

## Szigetelő alapú hibrid integrált áramkörök

ETO 621.3.049.7—111.001.2:681.325.65

1. táblázat

A cikkben a vékony- és vastagréteg technológia, a fontosabb elektromos paraméterek és tervezési szempontok, néhány — a Híradástechnikai Ipari Kutató Intézetben kidolgozott — hibrid áramkör, valamint a különböző perspektív alkalmazási területek kerülnek bemutatásra.

### Bevezetés

Az elektronika és az alkatrészgyártás-technológia fejlődése az egyre fokozottabb igényeket kielégítő miniatürizálás felé vezet. Az integrált áramkörök ezen tendencia realizálásaként foghatók fel, alkalmazásuk az elektronikus berendezések megbízhatóságában jelentős fejlődést eredményezett. A félvezető alapú integrált áramkörök mellett a szigetelő alapú integrált áramköröknek is jelentős szerep jut. Azokon a területeken, ahol a felhasznált áramkörök darabszáma típusonként kisebb, vagy a passzív hálózattal szemben támasztott követelmények nagyobbak, és a kis méret, valamint a nagyfokú megbízhatóság szükségessé teszi az integrált áramkör alkalmazását, a vékony- vagy a vastagréteg áramkörök kerülnek felhasználásra. Az áramkörök kis költséggel igen rövid idő alatt kifejleszthetők és gyártásuk néhány ezer darab esetén is gazdaságos.

### Vékony- és vastagrétegek elektromos paraméterei

A vékony- és vastagréteg szigetelőalapú integrált áramkörök alapvetően nagystabilitású ellenálláshálózatok, amelyek rendelkeznek a szükséges kontaktus felületekkel és gyakorlatilag mentesek a parazita elemektől. Ezen ellenálláshálózatok stabilitására jellemző, hogy például króm-nikkel vékonyréteg ellenállások az ezerórás stabilitásvizsgálatok alatt, kisebb mint 0,1%-os értékváltozást mutatnak. Mindkét réteg-technológiában lehetőség van az ellenállások utólagos beállítására, ami a precíziós ellenálláshálózatok létrehozásának elengedhetetlen feltétele.

A kondenzátorok maximum 30 nF/cm<sup>2</sup> értéktartományig kiegészíthetők; ez egyben azt jelenti, hogy a nagyobb kapacitásértékű kondenzátorok, valamint az aktív elemek egy külön beültetési művelettel kerülnek az ellenálláshálózatra, — ebből adódik ezen áramkörök elnevezése: hibrid integrált áramkör. Az 1. táblázatban egy összehasonlítás látható a vékony- és vastagrétegek legfontosabb paramétereiről.

A tervezési szempontokat a fentiek egyértelműen meghatározzák. A lehetőleg minimális számú hibrid

	Vékony réteg	Vastag réteg
hordozó vezető	üveg arany	kerámia vezetőpaszta (Du Pont)
vezető és ellenállás felvitele	vákuumgőzölés v. porlasztás	szitanyomás
ellenállás	NiCr vagy Ta	ellenálláspaszta (Du Pont)
értéktartomány	10 Ohm — 100 kΩ	1 Ohm — 10 MΩ
tűrés	± 20% — ± 0,5%	± 20% — ± 2%
Ohm/□	50 — 1500 Ohm/□	10 Ohm/□ — — 1 MOhm/□
hőmérsékleti együttható (10 <sup>-6</sup> )	± 50	± 150

elem — azaz a dióda, tranzisztor, kondenzátor —, valamint az ellenálláshálózat döntő szerepe jellemzi ezeket az áramköröket, ugyanakkor lehetőség nyílik viszont az npn—pnp kombináció tetszés szerinti alkalmazására.

