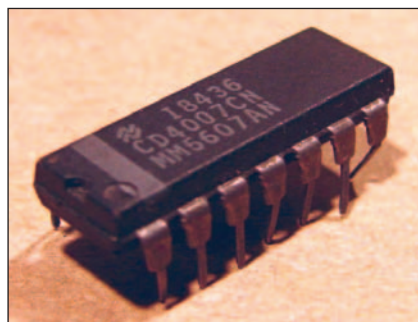


A CD4007, mint CMOS építőelem-készlet

Dr. Madarász László okl. villamosmérnök, madarasz@3lan.hu

Ma a digitális integrált áramkörök (beleértve a mikroprocesszorokat, mikrovezérlőket, memóriákat is) lényegében mind CMOS jellegűek. Ezt az áramkörtípust csak integrált áramkörként ismerjük, ezekből az IC-kből lehet egyszerűbb vagy összetettebb elektronikákat is kialakítani. A most kezdődő sorozatunkban azonban bemutatjuk, hogy megoldható az alapvető CMOS digitális elektronikus egységek tranzisztorokból történő sajátkezü megépítése is, az integrált áramkörökével megegyező minőségben. Igaz, hogy ehhez egy professzionális építőelem-készlet kell használnunk, de mint látjuk majd, ilyet bárki egyszerűen, olcsón beszerezhet! Elsősorban a digitális CMOS áramköri egységekkel foglalkozunk, de szerepel majd néhány analóg CMOS kapcsolás is. A szerző nem titkolt célja az is, hogy a konstrukciós kirándulás közben olvasói mélyebben megismerjék a CMOS digitális áramkörök felépítését, működését.

A CMOS technológia az integrált áramkörök egyik lehetséges, egyben legkorszerűbb kiviteli megoldása. Ezek az integrált áramkörök növekményes MOSFET-ekből épülnek fel, többségükben azonos számú NFET és PFET található. A tranzisztorokon kívül sajátos védőáramköröket is alkalmaznak az IC-kben. Mivel a FET-ek rendkívül érzékenyek az elektrosztatikus károsításra és hajlamosak az ún. latch-up jelenségre (ezek hatására azonnal és véglegesen tönkremehetnek), az áramkörök bemenetein és kimenetein ellenállás-dióda hálózatokat alakítanak ki védelemként; ezekkel a továbbiakban meg fogunk ismerkedni. Ezekre a védelmi megoldásokra a saját kezűleg épített áramköröknél is szükség van. A speciális tranzisztorokat és a védőhálózatokat a gyártók a rendelkezésünkre bocsátották egy „CMOS-építőkészlet”-ben. Ebben P és N jellegű növekményes MOSFET-ek találhatók, a megfelelő bemeneti és kimeneti védelemmel ellátva. Mielőtt azonban az olvasó az interneten kutakodni kezd ez után az építő-



1. ábra

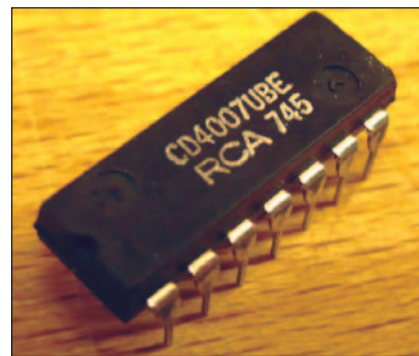
készlet után, el kell árulnunk, hogy az elnevezést a szerző ragasztotta a CD4007 integrált áramkörre.

A továbbiakban először megismerkedünk a CD4007 áramkörrel és ikertestvérelével, a CA3600E IC-vel. Ezt követően bemutatjuk, hogyan lehet NMOS, majd CMOS invertereket felépíteni az elemkészletből, megismerjük ezek fő tulajdonságait. A következő fejezetekben a legfontosabb digitális kapukat alakítjuk ki a CD4007 felhasználásával. Végül néhány további érdekes kapcsolást is bemutatunk, melyeket a CD4007-tel meg tudunk építeni.

1. A CD4007 megjelenése, felépítése, fontosabb változatai

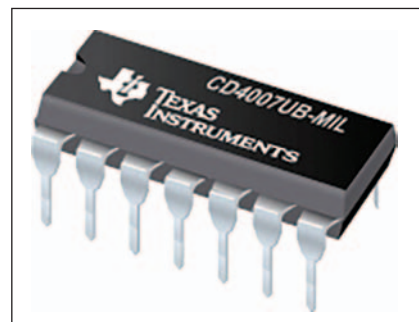
A Texas Instruments 1964-ben jelent meg a digitális integrált áramkörök piacán az SN74 sorozatú TTL áramköreivel, melyek bipoláris npn szilíciumtranzisztorokból épültek fel. A sorozat hatalmas sikert aratott, lényegében ezzel kezdődött el a digitális integrált áramkörök sorozatgyártása és világméretű elterjedése.

