

A valós digitális áramkörök legfontosabb tulajdonságai

Mivel a valóságos digitális áramköröket nem ideális kapcsoló elemek valósítják meg, ezért *viselkedésük nem ideális*. Ezeket figyelembe kell venni a tervezésnél.

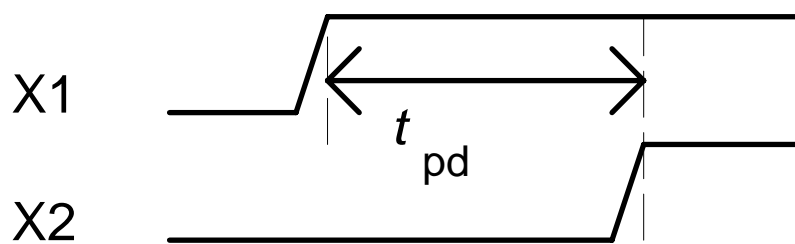
A nem ideális viselkedést leíró jellemzők két fő csoportra oszthatók

- *Dinamikus* (időbeli) tulajdonságok (pl. késleltetés)
- *Statikus* jellegű tulajdonságok (pl. meghajtó képesség)

Időzíti alapfogalmak

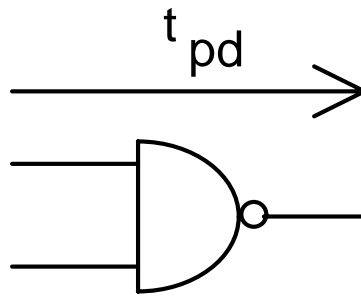
Késleltetési idő (t_{pd} propagation delay time)

A bementi jelváltozáshoz képest mennyit késik a kimenet jelváltozás. Különböző irányú tranziensek (H-L, L-H) esetén a késleltetési idők eltérőek lehetnek.



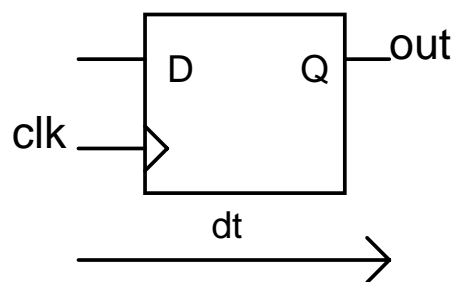
1. ábra. Késleltetési idő

- kapuk, kombinációs hálózat késleltetése



2. ábra

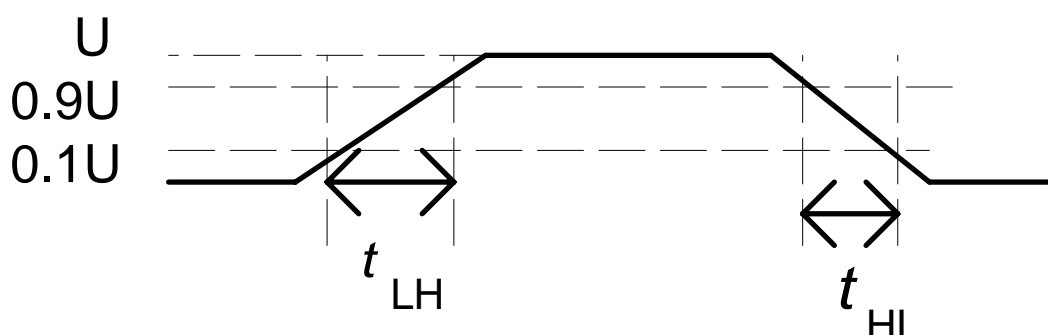
- flip-flop órajeléhez képest mennyit késik a kimeneti változás



3. ábra

Fel- ill. lefutási idő

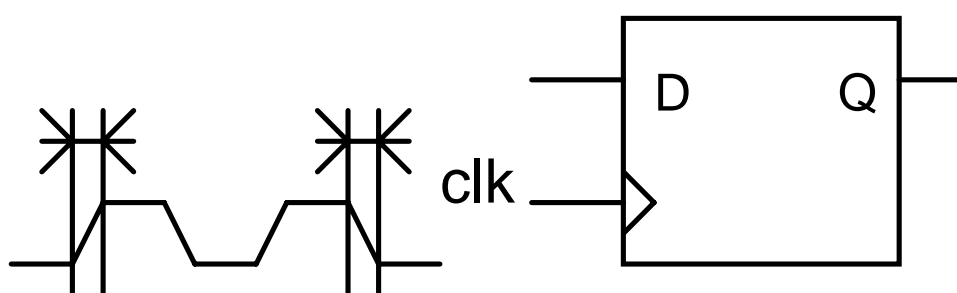
A jelek változási sebessége a valóságos áramkörökben korlátozott, így a digitális jeleknek is véges meredeksége van. A fel- ill. lefutási időn azt az időt értik, ami a jelváltozás során a 10% elérésétől a 90% eléréséig (ill. fordítva) eltelik.



4. ábra. Fel- és lefutási idő

Példa:

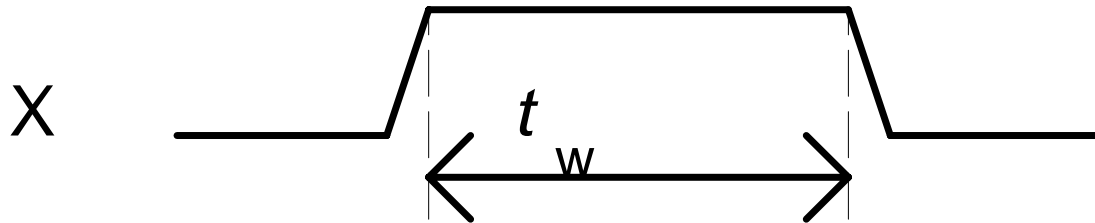
Flip-floppok órajel bemenetéhez előírják a minimális fel ill. lefutási időt.



5. ábra.

Impulzus szélesség (t_w pulse duration, with)

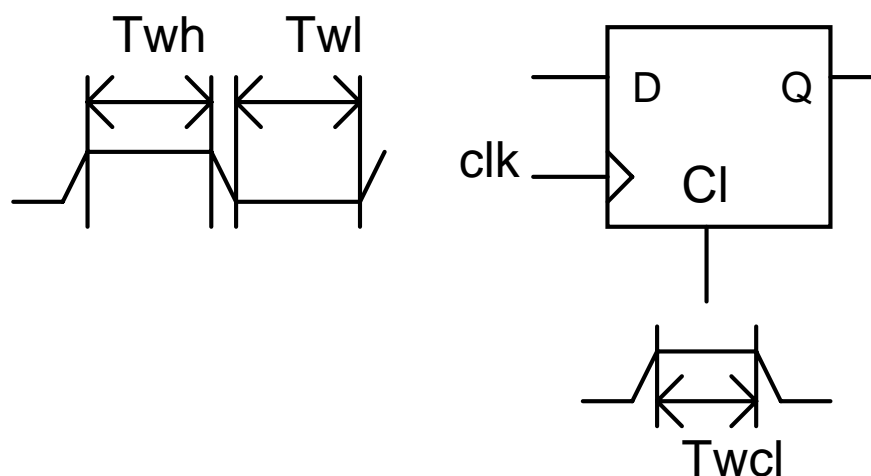
Az impulzus szélessége a jel első és hátsó éle között.



6. ábra. Impulzus szélesség

Példák:

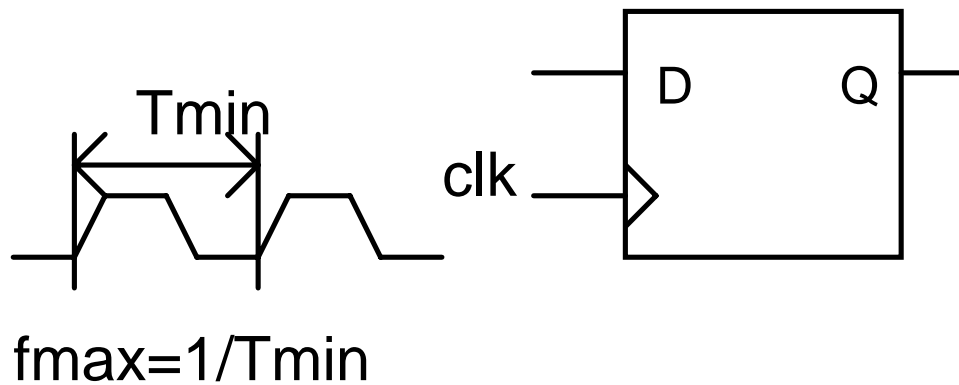
- a flip-floppok órajel bementénél előírják a minimális impulzus szélességet L és H szint esetén.
- a flip-floppok aszinkron clear és preset bemenetéhez előírják a minimális impulzus szélességet



7. ábra.