A HIKI-ben általában hagyományos gyantás-ön forrasztással szereljük az áramköröket. A felhasznált hibrid alkatrészek SOT 23 tokozású tranzisztorok és szintén tokozott tantál vagy kerámia kondenzátorok. Jelenleg folyik a tokozáslan félvezető eszközök beültetésének bevezetése az áramkör gyártásba, először a vastagréteg áramköröknél. Ezzel a félvezető választék ugrásszerűen kibővül, ami az elektromos tervezés szempontjából igen előnyös.

### Vastagréteg technológia és hibrid áramkörök

A vastagréteg áramkörökhöz általában 95—99% Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> tartalmú 1/2"×1" ill. 1"×1" kerámia lapkákat használunk, amelyeket intézetünkben állítanak elő. A hordozó lapkákra a vastagréteg (5—50 μ vastagságban) vezetőhálózat, ellenállások és kondenzátorok felvitele precíz szitanyomó berendezésekkel történik. A használatos nyomtató berendezés félautomatikus, a hordozó lapkák ki- és behelyezését kézzel végzik. A lapkára felvitt réteget szárítás után speciális — ún. conveyor-kemencében égetik ki. Az ellenálláshálózat kialakításánál igen kritikus a berendezések minősége; pontos értéken kell tartani az ellenállásréteg méreteit, a nyomtatott réteg vastagságát és a beégetési hőprofil. Közepes minőségű ellenállás-

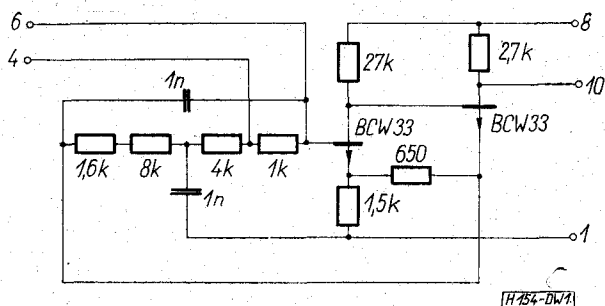
pasztával kapott ellenállások 90%-a a  $\pm 10\%$  érték-tűrésen belül készíthető. A kis-tűrésű ellenállásokat (1–5%) utólagos beállítással, trimmeléssel készítjük. A trimmelés speciális homokfúvó berendezéssel történik, mely az ellenállásréteget lekoptatja a hordozó lapkáról. A homokfúvó automatikus leállítását az ellenállásmérő végzi. Az ellenállás- és vezetőhálózat végleges kialakítása után történik a hibrid elemek beültetése. Ezt az áramkörök tokozása követi, mely-nél epoxigyantás kiöntést, műanyag vagy fémtok-ban, illetve fröccs-sajtolást egyaránt használunk. Az egyes műveletek után szükség szerinti ellenőrzés, majd a kész áramkör végmérése fejezi be a gyártási folyamatot. Az alábbiakban három — a HIKI-ben gyártott — vastagréteg áramkört mutatunk be.

TH-4

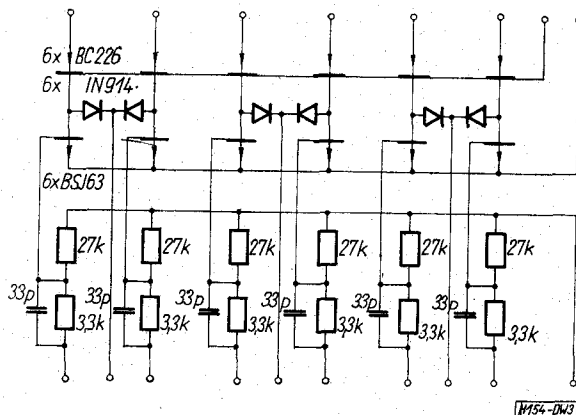
A  $12,5 \times 25$  mm méretű vastagréteg áramkör FM távirókészülék LC-oszcillátora. A nagystabilitású hőmérsékleti együtthatóra összeválogatott rezgőkör az áramkörön kívül helyezkedik el. Az áramkör meg-lehetősen sok hibrid elemet — 6 tranzisztort, 1 dió-dát, 4 tantál kondenzátort — tartalmaz, a széles ellenállástartományt felölelő ellenálláshálózaton ki-vül. A pontos kimenő ellenállás —  $R 16 5,01 \text{ k}\Omega$   $\pm 2\%$  — többtagú szűrőhöz való pontos illesztést biztosít. A frekvencia-stabilitás a tápfeszültség  $\pm 5\%$  változása és  $+5 \text{ }^\circ\text{C} \dots +50 \text{ }^\circ\text{C}$  közötti hőmérséklet-tartományban jobb mint  $10^{-4}$ .

