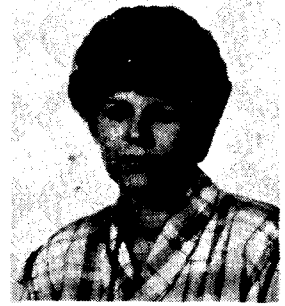


Korszerű mikrohullámú ferrit eszközök

DR. BÁRSONY PÉTER – GYÚRI PÁL – DR. SZTANISZLÁV DÁNIELNÉ
Távközlési Kutató Intézet



ÖSSZEFOGLALÁS

Mikroszalagvonalas és szalagvonalas cirkulátorok, izolátorok kutatása, fejlesztése során elért, elméleti és gyakorlati eredmények tették lehetővé a Távközlési Kutató Intézetben korszerű mikrohullámú ferrites eszközök készítését. A cikk ezen tevékenység áttekintése.

1. Bevezetés

A mikrohullámú rendszerekben egyik leggyakrabban használt eszköz a cirkulátor. A cirkulátor egy olyan három vagy több kapus nemreciprok, passzív eszköz, melynek egyik kapuján bevezetett nagyfrekvenciás jel a soron következő kapuba kis csillapítással (általában $< 0,5$ dB), a többi kapuba nagy csillapítással (általában > 20 dB) jut. A kapuk kis állóhullámarányúak (általában $< 1,3$). Ezeket a tulajdonságokat számos helyen lehet kihasználni, például rádióösszeköttetéseknel az adó és vevő egy antennára kapcsolására, a csatornákat szótválasztó szűrőváltókban, stb. A cirkulátorok egyik legelterjedtebb alkalmazása a háromkapus cirkulátor egyik kapujának illesztett lezárásával készített izolátor. A más elven készített izolátorokhoz képest ezen eszközöknek nagy előnyük a kis méret és a kisebb áteresztő irányú csillapítás.

A korszerű harmadik generációs mikrohullámú rendszerek kisméretű, a rendszerrel kompatibilis technológiával kivitelezett nemreciprok eszközöket igényelnek, így a rendszerigényeknek megfelelő korszerű mikrohullámú ferrit eszközök fejlesztése elsősorban mikroszalagvonal- és szalagvonaltechnika alkalmazását jelenti. A műszaki paraméterek közül a sáv szélességet elsősorban a rendszerkövetelmények szabják meg, így készítettünk keskenyebb és szélesebb sávú eszközöket. Az áteresztőirányú csillapítást elsősorban a technológiai lehetőségek határozzák meg. A lehető szűk gyártmányválasztók kialakítása érdekében a fejlesztő tevékenységünk célja a minél szélesebb sávú, minél kisebb áteresztő csillapítású, kisméretű, hőstabil, ferrites eszközök létrehozása volt. Ezek a

DR. SZTANISZLÁV DÁNIELNÉ

1968-ban végzett az ELTE TTK vegyész szakán. Azóta a Távközlési Kutató Intézet Mágneses Anyagok Osztályán dolgozik, 1984-től tudományos osztályvezetői beosztásban. Kezdetől fogva a mikrohullámú polikristályos ferritek és gránátok kutatásával, fejlesztésével, kissorozatú előállítással foglalkozik. Szűkebb területe: a széles hőmérséklettartományban stabil karakterisztikával rendelkező gránátanyagok kutatása, az előállítás során lejátszódó szilárdfázisú kémiai reakciók tanulmányozása. 1979-ben védte meg doktori disszertációját az ELTE TTK Általános és Szervetlenkémiai Tanszékén. A Nemzetközi Mikrohullámú Ferrites Konferencia rendezőbizottsági tagja.

DR. BÁRSONY PÉTER

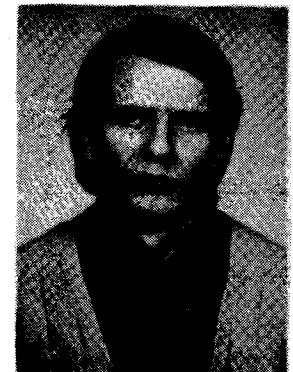
1964-ben végzett a BME Villamosmérnöki Karának híradástechnika szakán. Azóta a Távközlési Kutató Intézetben dolgozik, jelenleg tudományos főosztályvezetői beosztásban. Kutatási és mérnöki munkája kezdetől fogva a mikrohullámú ferrites eszközökkel, elsősorban szalag és mikroszalagvonalas cirkulátorokkal volt kapcsolatban. Ebben a témakörben szerzett 1971-ben egyetemi doktori fokozatot a BME-n, 1983-tól a műszaki tudomány kandidátusa. A HTE TKI helyi szervezete anyag, alkatrész és technológia csoportjának titkára, a



Nemzetközi Ferrites Konferencia rendezőbizottságának, az IEEE MTT szerkesztő bizottságának tagja.

