

Harmadik generációs mikrohullámú rádiórelé berendezések anyag-, alkatrész-, szereléstechnikai problémái

ETO 621.396.43.029.6.002.72

A mikrohullámú technika fejlődése lehetővé tette, hogy igen sok mikrohullámú áramkört az eddigi nagyméretű, csőtápvonalas kivitel helyett mikro-szalagvonalas felépítésben készítsünk el. Ez a mini-atürizálási folyamat a mikrohullámú berendezések alacsonyabb frekvencián működő áramköreinél is megfigyelhető. A speciális mikrohullámú sajátosságokat az ezen tartományban működő áramkörök kialakításánál, szerelésénél, tokozásánál, alkatrészválasztékánál figyelembe kell venni. A harmadik generációs mikrohullámú berendezések ezért sok szempontból új technológiai és konstrukciós megoldásokat igényelnek az elektronikában használatos szereléstechnikához és alkatelemekhez képest.

1. A mikrohullámú integrált áramkörök hordozó anyagai

A nagyfrekvencián szokásos hordozó anyagokat, azok fő jellemzőit, előnyös és hátrányos tulajdonságait az 1. táblázatban foglaltuk össze. Ahol lehetséges volt, megadtuk az egyes mechanikai, illetve elektromos paraméterek specifikáció szerinti toleranciaadatait.

Jelenleg a legelterjedtebb nagyfrekvenciás hordozók a duroid 5870 és 5880 típusok, valamint az Al_2O_3 kerámia. A duroid [1] fő előnye a könnyű megmunkálhatóság mechanikai és maradási szempontból egyaránt. Kedvező elektromos paramétereket eredményez, hogy a töltő üvegszálak nem szövött struktúrájúak, hanem egyenletes eloszlásúak, ami mikroszkopikusan is egyenletes relatív dielektromos állandót eredményez. Ez különösen a keskeny vonalak, illetve rések kialakításánál előnyös. A duroid 5870 és 5880 típusok hátránya az alacsony ϵ_r , valamint az, hogy csak vezetőlátatok, tehát mikro-szalag-tápvonalak alakíthatók ki rajta, járulékos elemek nem vihetők fel (pl. integrált ellenállás nem valósítható meg). A kerámián [2] kialakított áramkörök geometriai méretei a nagyobb relatív dielektromos állandó miatt kisebbek. Vékonyréteg technikával többféle passzív áramköri elem (elsősorban ellenállás) is kialakítható. Legnagyobb hátránya, hogy mechanikusan megmunkálni igen nehéz, könnyen reped, törlik.

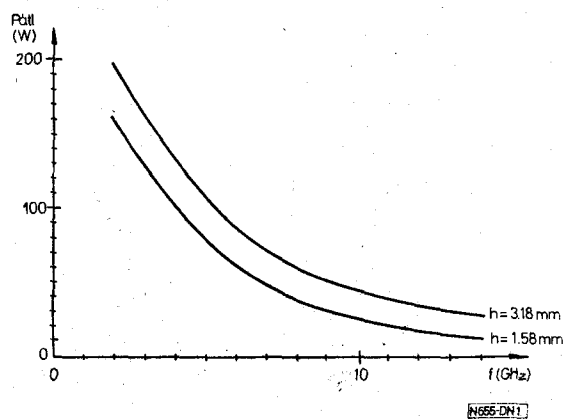
Az előző két alapanyag előnyeit egyesítik az Epsilam 10 [3] és a duroid 6010 [4] nevű hordozók, melyek a duroid 5870 és 5880 típusokhoz hasonlóan könnyen megmunkálhatók, relatív dielektromos állandójuk viszont 10 körül van. Az Epsilam 10 hátránya, hogy dielektromos állandója anizotróp.

Röviden meg kell említeni a kb. 6 mm vastagságú réz alaplemezre készített Sandwich laminate nevű hordozót [5], mely a polyguide anyaghoz hasonló. Ez igen jó lehetőséget kínál nagy teljesítményű, nagy integráltságú, aktív mikrohullámú áramkörök kialakítására, mivel az aktív eszközök hűtése könnyen megoldható.

A táblázatban bemutatottakon kívül többfajta teflontöltésű alapanyag ismeretes, melyek fő elektromos és mechanikai tulajdonságai hasonlóak a duroid 5870 és 5880 típusokhoz. Megemlítjük még, hogy ferrit hordozón is lehet készíteni mikro-szalagvonalakból felépített áramköröket. Ezeknek elsősorban a miniatűr, mikro-szalagvonalas áramkörökhöz illeszkedő ferrites eszközök (cirkulátor, izolátor, fázistoló stb.) kialakításánál van jelentőségük. Ezen áramkörökkel a továbbiakban nem foglalkozunk, mivel a ferrit hordozó alapvető tulajdonságai jelentősen eltérnek az eddig ismert hordozókéétól.

A táblázatban feltüntettük az egyes hordozók hozzávetőleges, fajlagos árait is. Meg kell jegyezni, hogy ezek az árak csak tájékoztató értékül szolgálhatnak, és egyes esetekben nagymértékben függenek a típuson belüli változattól, valamint a rendelt mennyiségtől. Ennek ellenére megállapítható, hogy jelenleg a legolcsóbb hordozó a duroid. Egyéb előnyös tulajdonságai mellett ez is indokolja széleskörű alkalmazását.

