

RIPKA GÁBOR—PAPP KÁROLY—ALBRECHT MIKLÓS
BME Elektronikai Technológia Tanszék

Vastagréteg integrált áramkörök tervezése

ETO 621.3.040.776.001.2:681.3.06

A Finommechanika-Mikrotechnika 1973. évi 7. és 8. számában megjelent tanulmányokban foglalkoztunk a szigetelő alapú vastagréteg integrált áramkörök technológiájával. Az ott közöltek ismertnek feltételezve jelen tanulmányban a vastagréteg integrált áramkörök főbb tervezési szempontjait szeretnénk bemutatni.

A konstrukciós kérdéseket nagymértékben meghatározó alábbi tényezőkkel nem kívánunk részletesen foglalkozni:

- anyagok (hordozó-, vezető- és ellenálláspaszták stb.),
- technológiai paraméterek,
- hibrid elemek szerelési technológiái.

A konstrukció során ezeket, mint kiindulási alapadatokat fogjuk figyelembe venni.

A vastagréteg integrált áramkörök jellemzője, hogy a kerámia hordozóra szitanyomtatás ciklikus ismétlésével viszik fel a vezető, ellenállás és szigetelő rétegeket. Ezen rétegekből kialakított elektromos hálózatok vezetőpályákból, ellenállás és kapacitás alkatelemekből állnak, amelyek a különböző anyagösszetételű paszták megfelelő sorrendben történő felvitele után szárítási és beégetési műveletek során nyerik el végső formájukat és elektromos paramétereiket.

Az így kialakított ellenállás hálózat jellemzője a széles értéktartomány, közepes stabilitás, jó terhelhetőség. Az így megvalósítható kondenzátorok értéktartománya korlátozott.

Lehetőség van az áramkörökbe a mikroelektronikában alkalmazható kötési technológiákkal különböző passzív (ellenállás, kondenzátor, induktivitás) és aktív elemek (dióda, tranzisztor stb.) utólagos beültetésére.

A fentiek figyelembevételével a vastagréteg integrált áramkörök konstrukciója az alábbi fő részekre tagolható:

1. Az integrálásra kerülő hálózat kapcsolástechnikai szempontok szerinti értékelése.

2. Az adott áramkör megvalósításához szükséges vastagréteg technológiával előállítható, vagy ahhoz igazodó elemkészletek kiválasztása.

3. A vastagréteg áramkörhöz külső elemként beszerelésre kerülő aktív és passzív elemek megkívánta szerelési technológia kiválasztása. (Különösen fontos félvezető chip elemek vastagréteg áramkörökbe történő közvetlen beültetése esetén.)

4. Vastagréteg alapanyagok megválasztása. Vezető és ellenálláspaszták kompatibilitása egymással, valamint a hibrid elemek beültetéséhez szükséges technológiával.

5. Megbízhatóság, klimatikus követelmények szerinti értékelés a tokok —, tokozási technológia megválasztásához.

6. Vastagréteg áramkör tervezése:

- Ellenállások méretezése.
- Kivezetésszám igény szerinti hordozóméret kiválasztása.
- Ellenállások, kivezetések, huzalozás, hibrid elemek elhelyezéséhez szükséges hordozóméret megválasztása.
- Huzalozás méretezése méret, mechanikai, elektromos és hibrid elemek beültetési technológiája megkívánta szempontok figyelembevételével.
- Végleges elrendezés (topológia) megtervezése.

A következőkben a vastagréteg áramkörök konstrukciós tervezésének a fentiekben ismertetett szempontjai közül az alábbiakat kívánjuk részletezni a teljesség igénye nélkül:

1. Az integrálásra kerülő hálózat kapcsolástechnikai szempontok szerinti értékelése,
2. vastagréteg áramkörök tervezése.

Az integrálásra kerülő hálózat kapcsolástechnikai szempontok szerinti értékelése

Első lépés a kapcsolat vizsgálata, hogy alkalmas-e vastagréteg integrált áramköri megvalósításra.

A vizsgálat szempontjai:

- ellenállások előírás szerinti vizsgálata,
- huzalozással szemben támasztott követelmények vizsgálata,
- kondenzátorok előírás szerinti vizsgálata,
- annak vizsgálata, hogy a vastagréteg áramkörökhöz illeszkedő tipizált passzív és aktív alkatrészekkel az adott kapcsolás igényei kielégíthetők-e,
- a kapcsolat megváltoztatása, ha erre mód van, az optimális vastagréteg formához igazodva,
- bonyolult kapcsolásoknál a rész-áramkörökre bontás optimalizálás.

Bár, mint említettük, vastagréteg technológiával kondenzátorok is megvalósíthatók, illetve ezen hálózatokba „chip” vagy mikrotokozott kondenzátorok beültethetők, mégis integrálás szempontjából előnyben részesülnek a kevés kondenzátort tartalmazó hálózatok. Egy másik gyakori megoldás külső elemként klasszikus kondenzátorok alkalmazása, különösen több μF értékű kapacitások esetén, és abban az esetben, ha az árkérdések elsődlegesek.

A vastagréteg áramkörök kiviteli forma, méretek szempontjából egységesítve, tipizálva vannak, és ezek jól illeszkednek a félvezető alapú integrált áramkörökhöz.

Vastagréteg áramkör tervezése

Ellenállások méretezése (téglány geometria esetén). Méretezés alapformulái:

$$R_1 = \rho \frac{l}{d \cdot v}, \quad F = l \times d, \quad P_1 = F \cdot P_D$$

- R_1 = tervezendő ellenállás,
- ρ = fajlagos ellenállás,
- l = ellenállás hosszmérete,
- d = ellenállás szélessége,
- v = ellenállásréteg vastagsága,
- F = ellenállásfelület,
- P_1 = tervezendő ellenállás terhelhetősége,
- P_D = disszipációs konstans.

