

Hibrid áramkörök layout-tervezésének számítógépes támogatása

WOLFGANG ROSSMANN

Müncheni Műszaki Egyetem

Hálózatelméleti és Kapcsolástechnikai Tanszék



WOLFGANG
ROSSMANN

A Müncheni Műszaki Egyetem Híradástechnika szakon okleveles mérnök lett 1978-ban. 1979-ben nyerte el a Master of Science fokozatot a számítástechnikai tudományokban a Californiai Egyetem Davis-ben levő ta-

gozatán. 1980 óta akadémiai tanácsos Rudolf Saal egyetemi tanárnál a Müncheni Műszaki Egyetem Hálózatelméleti és Kapcsolástechnikai Tanszékén. Munkaterülete: a számítógéppel segített layout-tervezés algoritmusai, és ezek alkalmazása a tanszéki hibrid-mikroelektronikai laborban.

ÖSSZEFOGLALÁS:

A cikk áttekinti a hibrid áramkörök layout tervezésénél alkalmazott számítógépes támogatás lehetőségeit. A különböző tervezési lépésekre kidolgozott algoritmusokat és módszereket veszi sorra: az elemtervezés, az interaktív elhelyezés és huzalozás, az automatikus huzalozás, a tömörítés és az automatikus maszkelőállítás területeit tárgyalja. Egy olyan szisztematikus adatgyűjtést ír le, amely különösen a vastagréteg áramköröknél előnyös. Az alkalmazási lehetőségeket példákkal illusztrálja.

A hibrid technológia jelentősége

A bonyolult nyomtatott áramkörök, valamint a mindjobban előrenyomuló monolit integrált áramkörök — gate-array és berendezésorientált áramkörök — tervezéséhez rendelkezésre álló kiforrott technika ellenére, egy állandóan növekvő igény mutatható ki a hibrid áramkörök iránt. Különös jelentőséggel bír itt a vastagréteg technológia, amely a nyomtatott áramkörök és a monolit technológia közötti összekötő kapocsként mindkét eljárás előnyeit összehasonlítható, ill. valamivel csekélyebb haszonnal egyesíteni igyekszik [1].

Ebben a technológiában többnyire egy kerámia hordozóra vezetkeztést és passzív építőelemeket (ún. réteg elemeket) együttesen visznek fel. Ezután előre elkészített miniatűr alkatrészeket helyeznek be: ezzel a valódi hibrid áramkör létrejön. Vastagréteg technológiával, amelynél a pasztákat szitanyomásos eljárással viszik fel és kiegészítik, 100 μm -ig realizálhatók áramkörök. Ez a határ a vékonyréteg technológiánál, amelynél fotolitografikus eljárást alkalmaznak, 10 μm -nél van.

Mindkét technológiát széleskörűen alkalmazzák a teljesítményelektronikától a mikrohullámú technikáig.

A hibrid áramkörök nagy flexibilitásukkal tűnnek ki. A legkülönbözőbb technológiák és alkalmazások (analog, digitális) elemei kombinálhatók. Kis sorozatok viszonylag gyorsan és olcsón állíthatók elő és középüzemek is rendelkezhetnek saját hibridgyártással.

A layout-gyártás tervezési lépései

A logikai kapcsolási rajzot a tervező mérnök (többnyire manuálisan) teszi át a kapcsolat *fizikai* leképezésébe, a layout-ba. Ezen layoutok különböző

síkjai — a kapcsolást alkotó rétegek és elemek síkszerű kiterítése és elrendezése — tartalmazzák a maszkok és ezáltal a kívánt kapcsolat gyártásához szükséges lényeges információkat (1. ábra).