GYÚRI PÁL

1975-ben végzett a Kandó Kálmán Villamosipari Műszaki Főiskola mikrohullámú ágazatán. Azóta a Távközlési Kutató Intézetben dolgozik. Részt vett a szalagvonalas és mikroszalagvonalas mikrohullámú ferrites eszközcsalád fejlesztési munkáiban.



követelmények azonban néha szembenállóak és kompromisszum keresése szükséges. Meghatá-

Beérkezett: 1988. XI. 2. (□)

rozhatók azonban azok az alapelvek, melyekre célszerű a fejlesztési elképzeléseket felépíteni. Ilyen alapelv például, hogy a nemreciprok eszközöket csomóponti cirkulátorokként realizáljuk, ahol az előmágnesezett mikrohullámú ferrittestet a tápvonalak csomópontjába helyezük és a kialakított ferritrezonátort valamilyen illesztő hálózattal csatoljuk a kapukhoz. Ez a megoldás lehetővé teszi a kis méretben való megvalósítást.

Mikroszalag-tápvonalas cirkulátoroknál a hordozót vegyes összetételű dielektrikum ferritből, vagy homogén ferritanyagból valósíthatjuk meg.

A homogén ferritből készített eszközök áteresztőirányú csillapítása valamivel nagyobb, ezt azonban véleményünk szerint ellensúlyozza a kisebb méret és az egyszerűbb technológia.

A lehető legkisebb áteresztő csillapítás elérése érdekében az eszközöket a ferromágneses rezonancia alatti munkapontban célszerű működtetni, bár a ferromágneses rezonancia feletti működés kisebb méretű ferritrezonátort eredményez.

A fenti megfontolások figyelembevételével homogén ferrit hordozón vékonyrétegtechnika segítségével realizált mikroszalagvonalas ferrites eszközcsaládot fejlesztettünk ki. Az eszközökhöz szükséges ferritanyag a működési frekvencia és a ferrit telítési mágnesezettsége közötti kapcsolat alapján választható meg. A ferritanyagok fejlesztése során kisveszteségű, nagy hőstabilitású, szűles mikrohullámú frekvenciasávban alkalmazható anyagválasztékot dolgoztunk ki és erre alapoztuk eszközeink fejlesztését.

2. Ferritanyagok

A villamosmérnöki gyakorlatban mikrohullámú ferrit néven ismert anyagok kristályszerkezetük alapján három típusba sorolhatók be, ezek a spinell-ferritek, a gránátok és a hexagonális ferritek.

A kristályszerkezetnek megfelelően természetesen a mágneses tulajdonságokban is lényeges eltérések adódnak.

A ferrites eszközökben felhasználásra kerülő ferritanyagok megválasztása három alapvető szempont szerint történik:

- A működési frekvenciatartományt a kémiai összetételtől függő telítési mágnesezettség határozza meg. Így a spinell-ferritek 4—40 GHz, a hexagonális ferritek > 18 GHz, a gránátok < 10 GHz frekvenciatartományban használatosak.
- A ferritanyag vesztesége és mágneses tulajdonságainak hőmérséklet stabilitása függ a kémiai összetételtől és a kristályszerkezettől. A veszteségek alakulását emellett az anyag egyéb szerkezeti tulajdonságai (szemcseméret, porozitás, stb.) is befolyásolják.

10 GHz alatt veszteség és hőstabilitás szempontjából a gránátok alkalmazása előnyös, 10—20 GHz között a Li-ferritek tulajdonságai a legkedvezőbbek.

Végül 20 GHz felett a korszerű eszközökben hexagonális ferritek kerülnek felhasználásra. A továbbiakban e szempontok alapján tekintjük át a ferrites eszközökben használható ferrit- és gránátanyag választékot.

A legszélesebb frekvenciatartományban (4 GHz–40 GHz) használható anyagválaszték a köbös, lapcentrált, két alrácscból felépülő, az MF_2O_4 általános képletű, spinell-ferritekkel alakítható ki, ahol M két-vegyértékű fémion [1]. Mikrohullámú felhasználásra a magnézium-mangán-, nikkél-cink-, és a lítium-ferritek alkalmasak. A Li-ferritek Curie pontja magas (450—650 °C), így stabil hőmérséklet-karakterisztikával rendelkeznek. A Li-ferritek működési frekvenciája 10 GHz alá is csökkenthető a vas-ion titánnal történő helyettesítésével, ekkor azonban csökken a Curie pont, és így romlik az anyag hőstabilitása.

A spinell anyagok közül kezdetben a MgMn-ferritek alkalmazása terjedt el. Eszközeink egy részét ma is ebből az anyagból készítjük, ott, ahol a hőstabilitás nem lényeges követelmény.

A spinell-ferritek közül a nikkél-cink-ferriteknek 400—500 mT telítési mágnesezettség tartományban előállítható kobalt, réz és mangán adalékolással olyan magas Curie pontú (570 °C), alacsony mágneses és dielektromos veszteségekkel rendelkező típusa, amellyel a mm-es tartományban is készíthetők ferrites eszközök.