Az alkalmazott anyag és technológia adta korlátok miatt az ellenállások méretezésénél az alábbi (kiinduló) feltételeket kell figyelembe venni:

Geometriai korlátok

- l_{\min} (ellenállás hossz. minimum): 0,5 mm
- d_{\min} (ell. szélesség minimum): 0,5 mm
- $\frac{l}{d} \approx 0,2\text{-től}$
- $\frac{l}{d} \leq 5$ téglány geometriánál
- F_{\min} (minimális ellenállásfelület) 1 mm²

Alkalmazott anyag és technológia korlátok

- R_{\square} az ellenállás paszták négyzetes ellenállásának értéksora: 10 ohm; 100 ohm...1 Mohm
- ΔR_{\square} a négyzetes ellenállásérték tűrése: $\pm 30\%$; $\pm 20\%$; $\pm 10\%$
- P_D fajlagos felületi disszipáció: 50 mW/mm² (a választott hordozó anyagának 300 mW/mm² függvénye)
- T_E (Értékbeállítás-korlát)
 - vágatszélesség $\frac{l}{d}$
 - megtett út $\frac{d}{2}$

Minimális ellenállásaszta-számra törekvés.

A tervezés lépései adott ellenállásonként

- Ellenállás értéke: R_1
- Tűrése: ΔR_1
- TK: TK_1
- Terhelhetőség: P_1
- Stabilitás: S_1

1. Ellenállásaszta típusának kiválasztása TK, terhelhetőség, stabilitás figyelembevételével.
2. A megvalósítandó ellenállás tűrésének figyelembevételével a technológiai szórás miatt korrekciós tényező bevezetése (érték alá tervezés), ahol R_{GY} = gyártott ellenállásérték (a fenti korrekció figyelembevételére).

$$R_{GY1} + \frac{Gy \cdot R_{GY1}}{100} = R_1 + \frac{\Delta R_1 \cdot R_1}{100}$$

Gy = gyártott érték várható tűrése a technológiai szórás figyelembevételére

$$R_{GY1} = R_1 \cdot \frac{100 + \Delta R_1}{100 + Gy}$$

Ha $\Delta R_1 = Gy$

$R_{GY1} = R_1$. Ebben az esetben korrekció (úgynevezett érték alá tervezés) nem szükséges.

3. Ellenállásaszta (R_{\square}) kiválasztása l/d korlát figyelembevételével:

$$R_{GY1} = \frac{l_{NI}}{d_{NI}} \cdot R_{\square N}$$

$$\frac{l_{NI}}{d_{NI}} = \frac{R_{GY1}}{R_{\square N}}$$

l_{NI} : ellenálláshossz R_{\square} névleges érték esetén,
 d_{NI} : ellenálláshossz R_{\square} névleges érték esetén.

Ellenállás felületének megválasztása

$$F_1 = \frac{P_1}{P_D}$$

Ha $P_1 < P_D$ felület minimum korlátot figyelembe kell venni, akkor

$$F_1 = F_{\min}$$

Ha értékeállítás szükséges, akkor az ebből adódó disszipációs problémák miatt az ellenállás felületének meghatározásakor kétszeres terheléssel ($2P_1$) kell tervezni,

$$F = \frac{2P_1}{P_D}$$

Az ellenállás méreteinek meghatározása

$$l_{N1} = d_{N1} \cdot \frac{R_{GY1}}{R_{\square N}}$$

$$F_1 = l_{N1} \cdot d_{N1} = \frac{P_1}{P_D}$$

$$l_{N1} = \sqrt{\frac{R_{GY1}}{R_{\square N}} \cdot \frac{P_1}{P_D}}$$

$$d_{N1} = \frac{F_1}{l_{N1}}$$

Vizsgálat geometriai korlátokra

$$l_{N1} \geq l_{min}$$

$$d_{N1} \geq d_{min}$$

$$F_1 \geq F_{min}$$

Ellenállás paszta négyzetes ellenállásérték szórásának figyelembevétele

Tekintettel arra, hogy a vastagréteg-pasztagyártók ellenállás pasztaikat ± 10 , ± 20 , 30%-os érték-szórással szállítják, ezért szükség van ezeknek figyelembevételére a tervezés során.

Ez az előbbieken meghatározott (l_{N1}) ellenállás-hossz változatlanul hagyása mellett az ellenállás szélességi méretének változtatásával történik (1. ábra).

$$d_{max1} = l_{N1} \frac{R_{\square max}}{R_{GY1}}$$

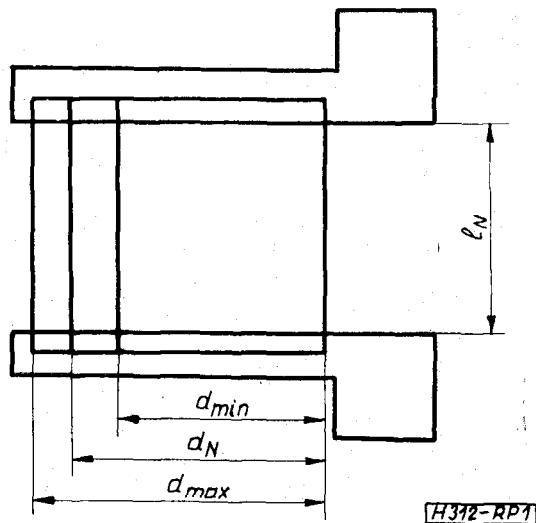
$$d_{min1} = l_{N1} \frac{R_{\square min}}{R_{GY1}}$$

Az R szita tehát három d értékre készül és a felhasználásra kerülő ellenállás paszta aktuális értéke szerint kerül kiválasztásra. Az l állandó feltétel egyben azt jelenti, hogy a vezetőláncot nem kell változtatni, de a d_{max} méretre kell megtervezni.

A fenti szempontok figyelembevételével méretezni kell a hálózat összes ellenállásait ($R_1 - R_N$).

A méretezés során törekedni kell a minimális réteg-számra.

Ez azt jelenti, hogy adott esetben, ha egy ellenállás az l/d korlát figyelembevételével több pasztával is megvalósítható, akkor azt kell előnyben részesíteni, amely nem hoz be új pasztát.



