

# 8 kbit-es maszkprogramozott ROM tervezése és maszkprogramozása\*

ASZTALOS ANDRÁS—  
DR. FÁRKAS GÁBOR  
Híradástechnikai Ipari  
Kutató Intézet

A hetvenes évek elejére tehető a mikroprocesszort tartalmazó digitális áramkörök és rendszerek megjelenése, és egy száz év tized elteltével, napjainkban világszerte elterjedtek. Ezen rendszerek lényeges alkotórésze a mikroprocesszor programját hordozó, rögzített tartalommal rendelkező ún. ROM áramkör.

A ROM áramkörök iránt a közelmúltban hazánkban is növekedett az érdeklődés, a felhasználók egyre nagyobb mennyiségben építenek be ROM-okat berendezéseikbe, rendszereikbe. Ennek a ténynek a felismerése, valamint a HIKI-ben az LSI áramkörök előállítására alkalmas MOS technológia kifejlesztése az alapja egy 8 Kbit-es maszkprogramozott ROM áramkör megtervezésének és a kísérleti gyártás beindításának.

Közismert, hogy a ROM áramkörök — melyek nevüket az angol Read Only Memory kifejezés rövidítéséből kapták — olyan, bináris információ tárolására alkalmas memóriák, melyekben a tárolt adatok üzemszerű használat során nem változnak meg. A berendezésekbe, rendszerekbe beépítve a memóriákat csak olvasásra használjuk. Az információhoz való hozzáférés szempontjából a ROM-ok kötetlen hozzáférésű memóriák, vagyis az elérési idő független attól, hogy a megcímzett — keresett — adat a tároló melyik rekeszében helyezkedik el.

ROM áramköröknél szokás programozásnak nevezni azt a műveletet, amikor a tárolandó információt elhelyezzük a memóriában. A programozás helye szerint megkülönböztetünk gyártónál programozott és felhasználónál programozott ROM-okat. Tekintettel arra, hogy a gyártónál programozott ROM esetében az információt valamelyik integrált áramköri maszk hordozza, ezeket az áramköröket szokás maszkprogramozott ROM-oknak nevezni.

A ROM áramkör leglényegesebb eleme a tárolócella. Bináris információ tárolásáról lévén szó, a cellával szemben támasztott legfontosabb követelmény az, hogy két, időben stabil, egymástól jól megkülönböztethető elektromos állapota legyen. A gyakorlatban a két állapot két, egymástól nagyságrendekkel eltérő impedanciát jelent. Az impedanciára meghatározott nagyságú áramot kényszerítve, érzékeljük a rajta eső feszültséget. A zérus (vagy ehhez közeli) feszültségesés bináris nulla, az ennél nagyságrenddel nagyobb feszültségesés bináris egy tárolását jelenti.

\* A TKI Ifjúsági Konferencián (1980. XI. 17.) elhangzott előadás alapján.

A tervezés kiindulási adatai két csoportba sorolhatók:

1. Technológiai adatok és a belőlük származtatott elektromos adatok.
2. Az áramkör külső elektromos specifikációi, azaz a katalógusadatok.

A technológia jellemzése: *n*-esatornás, szilícium vezérlőelektródás MOS technológia, mely technológia csak növekményes tranzisztorokat állít elő; a tranzisztorok küszöbfeszültségének beállítására a source (forrás) és a bulk (tömb) elektródák közé kapcsolt záróirányú feszültség szolgál. A technológiai adatok:

## 1. Vertikális adatok

Alapanyag: *p*-típusú 100, orientációjú 4–6 ohmcm fajlagos ellenállású Si egykristály szelet.

A rétegvastagságok: vékonyoxid 1050 Å, vastagoxid 11 500 Å, source és drain diffúzió behatolási mélysége 1,5 μm, szigetelő üveg (PSG) vastagság 0,5 μm, Al fémezés rétegvastagsága 1,3 μm.