TE-4

Az áramkör áthidalt T-kapcsolású hangfrekvenci-ás RC oszcillátor. Az áramkör 13–20 kHz közötti tartományban 10 különböző frekvenciára állítható, az ellenállások trimmelésével.



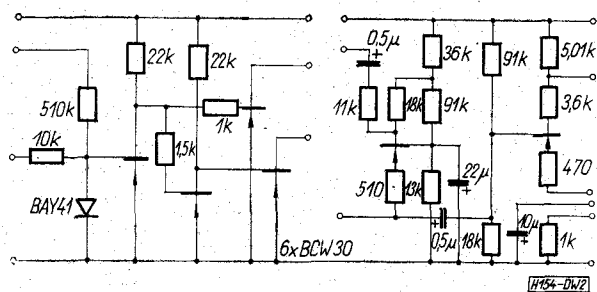
1. ábra. TE-4 típusú RC oszcillátor kapcsolási rajza



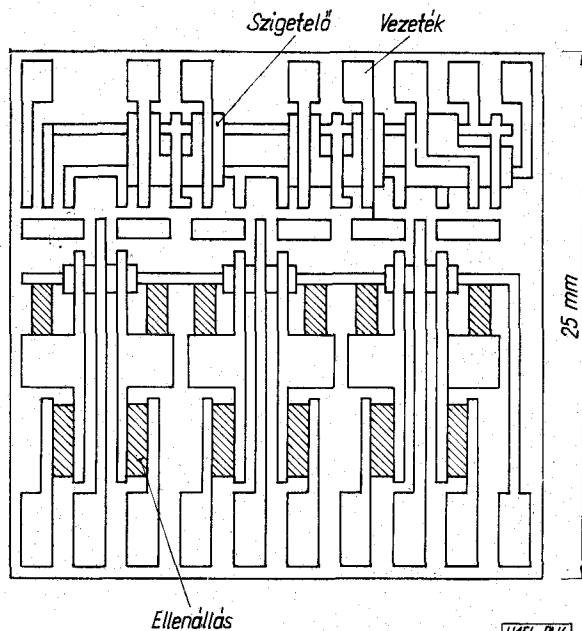
3. ábra. RH-2 típusú digitál-analóg konverter kapcsolási rajza

Főbb adatai a következők:

Tápfeszültség	$24 \text{ V} \pm 10\%$
Áramfelvétel	max. 2 mA
Frekvenciastabilitás $\pm 10\%$ tápfeszültség és	$\leq 1\%$
$-10 \dots +55 \text{ }^\circ\text{C}$ között	
Kimenőfeszültség	$1,5 \text{ V} \pm 1,5 \text{ dB}$
Torzítás	$\leq 10\%$
Kimenőellenállás	$2,5 \text{ k}\Omega \pm 30\%$



2. ábra. TH-4 típusú FM oszcillátor kapcsolási rajza



4. ábra. RH-2 vastag réteg áramkör topológiája

RH-2

Az áramkör rövid kapcsolási idejű digitál-analóg konverter. A vastagrétegben kidolgozott áramkör egyúttal technológiai továbbfejlesztés is. Az  $1'' \times 1''$ -os kerámia hordozón a szigetelőpaszta felyomtatás-ával többszörösen keresztezett vezetőhálózat van.