Maximális órajel frekvencia (f_{\max} , $1/T_{\min}$)

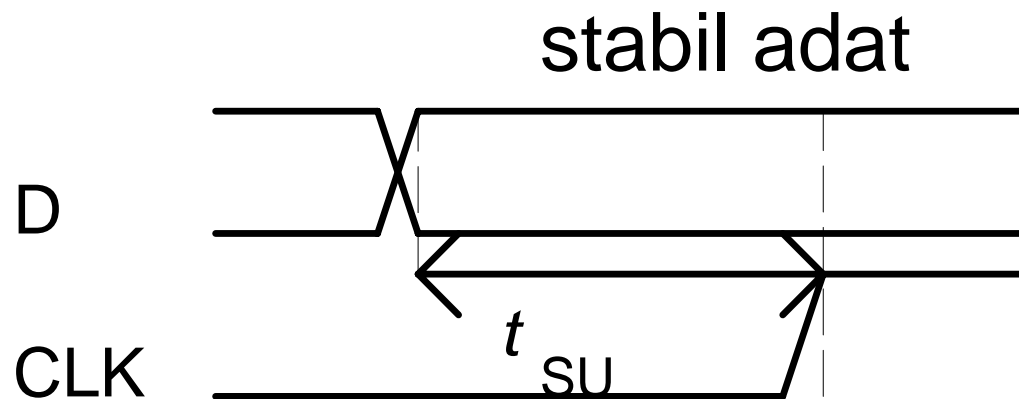
A maximális frekvenciájú órajel, ami a bemenetre adható. (Nagyobb frekvencia esetén nem garantált a helyes működés.)



8. ábra.

Adat előkészítési idő (t_{SU} setup time)

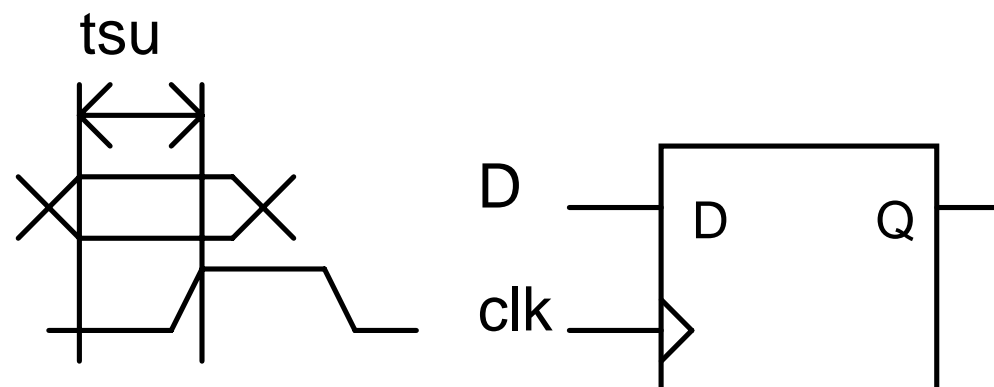
Az egyik jelnek minimálisan a megadott idővel a másik előtt már stabilnak kell lennie. Ennek be nem tartásából származnak a legnagyobb bajok.



9. ábra. Előkészítési idő

Példa:

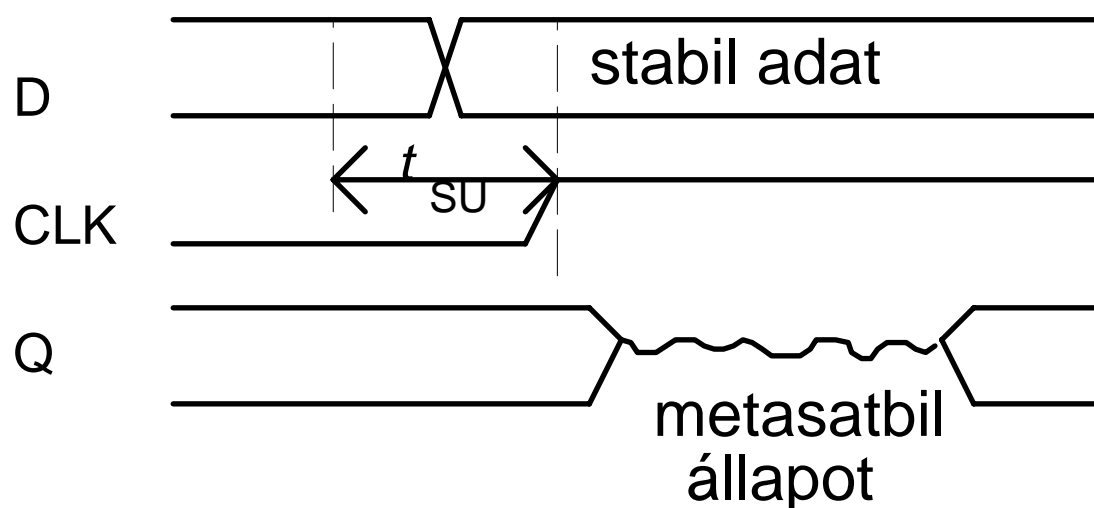
A flip-flop bemenetének a megadott idővel a mintavevő órajel él előtt már stabilizálódni kell.



10. ábra.

Metastabilitás

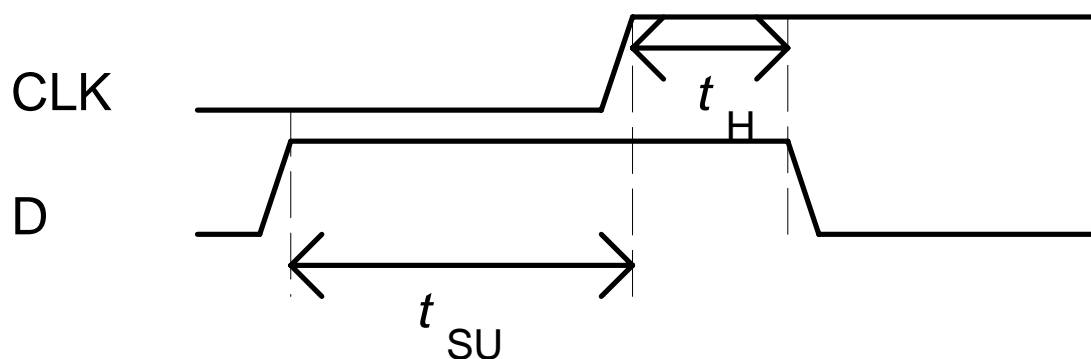
Ha egy flip-flop bemenetén az órajelhez túl közel van a bemeneti jel változása (a setup time-ot nem tartjuk be), a flip-flop ún. metastabil állapotba kerülhet. Ez azt jelenti, hogy egyrészt a flip-flop kimenete az órajelhez képest a definiált késletetésnél jóval később jelenik meg, másrészt a kimenet egy ideig köztes (nem logikai L vagy H) szinten marad. Ilyenkor nem jósolható meg a metastabil állapot hossza, s a végén kiadott logikai szint is véletlenszerű. A jelenség magyarázatához a logikai áramkörök tranzisztor szintű vizsgálata szükséges, ezért azzal itt nem foglalkozunk.



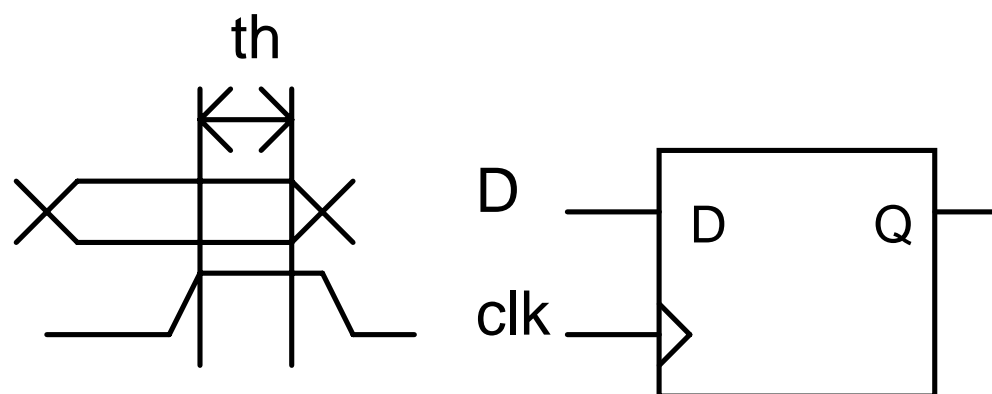
11. ábra Metastabilitás

Tartási idő (t_H hold time)

Az egyik jelet a másik jel megjelenése után még legalább a megadott ideig nem szabad megváltoztatni (pl. órajel után a flip-flop bemenetén az adatot még ennyi ideig kell stabilan tartani).



12. ábra. Tartási idő



13. ábra

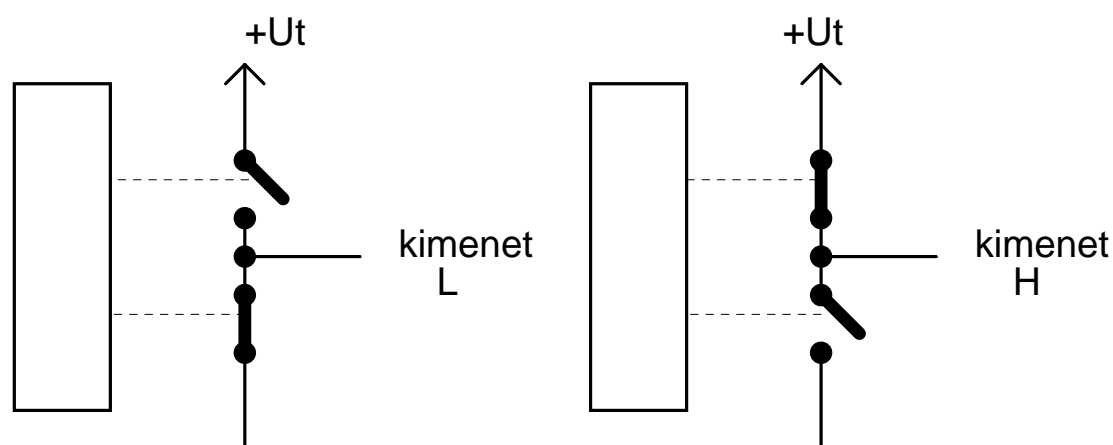
A katalógusban megadott időzítési adatokat szigorúan be kell tartani, különben nem garantált a specifikáció szerinti működés!