A mikrohullámú tápvonalak fontos elektromos jellemzője az átvihető maximális teljesítmény, melyet mikro-szalag-tápvonalak esetében két jelenség korlátoz [6]. Egyrészt a dielektrikum letörése, melyet réseknel a koronaefektus, éles vonalsarkoknál pedig a koncentrált elektromos tér okozhat. Ez a jelenség az esetleg fellépő állóhullámok hatásával együtt az átvihető csúcsteljesítményt szabja meg. Másrészt a veszteség okozta disszipáció melegíti



1. ábra

A mikrohullámú áramkörökben alkalmazott hordozók tulajdonságai

Típus	Gyártó cég	Alapanyag	Rel. diel. állandó ϵ_r	Veszteség tg δ	Dielektrikum vastagság (mm)	Tulajdonságok		Ár: kb. Ft/cm ²
			$f = 10$ GHz			előnyös	hátrányos	
duroid 5870	Rogers Corporation	üvegszálerősítésű PTFE (politetrafluoretilén)	$2,33 \pm 0,02$	$1,2 \times 10^{-3}$	0,254 0,381 $0,508 \pm 3\%$ 0,787 1,575	könnyen alakítható, jól maratható, forrasztható, mikroszkopikusan egyenletes	alacsony ϵ_r miatt viszonylag nagy méretek, ellenállás nem alakítható ki	5
duroid 5880			$2,2 \pm 0,02$	9×10^{-4}				5
duroid 6010		Al ₂ O ₃ kerámia töltésű PTFE	$10,5 \pm 0,25$	kb. $5 \cdot 10^{-3}$	0,64 1,27	mint az 5870 5880, nagy ϵ_r	ellenállás nem alakítható ki	15
Sandwich laminate	KEENE Corporation	üvegszálerősítésű PTFE	$2,5 \pm 0,04$	2×10^{-3}	nem ismert	a 6 mm vastag alaplemez hűtő felületként alkalmazható	alacsony ϵ_r , viszonylag magas veszteség	nem ismert
Epsilam 10	3M Company	Al ₂ O ₃ kerámia töltésű PTFE	Z: $10,3 \pm 0,5$ X,Y: kb. 15	10^{-3}	0,254 0,635 1,27 1,905 2,54	nagy ϵ_r , könnyen alakítható	anizotróp ϵ_r , nagyobb veszteség	27
AlSiMag 772	3M Company	99,5% Al ₂ O ₃	9,8	5×10^{-4}	0,635	nagy ϵ_r , vákuumpárolgatás alkalmazható, finom vonalszerkezet, integrált ell. áll. kialakítható (20 Ω —20 k Ω)	mechanikai megmunkálás nehéz, a hordozó rideg, törrik	fémzetlen 1,50—2,30 fémzett 60—150

a vezetőt és a dielektrikumot. Ez a hatás a hordozó veszteségi tényezőjétől, hővezetőképességétől függ és a maximális átlagteljesítménynek szab határt.

Az 1. ábrán bemutatjuk az átvihető átlagteljesítményt a frekvencia függvényében, 50 ohmos szimmetrikus mikroszalagvonalra (dielektrikum: szövött üvegszálalás teflon, földlemezek távolsága: $h = 1,58$, ill. 3,18 mm, $T_k = 25^\circ\text{C}$, $T_{\max} = 100^\circ\text{C}$) [7]. Ennek alapján megállapítható, hogy a félvezetős mikrohullámú rádiórelé berendezések áramköreiben előforduló teljesítményszintek átvihetők mikroszalagvonalon.

2. Tokozás

A nagyfrekvenciás áramkörök konstrukciójának egyik fő problémája a megfelelő tokozás kialakítása [8]. Az alacsonyfrekvenciás áramköröknél használatos tokozási módszerek itt nem alkalmazhatók, mivel alapvetően más követelményeket kell a konstrukciónak kielégíteni. Az áramkört magába foglaló doboz tervezése során általában a következő fő szempontokat kell figyelembe venni:

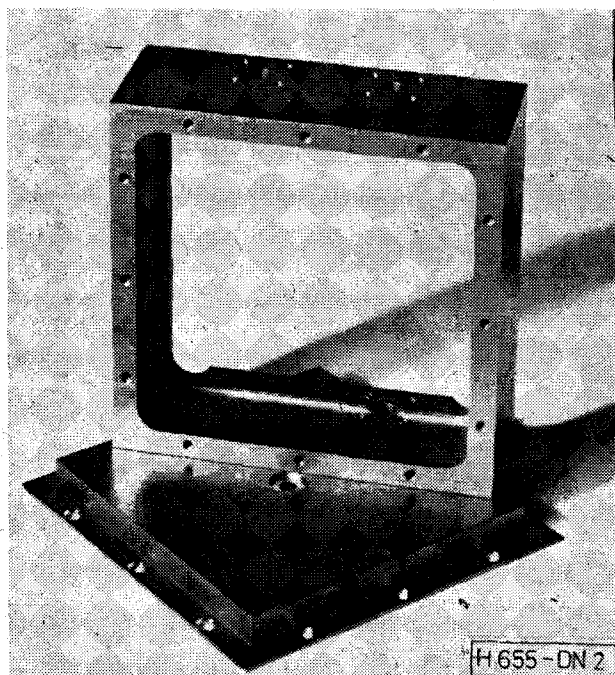
- a hordozó megfelelő rögzítését a dobozban
- az esetleges aktív eszközök elhelyezésére cél-

szerű rögzítési lehetőség kialakítását (disszipáció miatt)

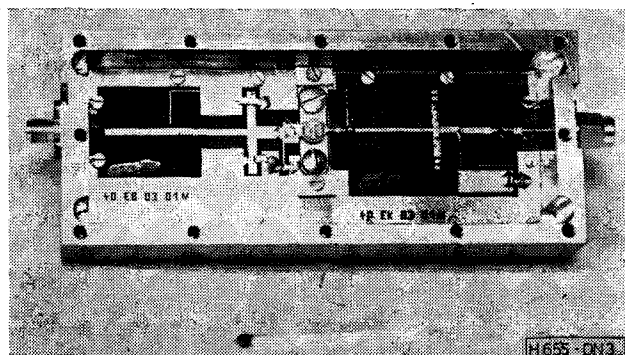
- megfelelő nagyfrekvenciás és egyenáramú földrendszer kialakítását
- a szokásos koaxiális nagyfrekvenciás és egyenáramú csatlakozók elhelyezését
- az esetleges nedvesség elleni tömitést
- a megfelelő nagyfrekvenciás árnyékolást.