Másrészt az áramkör szerelése is hibrid. A kondenzátorok és kivezetők forrasztással, a félvezető alkatrészek pedig fokozatban chip-formában beültetve kerülnek a hordozóra, amelynek nagyított rajzát a 4. ábrán mutatjuk be.

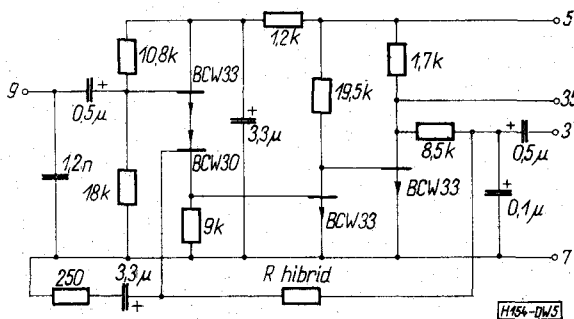
**Vékonyréteg áramkörök**

A vékonyréteg áramkörökhöz üveg hordozót használunk, általában  $30 \times 40 \times 0,5$  mm-es méretben, amelyek későbbi darabolással kapják meg az áramkörhöz szükséges alakjukat. A nikkkel-króm ellenálláshézagot bimetall-kontaktmaszkon keresztül vákuumpárológatással kerül fel a hordozóra. Általában  $300 \text{ Ohm}/\square$  fajlagos ellenállást használunk. A gyakorlatilag használható ellenállások értékei  $50 \text{ Ohm}$  és  $50 \text{ kOhm}$  között vannak, melyeket az ellenállás hossz-szélesség arányával lehet beállítani. A kontakt-réteg arany, amely gőzölése szintén maszkon keresztül történik. Az így készített ellenállások  $\pm 10 - \pm 20\%$ -osak, amely értékszórás a fajlagos ellenállás szórásából és a geometriai pontatlanságból származik. Az ellenállás-arányok viszont ezzel az eljárással  $\pm 5\%$ -on belül vannak, még a legvékonyabb  $0,2 \text{ mm}$  széles ellenálláscsíkoknál is. Az ellenállásértékeket szükség esetén utólagos justírozással — wolfram-tűs feszültség alatti beégetéssel — pontosítjuk.

A precíziós ellenálláshálózatokat vákuumporlasztott tantál ellenálláshézagból állítjuk elő. Az értékek pontos beállítása elektronikus marással történik. Így készülnek a precíziós ellenálláslétrák, osztó és csillapító tagok, melyeket egyre szélesebb körben alkalmaz az elektronikai ipar.

A vékony- és vastagréteg áramkörök tokozása hasonló módon történik.

A továbbiakban néhány vékonyréteg integrált áramkört mutatunk be.



5. ábra. BH-1A típusú hangfrekvenciás előerősítő kapcsolási rajza

**BH-1A**

Az áramkör hangfrekvenciás előerősítő és limiter teleses FM adókészülékek számára. A fémházba epoxigyantával kiöntött áramkör komplett egység, mely külső kiegészítő elemeket nem igényel. Az áramkör speciális célokra konkrét megrendelésre készül.

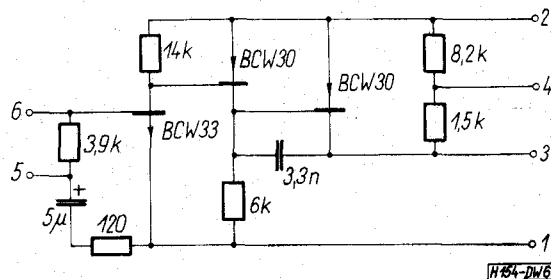
**Főbb elektromos adatok:**

Tápfeszültség	$9,4 \text{ V} \pm 10\%$
Névleges kimenő feszültség	$390 \text{ mV} \pm 2,5 \text{ dB}$