A digitális áramkörök kimenetének típusai

Az alábbi sematikus ábrák a tranzisztorok működésének ismeretét nem feltételezik. Ezért egy nagyon durva, de a lényeget megmutató kapcsolós modellt alkalmaznak.

Totem-pole jellegű kimenet

Az L és H szintet aktív félvezető kapcsolók biztosítják.



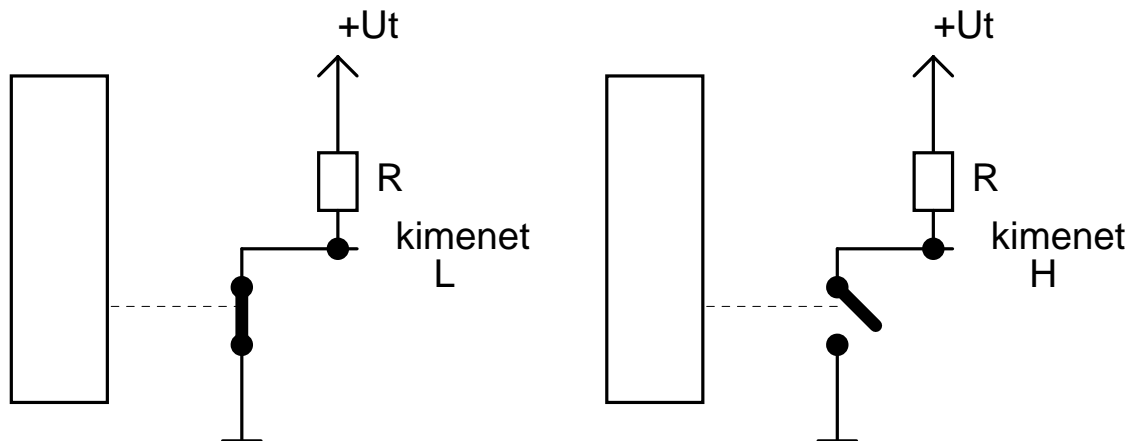
14. ábra Totem pole kimenet

H és L szintre hasonlóan gyorsan kapcsol.

Totem-pole kimeneteket sohasem szabad szembe kapcsolni! (Amikor ellentétes szinteket akarnak kiadni, a kialakuló nagy áramok miatt tönkremehetnek.)

Nyitott kollektoros (open collector) kimenet

Az L szintet aktív félvezető kapcsoló biztosítja, a H szintet egy ellenállás. Az ellenállás általában nincs beépítve az áramkörbe!



15. ábra Open collectoros kimenet

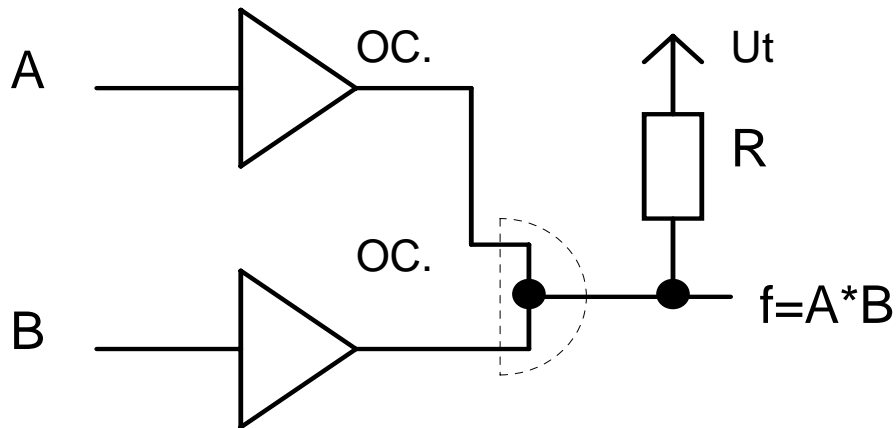
A nyitott kollektoros kimenet ***L-H átmenete lassabb***, mint a totem-pole kimeneté.



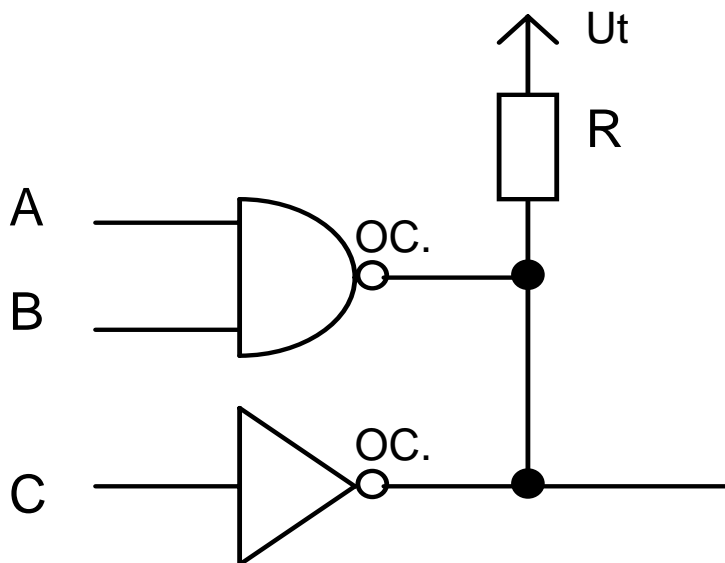
16. ábra OC. kimenet be és kikapcsolása

A bekapcsolt félvezető ellenállásához képest jóval nagyobb ellenálláson keresztül viszonylag lassan töltődnek fel a mindig jelen levő szórt kapacitások.

Az open kollektoros kimenetek szembe köthetők, így *huzalozott ÉS kapcsolat* hozható létre. Ha bármelyik OC. kimenet L szintet ad, akkor az eredő kimenet is L lesz.



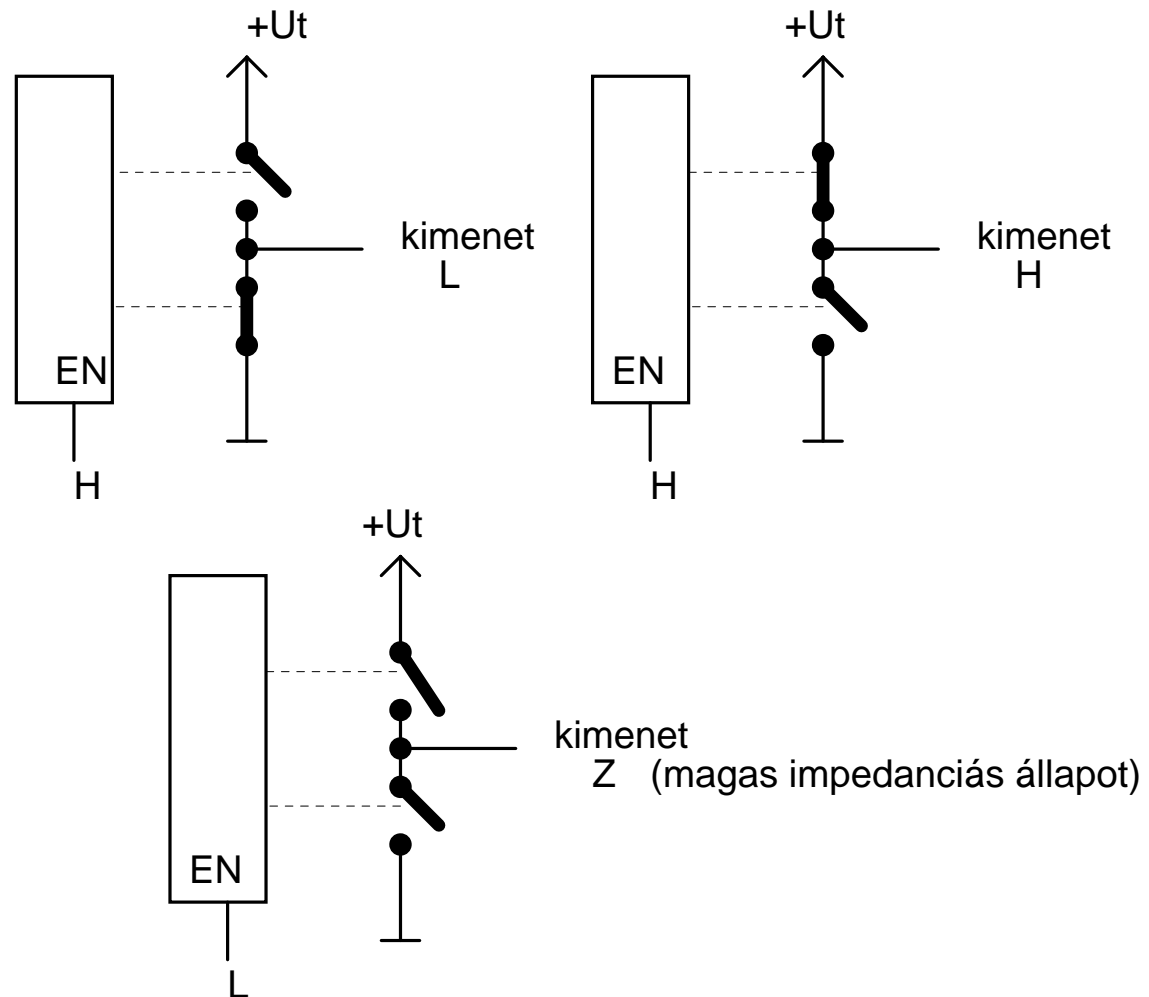
17. ábra Huzalozott ÉS kapcsolat



18. ábra $f = \overline{AB}\overline{C} = \overline{A}\overline{C} + \overline{B}\overline{C}$