1968-ban jelentkezett az RCA egy újszerű áramkörrel, a CD4xxx-es CMOS sorozattal. Az első ezekkel foglalkozó kiadványokban az alkalmazott technológiát COS/MOS betűszóval írták le (Complementary Symmetry MOS, azaz komplementer szimmetrikus MOS), később tértek át az egyszerűbb CMOS (Complementary MOS) megnevezésre. Ezekben az integrált áramkörökben a logikai működések azo-



2. ábra

nos számú P, illetve N jellegű növekményes MOSFET valósítja meg. Az eredeti CD4xxx-es áramkörök lapos (flat pack) tokozással készültek. Rövidesen már egy módosított családdal rukkolt ki a cég, az áramkörök típusjele egy A betűvel bővült (CD4xxxA sorozat), a tokozás dual in line jellegű lett. Ezekben a kezdeti áramkörökben a FET-ek gate elektródáját alumínium alkotta, ami a lapka fémzése során jött létre. Ezeknek a fém-gate-es áramköröknek a tápfeszültség-tartománya 3...15 V, a tipikus jelkésleltetési ide-

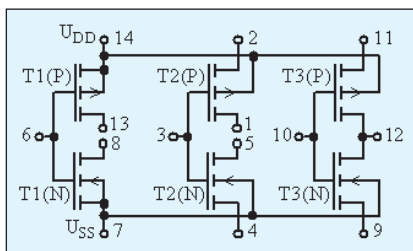


3. ábra

jük 25 ns. Ezekben az IC-kben csak a legszükségesebb számú FET található, annyi, amennyivel a kiválasztott logikai feladatot éppen el lehet látni. Mivel így a kimeneti áram az áramköri struktúráról függött, a sorozat tagjainak terhelhetősége szinte típusonként változott (volt 0,05 mA kimeneti áramú is közöttük, de többen a megengedhető kimeneti áram 3 mA-es értékre adódtak). A DIL-tokozású sorozatban már szerepelt a CD4007A áramkör is, amit néhány forgalmazónál máig lehet szerezni. A CD4xxxA-s sorozatot hamarosan több más félvezetőgyártó is forgalmazta, pl. a National Semiconductor is (1. ábra).

Néhány év múlva jelentősen módosított a technológián az RCA, megjelent a CD4xxxB sorozat. A beintegrált FET-ek gate elektródáját nem a fémezéssel hozták létre, hanem önálló gyártási lépésben poliszilíciumból alakították ki. Ez precízebb gyártást, jobb paramétereket eredményezett, kisebb lett a szivárgási áram, nőtt az áramkörök bemeneti impedanciája, csökkent a fogyasztása. A tápfeszültség szélesebb tartományból választható itt (3...18 V). Az IC-k áramköri kialakítása is módosult. Minden áramkör egységes kimeneti puffert kapott, így a sorozat minden tagjának azonos, 1 mA lett a megengedett terhelése. A sorozat típusjelében a B betű a puffert (buffered) jellegre utal.

A többlet-fokozat azonban a működési időket megnövelte (50...200 ns), s néhány alkalmazásban (monostabil és astabil multivibrátorok, Schmitt-triggerek stb.) a puffer kellemetlenül rontotta az áramkörök működését. Emiatt az RCA az alapelemekből újabb változatokat is készített, amelyekben a kimenetekről elhagyta a puffereket (CD4xxxUB

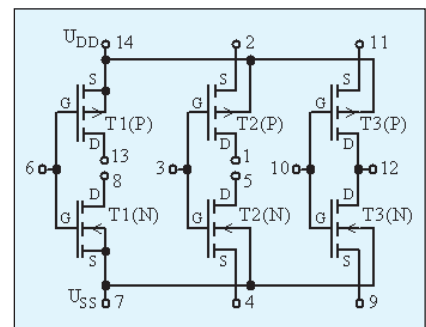


4. ábra

áramkörök). Ezekben a FET-ek azonos minőségűek a CD4xxxB sorozatban lévőkkel, de a kimeneti áram ismét a belső áramkör függvénye, viszont csökkent a működési idő. Az UB betűpáros a puffertelen (unbuffered) jellegre fejezi ki, egyben utal a szilícium gate-es, korszerűbb belső kialakításra. A CD4007UB is szerepel ebben a sorozatban (2. ábra). Hamarosan a B, UB változatokat is számos további gyártó is forgalmazza, pl. a Texas Instruments is (3. ábra).