Laborkísérleti célra könnyen szétszedhető, egyszerűen kezelhető doboz a praktikus, ahol néhány követelményből (pl. klímaállóság) engedhetünk. Cél szerű, ha a hordozólapka cseréje viszonylag egyszerűen történik, és ugyanazon dobozban többféle hordozót is elhelyezhetünk. Ilyen konstrukciót mutat a 2. ábra. Itt kell megemlíteni, hogy laborkísérleti célra igen kedvező tapasztalataink vannak az alumínium dobozzal, ezüsttel kikészítve, melynek legfőbb előnye a kis súly és az olcsóság.

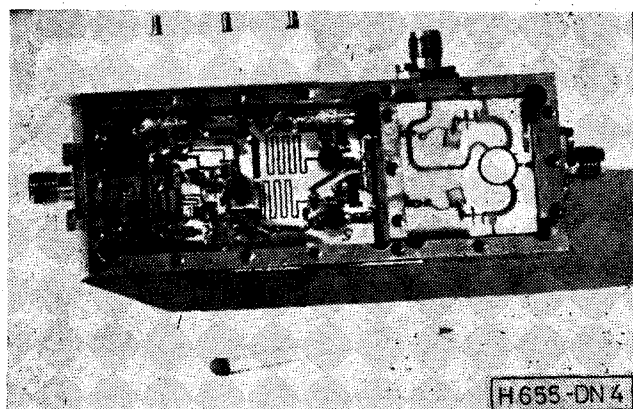
Gyártmány esetén a cserélhetőség, valamint az egyszerű szétszedhetőség nem nagy jelentőségű, helyette a nagyfrekvenciás sugárzás és a csatlakozások megfelelő kialakítására kell elsősorban gondot fordítani. A fenti szempontok figyelembevételével kialakított konstrukció látható a 3. ábrán. Ezen két konstrukció részletes leírása megtalálható a



2. ábra



3. ábra



4. ábra

[9] irodalomban. Több funkcionális egység is elhelyezhető egyetlen dobozban, ezzel növelhető az integráltság, ugyanakkor a mikrohullámú csatlakozások száma is kevesebb. Példaként egy KF előerősítővel egybeépített mikrohullámú keverőt mutatunk be (4. ábra). Az egység vékonyréteg integrált

áramköri kivitelben, a TKI-HIKI együttműködés keretében készült.

Az áramkörök sokfélesége ugyan megnehezíti, mégis érdemes lenne a hordozók alkalmazható méreteit szabványosítani. Ez egyrészt a befogó dobozok konstrukcióját egyszerűsíti, másrészt az áramkör előállítása során is jelentős könnyebbséget jelent. Kerámia esetén, nemzetközi és hazai vonatkozásban egyaránt a coll méret terjedt el. Az általában használatos áramkörök minimális mérete 1"x1", maximális mérete pedig 2"x2". Javasolható a méretek 1/2"-os lépcsőzése mindkét dimenzióban, ez összesen 6 változatot jelent. Duroidra vonatkozólag jelenleg sem nemzetközi, sem hazai szabványosítási törekvésekről nem tudunk. A szokásos áramköri méretek 20x20 mm és 120x120 mm közé esnek. A kerámiához hasonlóan, itt is lehetne 1/2" osztást alkalmazni, 1"x1" és 5"x5" méretek között. Így a méretraszter azonos lenne a kerámiához használt dobozával. E megoldás mellett szól az is, hogy az esetleges import dobozok és tartozékaik is coll méretűek. Hátránya, hogy az így adódó méretek milliméterben igen kedvezőtlenek. Millimétraszter esetén 10, vagy 15 mm-es raszter ajánlható. Miután mindkét választásnak vannak előnyei és hátrányai is, jelenleg nem kívánunk állást foglalni egyik mellett sem, csupán jelezzük, hogy a problémával foglalkozni kellene, mielőtt széles körben elterjednének ezen áramkörtípusok.

Általánosan jelentkező konstrukciós probléma, főleg magasabb frekvenciákon, hogy a doboz csőtápvonalként viselkedik, megfelelően gerjesztve rezonanciát mutat [9]. Ezt vagy a mechanikai méretek megváltoztatásával lehet megszüntetni vagy a dobozfedőre ragasztott ferrit csillapító lemezzel.

Lényeges szempont még a dobozfedő hatása is. A dielektrikum fölött ugyanis a relatív dielektromos állandó nagyságától függően, kisebb-nagyobb szórt elektromos tér alakul ki, melyet a doboz fémfedele befolyásol. Ahhoz, hogy ez a hatás minél kisebb legyen, a fedelet elegendően távolra kell helyezni [10]. Tájékoztató értéknek szolgálhat, hogy Duroid 5870 és 5880 esetén a dielektrikum és a fedél közötti távolság a dielektrikum vastagságának kb. a harmincszorosa legyen. Kerámiánál ez az érték kb. 10.

2.1. Csatlakozók

Az 5. ábrán a különböző nagyfrekvenciás és egyenáramú csatlakozókból mutatunk be néhányat, melyek fő jellemzőit a 2. táblázat tartalmazza.