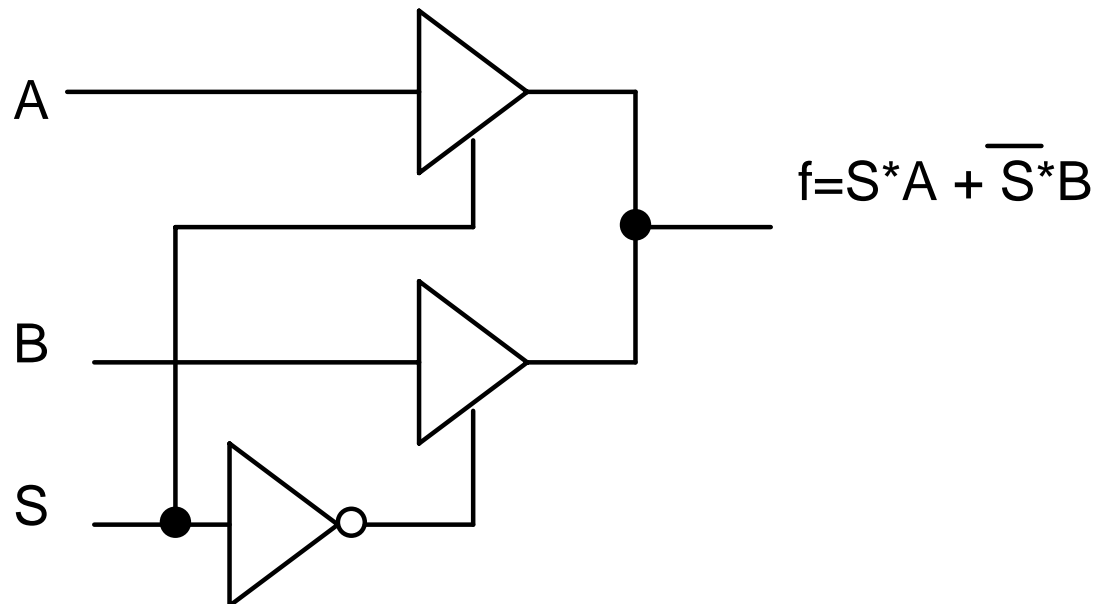
Három állapotú kimenet

Az L és H szintet aktív félvezető kapcsolók biztosítják, de a harmadik állapotban mindektő kikapcsol.



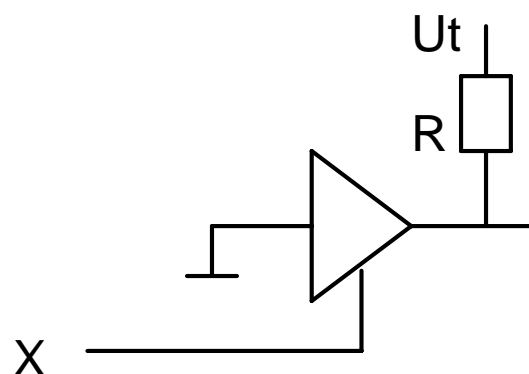
19. ábra Három állapotú kimenet

A három állapotú kimenettel rendelkező áramkörök szembe kapcsolhatók, *ha biztosítjuk, hogy egyszerre csak egy lehet aktív* (pl. 13. ábra).



20. ábra Három állapotú kimenetek szembekapcsolása

Három állapotú meghajtóval nyitott kollektoros jellegű kimenet is létrehozható.

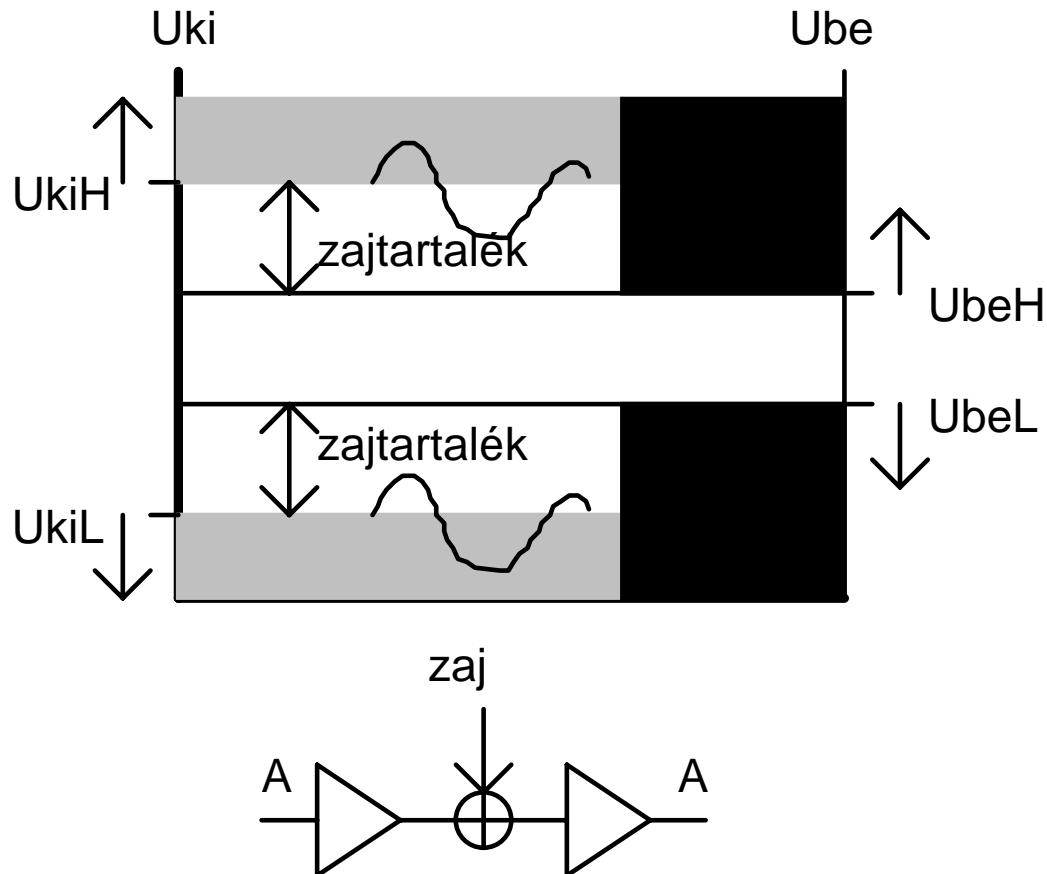


21. ábra Open collectoros jellegű kimenet megvalósítása

Legelterjedtebb logikai áramkör családok

A logikai értéket feszültség tartományok reprezentálják.

A tartományok átfedik egymást:



22. ábra

A bemeneti jelre szuperponálódó kismértékű zaj még nem okoz hibás logikai szint érzékelést!

A TTL (Tranzisztor-Tranzisztor Logika) áramkörök

Tápfeszültségük: 5V (4.5V-5,5V)

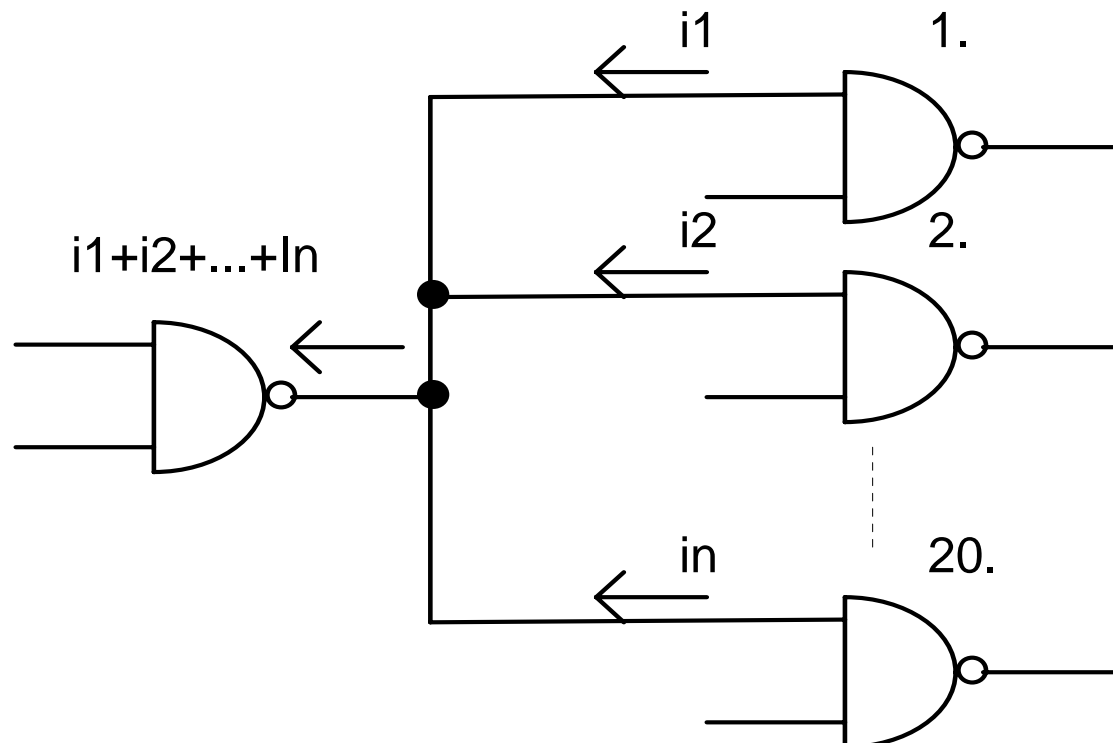
bipoláris tranzisztorokból épülnek fel

TTL	bemenet	kimenet
L	$U_{be} < 0.8V$	$U_{ki} < 0.4V$
H	$U_{be} > 2V$	$U_{ki} > 2.4V$

Kimeneti terhelhetőség

Egy TTL kimenetre nem kapcsolható tetszőleges számú TTL bemenet, mert véges áramot képes kiadni (néhány mA).