20 GHz felett korszerű eszközök hexagonális struktúrájú ferritekkel készíthetők [2]. Előállításuk azonban a hagyományos kerámia technológiától némileg eltér, új technológiai berendezéseket igényel (0,5—1,0 μm szemcseméretű őrleményeket előállító őrlőberendezést, mágnesőrbén működő présgépet, stb).

A spinell-ferritek jellemzéséből kitűnik, hogy minimális veszteségekkel és maximális hőstabilitással történő felhasználásra 10 GHz alatt a spinell-ferritek nem alkalmasak. Ebben a frekvenciatartományban a követelményeket csak egy másik anyagrendszerrel, a köbös, tórcentrált szimmetriájú, három alrácscból felépülő, a csak háromvegyértékű ionokat tartalmazó, $\text{Y}_3\text{Fe}_5\text{O}_{12}$ általános képletű gránátokkal lehet teljesíteni [3].

A periódusos rendszer elemeinek közel fele, a legtöbb fém képes beépülni a gránát rácscba, ezáltal tág lehetőség nyílik a mágneses tulajdonságok és azok hőmórsóklettüggőségének változtatására.

Így a $\text{Gd}_2\text{Y}_{3-2x-z}\text{Ca}_{2x}\text{Fe}_{2-y}\text{In}_y\text{Fe}_{3-x}\text{V}_x\text{O}_{12}$ általános összetételű gránát anyaggal 2 GHz alatt széles hőmórsóklettüggőségű tartományban stabil mágneses tulaj-

donságokkai rendelkező gránátok állíthatók elő [4], [5].

A felhasználásra kerülő anyagok megválasztásánál fontos követelmény a hőmérsékletstabilitás mellett a veszteségek minimalizálása is. Mivel a gránátok csak háromvegyértékű ionokat tartalmaznak, dielektromos veszteségük alacsony. Mágneses veszteségeikre jellemző rezonancia vonalszélesség (ΔH) három fő tagból tevődik össze:

- a belső vonalszélességből (ΔH_{int}), aminek minimális értékét akkor kapjuk, ha mágneses ionként az anyag csak vas (III)-t tartalmaz.
- ΔH_A : a magnetokristályos anizotrópia által meghatározott tagból
- ΔH_P : a porozítás által befolyásolt tényezőből.

ΔH_A értékét, ezen belül a K_1 anizotrópia állandó értékét, a mágneses ionként csak vas (III)-t tartalmazó gránátoknál úgy csökkenthetjük, ha az oktaéderes alrácásban lévő vas (III) ionokat részben helyettesítjük nem mágneses ionokkal. Ennek negatív hatásként csökken a Curie pont, romlik az anyag hőstabilitása. ΔH_P értékét kétféle módon csökkenthetjük, bizonyos ionok, leggyakrabban kalcium-ion adagolásával, továbbá a technológia optimalizálásával.

A polikristályos gránátokat és ferriteket hagyományos kerámia technológiával állítjuk elő. Az oxid vagy karbonát formájában felhasznált alapanyagokból szilárdfázisú kémiai reakcióval nyerjük a kívánt kémiai összetételű anyagot. Különösen a többkomponensű rendszereknél, így az említett hőstabil, kisveszteségű anyagoknál is, számos átmeneti (intermedier) termék keletkezik, melyek stabilitásának hőmérséklettartománya nagymértékben függ a rendszerben jelenlévő elemek számától és mennyiségétől [6]. Ahhoz, hogy a kívánt mágneses paraméterekkel rendelkező gránátot, a kívánt kémiai összetételben egyfázisú terméként előállíthassuk, feltétlenül szükséges a gránátképződési fo-

lyamat ismerete, hisz a felhasználásra kerülő gránátban lévő idegen fázisok megnövelik a veszteségeket. A technológia különböző fázisainál is idegen, szennyező elemek kerülhetnek az anyagba (elsősorban a golyósmalomban történő őrlésekor vas, kobalt, nikkell, króm). Ezek egy része beépül a gránát rácsába, mások a szemcsék között idegen fázisok formájában jelennek meg [7]. Mindezek a folyamatok veszteségnövelő hatásúak, ezért alapvető követelmény a kémiai összetétel kívánt értéken tartása. Ez megköveteli az idegen fázisok minél érzékenyebb regisztrálását [8], korrekcióba vételét, és ennek megfelelően a technológia módosítását.

A technológiának a fenti szempontok szerinti optimalizálása, továbbá a veszteségek csökkentését célzó szubsztitúció (pl. cirkónium, indium) lehetővé teszi minimális veszteségekkel rendelkező ($\Delta H \leq 15$ Oe, $\text{tg}\delta \times 10^{-4}$) polikristályos anyagok előállítását.

A korszerű hibrid integrált áramkörökkel felépített rendszerekben alkalmazható, vékonyréteg technológiával megvalósított mikroszalagvonalas cirkulátorok és izolátorok fejlesztése további követelményeket támaszt az anyagokkal szemben. Így az áramkörök alaplemezőül szolgáló polikristályos gránátoknál a kémiai homogenitás mellett rendkívül fontos az egységes morfológiájú, minimális felületi hibát tartalmazó felület biztosítása. A technológia szerves részét képező szőles anyagvizsgálati háttér nélkül (kémiai analízis, fény-, scanning elektronmikroszkóp, EDS, WDS) nem képzelhető el a szigorú követelményeket megbízhatóan kielégítő gránáthordozók előállítása [9].