1. ábra. Vastagréteg integrált áramköri ellenállás

Hordozóméret megválasztása

- Kivezetések száma szerinti feltétel vizsgálata.
- Ellenállások összfelületének meghatározása (F_E).
- Kivezetők felületének meghatározása (F_K).
- Hibrid elemek felületigényének meghatározása (F_H).
- Összekötések felületének megbecslése ($F_{\bar{v}}$).
- Szabad hordozófelület (F_{SZ}).

$$\Sigma F = F_E + F_K + F_H + F_{\bar{v}} + F_{SZ}$$

Huzalozás méretezése

Méret, geometriai korlátok, minimális csíkszélesség, minimális csíkköz.

A kiválasztott vezetópaszta tulajdonságait és a technológiai korlátokat kell figyelembe venni.

Mechanikai kérdések vizsgálata. Hibrid elemek és kivezetők számára szükséges minimális huzalozás felület, mechanikai szempontok figyelembevételére.

Huzalozással szemben támasztott elektromos szempontok figyelembevétele, összekötések ohmos ellenállásának vizsgálata, huzalozás szórt paramétereinek vizsgálata, keresztkötéseket, többretegű huzalozást megvalósító áramkörök esetén.

Topológia tervezése

- a) Megválasztott hordozón a kivezető lábak részére csatlakozási felületek megtervezése.
- b) Ellenállások elhelyezése a hordozón.
- c) Hibrid elemek helyigényének megtervezése a hordozón.
- d) Vizsgálat, hogy a hálózat síkban kiteríthető-e?
- e) Szükséges-e esetlegesen huzalkereszteződéseket megvalósítani?
- f) Huzalozás megtervezése.
- g) Ellenállások értékeállítására részére szükséges terület megtervezése.
- h) Értékelés a technológia részére szükséges legfontosabb paraméterek rögzítésével.

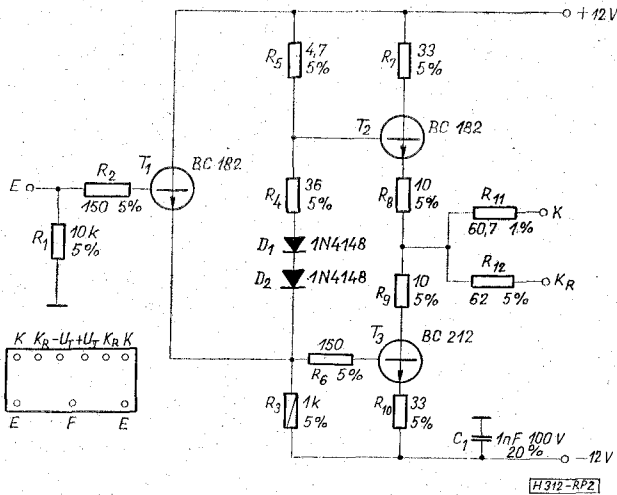
Tervezési mintapélda

A fentiekben vázolt tervezési szempontokat egy konkrét áramkör terveinek bemutatásával kívánjuk szemléltetni.

A példaként választott áramkör egy teljesítmény emitterkövető, amely videójel erősítéként kerül felhasználásra (Híradástechnikai Szövetkezet).

A W 9038 típusjelű video erősítő kapcsolási rajza a 2. ábrán látható. Az áramkör műszaki adatai:

- $U_T = \pm 12V \pm 5\%$
- $U_{be\ max} = 8V_{p-p}$
- $U_{ki\ max} \approx 4V_{p-p}$ ($R_T = 87\ \Omega$ -on „K” ponton mérve)
- $A_0 = 0,92 - 0,95$
- $U_{be} = 0$; $U_{ki} = 0 \pm 50\ mV/75\ \Omega$ lezáráson, DC szint-tartás)
- Kimenőellenállás K ponton = $75\ \Omega$
- K_R ponton $\approx 75\ \Omega$
- Frekvenciatartomány: DC, 0–10 MHz.



2. ábra. Mintaáramkör (teljesítmény emitterkövető)

A kapcsolási rajz alapján látható, hogy a szóban forgó áramkör vastagréteg integrált áramköri megvalósítás szempontjából kedvező: a kondenzátorok száma minimális, az ellenállások érték tartománya, disszipációja és kívánt érték pontossága kedvező és az aktív hibrid elemek kiválasztása nem jelent problémát.

Ezen utóbbi szempontnál meg kell még említenünk, hogy a diszkrét elemekből épült kivitelhez képest az aktív elemeknél nem javasoltunk típusmódosítást és ezzel méretcsökkentést. Ezt elsődlegesen áralkulációs kérdések indokolták, másrészt az eredetileg felhasznált aktív elemek a vastagréteg integrált áramkörbe is közvetlenül beültethetők voltak.

A 2. ábrán látható áramkör felépítésével meg egyező más típusú áramkört is meg kellett valósítani, vastagréteg áramköri kivitelben. A két kapcsolás a T_2 és T_3 tranzisztor típusmódosításán kívül az alábbiakban tér el egymástól: R_7 -nél 33 ohm helyett 100 ohm, R_{10} -nél 33 ohm helyett 100 ohm, R_8 -nál 10 ohm helyett 5 ohm, míg R_9 -nél 10 ohm helyett 5 ohm. A kismértékű különbség miatt célszerűnek mutatkozott a kétféle áramkör részére

egy közös, egységes topológiát készíteni és külön beforrasztott huzalok célszerű bekötésével biztosítani egyik vagy másik kapcsolást. Ezt a követelményt a topológia tervezése során messzemenően figyelembe vettük.

A 2. ábrán látható áramkör vastagréteg integrált áramköri megvalósítását a megbízhatóság javításán kívül a dinamikus jellemzők, a frekvenciatartománybeli viselkedés reprodukálhatóságának követelménye teszi indokolttá.

A vastagréteg, integrált áramkör megtervezésének első lépése az ellenállások technológiailag helyes méretezése és ezzel együtt az ellenállásaszta-féleségek optimális kiválasztása. Ehhez a számításokhoz egy számítógépes tervezőprogramot dolgoztunk ki, mely elvégzi az ellenállások (téglány alakzatú) méretezését és a pasztaféleségek optimális kilálasztását. A program MOSZT 2 nyelven készült az Odra 1204 típusú számítógépre.