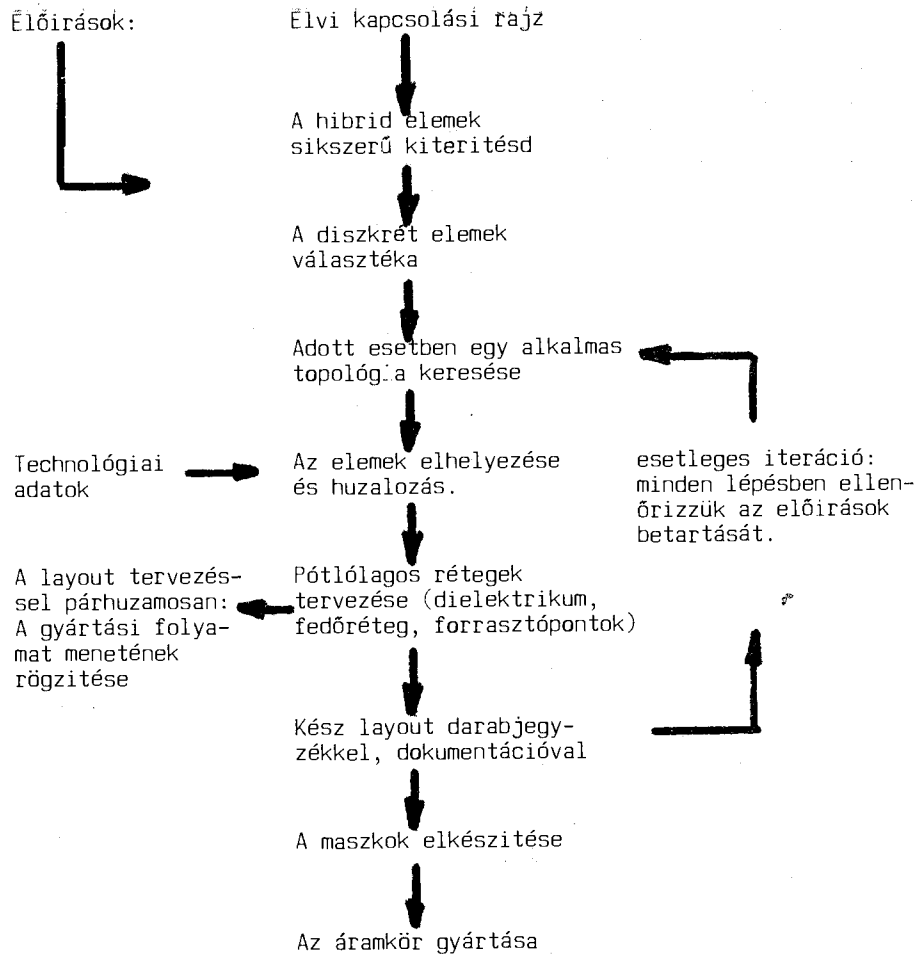
Nyomtatott áramkörök és monolit integrált áramkörök fejlesztésénél ma már a számítógéppel támogatott tervezés eszközeitől nem tekinthetünk el. A hibrid áramkörök layout tervezésénél más a helyzet. Itt (legalábbis az ipari alkalmazásoknál) a számítógépes támogatás technikája még kevésbé érett. Mindazonáltal a tervező munkája az egyes tervezési lépésekre kidolgozott számítógépprogramokkal lényegesen megkönnyíthető, felgyorsítható és hibamentessé tehető. A következőkben néhány lehetőséget mutatunk be.

Elemtervezés

Mielőtt az elvi kapcsolási rajz layout-ját elkészítenénk, meg kell határozni az egyes diszkrét elemek geometriai alakját. Különösen a rétegenállásokra kell több gondot fordítanunk. A formát és méretet az ellenállás értéke, a pontosság, a disszipálандó teljesítmény, a hangolhatóság és a hosszúidejű stabilitás nagymértékben befolyásolja. Csak az ellenállás jellemzőit befolyásoló összes technológiai hatás figyelembevételével kaphatunk reprodukálható eredményeket. A fajlagos pasztaellenállás, amely az ellenállásértéket meghatározza, a gyakorlatban lényegesen függ az ellenállás geometriájától (formától és abszolút nagyságtól), a hordozó, és a paszta anyagától. Az ellenállás számításakor a legjobb eredményt az itt érvényes nemlineáris összefüggések figyelembevételére a mérési adatok statisztikusan számolt átlagértékei alapján nyerhetjük.