A TKI-ban kidolgozott mikrohullámú ferritek lehetővé tették, hogy a cirkulátorok, izolátorok fejlesztése hazai bázisra épüljön.

A korszerű ferrit anyagok legfontosabb paramétereit az 1. táblázatban foglaltuk össze.

Korszerű ferritanyagok jellemzői

1. táblázat

Anyagtípus	$4\pi M_s$ mT	ΔH KA/m	$\text{tg}\delta$ $\times 10^{-4}$	Hőm. koef. $\alpha_0^{+50\%/C^\circ}$	Felhasználás frekv. tart. GHz
YFe-gránátok	58—180	4,0—8,0	<10	-0,05—0,20	<10
Nagyon kis veszteségű gránátok (Y-Zr)	100—137	1,0—2,3	<5	-0,30	4—8
Hőstabil gránátok (GdCaInV)	27—60	5,6—9,6	<10	-0,01÷ -0,09	<2
Li-ferritek	210—370	35—40	<10	-0,08÷ -0,10	10—18
NiZn-ferritek	480	8,0	<10	-0,25	>18

3. Szalag és mikroszalagvonalas cirkulátorok tervezése

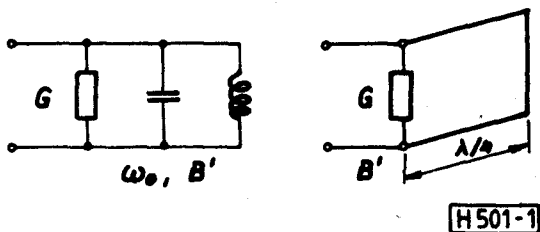
A jelen publikáció céljának megfelelően itt csak a legegyszerűbb, leegyszerűsített elméleti megfontolásokat ismertetjük, melyek azonban mégis jól tájékoztatják az érdeklődőt az eszközök működéséről.

A csomóponti cirkulátorok nemreciprok működését az előmágnesezett ferritrezonátor biztosítja. Szalag és mikroszalagvonalas cirkulátoroknál ez leginkább tárcsarezonátor, de használnak háromszög, hatszögalapú hasáb, vagy Y rezonátorokat is. Egyes esetekben a rezonátorok fedőlapján réseket helyeznek el és ezzel a működési frekvenciát megváltoztatják.

A leggyakrabban alkalmazott tárcsarezonátort az $n = \pm 1$ módus rezonanciafrekvenciája közötti frekvencián használják, mert így lehet a legkisebb átmérőjű ferritrezonátort a cirkulátorokban alkalmazni. A rezonátor felül, alul fómfalal, palástján dielektrikummal vagy ferrittel határolt. A cirkulátorkapukhoz a rezonátort 120° -os szimmetriában illesztő vonalak csatolják.

Sok mérési eredmény és elméleti megfontolás is igazolta, hogy a cirkulátorok a működési középfrekvencia közelében egyik kapuból benézve párhuzamos rezonátorként viselkednek, és tervezésükhöz közelítő jelleggel az egy kapus helyettesítő kép felhasználható.

A helyettesítő képben levő elemek közti kapcsolatot a cirkulátoregyenlet adja:



1. ábra. Egykapus helyettesítő kép

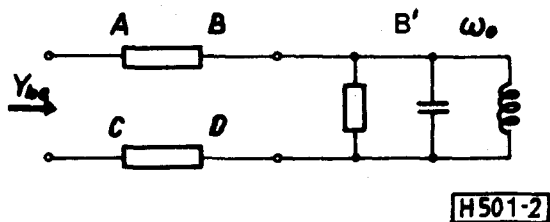
$$G = \sqrt{3} B' \frac{\omega_{+1} - \omega_{-1}}{\omega_0} \quad (1)$$

ahol G a cirkulátor vezetése, B' a cirkulátor szuszceptancia meredeksége, $\omega_{\pm 1}$ az $n = \pm 1$ módus rezonancia frekvenciája, ω_0 a cirkulátor középfrekvenciája.

A cirkulátor bemenő admittanciája:

$$Y_L = \sqrt{3} B' \frac{\omega_{+1} - \omega_{-1}}{\omega_0} + j2B' \frac{\omega - \omega_0}{\omega_0} \quad (2)$$

A cirkulátorkapukhoz való csatolást a sávzélesség-követelmények által előírt kótkapuvál lehet megoldani.