Az egy kimenetre kapcsolható standard kapu bemenetek számát nevezzük **fan-out**nak.

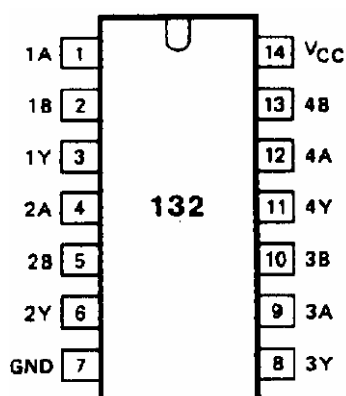


23. ábra Kimeneti terhelhetőség

Néhány 74-es sorozatú TTL áramkör család (elavult, tervezésnél már nem használjuk)

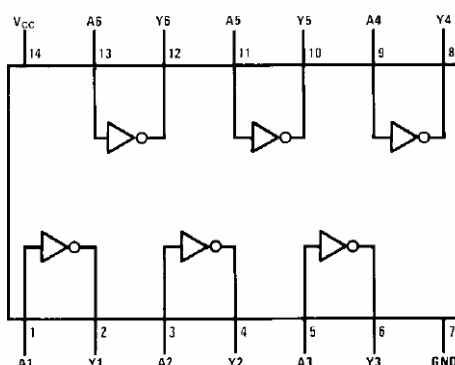
A családok SSI bonyolultságú (logikai kapuk, flip-floppok) és MSI bonyolultságú (funkcionális elemek) tartalmaznak. (Lásd: Szittya-Hunwald katalógus)

Egy-egy IC többnyire 14, 16 lábú DIP tokban van, de SMD (felületszerelhető változatban is léteznek).

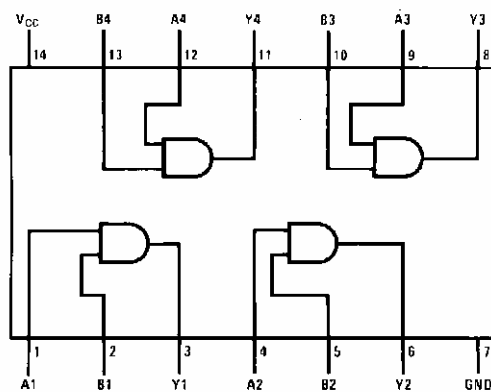


Egy tokban a lábak jó kihasználása miatt több azonos kapu vagy flip-flop van. (A táp, föld is elvesz 2 lábat.)

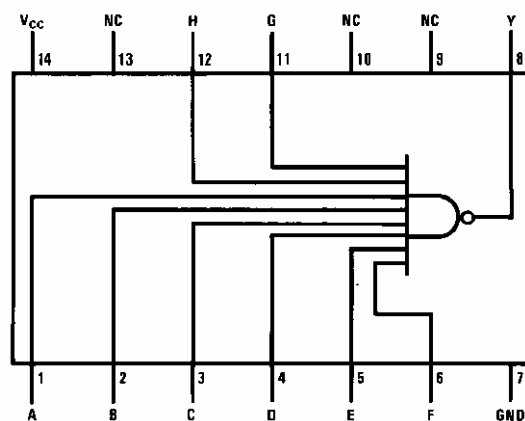
Pl: 7404 6db inverter



7408 4db 2 bemenetű ÉS kapu



1db 8 bemenetű kapu



Ma már inkább az ún. CMOS áramköröket használjuk.

A CMOS (Complementer MOS) áramkörök

Pl. 74HC sorozat

Tápfeszültségük: 2V-6V)

CMOS tranzisztorokból épülnek fel

74HC	bemenet	kimenet
L	$U_{be} < 1.0V$	$U_{ki} < 0.1V$
H	$U_{be} > 3.5V$	$U_{ki} > 4.9V$

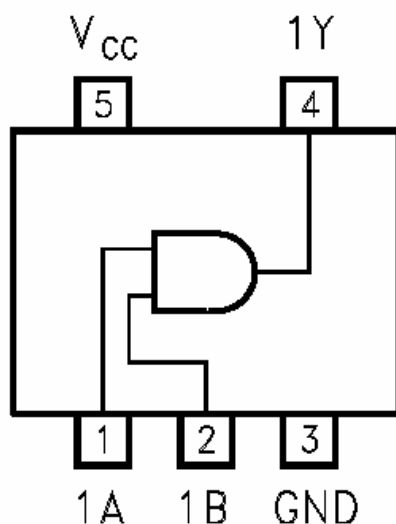
Bementük nagyon magas impedanciás, szinte nem folyik rajta áram.

Ugyanazon funkciójú IC-k megtalálhatók, mint a 74-es sorozatú TTL áramköröknék. Ma már ritkán használjuk.

Egy kapu-egy tok áramkörök

Léteznek a kis lábszámú, kisméretű, felületszerelhető (SMD) egy tokban egy kaput tartalmazó áramkörök is. Ha csak 1-2 kapura van szükség, akkor ezeket használjuk.

Pl. 74LX1G08

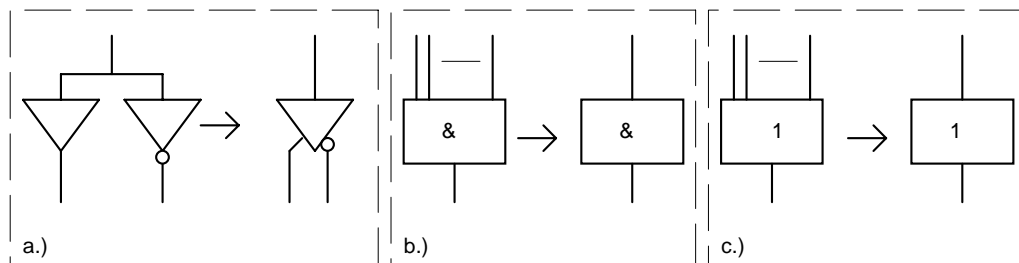


Egyéb esetben a feladat bonyolultságának megfelelő méretű programozható logikákat alkalmazunk (PLD, CPLD, FPGA).

A modern tervezés eszközei a *programozható logikák*

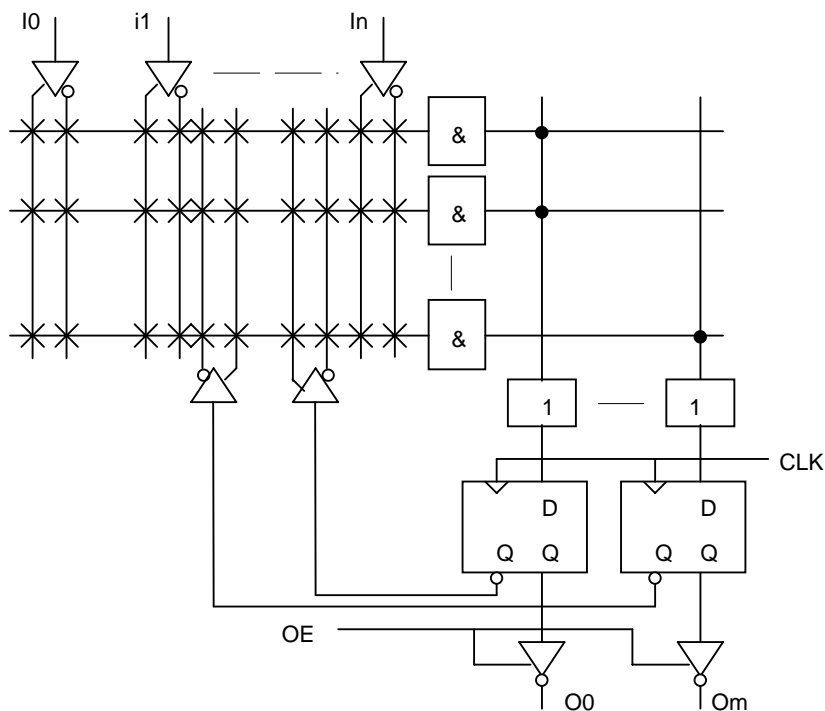
PLD-k: ÉS-VAGY struktúrájú programozható logikák

Jelölések:



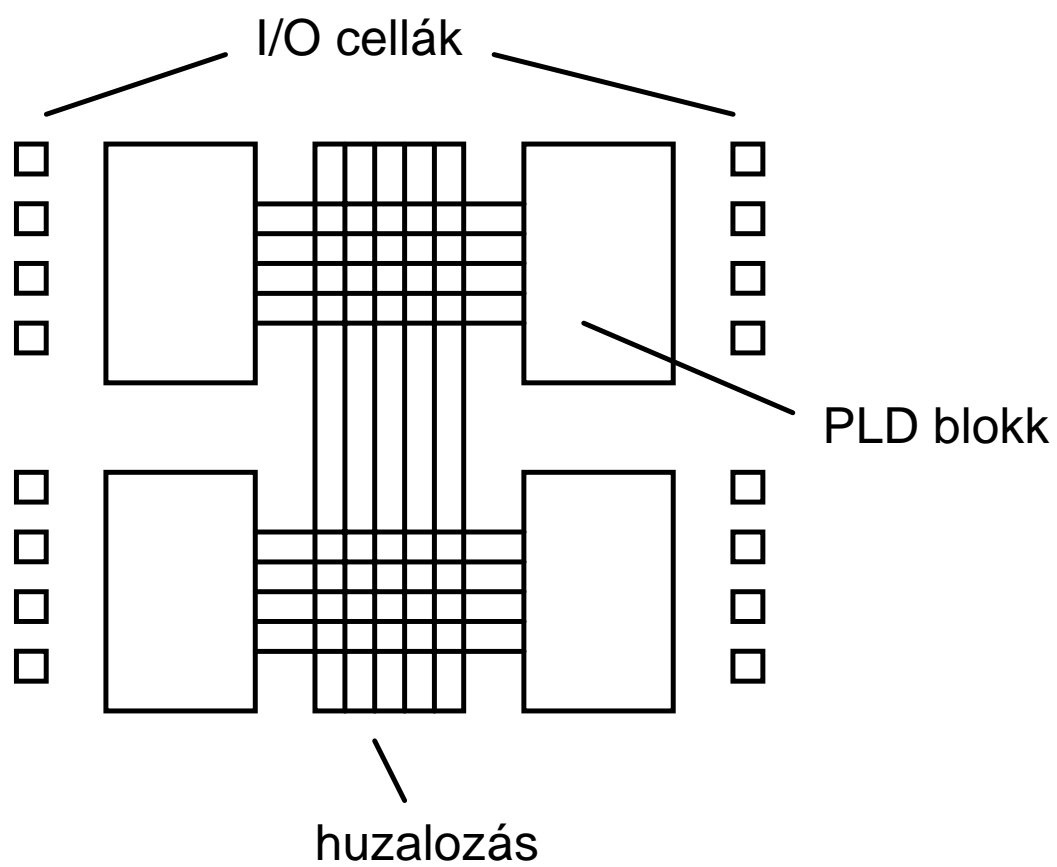
24 ábra.

PAL blokkvázlata



25. ábra

CPLD (Complex PLD)



26. ábra

Példa CPLD-re: LATTICE ispMACH

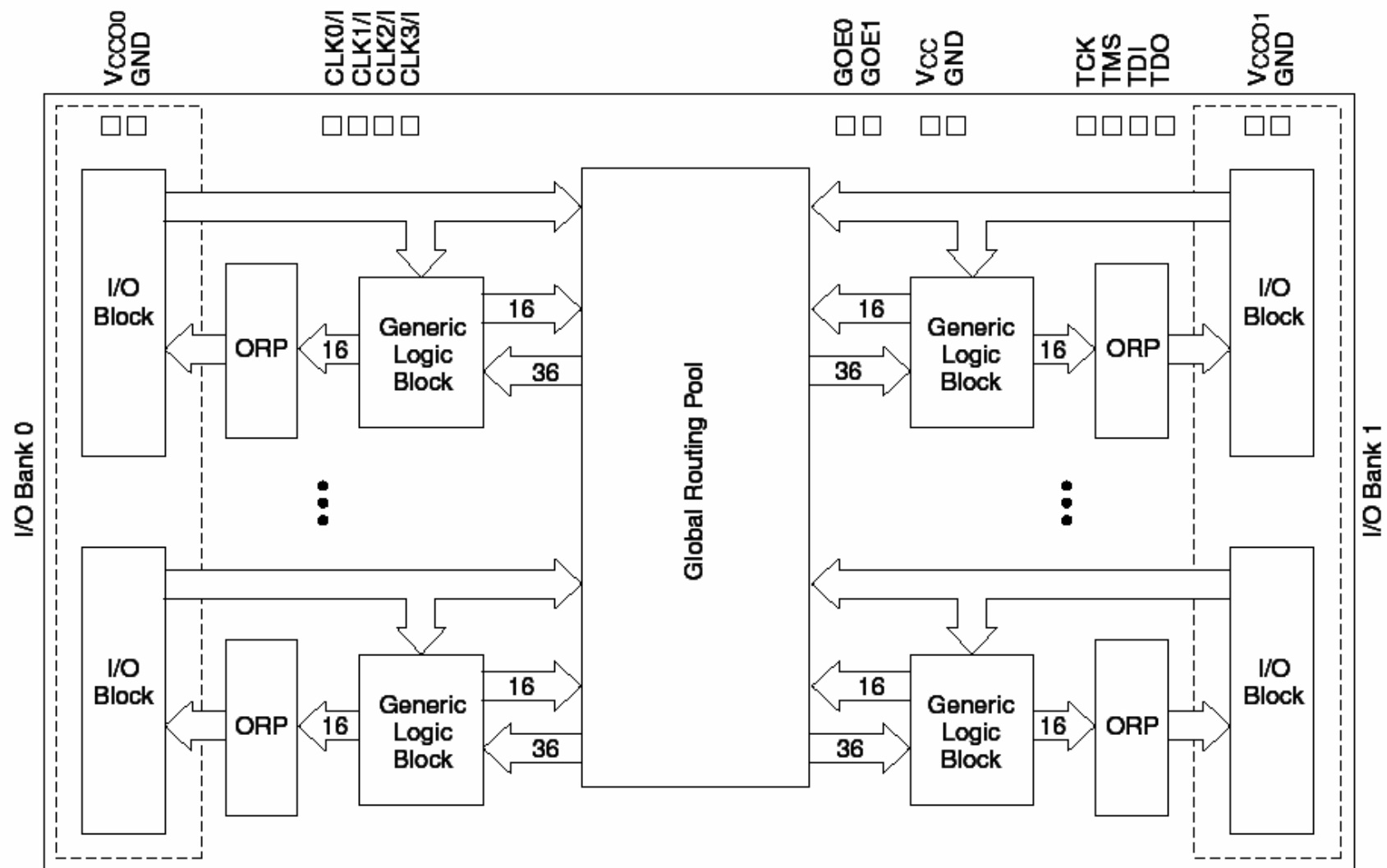
Tápfeszültség: 3.3V 2.5V 1.8V, $f_{\max} = 400$ MHz, $t_{pd} = 2.5$ ns

Table 1. ispMACH 4000V/B/C Family Selection Guide

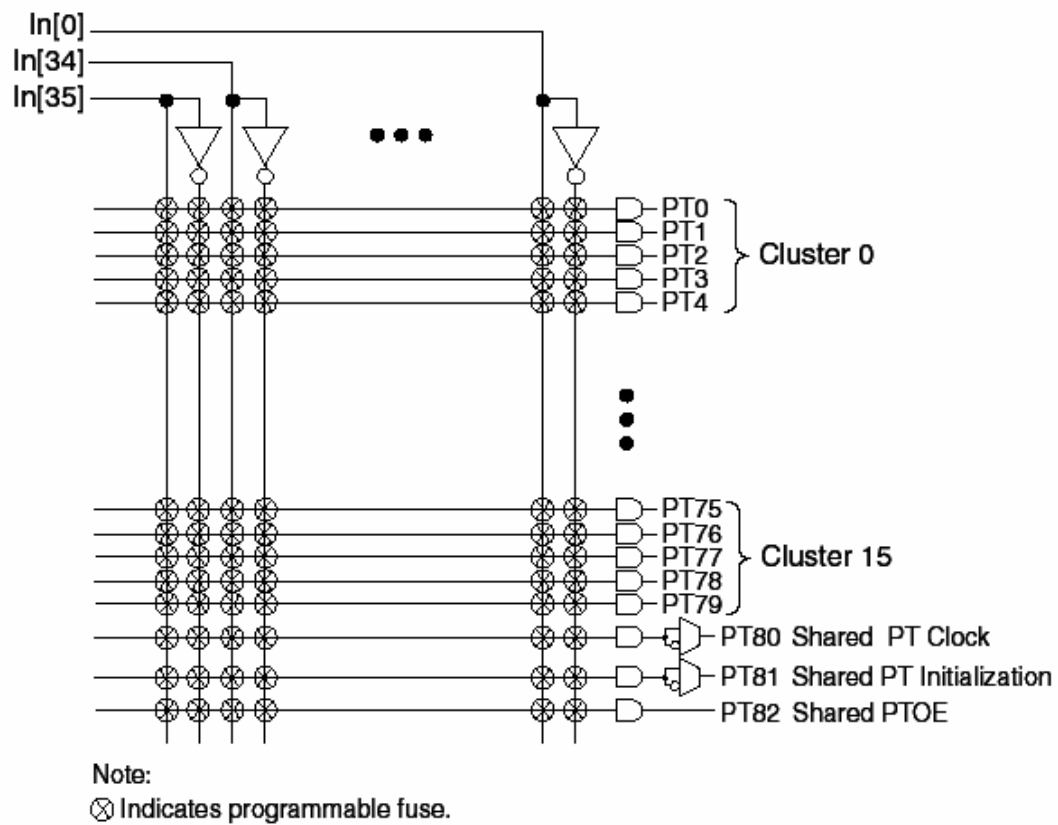
	ispMACH 4032V/B/C	ispMACH 4064V/B/C	ispMACH 4128V/B/C	ispMACH 4256V/B/C	ispMACH 4384V/B/C	ispMACH 4512V/B/C
Macrocells	32	64	128	256	384	512
I/O + Dedicated Inputs	30+2/32+4	30+2/32+4/ 64+10	64+10/92+4/ 96+4	64+10/96+14/ 128+4/160+4	128+4/192+4	128+4/208+4
t_{PD} (ns)	2.5	2.5	2.7	3.0	3.5	3.5
t_S (ns)	1.8	1.8	1.8	2.0	2.0	2.0
t_{CO} (ns)	2.2	2.2	2.7	2.7	2.7	2.7
f_{MAX} (MHz)	400	400	333	322	322	322
Supply Voltages (V)	3.3/2.5/1.8V	3.3/2.5/1.8V	3.3/2.5/1.8V	3.3/2.5/1.8V	3.3/2.5/1.8V	3.3/2.5/1.8V
Pins/Package	44 TQFP 48 TQFP	44 TQFP 48 TQFP 100 TQFP	100 TQFP 128 TQFP 144 TQFP ¹	100 TQFP 144 TQFP ¹ 176 TQFP 256 fpBGA ²	176 TQFP 256 fpBGA	176 TQFP 256 fpBGA

1. 3.3V (4000V) only.