A méretezéshez felhasznált adatok:

- az ellenállásaszták négyzetes ellenállása: $R_{\square 1} \dots R_{\square n}$
- az ellenállásaszták négyzetes ellenállásának érték-tűrése: $\Delta R_{\square 1} \dots \Delta R_{\square n} (\%)$
- az egyes ellenállások névleges értéke: $R_1 \dots R_n$
- az egyes ellenállásokon disszipálódó teljesítmény: $P_1 \dots P_n$
- az egyes ellenállások előírt érték-tűrése: $\Delta R_1 \dots \Delta R_n (\%)$
- a téglány alakú vastagréteg integrált áramköri ellenállások geometriai méretkorlátai:
 - szélességminimum: d_{\min}
 - hosszúságminimum: l_{\min}
 - felületminimum: F_{\min}
 - l/d viszony határai: l/d_{\min} és l/d_{\max}
- az ellenállás- és a huzalozásrétegek átlapolásának mértéke l_a
- a felületegységre megengedhető fajlagos disszipációs teljesítmény: P_D
- gyártási konstans G_y

az ellenállást ennek arányában kisebb értékűre méretezték a névleges értékéhez képest, hogy a gyártás után trimmeléssel megfelelő értékre állíthassák.

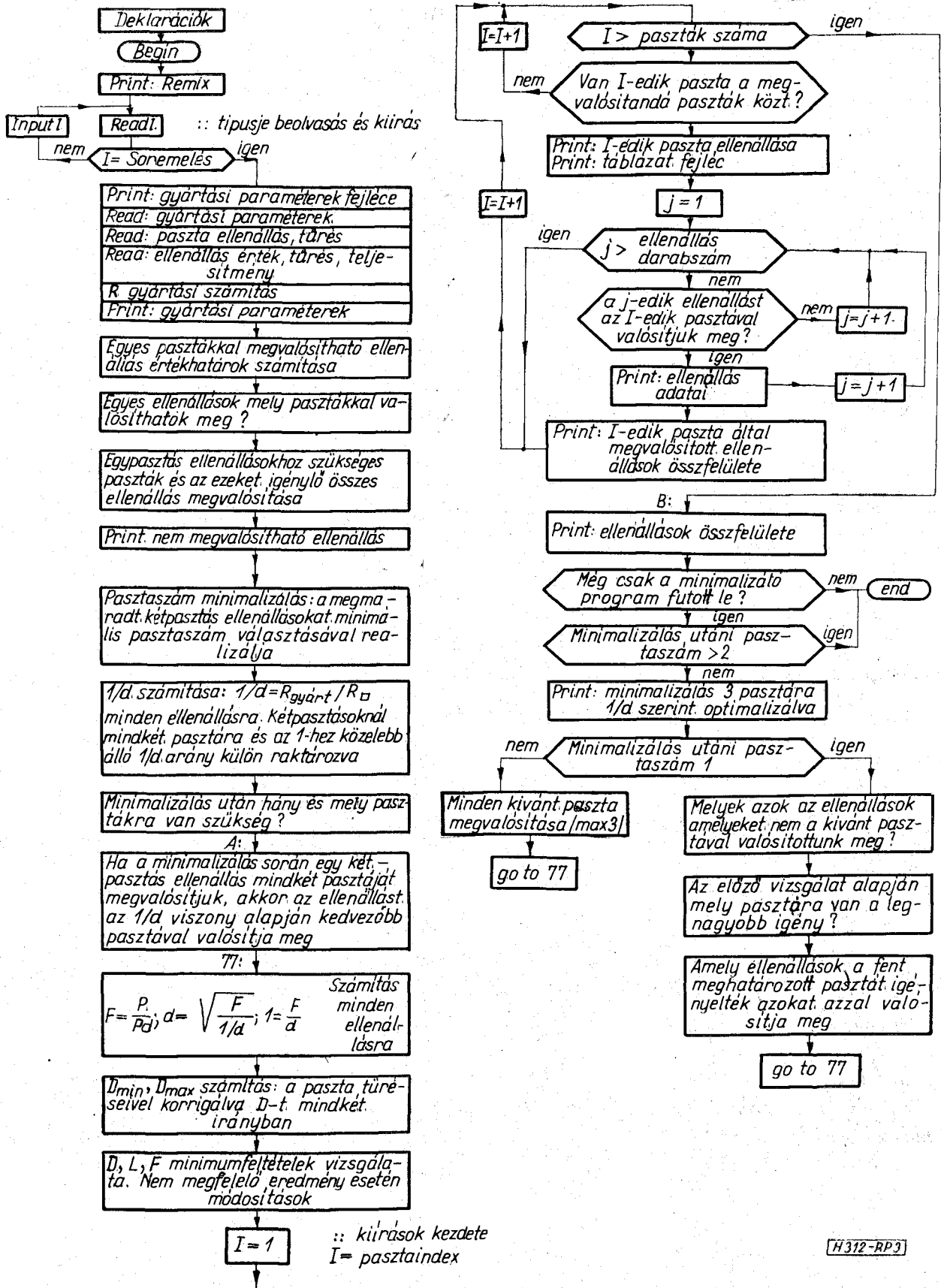
A méretezés menete

$$R_{gyártási} = R_n \frac{(1 + 0,01 \Delta R_n)}{(1 + 0,01 \cdot G_y)}$$

$$R_{gyárt} = R_{\square n} \cdot l/d, \quad l/d = \frac{R_{gy}}{R_{\square n}}$$

$$F = \frac{P_n}{P_D} = l \cdot d$$

Ha a következő feltételek teljesülnek, jó a méretezés,



3. ábra. Vastagréteg integrált áramköri ellenállások számítógépes tervezőprogramjának blokkvázlata

ha nem, akkor a kisebb értéket a minimumra kerekítve, újra számítjuk a másik kettőt:

$$F \geq F_{\min}$$

$$l \geq l_{\min}$$

$$d \geq d_{\min}$$

A program a kívánt paramétereket kétféle szempont alapján határozza meg. Ennek megfelelően kétféle táblázatot ad eredményként.

Az első szempont az ellenállások megvalósításához felhasznált paszták számának minimalizálása. Ezt természetesen csak akkor lehet végrehajtani, ha a paszták négyzetes ellenállásai és az ellenállások l/d arányának értékei olyan széles határok közt változnak, hogy az egyes paszták által megvalósítható ellenállástartományok közt átfedések jönnek létre. Ha egy ellenállás értéke belesik ebbe az átfedési tartományba, akkor, a program választhat, hogy mely pasztával valósítja meg az ellenállást.