2. ábra. Csatolt cirkulátor

Például a leggyakrabban használt, $\lambda/4$ -es transzformátorral csatolt esetben

$$A = \cos \Theta \quad C = Y_0^T \sin \Theta \quad (3)$$

$$B = \frac{\sin \Theta}{Y_0^T} \quad D = \cos \Theta$$

$$\text{ahol } \Theta = \frac{\pi}{2} (1 + \delta) \quad \delta = \frac{\omega - \omega_0}{\omega_0}$$

A bemenő admittancia Y_{be} :

$$Y_{be} = \frac{JC + DY_L}{A + jBY_L} \quad (4)$$

Az (1)-(4) egyenletek alkalmasak a cirkulátorok közelítő jellegű analízisére és szintézisére.

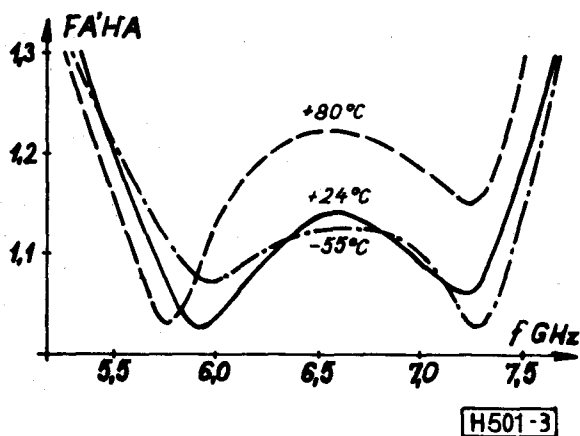
A legnehezebb feladatot az egykapus helyettesítő képben szereplő elemek meghatározása jelenti. A számos lehetőséget ebben a cikkben nem ismertetjük, mivel a vonatkozó szakirodalom részletesen tárgyalja [10], [11], [12], csak az általunk művelt mikroszalagtápvonalas megoldásokra térünk vázlatosan ki. Megjegyezzük, hogy a szimmetrikus szalagtápvonalas esetben az előbbieken említett szakirodalom megoldásai megfelelő pontossággal alkalmazhatók.

A nehezebb problémát a mikroszalagvonalas cirkulátorok jelentik, melyeknél a határérték-probléma megoldásánál a ferrittárcsa peremén legtöbbször figyelembe vett mágneses fal határfeltétel a szórt terek miatt csak közelítő jellegű megoldáshoz vezet.

Bosma szimmetrikus szalagvonalas cirkulátorokra kidolgozott eredményeit [10] sikerrel lehetett átdolgozni mikroszalagvonalas cirkulátorok tervezésére, és egy kísérletileg meghatározott konstans szorzó bevezetésével a gyakorlat számára jól használható egyenleteket származtattunk [13].

A cirkulátorok szuszceptancia meredekségének meghatározását egyszerűsíti az a felismerés, hogy ezt az alkotórezonátorok szuszceptancia meredekségének ismeretében egy konstanssal való szorzással számíthatjuk [11]. A szalag és mikroszalagvonalas cirkulátorok alkotó rezonátora az egy vonallal csatolt ferritrezonátor, így a vizsgálatokat

erre lehetett korlátozni. A pontosabb számítások érdekében sikerült kidolgozni egy variációs számításra alapuló analízist, mely az egy vonallal csatolt ferritrezonátort diszkontinuitás problémaként tárgyalja, csökkentve azt a hibát, melyet korábban a csatolási síkban konstansnak feltételezett mágneses tér okozott [14], [15]. Ez, az asztali számítógéppel is végezhető analízis a mikroszalagvonalas esetben korábban mindig nagy hibát okozó szórt teretek hatását effektív paraméterek bevezetésével vette figyelembe. Az analízist felhasználva a mikroszalagvonalas cirkulátorok tervezése a gyakorlat számára elfogadható néhány százalékos pontságon belül végezhető el. Az analízisben felhasznált modell alapján a cirkulátorok hőmérséklet-függése is számolható [16], [17]. A modellvizsgálatok arra a felismerésre vezettek, hogy lehetőség van a cirkulátorok hőstabilitásának növelésére, ha a cirkulátort a kapukhoz csatoló áramkört célszerű hőfokfüggőssel alakítjuk ki [18]. Ez azt jelenti a leggyakrabban használt $\lambda/4$ -es transzformátor-csatolás esetén, hogy a transzformátort egy, a ferritrezonátornál nagyobb hőfokfüggésű ferrit hordozón kialakítva, a hőmérséklet emelkedésével a transzformátor karakterisztikus impedanciája növekszik, ez a rezonátor rész hőmérsékletfüggőse miatt bekövetkező, cirkulátor-paraméter-romlást hatékonyan csökkenti. Az így kompenzált cirkulátorok tervezésére egyenleteket lehetett levezetni [18], [19]. Egy, ezzel a kompenzációs módszerrel készített cirkulátor mért feszültség állóhullámarányát mutatja a frekvencia függvényében a 3. ábra három hőmérsékleti érték esetén (-55°C , $+24^\circ\text{C}$, $+80^\circ\text{C}$ esetén).