2. 128-I/O and 160-I/O configurations.

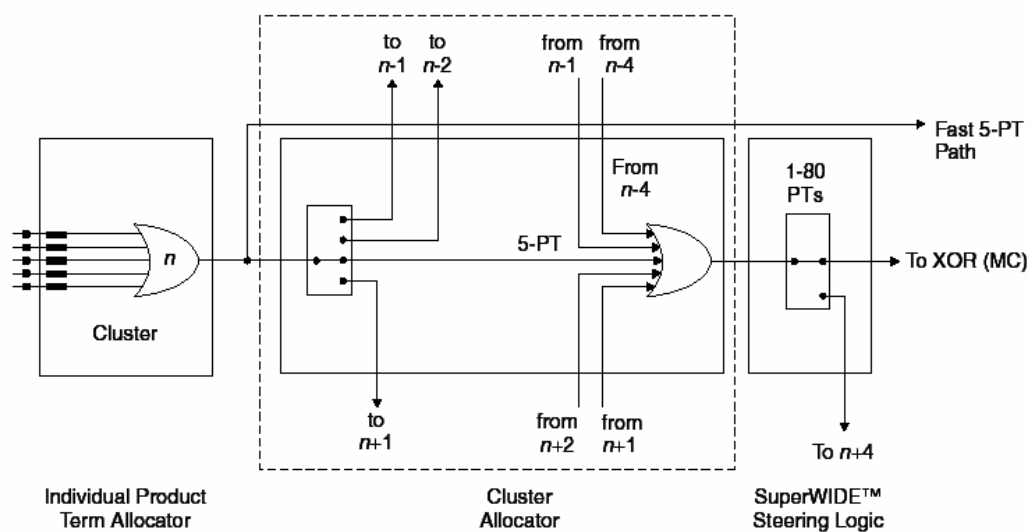


ÉS mátrix:

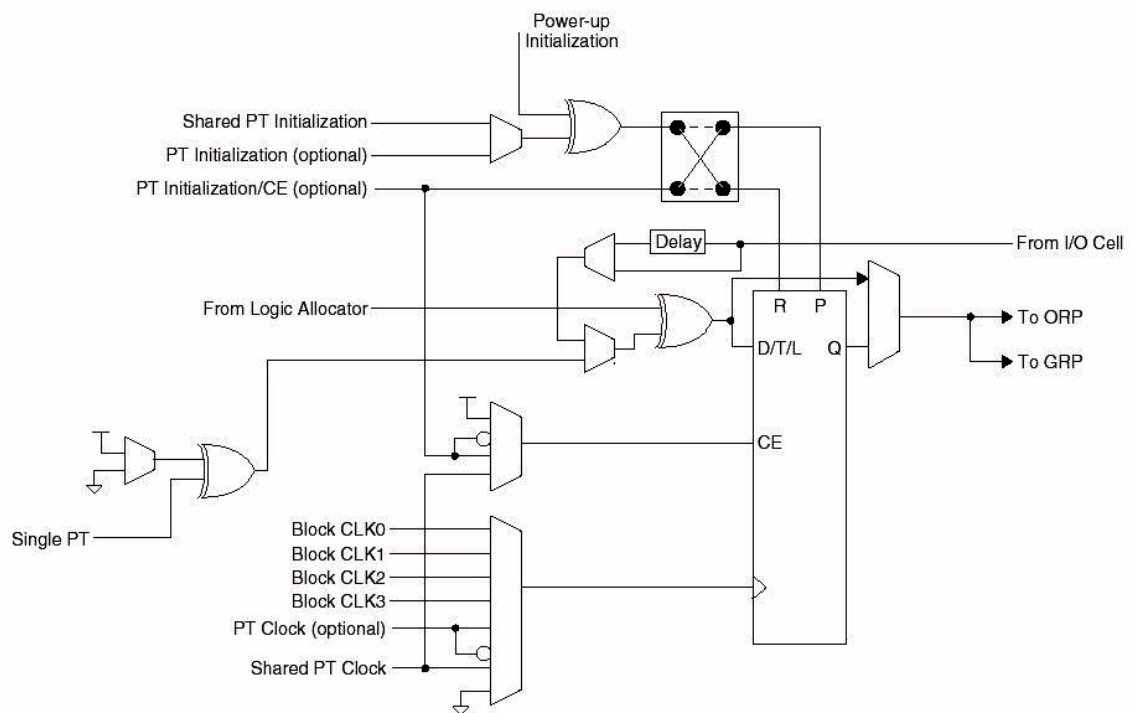


VAGY logika:

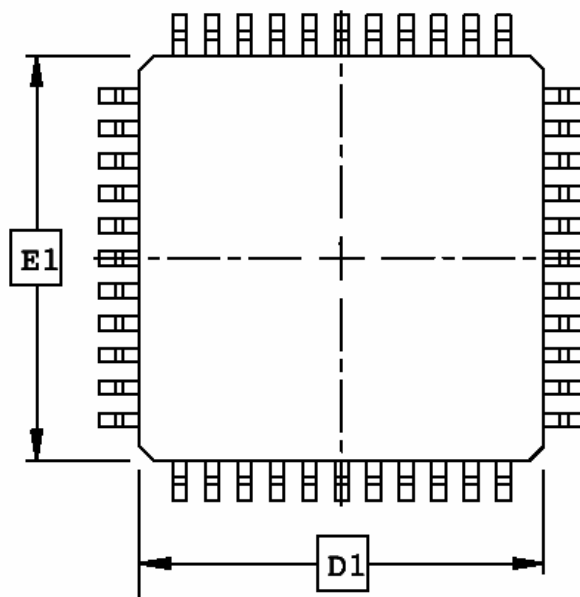
Macrocell Slice



Kimeneti logika:

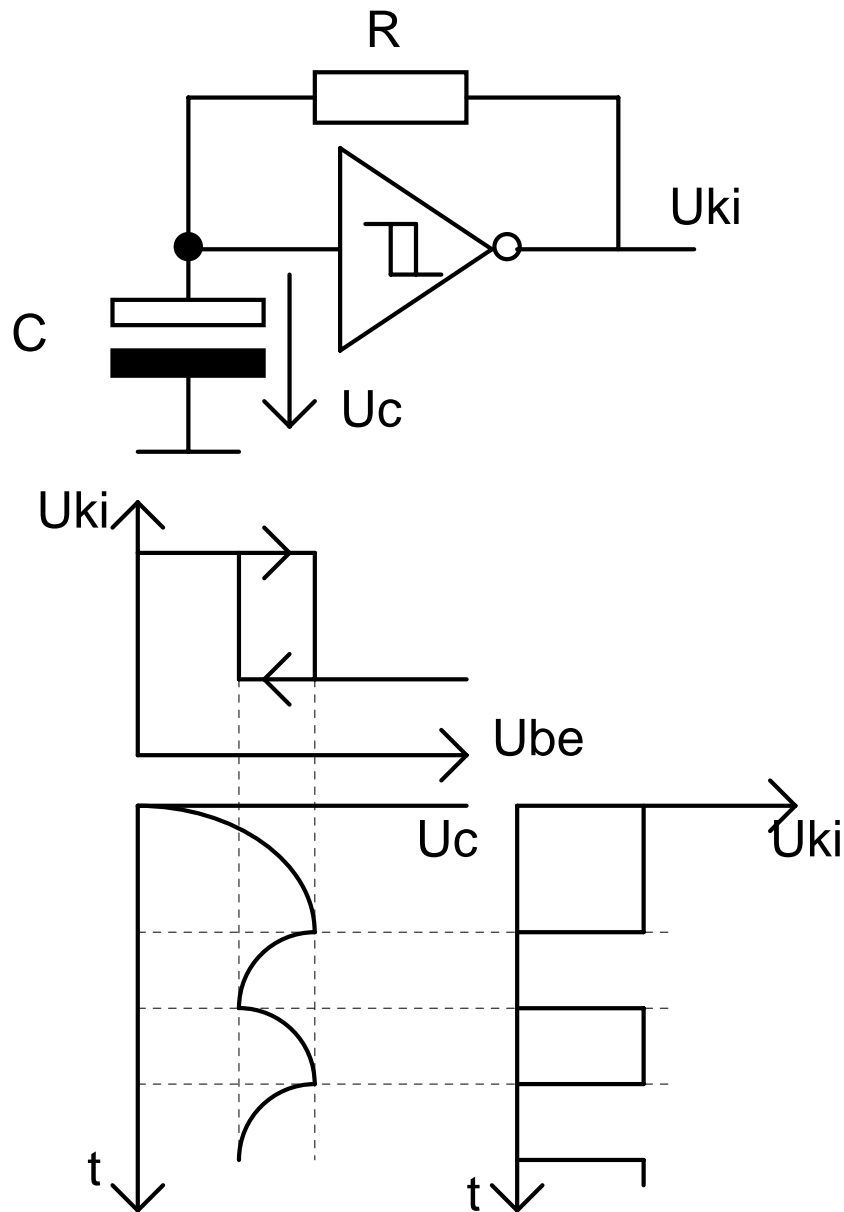


Tokozás (pl. TQFP44):