A mikrohullámú csatlakozók koaxiális oldala leggyakrabban SMA típusú. A mikroszalag áramkörhöz csatlakozó része a hordozónak megfelelően többféle kialakítású lehet. Így például az 1. típus csatlakozója lapos, ezért kis diszkontinuitást okoz az átmenet, a második típus mikroszalagvonalhoz csatlakozó része hengeres, amely a 0,6 mm vastag Duroid 5870 és 5880 hordozón kialakított 50 ohmos vonalhoz illeszkedik. Ezeknek a csatlakozóknak tömített változatuk is van. Egyenáramú csatlakozásra többféle lehetőség adódik. Legegyszerűbb a táblázatban ötödikként felsorolt BNC csatlakozó. Előnye, hogy kísérleti összeállításnál gyors kábelezést biztosít,

2. táblázat

Koaxiális csatlakozók		
Tipusjel	Gyártó cég	Alkalmazási terület
1. 2052—1133	AMERICON	Epsilon 10, duroid 6010 áramkörökhöz
2. R 125 414	RADIALL	duroid 5870, 5880 áramkörökhöz
3. R 125 512	RADIALL	kerámia áramkörökhöz
4. C42334—A80— A18 L9/K9	SIEMENS	KF csatlakozó
5. R141 554	RADIALL	egyenáramú és alacsony-frekvenciás csatlakozó

szabvány kábelekkel. Nagyobb áramok csatlakoztatására miniatűr kékes csatlakozók szolgálnak.

2.2. A hordozó rögzítése

Az áramkör működése szempontjából igen fontos a hordozó megfelelő rögzítése a dobozban, ez ugyanis hatással van az áramkör nagyfrekvenciás paramétereire. Röviden tekintsük át, milyen megoldásokkal lehet a hordozót a dobozban rögzíteni.

— Különböző fajta vezető ragasztók alkalmazásával oldható vagy oldhatatlan kötés létesíthető a fémdoboz és a nagyfrekvenciás hordozó alja között. Kísérleti áramkörökben nem célszerű ilyen megoldást választani.

— Kerámia esetén, ha a hátoldal fémezett, forrasztás is alkalmazható.

— Duroid és kerámia hordozó esetén is alkalmazható a csavarral történő rögzítés. Kerámia esetén valamilyen lágy, rugózó anyag (pl. szilikongumi) közbeiktatásáról kell gondoskodni, nehogy elpattanjon a lemez. A duroid hordozónál problémát jelent a teflon kismértékű megfolyása, ezért gyártmány esetén a csavart kilazulás ellen biztosítani kell. Elsősorban kísérleti összeállításoknál ajánlható.

— Leszorítható a dielektrikum kisméretű fémfülekkel is, ez a módszer azonban nem túl elterjedt.

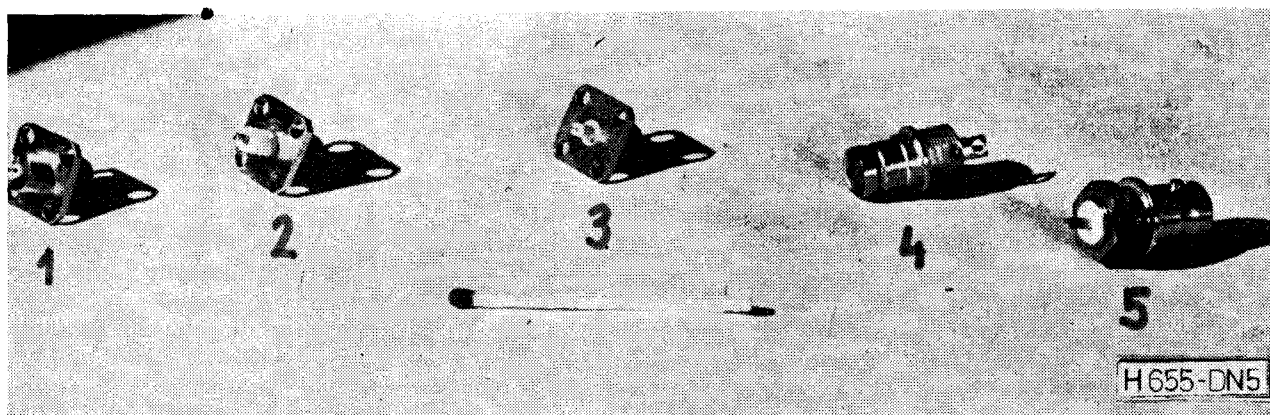
— Körkörös leszorítás biztosítható fémkeret alkalmazásával, mely egyben igen jó mikrohullámú földelést is ad. Gyakorlati kivitele többféle lehet, az adott követelményeknek megfelelően. Egyetlen hátránya, hogy a doboz megmunkálása során igen precíz finommechanikai munkát kíván. Előnye, hogy könnyen, gyorsan cserélhető a betétek, ugyanaz a doboz alkalmas különböző vastagságú és fajtájú dielektrikumok befogására is.

Összehasonlítva a különböző megoldásokat, megállapíthatjuk, hogy az utóbbi, fémkeretet alkalmazó megoldás mind iaborkísérleti, mind gyártmány célra megfelelő, de bonyolult. A csavarral történő lefogás látszik jelenleg a legegyszerűbb, optimális megoldásnak. Távolatilag, gyártmányok esetében, feltétlenül a vezető ragasztó ajánlható, ennél azonban a klímaállóság kérdése még tisztázásra szorul.

2.3. Földelés, sugárzásvédelem

Külön kell foglalkozni a nagyfrekvenciás és egyenáramú földelés kérdésével. A nagyfrekvenciás áramkörök működését alapvetően meghatározza, hogy milyenek a szükséges földelések. Ezek két fő csoportra oszthatók, az egyenáramú rövidzárat is adó, valamint a virtuális földelésekre. Az előbbi esetben a földelendő pontot fémesen összekötjük a közelében levő földfelülettel. A második esetben valamilyen külső kapacitással, vagy a hordozón kialakított kapacitív felülettel biztosítjuk a szükséges nagyfrekvenciás rövidzárat. Az első eset általában akkor használatos, ha az egyenáramú kör egyidejű zárása is cél, vagy az összekötendő pontok ekvipotenciálisak. A második megoldás alkalmazható, ha a hidegtendő pont pl. tápfeszültségen van, vagy csak nagyfrekvenciás földelés a cél, alacsony frekvencián pedig jelátvitel van. Az utóbbi esetben természetesen fontos a kapacitás értékének helyes megválasztása is.