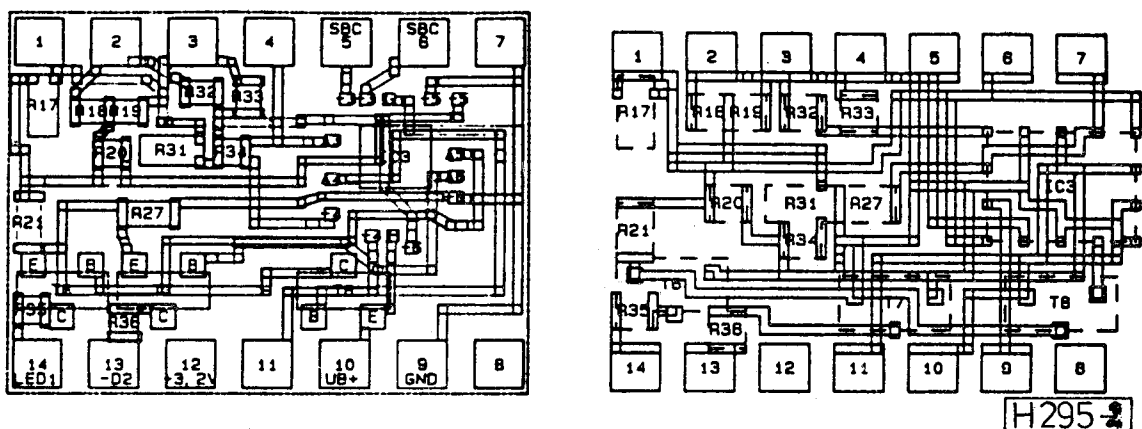
Az anyagok, méretek stb. lényeges kombinációinak reprezentatív választékát, mint tesztmintát legyártjuk, lemérjük és tájékoztató értéként elhelyezzük egy adatbankban. Ezután egy tetszőleges értékű ellenállás tervezésekor az aktuális mé-

Fordította: dr. Gefferth László
Elhangzott az 1987. máj. 6—7-én tartott VDE konferencián



1. ábra.

1. ábra. Vastagréteg áramkör layout-jának tervezési és gyártási fázisai

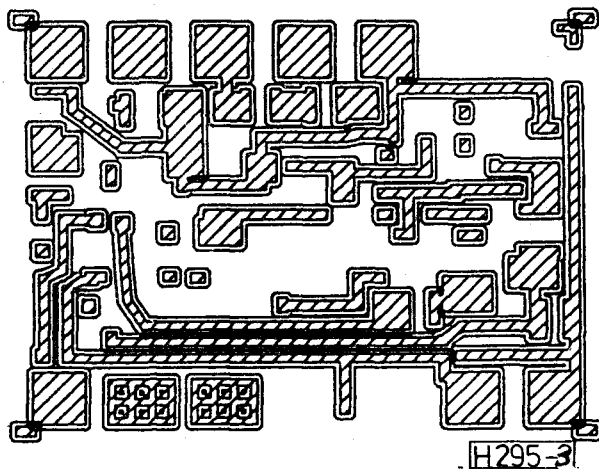


2. ábra. Kézi és automatikus huzalozás összehason-
lítása

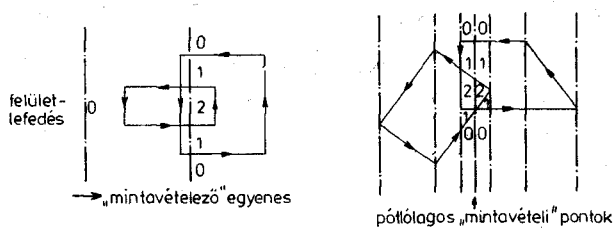
retek a rendelkezésre álló adatokból approximáció segítségével (pl. a hibanógyzetek minimumának beállításával) kaphatjuk meg.

A hangolási karakterisztika, s így a lézeres hangolással elérhető pontosság számítógépes szimulációval szintén előre meghatározható és az ellenállás tervezésénél — mint lényeges kritérium — figyelembe vehető.

Ily módon az ellenállás értékét befolyásoló technológiai hatások előre kiszámíthatók, s ezáltal egy drága újratervezés elkerülhető.