3. ábra. Hőmérsékletkompenzált cirkulátor állóhullámaránya

A kísérleti tapasztalatok azt mutatták, hogy ilyen módon mikroszalagvonalas cirkulátorok, izolátorok kb. 150°C -os hőmérséklettartományra készíthetők, még akkor is, ha a rezonátorként használt gránátanyag nem hőkompenzált, és az állandó

mágnesek egyszerű ferrit-mágnesek. Természetesen a hőstabilitás biztosítására a másik megoldás hőkompenzált gránátanyagok és hőstabil mágnesek alkalmazása. Ennek a lehetősége elsősorban az alacsonyabb, 1–3 GHz-es frekvenciatartományban van meg, ahová a 700 G-nál kisebb telítési mágneszettségű gránátanyagok nagy hőstabilitással készíthetők. A magasabb frekvenciatartományokban nagy hőstabilitás igény esetén célszerű az előzőekben vázolt megoldást alkalmazni.

Az elméleti megfontolások alapján készített eszközöket a kísérleti munka során végzett optimalizáció hozza a gyártási követelményeknek megfelelő végleges formába. A tervezés közelítő jellege, az anyagparaméterek szórása, a mechanikai méretek túrése nélkülözhetetlenné teszik ezt a tevékenységet.

4. Mikroszalagvonalas cirkulátorok kidolgozása

A mikroszalagvonalas cirkulátorokat, izolátorokat viszonylag egyszerűen lehet gránát hordozón megvalósítani. A hordozó mindkét felületét vákuum párologtatással vagy katódporlasztással fémezve, az egyik felületet a tervezett ábra szerint kimarva és a szükséges mágneses teret biztosítható mágnesekkel szerelve állíthatók az eszközök elő. Az eszközök kis mérete és a magas frekvencia miatt az előállítási technológia minden fázisa nagyon gondos munkát igényel.

A mikroszalagvonalas cirkulátorok fejlesztését a TKI-ban nagyrészt gránáthordozók felhasználására alapoztuk. Ebben az esetben mind a ferritrezonátor, mind az illesztő áramkör ugyanazon a hordozón kerül kialakításra. A magasabb frekvenciákon tárcsarezonátorokat, 3 GHz alatt viszont más típusú rezonátorokat (háromszög alakú, stb) is használunk a cirkulátorok kialakításánál a méretcsökkentés érdekében.

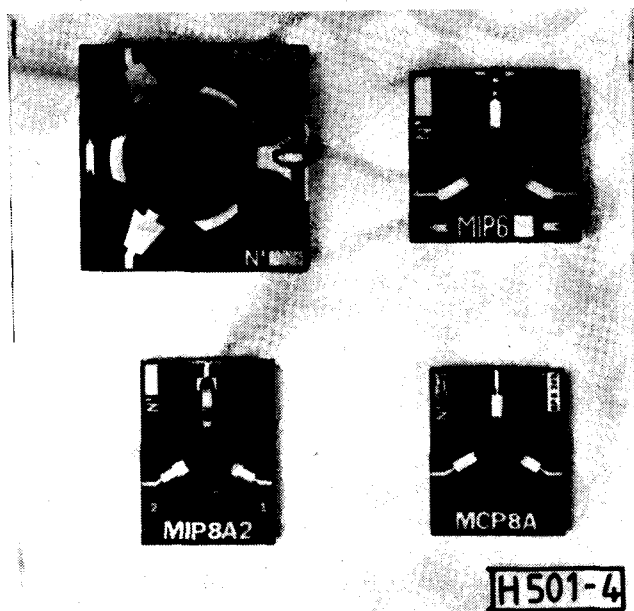
Az előírt sávzélesség elérésére egy vagy kétlépcsős transzformátorral végezzük az illesztést, azt a követelményt szem előtt tartva, hogy az áramkörök a lehető legkisebb méretben legyenek realizálhatók. A transzformátorszakaszok inhomogén mágnesezésével eredményesen tudtuk növelni a sávzélességet rövid transzformátorok alkalmazása esetén is [20]. Az inhomogén mágnesezést például úgy lehet elérni, hogy a mikroszalagvonalas cirkulátor egyik mágnesét kisebb átmérőjűre, a másikat nagyobbra tervezzük.

Leginkább ferrit mágneseket használunk — ezek a leggazdaságosabbak — de néhány esetben, például nagyobb hőstabilitási követelmény

esetén fém, vagy ritka földfém mágnesek is felhasználásra kerülnek.

Hazai anyagválasztókra támaszkodva fejlesztettünk ki egy gyártmánycsaládot, mely elsősorban a mikrohullámú gerinchálózati rendszerekben nyert alkalmazást a 4 GHz, 6 GHz, 7 GHz, 8 GHz-es frekvenciasávokban. A cirkulátorok, izolátorok átfogják a kommunikációs sávokat nagyobb mint 20 dB zárócsillapítás, kisebb mint 0,5 dB áteresztő csillapítás és kisebb mint 1,25 állóhullám-arány paraméterekkel.

A 2. táblázat a teljesség igénye nélkül összefoglalja a 4, 6 és 8 GHz-es beültethető ferrites eszközök jellemző műszaki adatait.