Mechanikus és elektromos konstrukciós problémát jelent a nagyfrekvenciás sugárzás kiküszöbölése. Kis jelű egységeknél (pl. a vevő első fokozatai) a bejövő zavarjel, nagyteljesítményű esetben pedig a kisugárzott elektromágneses spektrum lehet zavaró. Ennek megszüntetésére az aktív eszközöket tartalmazó egységekhez a tápfeszültséget megfelelő átvezető szűrő kondenzátorral kell csatlakoztatni, melyek néhány 10 MHz-től a mikrohullámú tartományig



5. ábra

igen nagy beiktatási csillapítással rendelkeznek. Ezen túlmenően a fedél és fenéklemezeket egymáshoz elegendően közel elhelyezett csavarokkal kell rögzíteni, különösen a mikrohullámú csatlakozók közelében. A jobb zártság elérése érdekében esetleg vezető gumi csík vagy -lemez is alkalmazható. Példaként megemlítjük, hogy egy néhány watt teljesítményű mikroszalagvonal kivételű L sávú tranzisztoros erősítő dobozáról a fedelet eltávolítva, a dobozról 20–30 cm-re a szabvány által megengedett intenzitás 5–10 szerezse mérhető. Mivel ez az egészszégre káros lehet, igen fontosnak tartjuk kiemelni, hogy nagy teljesítményű áramköröknél még beállítás közben is szükséges a lezáró fedél alkalmazása.

2.4. Klímavédelem

Klímaállóság szempontjából az eddig ismertett hordozók különös védelmet nem igényelnek. Duroid 5880 hordozón kialakított mérőáramkörökön elvégeztük az IEC 68–2–30 szabvány által előírt vizsgálatot. A mérések tapasztalata szerint a mikroszalagvonalak elektromos paramétereire a fenti igénybevétel nincs számottevő hatással. Amennyiben az áramköri mintázat vékony rést is tartalmaz (pl. szűrő), problémát okozhat a páralecsapódás. A mikroszalag-áramkörhöz csatlakozó egyéb alkatrészek (tranzisztorok, diódák, chip ellenállások és kondenzátorok stb.) pára elleni védelme érdekében is szükséges lehet tömítés alkalmazása. Mindkét esetben jól alkalmazható az előzőekben említett vezető gumi-lemez vagy -csík. Fokozottabb igénybevételnek kitett helyen tömített csatlakozók alkalmazhatók.

3. Alkatrészválaszték

Az aktív elemeket és a különleges paraméterű passzív elemeket megvalósításuk technológiai nehézségei miatt hibrid elemként készítik el, és ültetik be a mikrohullámú szigetelő alapú integrált áramkörökbe. A technológia fejlődése folyamán ma már nemcsak az egyes elemek, hanem pl. monolit integrált áramköri lapkák is beültethetők, fokozván ezzel az integráltság mértékét.

A műszaki és miniatürizálási követelmények növekvő volta az alkatrészgyártókat is pontosabb, megbízhatóbb és nagyságrendekkel kisebb méretű eszközök megvalósítására ösztönözte. A mikrohullámú berendezések teljes frekvenciaspektrumát felölelő hibrid integrált áramkörökbe beültetendő elemek ma már egyszerű nagyítóval is nehezen láthatók. Ez a tény módosítja a bekötésről, a beültetendő alkatrészek kezeléséről alkotott képünket, és gyökeresen megváltoztatja technológiánkat is.

A mikrohullámú integrált áramkörök előállításánál során alkalmazott aktív hibrid alkatrészek — kiviteli formájuk szempontjából — három elemcsoportra oszthatók.

A *miniatür tokozott* elemek néhány kiviteli formája (pl. üvegtokozású és miniatür fémházas alkatrészek) nagy mérete miatt igen ritkán kerül alkalmazásra. Gyorsan elterjedt viszont egy másik forma: a *műanyag tokozású félvezető*. Ennek okai: a könnyű kezelhetőség, az uniformitás és a széles

frekvenciaspektrum. Ezen eszközöket a mikrohullámú berendezések kis- és nagyfrekvenciás áramköreikben egyaránt széleskörűen alkalmazzák.

A *chip* elemek alkalmazására akkor kerülhet sor, ha a teljes kész áramkör megfelelő klíma- és mechanikai védelmet kap. Ilyenkor nem szükséges az előzetes tokozás. Chip elemként ültethető be a mikrohullámú tranzisztorok és diódák többsége.

E kiviteli forma fontosabb változatai: beam-lead, flip-chip, tab, LID, STD stb. [11]. Valamennyi fajta a különböző, de minél könnyebb beültetési- és bekötési módozatokat szolgálja. A beam-lead, és a flip-chip megoldás esetében réz- vagy forrasztanyag csapot galvanizálnak, ill. forrasztanak a félvezető lemezre kivezető gyanánt.

A flip-chip kiviteli forma a mikrohullámú frekvenciatartományban nem használható. A tab, LID, STD megoldások huzalos vagy huzal nélküli kötési módszerrel kerámia zsámolyhoz rögzítik a monolit chipet, és ily módon biztosítanak jobb hozzáférhetőséget.

A mikrohullámú teljesítménytranzisztorok jó része úgynevezett mikrosztrip tokozással készül, mely — mint azt neve is mutatja — olyan tokot és kivezetéseket biztosít az eszköz számára, mely méreteiben és mechanikus tulajdonságaiban jól illeszkedik a mikroszalagvonalhoz [12].