3. ábra. A vezetékek közötti minimális távolság hatásának ellenőrzése



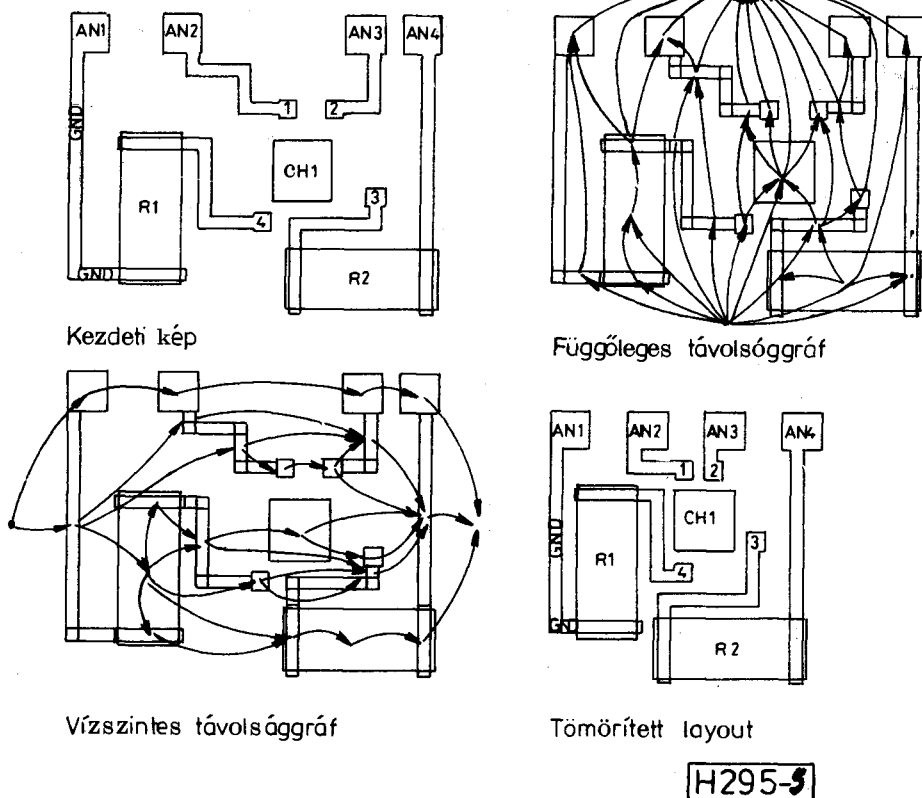
4. ábra. Derékszögű és általános poligon logikai összekapcsolásának „mintavételezéses” kezelése

Elrendezés és huzalozás

A következő munkalépésben a fentiek szerint megtervezett, ill. egy elemkönyvtárból vett elemeket a síkban elrendezzük és az elvi kapcsolási rajz alapján elkészített huzalozási listának megfelelően összehuzalozzuk. E tevékenység számítógépes fejlesztő rendszer alkalmazásával lényegesen megkönnyíthető. A nyomtatott áramköröknél ismeretes huzalozás algoritmusok alkalmazásával a fejlesztési idő tovább rövidíthető, az eredményezett terület azonban kb. 10–20%-kal nagyobb, mint teljesen kézi tervezés esetén (2. ábra).

A tervezési szabályok betartásának ellenőrzése

A tervezési folyamat (1. ábra) minden fázisa után célszerű az előírások betartásáról meggyőződni.



5. ábra. Automatikus vízszintes és függőleges tömörítés

Az a célunk, hogy minden előre kiszámítható hibát elkerüljünk, és lehetőleg ne legyen szükség figyelmetlenségéből adódóan, pl. a layout vagy a kész áramkör újratervezésére.

A layout ellenőrzésénél elektromos és geometriai tervezési szabályokat különböztetünk meg. Az elektromos vizsgálat során a realizált kapcsolás huzalozását összehasonlítjuk az előzetesen elkészített huzalozási listával. Rövidzáratokat, nem, vagy helytelenül bekötött vezetéseket is idejekorán azonosíthatunk.

Amennyiben a kapcsolat viselkedését szimulációval is ellenőrizzük (pl. nagyfrekvencián), a fentiekén kívül a parazita hatások (a vezetékek ellenállása és szórt kapacitása) figyelembevétele is célszerű. A geometriai szabályok (legkisebb és legnagyobb távolságok, legkisebb szélességek és legkisebb átfedések) betartásának ellenőrzése az integrált áramkörök tervezésénél használatos szabályok szerint lehetséges, e szabályok általában azonban csak derékszögű alakzatokra érvényesek.

A hibridtechnika alkalmazásához egy általános és flexibilis módszer szükséges, hogy a sokféle követelménynek eleget tehessünk, amelyek mindegyike a kapcsolástól és az alkalmazott síkok számától függően változhat. Tudnunk kell kezelni derékszögűtől eltérő alakzatokat is. Ezen feladat megoldásának új és sikeres stratégiája azon alapszik, hogy minden egyes helyen, ahol egy meghatározott tervezési szabály lényeges szerepet játszik „extraháljunk”. A második lépésben aztán a kapott alakzatot a geometriai szabályok betartása szempontjából ellenőrizzük. Így módon a tervezési szabályok megsértése sorra kimutatható [2].

