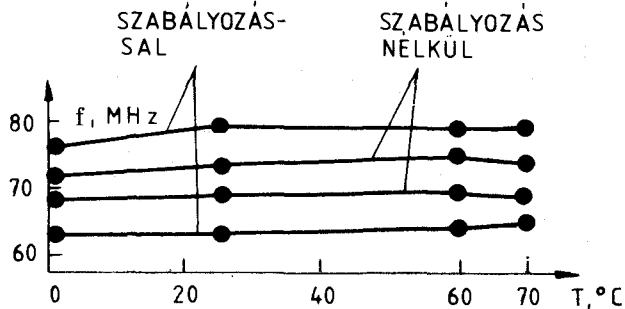
A sáváteresztő szűrőt kétoldalas fin-vonallal alakítottuk ki. Ez azt jelenti, hogy a szűrőnél a duroid mindkét oldalán azonos fémes rajzolat van. A szűrő három rezonátort tartalmaz és a vevő tükröselektivitásának biztosítását szolgálja. A sávszűrő áteresztő csillapításának alacsony értéken tartása igen fontos a zajtényező szempontjából. A kis csillapítás érdekében a fin-vonal résméretét a csőtápvonal magasságával vettük egyenlőnek.

Egyik legfontosabb feladat a szűrő és a keverő illesztése. Az impedanciák aránya nagy és a sáv is széles, ezért az illesztést több lépésben végezzük. A sávszűrőt kisebb impedanciájú egyoldalas fin-vonalhoz csatlakoztatjuk és a szűrőnek a keverő felé eső iriszet impedancia transzformátorként is használjuk. Ez a transzformátor egyúttal kétoldalas—egyoldalas fin-vonalátmenetet is képez, ugyanis a szűrő kétoldalas, a csatlakozó fin-vonal pedig egyoldalas kialakítású.

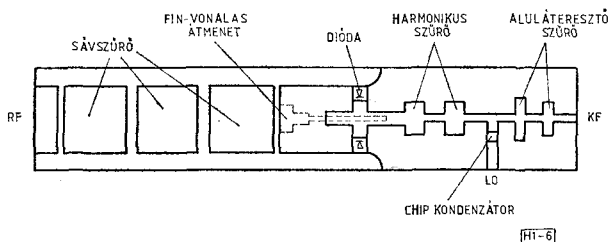
A további impedancia-transzformációt lépcsős fin-vonalátmenet adja, melyet úgy terveztünk, hogy a diódák csatlakozásánál a zajtényező szempontjából



4. ábra. Vivővisszaállító tömbvázlata



5. ábra. Vivővisszaállító befogási tartománya a hőmérséklet függvényében



6. ábra. Fin-vonalas keverő és szűrő rajzolata

optimális impedanciát adjon. A zajtényező csökkentésére még a keverő és a sávszűrő elektromos távolságát is optimálisra állítottuk be.

A keverőt fin-vonal és sztrip-vonal átlapolásával valósítottuk meg a 6. ábrán látható módon. A diódák az átlapolt szakaszhoz csatlakoznak. Ez az elrendezés hibrid működést ad, vagyis nincs csatlakozás az átlapolt szakaszhoz csatlakozó fin-vonal és sztrip-vonal között, ha a diódák impedanciája azonos. Keverésre GaAs Schottky diódákat használunk LID tokozásban. A vett jelet a fin-vonalon, a lokáljelet a sztrip-vonalon vezetjük a keverő diódákhoz. A keverő diódák tehát a vételi oldalon sorba, míg a lokál oldalon párhuzamosan kapcsolódnak.

Az ismertetett elrendezés egyszerű felépítésű és olcsón előállítható. Ugyanakkor sávzsélessége nagy, a zajtényező pedig kicsi. A 11 GHz-es sávban 7 dB alatti zajtényezőt értünk el a szűrő bemenetén, amikor is a középfrekvenciás erősítő zajtényezője 1,6 dB volt. A teljes reflexiós csillapítás a szűrő bemenetén az átviteli sávban 18 dB felett van. Ez lehetővé teszi, hogy izolátort ne kelljen alkalmazni, ami ismét egyszerűsítést és megtakarítást jelent.

I R O D A L O M

- [1] *Berceli T., Lajtha Gy., Tófalvi Gy.*: Rurál hálózatok, Híradástechnika, 1983. márc. 97–101. old.
- [2] *Berceli T., Friyges I., Várady-Szabó M.*: Some development results in rural systems, International Conference on Communication, Amszterdam, Hollandia, 1984. május, Conference Record, 970–974. old.
- [3] *Berceli T., Juhász K., Kolumbán G.-né, Kolumbán G.*: Proektirovanie generatora Ganna, stabilizirovannogo dielektricheskim rezonatorom, XXXIX. Össz-szövetségi Tudományos Ülészak (Popov Konferencia), Moszkva, 1984. május, Tezisi dokladov 2, 35–36. old.
- [4] *Berceli T.*: Mikrohullámú diódás oszcillátorok tervezési kérdései, TKI Közleményei, 1976, XXI. évf. No. 1, 9–45. old.
- [5] *Friyges I., Berceli T., Szabó Z.*: New concepts for narrow-band coherent digital microwave radio systems, Global Telecommunication Conference, Miami, USA, 1982. dec. Conference Record F. 3. 2. old.
- [6] *Friyges I., Berceli T., Szabó Z.*: A new method for carrier, recovery, European Microwave Conference Proceedings, 1981. szept. Amszterdam, Hollandia, 341–346. old.
- [7] *Berceli T., Geleji V., Hammer G., Juhász K., Kolumbán G.-né, Reiter Gy.*: A multiple-channel 12 GHz receiver for satellite television broadcasting, International Conference on Communication, Boston, USA, 1983. jún. Conference Record A. 1.7.1–5. old.

ÚJ!

VASTAGRÉTEG ÉRZÉKELŐK

Vastagréteg érzékelőinkben a technológiai fejlődés legújabb eredményeit hasznosítjuk:

Jellemzőik:

- kis méret,
- nagy megbízhatóság,
- kedvező ár.

NEDVESSÉGÉRZÉKELŐINK alkalmasak a relatív páratartalom néhány %-os pontosságú mérésére.

GÁZÉRZÉKELŐINK kiválóan használhatók egyes gázok (hidrogén, szén-monoxid, metán, propán, bután stb.) és szerves oldószergőzők (alkoholok, észterek, ketonok stb.) egészségre ártalmas, vagy robbanásveszélyes koncentrációjának kimutatására.

A megrendeléseket az alábbi címre kérjük:

MEV, Kereskedelmi Igazgatóság
1325 Budapest, Postafiók 21



MEV
MIKROELEKTRONIKAI
VÁLLALAT