A technológiai és miniatürizálási szint emelkedése új kategóriát eredményezett: a hibrid aktív alkatrészek harmadik csoportját, a *több aktív elemet tartalmazó egységet*. A modern hibrid áramkörök ma már tartalmaznak korszerű, kisméretű több tranzisztort, illetve integrált áramkört is.

A mikrohullámú berendezések szigetelő alapú integrált áramköreikben passzív elemként ellenállások, induktivitások és kapacitások ültethetők be.

Az *induktivitások* alkalmazásának határt szab igen kis jósági tényezőjük (20–30), és szűk érték-tartományuk (25–250 nH), ezért csak korlátozottan alkalmazhatók.

Ellenállást ritkán alkalmaznak utólag beültethető elemként. Ilyen esetek pl.: ha egy vékonyréteg áramkörben egy-egy igen nagyértékű ellenállást kell kialakítani, vagy ha egy mikrohullámú áramkörben lezáró ellenállásra van szükség és a rétegrendszer egyéb megfontolásokból olyan, hogy ellenállás kialakítására alkalmatlan.

Tapasztalati adatok mutatják, hogy a mikrohullámú integrált áramkörök veszteségértéke kedvezőbb lehet, ha nincs benne integrált formában megvalósított ellenállás, azaz ha a rétegrendszer nem tartalmaz ellenállásréteget. Ez nem jelenti azt, hogy csak ilyen rétegrendszer alkalmazható mikrohullámú célokra, de a követelményeknek megfelelő kompromisszumot ez esetben is meg kell találnunk.

Kapacitásokat megvalósításuk rétegrechnológiai korlátai miatt (egy vagy több vákuumtechnológiai lépéssel bővül az előállítás) sok esetben hibrid elemként állítanak elő. (Jóllehet a hibrid elemek bekötése megbízhatóság-csökkenést okozhat.) Mikrohullámú integrált áramkörökben — ahol lehet — elosztott paraméterű kapacitásokat alkalmaznak. Ezeket alkalmasan felvitt fémmezők alakítják ki [7].

Mikrohullámú hibrid integrált áramkörökben többféle típusú kondenzátort használnak.

A legelterjedtebben alkalmazott típus a *kerámia chip* kondenzátor. Népszerűségének oka a kis méret (kb. 2×2 mm) és a széles értéktartomány (0,5 pF—1 μ F). Gyártanak speciálisan mikrohullámú áramkörbeni alkalmazhatóságra is különböző típusokat [13], [14].

Nagyobb kapacitásértékek realizálása érdekében fejlesztették ki a viszonylag kis méretű (kb. 3×3 — 5×5 mm) speciális beültethető *tantál elektrolit* kondenzátorokat (1 μ F—50 μ F) [15].

Jellegzetesen mikrohullámú építőelem a *beam-lead* kondenzátor. Tokozása, külső kivitele és értéktartománya (1,8—5,7 pF) igazodik a magas frekvencia adta követelményekhez.

Változtatható kapacitások tekintetében is viszonylag széles a választék. Különböző frekvenciákra különböző kiviteli formájú kisméretű trimmerkondenzátorok készülnek. Értéktartományuk fajtától függően 0,2—12 pF [16], [17].

A felsoroltakon kívül természetesen egyéb elemek is beültethetők, pl. fémréteg ellenállás, fémházastranzisztor stb., de felhasználásuk nem szerencsés méret-, tokozási- és megbízhatósági problémák miatt.

4. Szereléstechika—alkatrészek beültetése

A mikrohullámú berendezések korszerűsítése a szereléstechikában is új módszerek bevezetését eredményezte. A hagyományos csőtápvonalakkal szemben a hibrid integrált áramkörök megjelenése, elsősorban a magasabb frekvenciákon a kisebb méretek miatt igen pontos geometriai mérettartást követel, és ennek következtében az alkatrészek nagyobb helyezési pontosságát teszi szükségessé. A nagy pontossági igény, valamint a nagyobb megbízhatóságra, reprodukálhatóságra való törekvés miatt a hibrid technika egyéb területein alkalmazott speciális eszközök, berendezések esetenként csak a nagyobb követelményeket biztosító kivitelben alkalmazhatók.

A szereléstechika fenti követelményei a gyártásban nagyfokú automatizálhatóságot is igényelnek, viszont kísérleti és labor berendezések esetén a nagy pontosság mellett egyéb manuálisan kezelhető eszközök is megfelelnek.

A következőkben tekintsük át a mikrohullámú eszközök esetében az alkatrészek beültetésének lehetőségeit:

1. forrasztás
 - hagyományos módon pákával
 - újrafolyatással

3. táblázat

Kötési mód	T (°C)	Anyag, eszköz	Hordozó	Alkalmazás	Megjegyzés
Újrafolyatásos forrasztás	100—300°C	Sn—Pb Sn—Pb—Ag kemence, fűtött asztal	kerámia duroid	általánosan	közepes teljesítménynél, jó hővezető, nagyfrekvencián is jó
Lágyforrasztás	100—200°C	Sn—Pb páka, fűtött asztal	kerámia duroid	általánosan	nehéz jól kézben tartani nagyfrekvencián is jó
Eutektikus forrasztás	300	Sn—Pb Au—Si+ védőgáz, különleges páka, fűtött asztal	kerámia	telj. tranz. telj. dióda Si alapú chipék	nagyteljesítmény, nagyfrekvencián is jó, nehézkés eljárás
Termokompressziós kötés	400	Au húzal+ nyomás	kerámia	tokozatlan alk. tranzisztor, dióda, IC	alacsonyabb frekvencián, nagyobb sorozatnál
Réses hegesztés	—	Párhuzamos elektrodák	kerámia duroid	Beam-lead	jó hővezető, nagyfrekvencián is jó
Ultraszagos kötés	25	30—70 kHz+ nyomás	kerámia duroid	Beam-lead	jó minőségű adhéziós kötés, különböző anyagok esetén is jó, hordozót nem kell melegíteni
Lézersugaras hegesztés Elektronsugaras hegesztés	széleskörűen nem terjedtek el				
Vezetőragasztós kötés	25—150	külön táblázatban	kerámia duroid	aktív és passzív alkatrészek és hordozók beültetése	kis teljesítményeknél, nagy hőmérsékleteken nem megbízható. Klímaállóság?