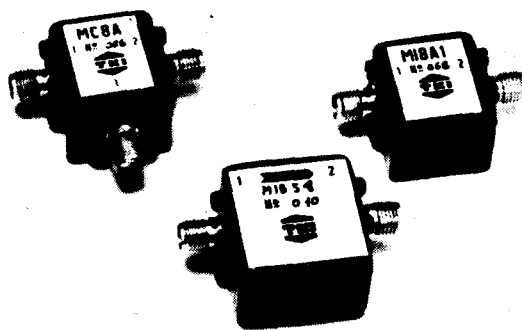
4. ábra. Beültethető ferrites eszközök

2. sz. táblázat

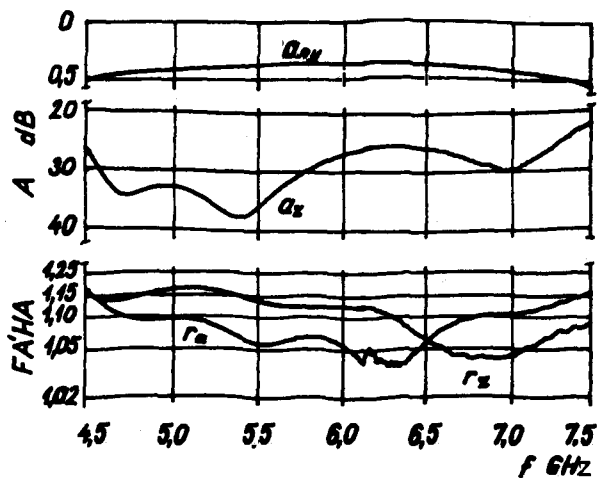
típus	Frekvenciasáv MHz-ben	Típus adatok		
		A _a dB	A _z dB	FÁHA
MIP4V	3390—3900	0,4	23	1,17
MIP4Z	3790—4200	0,4	23	1,17
MIP6N	5600—6200	0,5	23	1,17
MIP6Q	5900—6500	0,5	23	1,17
MIP 7	7100—7800	0,4	23	1,17
MIP8A1	7700—8500	0,4	24	1,17
MCP8A*	7700—8500	0,4	24	1,17

*Megjegyzés: beültethető cirkulátor

Az izolátorokat cirkulátorokból készítjük oly módon, hogy a cirkulátorok harmadik kapuját a gránát-hordozó felületén szerelt 50 Ohm-os ellenállással zárjuk le és illesztjük. A mikroszalagvonalas ferrites eszközöket dobozva és SMA csatlakozókkal sze-



5. ábra. Koaxiális ferrites eszközök



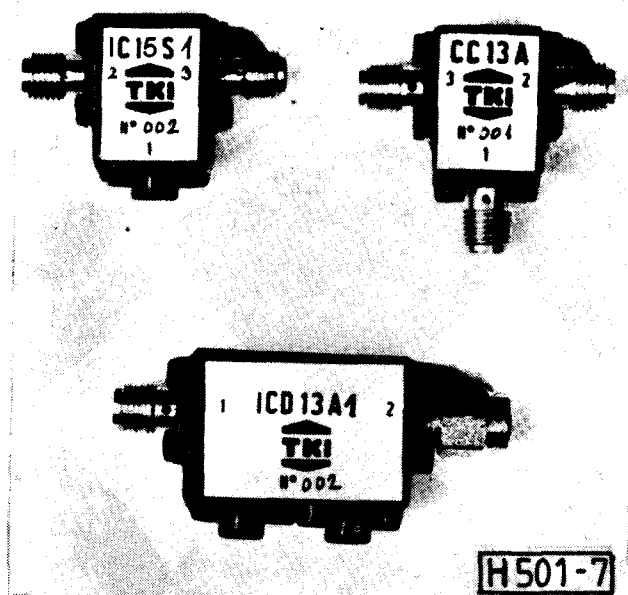
6. ábra. 6 GHz-es izolátor jelleggörbéi

relve koaxiális cirkulátorokat és izolátorokat lehet készíteni.

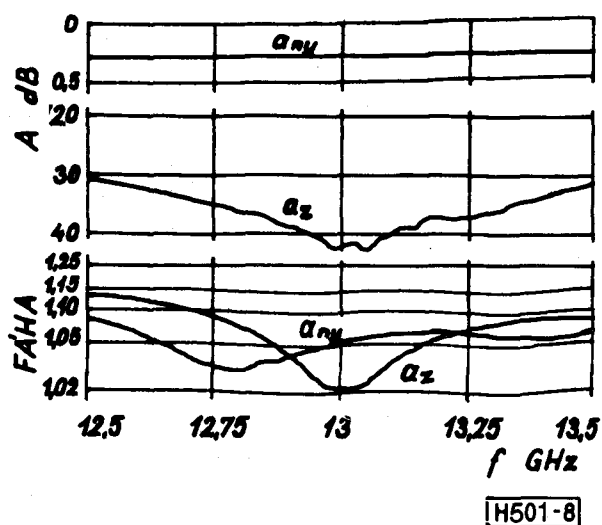
Dobozolt változatban sikerrel fejlesztettünk ki kisméretű, igen nagy sáv szélességű eszközöket is.