Névleges bemenő feszültség	$2 \text{ mV} \pm 2 \text{ dB}$
Torzítás ( $U_{ki}$ névlegesnél)	$\leq 3\%$
Frekvenciamenet $300 - 3400 \text{ Hz}$	$\pm 1,5 \text{ dB}$
Limitálás $U_{ki \text{ max}}$	$U_N + 3 \text{ dB}$
Limitálás frekvenciamenete $300 - 3400 \text{ Hz}$	$-6 \text{ dB/oktáv}$
Hőmérséklet-tartomány	$-25 \text{ }^\circ\text{C} \dots +50 \text{ }^\circ\text{C}$

**HJ-2**

Egy speciális hangfrekvenciás áramkört képviselnek a nagyothalló erősítők. Az áramkör 3 tranzistoros erősítő, mely a tranzisztorokon kívül csak két hibrid kondenzátort tartalmaz.

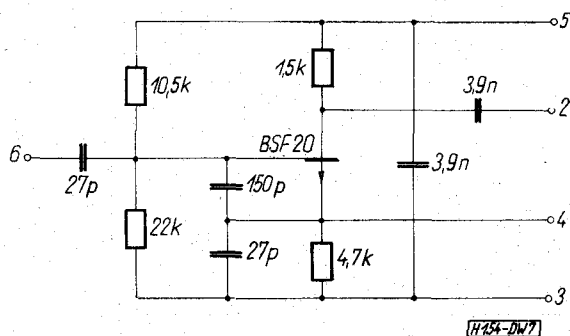


6. ábra. HJ-2 típusú hallásjavító erősítő kapcsolási rajza

**Főbb elektromos adatok:**

Tápfeszültség	$1,1 - 1,7 \text{ V}$
Feszültségerősítés	$60 - 72 \text{ dB}$
Határfrekvenciák	$300 \text{ Hz}, 5000 \text{ Hz}$
Kimenő teljesítmény ( $Z = 350 \text{ Ohm}$ )	$1,5 \text{ mW}$
Teljes áramfelvétel	tipikus: $3,5 \text{ mA}$ max. $5 \text{ mA}$

A kapcsolás igen nagyfokú hőmérséklet- és tápfeszültség-függetlenséget, valamint stabilitást biztosít szűrő-kondenzátor nélkül. Nagy belső ellenállású telep esetén is stabil. A munkapont beállítás és az erősítő újszerű megoldásra szabadalmi oltalmat nyertünk. Ezt az alapáramkört kiegészíthetjük egy előerősítő és szabályzófokozattal. Ezen új áramkörben az automatikus erősítés szabályzás  $50 - 60 \text{ dB}$ . A feszültségerősítés min  $80 \text{ dB}$ . A frekvenciahatár, kimenő teljesítmény és fogyasztás az alapáramkörhöz képest változatlan.



7. ábra. BH-4 típusú kvarc-oszcillátor kapcsolási rajza

BH—4

Az áramkör egytranzisztoros oszcillátort tartalmaz 10 MHz körüli frekvenciájú kvarckristályhoz. Keskenysávú FM adó-vevő készülékek számára készül. Az áramkör stabilitására a következő adatok jellemzők:

Tápfeszültség	9,4 V $\pm$ 10%
Kimenőfeszültség	1,5 V $\pm$ 20%
Kimenőfeszültség változás	max, $\pm$ 15%
Frekvenciastabilitás	$10^{-6}$
Hőmérséklet-tartomány	-25 ... +50 °C

A fenti példákön kívül intézetünkben több mint 30 különböző speciális lineáris vékony- és vastagréteg áramkör készül.

Intézetünk specialitása a különösen zajvédett ipari Zener-diódás logikai — (DZTL) — vékonyréteg áramkörcsalád, valamint a TTL—MOS és egyéb interface-áramkörök.

Néhány példa: a H1 101 *npn* és a H1 201 *pn* négyes inverter, MLB—1 DTL speciális kapuáramkör, MLB—2 szélessávú erősítő és limiter, melyek normál TTL áramkörök perifériális területeire készültek.