Például: $R_1(1,2)$ }
 $R_2(2,3)$ }
 $R_3(4,5)$ }
 $R_4(5,6)$ } { ebben az esetben a minimális megoldást a 2. és 5-ös indexű paszták választéka adja.

zárójelben az alkalmazható pasztaindexek.

E két pasztával megvalósítható mind a négy ellenállás.

A második szempont az l/d arány alapján történő pasztaválasztás. Eszerint egy két pasztával megvalósítható ellenállást azzal a pasztával valósítjuk meg, amellyel az ellenállás alakja jobban megközelíti a négyzetet (azaz l/d közelebb van 1-hez).

E szempont alapján a program csak akkor választ új pasztát, ha a minimalizálás utáni pasztaszám 3-nál kevesebbre adódik. A gyártási technológia ugyanis általában megengedi a paszták számának kiegészítését 3-ra.

Ezután a kivitelező választhat, hogy melyik eredményt használja fel (a pasztaszám-minimalizálást, vagy pedig az l/d viszony alapján történő optimalizálást 3 pasztára).

A pasztaválasztás szempontjai 3 pasztára történő optimalizálásnál:

1. Ha minimalizálás után az adódik, hogy egy pasztával megvalósítható mindegyik ellenállás, akkor a második menetben a program megvalósítja az ellenállások által (az l/d viszony alapján) kívánt összes pasztát. Ezek száma maximum 3 lehet. Ugyanis, ha pl. a minimalizálás eredményeként a 3. indexű pasztával megvalósítható mindegyik ellenállás, akkor az l/d viszony alapján történő optimalizálásnál legfeljebb a 2. és 4. indexű paszták kerülhetnek még megvalósításra (feltételezve, hogy a paszták közt csak egyszeres átfedések vannak, tehát egy ellenállás legfeljebb két pasztával valósítható meg).

Vastagréteg integrált áramköri ellenállások számítógépes méretezése

ADATLAP

(az adatok a vastagon kihúzott keretekben az olvasás sorrendjében következnek egymás után)

Áramkör típusjel:	W9038		
Ellenállás minimális szélessége d_{\min}	0,5	[mm]	
Ellenállás minimális hosszúsága L_{\min}	0,5	[mm]	
l/d minimum	0,2		
l/d maximum	5		
Ellenállás minimális felülete F_{\min}	1	[mm ²]	
Megengedhető fajlagos disszipáció P_D	30	[mW]	
Az ellenállások és huzalozás átfedése	0,2	[mm]	
Gyártási állandó	20	[%]	
Ellenálláspaszták száma	6	[darab]	
Ellenálláspaszták	0,01	[kΩ]	tűrés [%]
	0,1	[kΩ]	tűrés [%]
	1	[kΩ]	tűrés [%]
	10	[kΩ]	tűrés [%]
	100	[kΩ]	tűrés [%]
	1000	[kΩ]	tűrés [%]

H372-RP4

Ellenállások száma		12	[darab]			
Ellenállások:	10	[kΩ]	5	[%]	125	[mW]
	0,15	[kΩ]	5	[%]	125	[mW]
	1	[kΩ]	5	[%]	500	[mW]
	0,036	[kΩ]	5	[%]	125	[mW]
	4,7	[kΩ]	5	[%]	125	[mW]
	0,15	[kΩ]	5	[%]	125	[mW]
	0,033	[kΩ]	5	[%]	250	[mW]
	0,01	[kΩ]	5	[%]	250	[mW]
	0,01	[kΩ]	5	[%]	250	[mW]
	0,033	[kΩ]	5	[%]	250	[mW]
	0,0607	[kΩ]	1	[%]	250	[mW]
	0,062	[kΩ]	5	[%]	125	[mW]
		[kΩ]		[%]		[mW]
		[kΩ]		[%]		[mW]
		[kΩ]		[%]		[mW]
		[kΩ]		[%]		[mW]
		[kΩ]		[%]		[mW]
		[kΩ]		[%]		[mW]
		[kΩ]		[%]		[mW]

4. ábra. Vastagréteg ellenállások számítógépes méretezésének adatlapja (a mintaáramkör adataival kitöltve)

REMIX A 9036

PARAMÉTEREK:

DMIN(MM) LMIN(MM) (L/D)MIN (L/D)MAX FMIN(MM2) PD(MM/MM2) HU7.AATF.(MM) GYAKR.KÖMGT.(3ZA>ZALREK)
 0,50 0,50 0,20 5,00 1,00 30,00 0,20 20,00

PASZTASZAAM MINIMALIZALAS!

PASZTA NEEGYZETES ELLENALLAS! 0,010 KOHM

I	RI(KOHM)	TUUREES	P(MW)	LN(MM)	DN(MM)	DMIN(MM)	DMAX(MM)	LN/DN	LT(MM)	FN(MM2)	FMIN(MM2)	FMAX(MM2)
4:	0,036	5	125,00	3,623	1,160	0,920	1,380	3,150	4,023	4,167	3,333	5,000
7:	0,033	5	250,00	4,905	1,699	1,359	2,039	2,887	5,305	6,333	6,667	10,000
81	0,010	5	250,00	2,700	3,086	2,469	3,703	0,875	3,100	8,333	6,667	10,000
91	0,010	5	250,00	2,700	3,086	2,469	3,703	0,875	3,100	8,333	6,667	10,000
101	0,033	5	250,00	4,905	1,699	1,359	2,039	2,887	5,305	8,333	6,667	10,000

SZUMMA FN = 37,500 (MM2)
 FMIN = 30,000 (MM2)
 FMAX = 45,000 (MM2)