2. huzalkötés

- termokompressziós kötés
- ultrahangos kötés
- réses hegesztés
- elektronsugaras hegesztés
- lézeres hegesztés

3. vezető ragasztós kötés

A különböző kötési technológiákat a jobb áttekinthetőség végett a 3. táblázatban foglaltuk össze [11].

Ezen táblázatból jól látható, hogy a felsorolt kötési módok többsége mikrohullámú frekvencián is alkalmas alkatrészek beültetésére. Univerzális tulajdonságai miatt vezetőragasztós kötés az az eljárás, melyet talán a legelterjedtebben alkalmaznak ebben a frekvenciartományban; elsősorban labor-kiviteli és prototípus célokra.

A vezetőragasztós kötés

- alkatrészek beültetésére (félvezető eszközök, ellenállások, kondenzátorok)
- vezető felületek kialakítására (ez esetben figyelembe kell venni a ragasztóanyag mikrohullámú ellenállását)
- mikrohullámú tömitések biztosítására (sugárzásvédelem)
- mikrohullámú hangolásra használható.

Itt kell megemlítenünk a nem vezető ragasztóanyagokat is, melyek mikrohullámú frekvenciákon

- szigetelő összeköttetések létrehozására
- kiöntő gyantaként (klímavédelem)

használatosak.

Sugárzásvédelem, rezonanciacsökkentés céljára festék formájában felhordható abszorbeáló anyagok ismeretesek.

A nem vezető ragasztópaszták jellemző tulajdonságai: a jóság tényező, a mikrohullámú veszteség és az abszorbeálóképesség. Ezen paraméterek alapján történik adott esetben a megfelelő ragasztó kiválasztása. Az előbbieken felsorolt ragasztóanyagokat importból fedezi a hazai ipar.

A ragasztásos kötéseknek nagy előnye, hogy a szükséges szárítási hőmérséklet sem a műanyag alapú, sem pedig a kerámia hordozók esetében nem károsítja az eszközt. Ezzel szemben néhány más kötési technológiánál (pl. termokompressziós kötésnél) a létrejövő nagy helyi hőmérséklet a kerámián repedéseket, töréseket okozhat, duroidnál ugyanezen ok miatt ez a módszer nem is alkalmazható.

A 4. táblázatban néhány használatosabb vezető ragasztó típus fontosabb jellemzői láthatók [18], [19], [20], [21]. Feltüntettük azt is, hogy mely esetekben alkalmazhatók.

A ragasztásos kötések további előnye, hogy nem igényelnek különösebb állóeszköz-beruházást, így a hagyományos forrasztásos eljárások mellett széleskörűen alkalmazásra kerülnek.

A kötések problémája után ki kell térnünk a beültetés néhány szempontjára is. A beültetési módszer megválasztásánál figyelembe kell venni

4. táblázat

Vezető ragasztópaszták, jellemző tulajdonságaik

Típus	Gyártó cég	Összetétel	Keverés	Keverés utáni állapot	Égetés, szárítás	Térfigatási ellenállás ohm/cm	Alkalmazás
Eccobond Solder 56 C	Emerson Cumming, INC. Canton Massachusetts 02021 U.S.A.	Ag/epoxi	Cat 11	krém	50 °C, 2 ^h	0,0002	alkatrészek beültetése
Eccobond Solder 58 C		Ag/epoxi	—	krém	100 °C, 2 ^h	0,0001	általánosan
Eccocoat CC-2		Ezüstlakk	—	folyékony v. aerosol	levegőn	0,001/□	mikrohull. hangolás
Eccocoat 341		Fémlakk	—	folyékony	levegőn	0,01/□	mikrohull. hangolás
Epotek H20E	EPOXY TECHNOLOGY INC. USA	Ag/epoxi	A + B 2 komponens	krém	80 °C, 1,5 ^h	0,0001	alkatrészek beültetése
Epotek H24		Ag/epoxi	A + B 2 komponens	krém	80 °C, 1,5 ^h	0,02	alkatrészek beültetése
Permabond Aremco 525	Permabond Vertrieb U. Lübben 8. München 90	Ezüstkrém	—	folyékony szirupos	150°C, 2 ^h 170°C, 1 ^h	0,01	vezetőpálya kialakítása
Permabond Aremco 536		Ezüstkrém	—	folyékony szirupos	125 °C, 10 105 °C, 30	0,002	vezetőpálya kialakítása
Diamant Multilot XA-20	Diamant D407 Rheydl Pf. 70 (NSZK)	Ag/epoxi	A + B 2 komponens	krém	80 °C, 2 ^h	0,001	általánosan

Alkalmazhatósági táblázat

A beültetés fajtája	Nagy sorozat	Közepes sorozat	Kis sorozat	Nagy megbízhatóság	Nagy frekvencia
Chip elem és huzal kézi beültetés	rossz	lehet	lehet	lehet	lehet
Chip elem és huzal automata beültetés	jó	jó	lehet	lehet	lehet
Hajlékony-huzalos csatlakozás	jó	rossz	rossz	lehet	rossz
Flip-chip	jó	lehet	rossz	?	rossz
Beam-lead	rossz	rossz	rossz	rossz	jó
Mikrotokozott félvezető	jó	jó	jó	rossz	jó

— a hordozó anyagát (fémbevonat és megmunkálhatóság szempontjából)

pl. kerámia hordozó esetén a megmunkálhatóság igen nehézkes, valamint munka- és beruházásigényes. Duroidnál ilyen probléma nincs

— a beültetendő eszközök homogén, illetve heterogén voltát.