#### A technológia fejlesztésének irányai

A HIKI Kísérleti Gyártási Főosztályán 1972. évben közel 50 000 darab hibrid integrált áramkör készül. Az áramkörökkel szemben támasztott igények — az ellenállásokra vonatkozó szűk abszolút és relatív tolerancia, széles ellenállásérték tartomány közel zérus hőmérsékleti együttható, jó stabilitási tulajdonságok — egyértelműen meghatározzák mindkét „réteg” technológiai fejlesztési irányát. A vékonyréteg technika területén a szűkebb ellenállás-tolerancia realizálására a jóval drágább, de nagy hőmérsékleten nem deformálódó molibdén maszkok alkalmazása, vagy a fotolitográfiai úton készülő ellenállás- és vezetékhalózat kialakítás, illetve a tantál technológia nagy volumenű gyártásba vitele ad lehetőséget.

A vastagréteg ellenállások szűkebb toleranciáját, jobb elektromos paramétereit részben az igen drága, újabban kifejlesztett ellenálláspaszták és a finomabb rajzolatot biztosító „on-print” szitanyomó berendezések alkalmazásával, valamint — mindkét rétegtechnika vonatkozóan — a jóval termelékenyebb és a dinamikus trimelést is lehetővé tevő lézersugaras trimmelés bevezetésével tudjuk megvalósítani.

Jelen cikk végén szereplő alkalmazási területek (nagyfrekvenciás, nagy disszipációjú áramkörök) teszik szükségessé a tokozatlan félvezetők (chipek) alkalmazását. A chip-beültetés mellett és ellen szóló érvek ismertetését mellőzve kívánjuk lerögzíteni, hogy ma már a nagy bonyolultságú, hibrid MSI, LSI áramkörök realizálása el sem képzelhető folyamatos gyártásba vitt, nagy megbízhatóságú chip beültetési technológia nélkül. Ezen terület problémáit éppen csak megemlítve a következők állapíthatók meg: a chipek átadás-átvételére vonatkozóan sem a csomagolásra teljes szelet formájában (tördelt formában és gyengén adhéziós hengerelt plasztik fóliába csomagol-

va, üvegsövecskében, semleges folyadékban, ömlesztve stb.), sem pedig az elektromos paraméterek garantálására sincs egyöntetű, véglegesen kialakult gyakorlat; röviden a tokozatlan félvezető sokkal kevésbé ismert építőelem, mint tokozott kiviteli formája. A különféle beültetési és huzalkontaktálási módszerek (eutektikus, forrasztásos, és ragasztó eljárás), illetve termokompressziós és ultrahangos hegesztésre, elektromos paraméterekre vonatkozó hatása további nehézséget jelent a kész hibrid áramkör dinamikus tulajdonságainak kialakításánál.

Az előzőekben már említett csak félvezető alapú LSI technológia, bár igen nagy mértékben fejlődik, a közeljövőben könnyen megvalósítható kivételben készülő LSI áramkörök csak a többréteges (multilayer) vastagréteg technika segítségével készíthetők. A problémát a nagybonyolultságú logikai áramkörök nagyszámú vezeték keresztvezése okozza. A megoldást olyan szigetelő anyag készítése jelenti, melyet — egymás fölé rétegezve és rétegenként különböző vezetékhalózattal ellátva — az újraégetés nem lágyít meg és ezáltal az egymás fölött lévő vezetékhalózatok sem mozdulnak el. Az egyik megoldás egy olyan paszta alkalmazása, amelyben egy kezdetben üvegszerű anyag — a hevítés folyamán — átalakul egy üvegszerű és egy kristályos fázis keverékévé, amely így már biztosítja a kellő szilárdságot, az eredeti beégetési hőmérsékletet (850 °C) felett is. Ezen paszta segítségével 5—6 rétegű vezeték keresztvezetődés valósítható meg. A másik megoldás szinte tetszés szerinti egymásra rétegeződést tesz lehetővé. Ez esetben ugyanis a még nyers, de már a szükséges vezetékkel és az átvezetést biztosító lyukakkal ellátott kerámia lapkákat egymásra helyezve — a vezeték keresztvezetődésekből adódó számban — egyszeri nagy hőfokon történő beégetéssel lényegében egy „monolit” multilayer szerkezethez jutunk.