PASZTA NEEGYZETES ELLENALLAS! 0,100 KOHM

I	RI(KOHM)	TUUREES	P(MW)	LN(MM)	DN(MM)	DMIN(MM)	DMAX(MM)	LN/DN	LT(MM)	FN(MM2)	FMIN(MM2)	FMAX(MM2)
2:	0,150	5	125,00	2,339	1,782	1,425	2,138	1,312	2,739	4,167	3,333	5,000
6:	0,150	6	125,00	2,339	1,782	1,425	2,138	1,312	2,739	4,167	3,333	5,000
111	0,061	1	250,00	2,063	4,039	3,231	4,846	0,511	2,463	8,333	6,667	10,000
12:	0,062	5	125,00	1,503	2,771	2,217	3,326	0,542	1,903	4,167	3,333	5,000

SZUMMA FN = 20,833 (MM2)
 FMIN = 16,667 (MM2)
 FMAX = 25,000 (MM2)

PASZTA NEEGYZETES ELLENALLAS! 1,000 KOHM

I	RI(KOHM)	TUUREES	P(MW)	LN(MM)	DN(MM)	DMIN(MM)	DMAX(MM)	LN/DN	LT(MM)	FN(MM2)	FMIN(MM2)	FMAX(MM2)
3:	1,000	5	500,00	3,819	4,364	3,491	5,237	0,875	4,219	16,667	13,333	20,000

SZUMMA FN = 16,667 (MM2)
 FMIN = 13,333 (MM2)
 FMAX = 20,000 (MM2)

PASZTA NEEGYZETES ELLENALLAS! 10,000 KOHM

I	RI(KOHM)	TUUREES	P(MW)	LN(MM)	DN(MM)	DMIN(MM)	DMAX(MM)	LN/DN	LT(MM)	FN(MM2)	FMIN(MM2)	FMAX(MM2)
1:	10,000	5	125,00	1,909	2,122	1,746	2,619	0,875	2,309	4,167	3,333	5,000
5:	4,700	5	125,00	1,309	3,183	2,545	3,820	0,411	1,789	4,167	3,333	5,000

SZUMMA FN = 8,333 (MM2)
 FMIN = 6,667 (MM2)
 FMAX = 10,000 (MM2)

ELLENALLAS DESSZFELULETE: FN = 83,333 (MM2)
 FMIN = 66,667 (MM2)
 FMAX = 100,000 (MM2)

H312-RP5

5. ábra. A 2. ábrán látható mintaáramkör ellenállásainak számítógéppel megtervezett adatai

2. Ha minimalizálás után két paszta adódik, akkor az optimalizáló program választ ezekhez egy harmadikat. A választás az alapján történik, hogy megvizsgálja, melyik pasztára van a legnagyobb igény, azaz melyik az a meg nem valósított paszta, amelyre az l/d viszony alapján a legtöbb ellenállás tart igényt.

Pl.: R_1 (1, 2)	R_5 (3, 4)
R_2 (1, 2)	R_6 (3, 4)
R_3 (2, 3)	R_7 (4, 5)
R_4 (2, 3)	R_8 (4, 5)

Aláhúzással jelölve az l/d viszony alapján kívánt pasztaindexeket.

A minimalizáló program a 2. és 4. pasztával valósítja meg az ellenállásokat.

Az optimalizáló program ezután megvizsgálja, hogy az egyes meg nem valósított pasztákra hány igény érkezett.

Tehát: 1. paszta:	1 igény
3. paszta:	1 igény
5. paszta:	2 igény

Ez alapján az 5-ös pasztát valósítja meg harmadikként.

Ha a minimalizálás után három vagy annál többféle paszta adódik megoldásként [a sok egypasztás ellenállás miatt], akkor az optimalizáló program nem működik.

A minimalizáló program is figyelembe veszi az l/d viszonyt. Mégpedig, ha egy kétpasztás ellenállás mindkét pasztáját megvalósította a minimalizáló program, akkor az ellenállást az l/d viszony alapján kedvezőbb pasztával valósítja meg.

A program felépítése a folyamatábrán követhető (3. ábra).

A program aktivizálása adatszallal történik. Az adatszallag elkészítéséhez a tervezőnek csupán a 4. ábrán bemutatott adatlapot kell kitöltenie és az adatokat sorban lyukszalagra rögzítenie.

A program futási ideje 50 db ellenállás esetén a minimalizáló és optimalizáló rész együttes működése esetén kb. 35 sec.

A mintaáramkörre kitöltött számítógépes tervező adatlap a 4. ábrán látható.

A számítógépes tervezés eredménye az 5. ábrán látható. Minden egyes ellenállásra egy hossz méret és három különböző szélesség méret kerül kiszámításra.

A tervezés eredménye, hogy a mintaáramkör 4 különböző négyzetes ellenállású paszta felhasználásával állítható elő (10 ohm, 100 ohm, 1 kohm, 10 kohm). Ellenálláspasztáknak — figyelembe véve az ellenállásokkal szemben támasztott követelményeket — a Du Pont cég DP 1100 sorozatát használtuk.

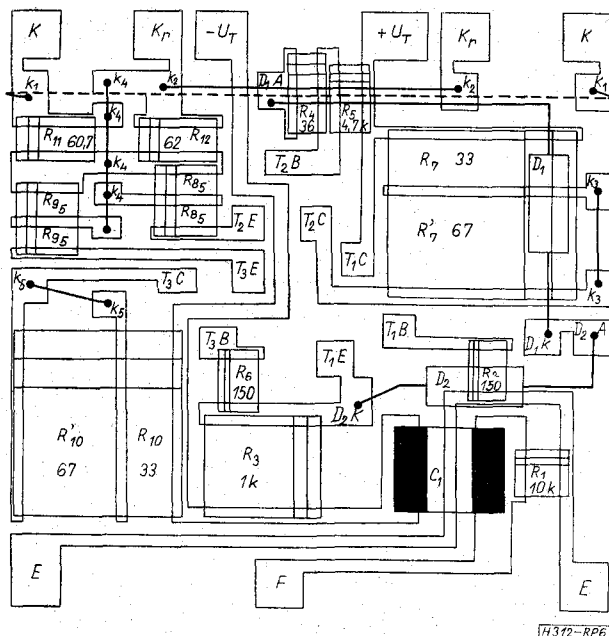
Az ellenállások méretezése után a hibrid elemek kiválasztása és hordozó méretmegválasztása következik.