Fontos szempont az, hogy egy-egy lapkán lehetőleg azonos tokozású, közel azonos nagyságú alkatrészek szerepeljenek.

Ilyen törekvés érezhető pl. az MBLÉ cég mikrotokozott gyártmányai esetében, ahol ugyanolyan tokozásban különböző feladatú bipoláris tranzisztorok FET-k, varicap diódák, kapcsoló diódák stb. szerepelnek az alkatrészválasztékban. Ezek mérete jól illeszkedik a chip ellenállások, ill. kapacitások kiviteli formájához is [22].

— mikrohullámú eszközök beültetése esetén a feltöltöttségi állapotot. Szereléskor ügyelni kell erre, mert az esetleg fellépő kisülés az eszközt tönkretetheti

— a sorozatnagyságot, mely nem lényegtelen a beültetés felszerszámozása (beruházás, beállítás) szempontjából. A ma korszerűnek mondható kötési és beültetési technológiák különböző körülmények közötti alkalmazhatóságánál irányadó lehet az 5. táblázat [23].

A táblázat értékelésénél látható, hogy minden egyes módszernek van előnye és hátránya. Az alkalmazandó módszer kiválasztásánál minden esetben mérlegelni kell, hogy az adott előnyök kompenzálják-e a velejáró hátrányokat, illetve mely szempontokat (megbízhatóság, frekvencia, sorozatnagyság stb.) kell mindenképpen szem előtt tartani.

Mikrohullámú berendezések áramkörei esetében a mikrotokozott félvezetők alkalmazása nyújtja a legtöbb előnyt, és általában ezt is használják.

A miniatűr alkatrészek kezeléséhez nem elégségesek a hagyományos munkaeszközök. A pontos beállításához az emberi szem kevés, ezért mikroszkóp szükséges. Az alkatrészeket igen kisméreteik miatt csipesszel megfogni nehézkes, ezért vákuumos megfogók kifejlesztése vált szükségessé.

Az alkatrész-beültetés esetében is érvényes az, hogy mindig mérlegelni kell az adott feladatot, és ez alapján kell a szükséges beruházásokat megindítani, ill. az 5. táblázatban felsorolt módszerek valamelyikét alkalmazni az optimális megoldás érdekében.

Köszönetnyilvánítás

A szerzők köszönetüket fejezik ki Herpy Miklósnak a cikk elkészítése során nyújtott segítségével, dr. Bálint Lajosnak a szabványosítási kérdésehez fűzött megjegyzéséért, dr. Vértessy Miklósnak a kézirat rendezése során nyújtott értékes tanácsaiért. A 4. ábrán bemutatott áramkört Geleji Vilmos és Farkas János tervezte. A közölt fényképek Kiefer Jánosné gondos munkáját dicsérik.

IRODALOM

- [1] RT/Duroid DATA SHEET, 1/78 Revised; ROGERS Corporation Micromat Division, Box 700, Chandler AZ 85224.
- [2] Ceramic Substrates and Components for the Electronics Industry Bulletin No. 755, 3M Company, Saint Paul, Minnesota 55101.
- [3] Microwave Materials Product Bulletin No. 8. 3M Company Saint Paul, Minnesota 55101.
- [4] Microwaves, Vol. 17, No. 9. Sept. 1978. p. 119.
- [5] Microwave Journal, Vol. 21, No. 4. Apr. 1978. p. 36.
- [6] Dr. I. J. Bahl, Ramesh Garg: A Designer's Guide To Stripline Circuits; Microwaves, Vol 17. No. 1. Jan. 1978 pp. 90—96.
- [7] H. Howe: Stripline Circuit Design, Artech House, Massachusetts (1974).
- [8] Sanford S. Lehrfeld: Hints and Kinks for Your MIC Package Design; Microwaves, Vol. 12, No. 3. Mar. 1973. pp. 62—64.
- [9] Novák, Krasovics, Baranyi: Tranzisztoros teljesítményerősítő a 4 GHz-es frekvenciasávra. TKI—I—333—1. sz. KGM tanulmány.
- [10] Bálint L.: Inhomogén keresztmetszeti dielektromos kitöltésű többvezetős tápvonalak hálózati modellezése, Kandidátusi értekezés, Budapest, 1975.
- [11] Ripka G.: Elektronikai technológia, Tankönyvkiadó 1976.
- [12] TRW Semiconductors Data Sheet.
- [13] VITRAMON INC BOX 544 BRIDGEPORT CONN. 06601 USA DATA SHEET.

HÍRADÁSTECHNIKA XXX. ÉVF. 1979. 8. SZ.

- [14] ERIE TECHN. PROD., ERIE PENN 16512 USA
DATA SHEET.
- [15] LCC—CICE Composants Electroniques SA 128 Rue
de Paris F—93104 Montreuil RC Paris. CATALOGUE.
- [16] JOHANSON. MAN. CO. ROCKAWAY VALLEY ROAD
BOONTON NJ 07005 USA DATA SHEET.
- [17] JFD ELECTR. CORP. 15th Avenue At. 62nd Street
BROOKLYN NY 112/a USA DATA SHEET.
- [18] EMERSON CUMING INC. CANTON MASS. 02021
USA DATA SHEET.
- [19] EPOXY TECHNOLOGY INC. 14. FORTUNE DRIVE
BILLERICA MASS. USA DATA SHEET.
- [20] Aremco Products Inc. Data Sheet.
- [21] DIAMANT—KITTE D407 RHEYDT PF 70 BRD
DATENBLATT.
- [22] MBLE 80. rue des Deux Gares B—1070 Bruxelles
CATALOGUE.
- [23] Proc of the European Hybrid Microelectronic Conference
Bad Homburg 1977.