A fentiekben csak vázlatosan kívántuk a technológia különböző fejlesztési területeit érinteni a teljesség igénye nélkül.

#### Perspektív alkalmazási területek

A növekvő alkatrészsűrűség, valamint az áramkörökkel szembeni fokozott követelmények indokoltá teszik, hogy a tokozatlan elemi félvezető áramkörökön kívül monolit, vagy beam-lead integrált áramköri chipek is szerepeljenek a hibrid áramkörökben. A szigetelő alapú integrált áramkörben az egyes áramköri elemekkel nem kell számolnunk, ami nagyobb integrált áramköri egység létrehozását biztosítja. Itt rendkívüli előny, hogy adott technológia mellett az áramkörök kifejlesztése igen rövid idő alatt aránylag kis költséggel elvégezhető, s a gyártásuk kis darabszám mellett gazdaságos. Digitális chip áramkörök beültetése a hibrid áramkörbe egyszerű lehetőséget ad az áramkörök bonyolultságának fokozására. Lineáris áramkörökkel — elsősorban művelési erősítőkkel — való kombinálásuk lényegében hasznosított terület az analóg-digitális konverterek esetében, ahol a precíz ellenálláshálózatnak — pl. tantál — is igen jelentős szerep jut.

Hasonló egyedülálló lehetőség kínálkozik az aktív RC-hálózatok, szűrők integrálására is. A hálózatelmélet fejlődésével mind több helyen alkalmaznak aktív RC-szűrőket a hagyományos induktivitást tartalmazó szűrők helyett. Ennek például az adatátviteli berendezés méreteinél és megbízhatóságánál van jelentősége. Ezen áramkörök célszerű építőelemei a monolit műveleti erősítők, valamint a csupán rétegtechnikával megvalósítható stabil RC-hálózatok. Egészen speciális, csak szigetelő alapú integrált áramkörben megvalósítható terület az elosztott paraméterű RC-hálózatok. Ehhez a tantál vékonyréteg technika áll legközelebb, mely lehetővé teszi a hőfokkompenzált ellenállás és kondenzátor készítését, amelyek a legnagyobb igényeket is kielégítik. Természetesen az elosztott RC-hálózatok kombinálása aktív elemekkel kézenfekvő.

Az alumíniumoxid kerámiák jó hővezető képessége is kihasználható a vastagréteg áramköröknél. Ez különösen a beültetett félvezetőeszközök terhelhetőségét növeli meg. Ez például teljesítményerősítő integrálását is lehetővé teszi, ahol egyúttal a komplemen-

ter tranzisztorok alkalmazásának lehetősége is fennáll.

A kerámiahordozó előnyös dielektromos tulajdonságait használjuk ki a nagyfrekvenciás áramköröknél. Ilyeneknek tekinthetők a vastagréteg vezetőlózzattal létrehozható mikrohullámú tápvonalak is. Az aktív elemek beültetése a szórt kapacitások és veszteségek csökkenésével jár. Ennek megfelelően a nagyfrekvenciás, illetve szélessávú áramkörök általában vastagréteg integrálási technikával készülnek, amit a kis darabszám és a nagy munkaigény is indokol.

### Összefoglalás

Az egyre fokozódó megbízhatósági követelményeket kielégítő, illetve egyre nagyobb bonyolultsági fokot elérő integrált áramkörök realizálásában igen fontos szerepe van a hibrid rétegtechnikának, amit a hazai és világméretekben is fokozódó kereslet bizonyít. Ebben a cikkben a Híradástechnikai Ipari Kutató Intézetében folyó kutató és kísérleti gyártási munkák eredményeit és feladatait kívántuk összefoglalni.