A 2. ábrán kapcsolási rajz alapján a választott hibrid elemek típusai:

- $T_1, T_2 = BC 182$ npn
- $T_3 = BC 212$ pnp
- $D_1, D_2 = 1 N 4148$
- $C_1 = 1 nF/100 V$ -os kerámia chip kondenzátor.

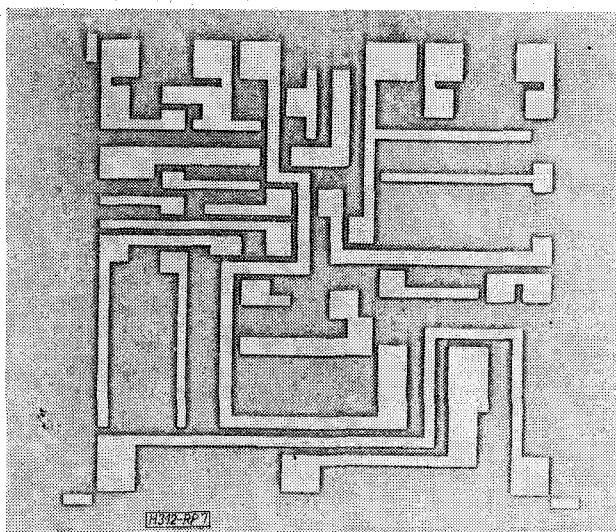
Figyelembe véve az ellenállások összfelületét és hibrid elemek helyfoglalását az áramkör hordozójának $1'' \times 1''$ méretű hordozót választottunk.

A topológiatervezés szempontjából megkötött-seget jelentett, hogy a 9 db kivezető elhelyezkedése és sorrendje kötve volt (2. ábra). A hordozó szélén 2,5 mm-es rászterosztásban a kivezetők részére 2×2 mm-es csatlakozási felületeket alakítottunk ki a vastagréteg huzalozás szerves részeként.



6. ábrán. A 2. ábrán látható mintaáramkör topológiája (a tranzisztorok feltüntetése nélkül)


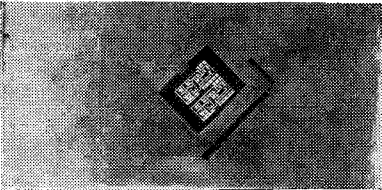

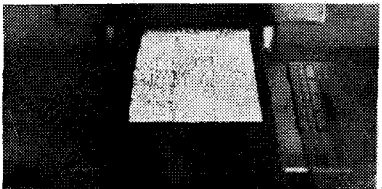
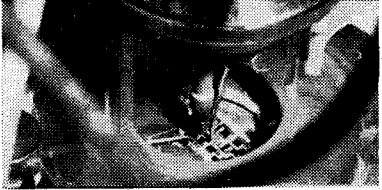
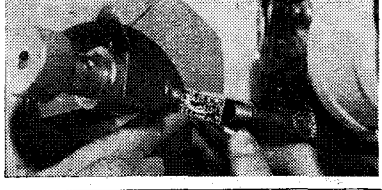

A végleges áramköri topológia rajza a 6. ábrán látható (a hibrid elemként beültetésre kerülő tranzisztorok nincsenek berajzolva). A tranzisztorok beforrasztására kivezetőként $1,5 \times 1,5$ mm-es be-kötési felületeket alakítottunk ki a hordozón.



7. ábra. A mintaáramkör vastagréteg huzalozási pályáinak mesterrajza

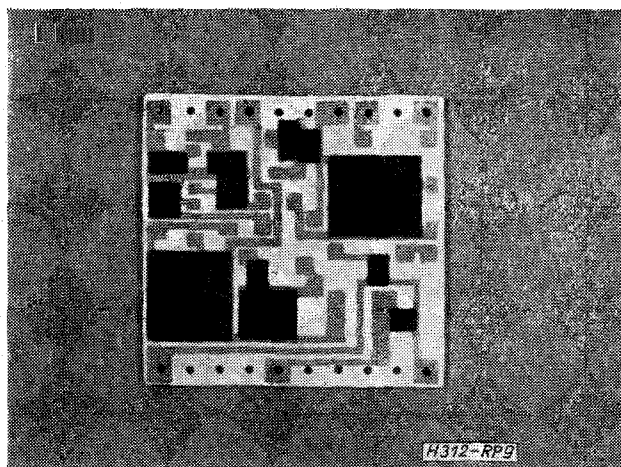
A külön betokozott diódák részére nem hagyunk szabad helyet a hordozón, hanem azokat a rétegre ráfektetve forrasztjuk be a huzalkivezetők segítségével (6. ábrát). A kerámia chip kondenzátor alatt egy huzalozási pályát vezetünk át és ezzel egy vezeték kereszteződést szüntettünk meg. A to-

pológiarajzon minden egyes ellenállásnál feltüntetjük a 3 különféle szélességi méretet is. Az így megjelölt ellenállásoldal egyben a trimmelési irány előírását is jelenti. A trimmelő (homokoló) fej részére a trimmelési irányban szabad felületrészeket biztosítottunk a hordozón.