## 2. Laterális adatok

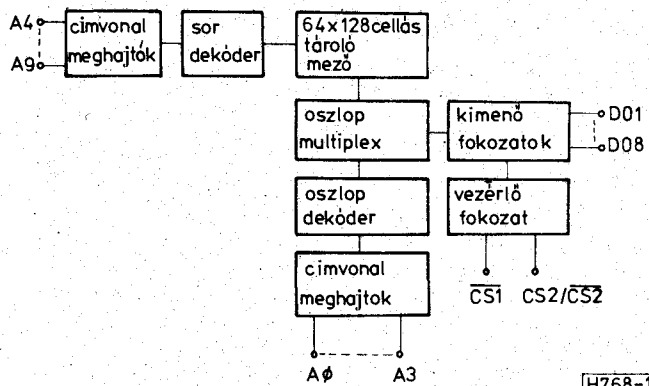
Diffúziós csíkszélesség min. 6 μm, poli Si csíkszélesség min. 6 μm, kontaktusablak min. 6×6 μm<sup>2</sup>, Al csíkszélesség min. 8 μm.

A technológiai adatokból az elektromos, áramköri tervezés számára származtatható adatok a következők:

- az aktív tranzisztorok nyitófeszültsége  $V_{SB} = -5$  V source-bulk feszültség esetén  $V_T = 1,1$  V;
- polyszilícium és alumínium vezérlőelektródás parazita tranzisztorok nyitófeszültsége  $V_{SB} = -5$  V esetén  $V_{TP} > 15$  V;
- az aktív tranzisztorok letörési feszültsége  $V_{BSD} > 25$  V;
- minimális gate hosszúság  $L = 6$  μm;
- minimális gate szélesség  $W = 6$  μm;
- egységnyi felületű vékonyoxidos kapacitás  $C_{oxf} = 3,3 \cdot 10^{-4}$  pF/μm<sup>2</sup>.

Az áramkör külső elektródák specifikációit, azaz a katalógusadatokat úgy állítottuk össze, hogy az Intel 2308/8308 jelű áramkörének adatainak megfelelő legyenek. Ezek közül a fontosabbak:

- tápfeszültségek:  $V_{BB} = -5$  V,  $V_{SS} = 0$  V,  $V_{CC} = +5$  V,  $V_{DD} = +12$  V;



1. ábra. A 8308 jelű áramkör tömbvázlata

- bemeneti feszültségszintek: TTL követelmények szerint;
- kimeneti feszültségszintek: TTL követelmények szerint;
- szervezés  $1024 \times 8$  bit;
- programozható CS2 bemenet;
- 24 kivezetéses DIL tok;
- tipikus hozzáférési idő 250 ns.

A kiindulási adatok meghatározása után az áramkör tervezése a következő lépéseket foglalta magában:

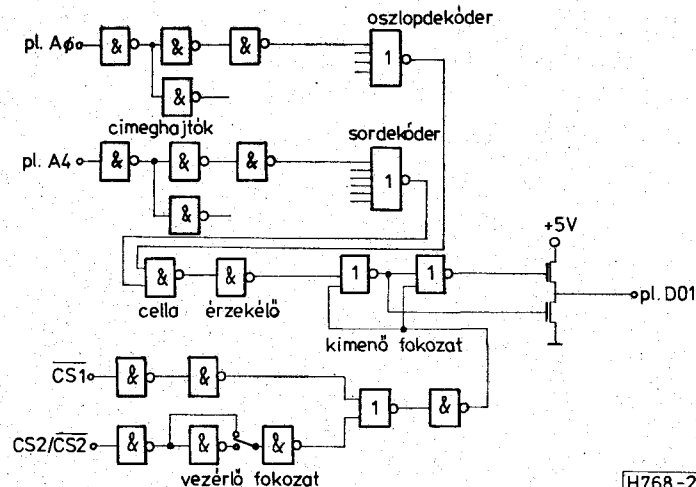
- a tömbvázlat meghatározása,
- az áramkör logikai tervezése,
- áramköri (elektromos) tervezés a rendelkezésre álló cellák és sorozatos analízisek segítségével,
- geometriai (layout) tervezés.