5. Szalagvonalas cirkulátorok kidolgozása

10 GHz felett a mikrohullámú ferritek magas ($\epsilon_f \approx 15$) permittivitása következtében adódó kis méretek és a mikroszalagvonalas technika egyéb problémái miatt célszerű a dobozolt eszközöket szalagvonalas technikával megvalósítani. Ez általában alacsonyabb áteresztő csillapítást is eredményez. A 13 GHz-es ferrites eszközcsaládot a hazai Li-ferrit anyagra támaszkodva, szimmetrikus szalagtápvonalban fejlesztettük ki. Az eszközök alapvetően háromkapus cirkulátorok, melyeket izolátor célra külső lezáróval szereltünk, többkapus felhasználásra pedig két háromkapus cirkulátort kapcsolunk össze. A tárcsarezonátorok illesztését kétlépcsős transzformátorral valósítottuk meg.



7. ábra. 13 GHz-es koaxiális ferrites eszközök



8. ábra. 13 GHz-es izolátor jelleggörbéi

6. Következtetések

A TKI-ban kidolgozott ferritanyagokon alapuló eszközfejlesztés eredményeként egy olyan, jó paraméterekkel rendelkező, korszerű mikroszalagvonalas és szalagvonalas cirkulátor és izolátor családot fejlesztett ki az Intézet, mely alkalmas a modern harmadik generációs mikrohullámú rendszerekben való felhasználásra.

IRODALOM

[1] W.H. von Aulock: Handbook of Microwave Ferrite Materials Academic Press, New York and London, 1965.

[2] E.P. Wohlfart: Ferromagnetic Materials North-Holland Publishing Company, Amsterdam, New York, Oxford, 1982.

[3] G. Winkler: Magnetic Garnets Friedr. Vieweg and Sohn, Braunschweig/Wiesbaden 1981.

[4] D. Lefebvre, P. Beuzelin, W. Simonet: Temperature Stable Garnets with Low Gyromagnetic Linewidth; IEEE Trans. on Magnetics, MAG-17, No. 6.p. 2970. (1981)

[5] A. Sztaniszlav: Temperature-Stable Garnets with low Saturation Magnetization Proc. of VI. ICMF, Varna, 1982. p. 104

[6] A. Sztaniszlav, M. Balla, M. Farkas-Jahnke: Garnet Forming Solid State Reactions in FeYCaZr Systems with Different Y-Fe Ratios. Proc. of Soft Magnetic Mat. 8., Badgastein, 1987. p. 220.

[7] M. Balla, E. Sterk, M. Tardos: The Néel-point Behaviour of YIG's in the Vicinity of Stoichiometry J. of Magn. and Magn. Mat. 19 (1980) p. 123.

[8] M. Tardos, E. Sterk, M. Balla: The Dependence of the Saturation Magnetisation and the Magnetic and Dielectric Losses of Polycryst. Garnet on the Iron Content. Proc of V. Colloquium on Microwave Communication (1974) Budapest p. SM-329

[9] E. Sterk, K. Sári, M. Balla, J. Lábár: Investigation of Garnet Materials by Scanning Electron Microscopy; Hungarian- Austrian Joint Conf. on Electron Microscopy, Balatonaliga, 1985.

[10] Bosma H. Junction Circulators Advances in Microwaves, Vol. 6. Academic Press, 1971

[11] Rosenbaum, F.J. Integrated Ferrimagnetic Devices Advances in Microwaves, Vol. 8, Academic Press, 1974.

[12] Heszajn J.: Nonreciprocal Microwave Junctions and Circulators, John Wiley and Sons, 1975.

[13] Bársony P.: „Mikrosztript cirkulátorok néhány problémája”, Távközlési Kutató Intézet Évkönyve, Műszaki Könyvkiadó, 1975—1977.

[14] Bársony P.: „A Method for Calculating Anisotropic Planar Circuits”, 5 th International Conference on Microwave Ferrites, 1980 Vilnius

[15] Bársony P.: „A Method for Analysing the Constituent Resonator of Circulators, 7 th Coll. on Microwave Communication, 1982 Budapest

[16] Bársony P.: „Temperature Dependence of Constituent Resonator of MIC Circulators” 8 th Coll. on Microwave Communication, 1986. Budapest

[17] Bársony P.: „Analysis of Temperature Dependence of MIC Circulators” 8 th International Conference on Microwave Ferrites, 1986. Ilmenau

[18] Bársony P.: „On Temperature Stabilization of MIC Circulators by Transformers”, 1987 SBMO International Microwave Symposium Rio de Janeiro

[19] Bársony P.: „Temperature Stable MIC Circulator on Composite Substrate”, MIOP 88, 1988 Wiesbaden

[20] Bársony P.: „Some Effects of Inhomogeneous Biasing Field to MIC Circulators”, 4 th International Conference on Microwave Ferrites, 1968 Jablonna