Az alakzatok extrahálásának és ellenőrzésének lépései logikai és geometriai műveletek kombinációira vezethetők vissza. Két egyszerű példával világítjuk meg a fentieket: Két vezető alakzat kontaktzónáját a két alakzat logikai $\bar{E}S$ kapcsolatával extraháljuk. A megkívánt legkisebb d távolságot akkor tudjuk megállapítani ha a szóban forgó felületek — mindkettő $d/2$ -vel megnövelve — nem lapolódnak át. Átlapolódás vizsgálatánál, szintén az $\bar{E}S$ kapcsolat alkalmazásával, a hibás helyek ott mutathatók ki, ahol legalább két felület fed egymást. A 3. ábrán a legkisebb távolság betartásának ellenőrzése látható. Az alakzatokat először egy $VAGY$ kapcsolattal „összeolvasztjuk”, aztán az előírt távolság felével megnöveljük. Egy felület megnagyobbításának, ill. lekicsinyítésének geometriai műveletei a sarokpontoknak a határvonalak szögfelezőjé mentén való eltolásával realizálhatók. Az éles sarkoknál fellépő térközhibák néhány százalékra csökkenthetők, ha — szögenként — pótlólagos peremdarabot iktatunk be, amelyek a kívánt lekerekítéseket szimulálják.

A logikai műveletek ($\bar{E}S$, $VAGY$, NEM) az összekapcsolandó objektumok alkalmas ábrázolásával egy gyors „mintavételező” eljárással értékelhetők ki (4. ábra). A layout-alakzatokat egy „mintavételező” egyenessel az egyes koordináták mentén a felületlefedést kiértékeljük. Az éppen átmetezett peremnél a felületlefedés — az irányításnak megfelelően — növekszik vagy csökken. Egy $VAGY$ kapcsolatot azok a peremrészletek képezik, amelynél 0-1 átmenetet találunk, míg egy $\bar{E}S$ kapcsolatot az 1-2 átmenet ír le. Különös gondot igényelnek a tetszőleges szögű peremek. Ez esetben minden metszéspontot ki kell értékelnünk „mintavételező” egyenessel (4. ábra). Ezen műveletek kombinációival nemcsak minden lényeges geometriai tervezési szabály betartása ellenőrizhető, hanem további maszk-síkok, mint forrasztási vagy szigetelő rétegek, az alkotó síkok összekapcsolásával (nagyobbításával vagy invertálásával) automatikusan generálhatók.

Layout-tömörítés

Habár a tervezési szabályok betartásának ellenőrzésekor a layout alakzatainak térközhibái automatikusan napvilágra kerülnek, a tervező feladata marad a korrigálás elvégzése, ami nagy munkát jelenthet, különösen akkor, ha a layout máris zsúfolt. További számítógépes támogatást a layout-tömörítéssel érhetünk el. Ilyenkor a layoutot egydimenziós tömörítő lépésekkel vízszintesen és függőlegesen átdolgozzuk (5. ábra). Ezáltal minden elemet a tömörítés irányába annyira tolunk el, amennyire a szomszéd elemek irányába a térköz megengedi. Ezen optimalizálási probléma megoldásának érdekében a layoutot, mint irányított és súlyozott gráfot fogjuk fel. Az előálló lineáris egyenletrendszer megoldjuk és az eredményt a tömörített layout új koordinátáiba visszatranszformáljuk. Az 5. ábrán egy egyszerű tömörítő vízszintes és függőleges távolság gráfjai láthatók.

Habár hibrid áramkörök layout-jának előállítására még nincs teljesen automatizált eljárás, az egyes munkafázisokhoz alkalmas algoritmusok állnak rendelkezésre. Ezek nem teszik feleslegessé a tervezőt, hanem kellemesebbé, gyorsabbá és biztosabbá teszik munkáját.

I R O D A L O M

- [1] E. Lüder: Bau hybrider Mikroschaltungen. Springer Verlag 1977.
- [2] W. Roßmann: A New Approach to the Design Rule Check of Hybrid Integrated Circuits. ISCAS, San Hose, 1986.