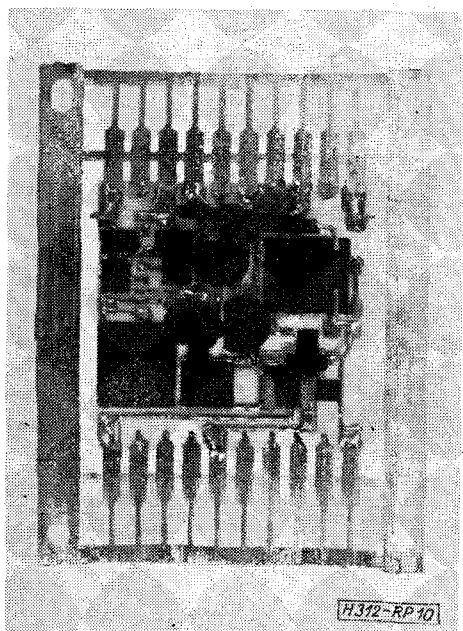
FONTOSABB TECHNOLÓGIAI LÉPÉSEK	GVÁRTÓBERENDEZÉSEK	FELHASZNÁLT ANYAGOK	TECHNOLÓGIAI JELLEMZŐK
1 MESTERRAJZOK KÉSZÍTÉSE  (huzalozás és 4 db ellenállás mesterrajz készítése)	Lyukszalag vezérlésű rajzgép	Kétrétegű műanyag fólia	—10×es nagyítás —mértéppontosság ±20 μm
2 SZITAKÉSZÍTÉS  (huzalozás és 4 db ellenállás szita készítése)	Szita keret Szita feszítő Megvilágító Pozicionáló Fotótechnikai berendezések	Polieszter szitaanyag Huzalozás maszk: 220 mesh. R maszk: 160 mesh. Colorgraf.	—indirekt emulziós szitakészítés
3 NYOMTATÁS  (huzalozás és négyféle ellenállás réteg nyomtatása)	Szita nyomó berendezés	Hordozó anyaga: Al ₂ O ₃ 96% Paszta anyaga: R: Du Pont DP 1100 sorozat Huzalozás paszta: DP 8430 sorozat	—huzalozás réteg nyomtatása, beszáritás és beégetés 4-szer R rétegek nyomtatása
4 BEÉGETÉS  (huzalozás majd az ellenállás rétegek beégetése)	Beégető kemence		—huzalozás rétegnél csúcshőmérséklet: 850°C ciklusidő: 45 perc —R rétegnél csúcshőmérséklet: 760°C ciklusidő: 45 perc
5 TRIMMELÉS MÉRÉS 	Félaautomata trimmelő berendezés	Al ₂ O ₃ por szemcseméret ~20 μm	—koptatósugaras értékbeállítás —értékbeállítás pontossága ±1%
6 SZERELÉS 	Mikroforrasztó Hordozó előmozdító berendezés Kivezető lábrendszer felforrasztó berendezés (újrafolytató forrasztás) Mikroszkóp	Forraszdanyag Folyasztószer	—a hibrid elemek beültetési előírásai szerint
7 TOKOZÁS 	Kisnyomású fröccs-sajtató gép	Kisnyomású epoxi fröccsajtató anyag Hysol MG6	—fröccsajtató nyomás: 15 kp/cm ² —fröccsajtató idő: 3 perc —fröccsajtató hőfok: 160°C

H312-RPB

8. ábra. A vastagréteg integrált áramköri kivitelű mintaáramkör gyártástechnológiájának rövid összefoglalása



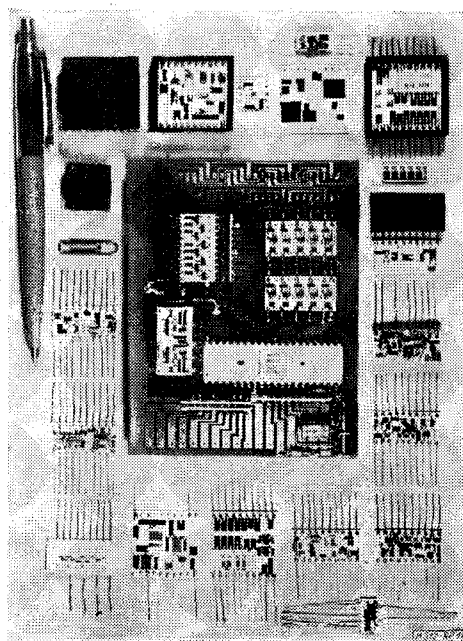
9. ábra. A 2. ábrán látható kapcsolás vastagréteg integrált áramköri R hálózata



10. ábra. A 2. ábrán látható kapcsolás vastagréteg hibrid integrált áramköri kivitele (tokozás előtti állapotban)

A topológián a K_1-K_1 és K_2-K_2 pontok összekötését utólag bekötött huzalokkal valósítjuk meg.

Az R_7 , R_8 , R_9 és R_{10} ellenállásokat úgy méreteztük és helyeztük el a hordozón, hogy a kapcsolási rajz tárgyalása során említett mindkét típusú áramkör részére felhasználható legyen a hálózat. A K_5-K_5 és a K_3-K_3 pontoknak huzalok segítségével történő összekötése biztosítja a 2. ábrán levő kapcsolás realizálását. A másik típusú áramkörhöz pedig csak a K_4-K_4 jelű pontokak kell beforrasztott huzallal rövidre zárni. A huzalok bekötésének megkönnyítésére a vastagréteg huzalozási pályából forrasztási felületeket alakítottunk ki.



11. ábra. Remix gyártmányú vastagréteg hibrid integrált áramkörök

A huzalozás anyagául a Du Pont gyártmányú DP 8430 típusú vezetőpasztát választottuk. Ez kompatibilis a választott ellenálláspasztával és jól forrasztható. Az egyes huzalozási pályák között minimálisan 0,4 mm híd távolságot biztosítottunk.

A 7. ábrán látható a mintaáramkör huzalozási pályájának mesterrajza.

A 8. ábrában összefoglaltuk a mintaáramkör előállításának főbb technológiai lépéseit és ezek jellemzőit.

A 9. ábra mutatja a megvalósított passzív vastagréteg integrált áramköri hálózatot.

A 10. ábrán bemutatjuk a szerelt vastagréteg integrált áramkört a kivezető lábrendszerrel együtt. A kivezető lábrendszer 2×10 kivezetővel rendelkező 0,2 mm vastagságú zárt lemezkeret, melynek alkalmazását a kismennyiségű fröccsajtolásos tokozási technológia teszi indokolttá.

A 11. ábrán bemutatunk néhány Remix gyártmányú vastagréteg hibrid integrált áramkört, melyek közül néhánynak megtervezésében közreműködtek a BME Elektronikai Technológia Tanszék hallgatói is. A Remix és a BME Elektronikai Technológia Tanszék több tématerületen közösen fejleszti a vastagréteg integrált áramkörök technológiáját.

IRODALOM

- [1] D. W. Hamer—I. V. Biggers: Thick Film Hybrid Microcircuit Technology. Wiley—Interscience, 1972.
- [2] G. V. Planer—L. S. Phillips: Thick Film Circuits. London Butterworths, 1972.
- [3] M. L. Topfer: Thick-Film Microelectronics. Van Nostrand Reinhold Company, 1971.