Ideje elárulni, mit is tartalmaz a CD4007 (az áramkörkészlet a CD4007A és a CD4007UB esetében azonos, így ezt nem kell külön tárgyalnunk), miért tekinthető „CMOS-építőkészlet”-nek. Az áramköri részleteket és az IC lábkiosztását a 4. ábra mutatja be. Alapvetően a CD4007 egy tranzisztor-készlet (transistor-array). A tranzisztorok szabványos, az egyéb CD4xxxA, illetve CD4xxxUB CMOS IC-kben is alkalmazott növekményes MOSFET-ek. Három PFET, T1(P), T2(P), T3(P) és három NFET, T1(N), T2(N), T3(N) látható az ábrán. A jelölések furcsák, de az eredeti katalógusokban így szerepelnek a tranzisztorok, pontosabban a magyar nyelvű irodalomban a tranzisztorok jelölésére használatos T betű helyett ott Q betűt láthatunk, pl. így: Q1(P). A tápfeszültséget a katalógusban szereplő V_{DD} helyett így jelöljük: U_{DD} . A másik tápfeszültség-csatlakozó, a „test” a katalógusban V_{SS} nevet visel. Ezt a pontot a hazai irodalomban többféle jelöléssel is szerepeltetik, lehet U_{SS} vagy 0 V, de a TTL digitális áramköröknél megszokott GND jelölés is gyakori. A kapcsolások megépítésekor a tápfeszültséget az U_{DD} pontra vezetjük, a tápegység 0 pontját kötjük az áramkörünk U_{SS} (vagy az ennek megfelelő GND vagy 0 V) jelzésű csatlakozójára. Az IC szöveges megnevezése a gyári leírásokban: két komplementer tranzisztor-páros és egy inverter (Dual Complementary Pair Plus Inverter).

A T1 páros alkot egy invertert, de nincs teljesen kész, mivel a tranzisztorok drain elektródái nincsenek egymással összekötve, pedig így alkotnák az inverter kime-



5. ábra

netét. A T2 párosnál már a source elektródák is bekötetlenek. A T3 páros is majdnem kész inverter, de itt a source pontok nincsenek a tápfeszültségre, illetve az U_{SS} (GND , 0 V) pontra kötve. Nem lehetett a hat tranzisztor minden csatlakozópontját kivezetni, hiszen a tokon csak 14 láb van, abból is kettőt lefoglal a tápfeszültség (U_{DD} , illetve U_{SS}). Mindenesetre páronként közösítették a gate pontokat, a source és a drain pontok bekötése viszont láthatóan változatos. Mindez azt jelenti, hogy nem lehet teljesen szabadon kialakítani a kapcsolásokat, de mint látni fogjuk, nagyszámú digitális áramkör esetében a CD4007 belső elrendezése nem akadályozza meg a megvalósítást.

A növekményes MOSFET használatos rajzjelének sajátossága, hogy nincs rajta megjelölve a drain és a source pont (a P vagy N jellegre a szubsztrát kivezetésén elhelyezett nyíl iránya utal). A CD4007 változatokban minden tranzisztornál a szubsztrátot az IC-n belül rákötötték a megfelelő pontra. A PFET-ek esetében ezek az U_{DD} -re csatlakoznak, mert az a kapcsolásokban a legpozitívabb pont, az NFET-eknél az U_{SS} -re, mint a legnegatívabb pontra. Az 5. ábrán bejelöltük a tranzisztorok mindhárom csatlakozópontját (G : gate, D : drain, S : source).

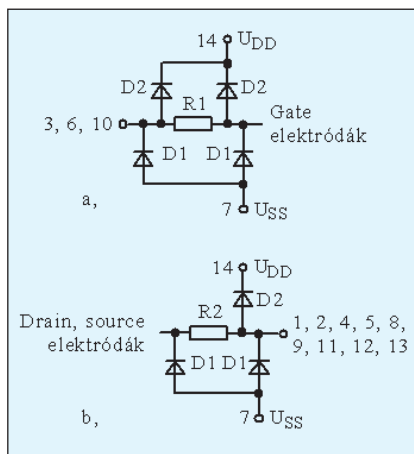
Annak érdekében, hogy a CD4007-ből felépített kapcsolások a CD4xxxA, illetve CD4xxxUB sorozatokban szereplő digitális IC-khez hasonló paraméterekkel működjenek, a tranzisztorok ugyanazal a technológiával készültek, mint a sorozat más tagjainál. De már említettük, hogy az áramkörök bemenetein és kimenetein

1. táblázat

Megnevezés, jelölés	Tápfeszültség		Mértékegység
	5 V	10 V	
L kimeneti áram I_{OL}	1	2,5	mA
H kimeneti áram I_{OH}	-2,5	-4	mA
Késleltetési idő t_p	35	20	ns

védőhálózatok is szerepelnek a digitális logikai IC-kben. Ezek megtalálhatóak a „CMOS-építőkészletben” is. Mivel két-két tranzisztor gate-je össze van kötve, ezeknél egyegy, összesen tehát három bemeneti védőhálózatot elegendő volt kialakítani. A bemeneti védelmet ellátó kis áramkör a **6.a ábrán** látható. A kimeneti védőáramkör a drain és source csatlakozópontok mindegyikénél megjelenik (**6.b ábra**). A kis hálózatokban szereplő diódák tulajdonképpen a gyártáskor létrejövő parazita elemek, amik jó tékony védőhatást biztosítanak. Az R1 ellenállás értéke 1...5 kohm, az R2-é pedig 15...30 ohm.