A tömbvázlat összeállításánál a szakirodalomban általánosan ismert elrendezést használtuk. Az áramkör tömbvázlatát szemlélteti az 1. ábra.

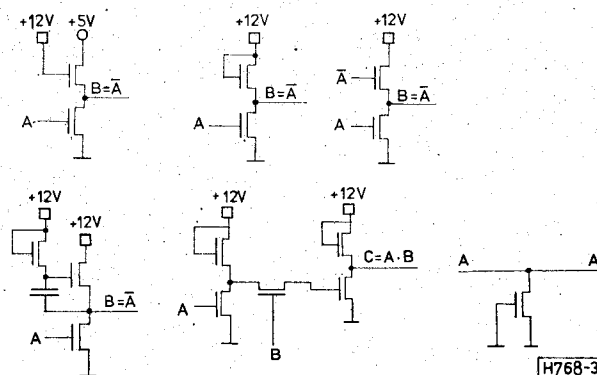
Megjegyezzük, hogy a 8 Kbit-es memória tervezésénél viszonylag könnyű helyzetben voltunk (jól lehet egy közel 10 000 MOS tranzisztort tartalmazó LSI áramkört kellett tervezni), mert a tömbvázlat, a részáramkörök egyszerűek, nincsenek különleges időztési problémák. Azt lehet mondani, hogy egy ROM áramkör a lehető legegyszerűbb LSI áramkör.

Szoros értelemben vett logikai tervezésről, minimalizálásról nem beszélhetünk, tekintettel a megvalósítandó logikai funkciók egyszerű voltára. A tömbvázlat alapján egyszerűen felrajzolható a kapusintű elvi kapcsolási séma. Ezt szemlélteti a 2. ábra. Említésre méltó a bemeneteken levő inverterek szerepe: a TTL-MOS bemeneti kompatibilitás megvalósítása. A CS2/CS2 bemenet „programozható”, ami annyit jelent, hogy a felhasználónak a tartalom megadásakor módjában áll megválasztani, hogy a CS2 bemenetre adott „TTL 0”, vagy „TTL 1” szinttel kívánja engedélyezni a tok működését.

Az áramköri tervezés első lépése az, hogy a logikai kapcsolás alapján megrajzoljuk a MOS tranzisztorokra lebontott elvi kapcsolási rajzot. Ennél a lépésnél felhasználjuk a rendelkezésünkre álló cella-



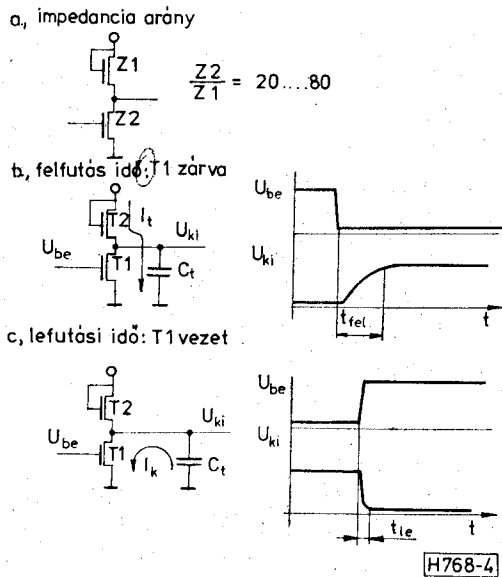
2. ábra. A 8308 jelű áramkör logikai kapcsolása



3. ábra. A 8308 jelű áramkör alapcellái

könyvtár elemeit, illetve a tervezők korábbi tapasztalatait, melyeket más áramkörök tervezése során szereztek. Az áramkör tervezése során felhasznált alapcellákat, inverteket, kapukat szemlélteti a 3. ábra. Annak eldöntéséhez, hogy a logikai terv adott kapuját melyik fajta inverterrel realizáljuk, azt kell figyelembe venni, hogy az adott kapu kimenőpontját mekkora kapacitás terheli, valamint azt, hogy az adott kapunak milyen kapcsolási idővel kell rendelkeznie. Ez természetesen azt is feltételezi, hogy a tervezőnek a munka ezen fázisában már valamelyes elképzeléssel kell rendelkeznie az áramkör geometriáját, az egyes egységeknek a chipen való elhelyezkedését illetően, mert bizonyos terhelő kapacitások geometriafüggőek.

Itt említjük meg azt, hogy MOS áramkörök működési sebességét döntő mértékben a belső csomópontokon levő impulzusok felfutási ideje szabja meg. Ennek a következő a magyarázata. Az aránytípusú MOS tranzisztoros inverter kimeneti nulla szintjét két nyitott MOS tranzisztor impedanciájának aránya határozza meg. A biztonságos működés, zajvédelem érdekében ennek az aránynak 20–80 között kell lenni (4. ábra). Be- és kikapcsoláskor a  $C_i$  kapacitást kell kisütetni, illetve feltölteni. Nyilvánvaló, hogy a feltöltés hosszabb időt vesz igény-



4. ábra. A MOS inverter kapcsolási idői

be, mert az 20...80-szor akkora impedancián keresztül történik, mint a kisítés.

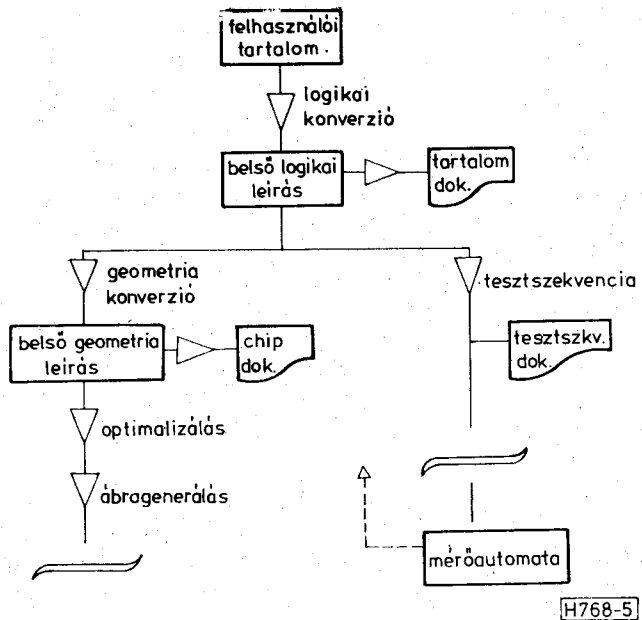
Az áramköri tervezés legkritikusabb, leglényegesebb fázisa az az iteratív folyamat, melynek során az elvi kapcsolat alkotóelemeinek értéket adunk. A folyamat első lépése az, hogy az elemeknek kezdő értéket adunk. Az értékadás tulajdonképpen a tranzisztorok hossz—szélesség arányának megválasztását jelenti. Ezután az adott értékkel, hálózatanalízis program segítségével kiszámítjuk az áramkör DC és AC paramétereit. Ekkor összevetjük az eredményeket a specifikációkkal. Ha az áramkör nem teljesíti a specifikációkat, az áramkör elemeinek értékét módosítjuk. Az iterációt addig folytatjuk, amíg az előírások teljesülnek.

Az áramkör tervezésénél a TKI AUTER rendszerének ANAL 20 programját használtuk, mely program MOS LSI áramkörök DC és AC analízisét végzi.

A geometriai tervezés fázisai a következők:

- a programozó maszk kiválasztása,
- az elemek elhelyezése,
- az elemek összekötése,
- a részletrajzok összeállítása, összeszerkesztése, a tervezési szabályok ellenőrzése.