Többször kifejtettük, hogy a CD4007-ben levő tranzisztorokat felhasználva a CD4xxx-es sorozatokban található áramkörökkel egyenértékűeket tudunk építeni. Ennek az a magyarázata, hogy az első integrált áramkörökben is, és a mai processzorokban, memóriákban is egymástól független tranzisztorokat alakítanak ki a gyártás során a szilíciumlapka felületén, majd azokat fémezéssel kapcsolják egymáshoz. A digitális integrált áramkörökben nem használják ki



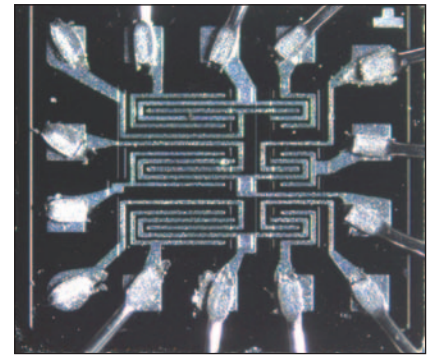
6. ábra

azt, hogy egymás közvetlen közelében, azonos félvezető-térfogatban vannak a tranzisztorok. Sőt, a gyártástechnológia egyik fontos feladata éppen az, hogy a tranzisztorok teljesen szeparáltak legyenek egymástól, azaz függetlenül tudjanak működni. Ami változik, a tranzisztorok mérete és a fémezés jellege. A hajdani áramkörök, így a CD4xxx-es sorozatok is egyetlen alumíniumréteggel összeköthetők voltak, egy mai processzorban egymás felett sokszor tíznél több fémezési réteget is kialakítanak, a megnövekedett sebesség miatt sokszor nem is alumíniumból, hanem vörösrézről. De, ott lenn a fémezési rétegek alatt, a szilíciumlapka felszínén még mindig egymástól független tranzisztorok tömege lapul. A **7. ábrán** az RCA CD4007UB fémezését láthatjuk a csip felületéről készült fotón.

A CD4007 áramkörökről készített katalógusokban a gyártók nem az egyes tranzisztorok szokásos adatait adják meg, hanem a belőlük kialakítható inverter paramétereit, ezzel is utalva az IC digitális jellegére. A CMOS áramkörökre jellemző módon a terheletlen kimeneten **H** (magas) logikai érték esetén a tápfeszültség (U_{DD}), **L** (alacsony) érték esetén a 0 V (GND , USS) lép ki. A névleges terhelési áramokat a $U_{DD} - 0,05\text{ V}$ (**H** szintnél), illetve a $0,05\text{ V}$ (**L** szintnél) értékekhez adják meg. Az áramkör

2. táblázat

Megnevezés, jelölés	Tápfeszültség			Mértékegység
	5 V	10 V	15 V	
L kimeneti áram I_{OL}	1	2,5...2,6	6,5...10	mA
H kimeneti áram I_{OH}	-1	-2,5...-2,6	-6,8...-10	mA
Késleltetési idő t_p	40...60	20...30	10...25	ns



7. ábra

által elfogadható bemeneti jelszinttartományokat a CMOS áramköröknél általában úgy határozzák meg, hogy az **L** értékek a tápfeszültség harmadánál kisebb feszültségek, a **H** értékek pedig a tápfeszültség kétharmadánál magasabb értékek. Így szerepeltetik ezeket a CD4007 adatlapokon is.

Mint a megfelelő áramkör család többi tagjánál, a CD4007A tápfeszültség-tartománya 3...15 V, a CD4007UB áramköré pedig 3...18 V. A CD4007A katalógusában a részletes adatokat két tápfeszültség-értékre (5 V-ra, illetve 10 V-ra) adják meg, a CD4007UB esetében pedig háromra (5 V, 10 V, 15 V). Az **1. táblázatban** a 4007A kimeneti áramértékeit és késleltetési időit mutatjuk be, a **2. táblázatban** a CD4007UB adatait. A különböző gyártóktól származó áramkörök katalógusadatai kissé eltérnek egymástól, ebből adódna a táblázatban szereplő szűkebb-tágabb értéktartományok.

A CD4007 a mai napig is beszerezhető áramkör, a legtöbb forgalmazó a CD4007UB-t ajánlja, különböző gyártóktól, de esetenként még a CD4007A egy-egy változata is feltűnik az ajánlati listákon.

(Folytatjuk)