Az áramkör maszkprogramozását lehetséges az I. (aktív terület ablaknyitás), a IV. (kontaktusablaknyitás) és az V. (alumínium marás, más néven fémező) maszkokkal végezni. Mi a harmadik lehetőség, a fémezővel való maszkprogramozás mellett döntöttünk, mert ez a legmegbízhatóbb, és mert a fémező marás a szelettechnológiai műveletsor egyik utolsó lépése. Ily módon lehetőségünk van arra, hogy alumínium réteggel bevont („telibe fémezett”), marás előtt álló szeletekből raktárat alakítsunk ki. A felhasználó által előírt memóriatartalmat hordozó fémező maszk elkészítése után a raktárból a meg-



5. ábra. A ROMOS program működésének vázlata

rendelt darabszámnak megfelelő szeletet munkálunk meg a maszkkal. Így a megrendeléseket gyors átfutási idővel tudjuk teljesíteni.

Az áramkör geometriai tervrajzait 1000:1 méret arányban készítettük el. Az ismétlődő részegységeket geometriai cellákként kezeltük. A megtervezett áramkör 9161 db MQS tranzisztort tartalmaz. Az integrált áramköri chip mérete  $5,5 \times 3,3 \text{ mm}^2$ .

A maszk szerkesztését és a geometriai tervezési szabályok ellenőrzését a TKI AUTER rendszerének MASK 42, illetve CHECK-2P jelű programjaival végeztük.

Az áramkörökbe az információ beírását és ellenőrzését a saját fejlesztésű ROMOS program végzi el. A program a felhasználó által megadott tartalomból közvetlenül a maszkkészítő berendezéseket, illetve a mérőautomatákat vezérlő adathordozót állítja elő. A program tetszőleges technológiával készülő, tetszőleges geometriájú ROM-ok maszkprogramozására alkalmas.

A program működésének vázlata az 5. ábrán látható.

A felhasználó a kívánt tartalmat bináris vagy hexadecimális igazságtáblázat formájában adhatja meg. Jelentősen meggyorsítja az átfutást, ha a felhasználó a tartalmat valamilyen adathordozón is mellékeli. A 8308-as áramkör esetében ez az adathordozó lyukszalag, lyukkártya vagy EPROM minta-áramkör lehet. Az adathordozók formátumai a megfelelő Intel formátumokkal felülről kompatibilisek, pontos leírásukat külön kiadvány tartalmazza.

A program tárolja a gyártott áramkörök geometriai struktúrájának leírását. Ha ez a struktúra kifejtett formájában történne, a program viszonylag egyszerűbbé válna, ezt azonban a memóriaigény növekedésével kellene megfizetni, újabb struktúrák bevezetése pedig a program teljes átírását követelné meg. Ezért célszerűbb volt a maszk geometriáját — kihasználva annak számos (tükrözési és eltolási)

szimmetriáját — egymásba skatulyázott, azonos szerkezetű cellák formájában tárolni. Így a struktúra igen tömören megadható, új áramkörök bevezetésekor pedig csak kis számú jellemzőt: a dekódolási sémát, a szimmetriaviszonyok leírását és a megfelelő méreteket kell újból megadni.

A program az egyes maszk-elemek exponálásának sorrendjét részlegesen optimalizálja, így az ábragenerátor működési ideje jelentősen csökken.

A mérés vezérlésére egyszerűen programozható megoldást sikerült találni: a program a tartalomtól

függetlenül módosít egy eredeti („biankó”) tesztszekvenciát. Hogy a tesztszekvencia is egyszerűen változtatható maradjon, a módosítások helyét a program felismeri, ezek kívülről való megadása nem szükséges. A program jelenleg az ICOMAT-2 mérő-automata vezérlőszalagjának és az ICOMAT-110 memóriamintájának előállítását végzi.

A program egyes lépéseinek eredményét sornyomtatón jeleníti meg, ezzel egyrészt a gyártás dokumentációját állítja elő, másrészt az esetleges hibák gyors felderítését teszi lehetővé.