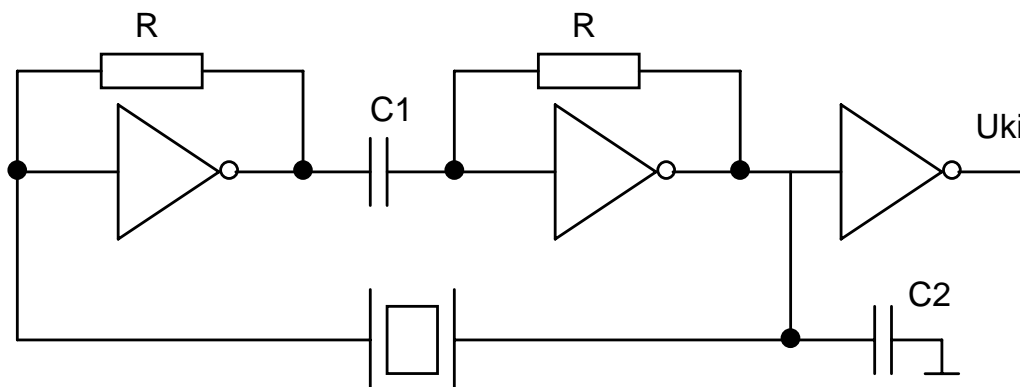
Órajel előállítás

RC oszcillátorral (ha nem igényelt nagyon pontos frekvencia)



27. ábra RC oszcillátor és működése

Kvarc oszcillátorral (nagyon pontos frekvencia esetén)

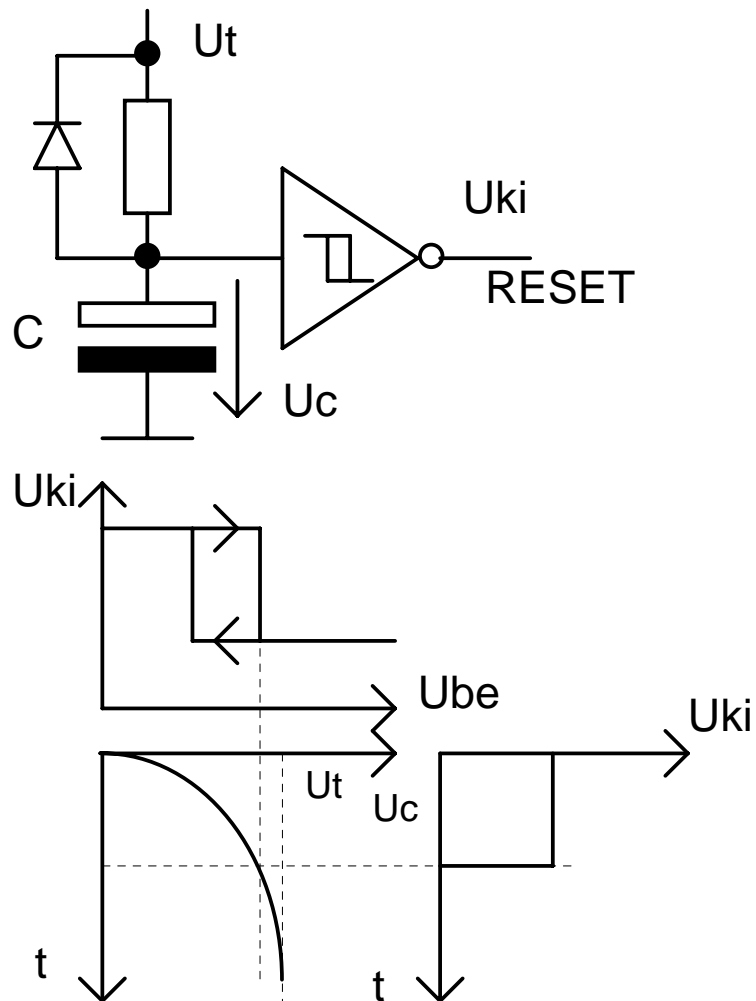


28. ábra Kvarc oszcillátor

Kaphatók kész oszcillátor IC-k is.

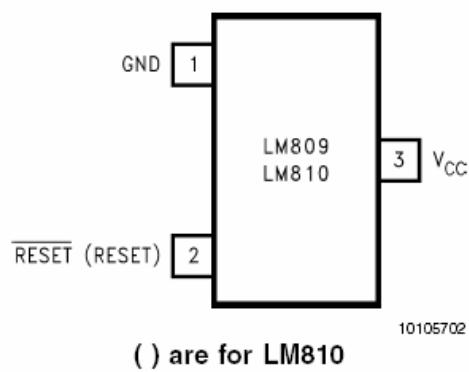


Szinkron sorrendi hálózatok alaphelyzetbe állítása (bekapcsolási reset)

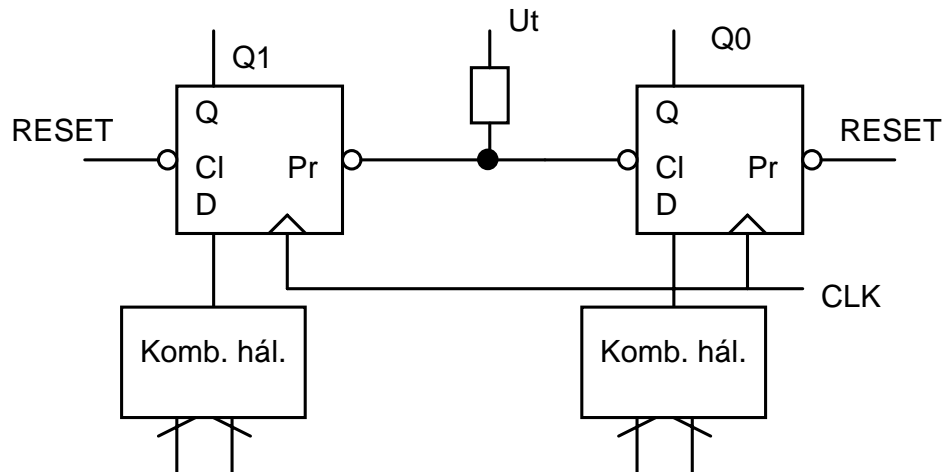


29. ábra RESET áramkör és működése

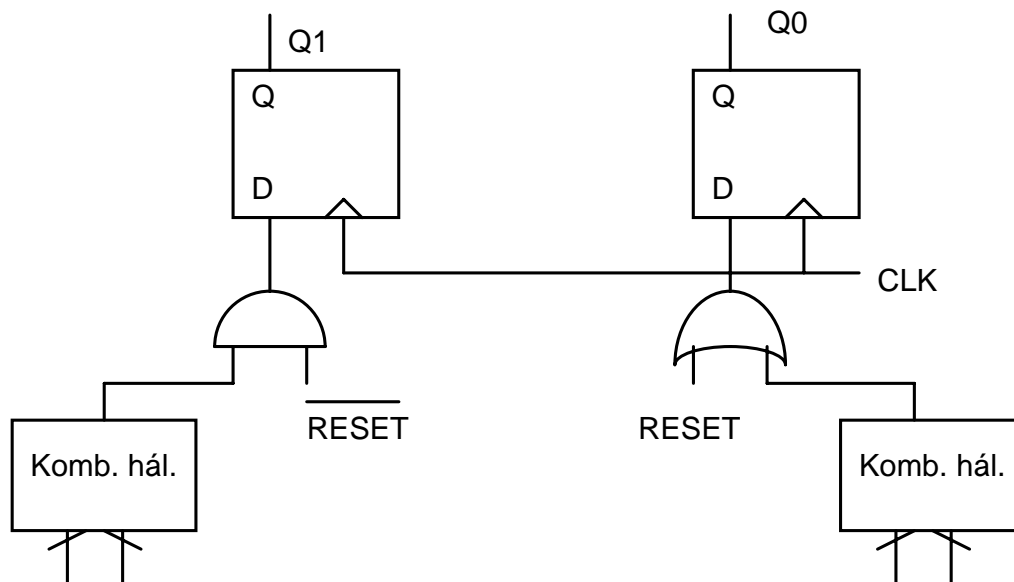
Kész RESET áramköröket is lehet vásárolni.



A szinkron sorrendi hálózatok a flip-floppok aszinkron Clear és Preset bemente segítségével, vagy egy külön szinkron alaphelyzetbe állító jel betervezésével állítható alaphelyzetbe.



30. ábra SSH alaphelyzetbe hozása aszinkron módon (itt az alaphelyzet $Q_1Q_0=01$)



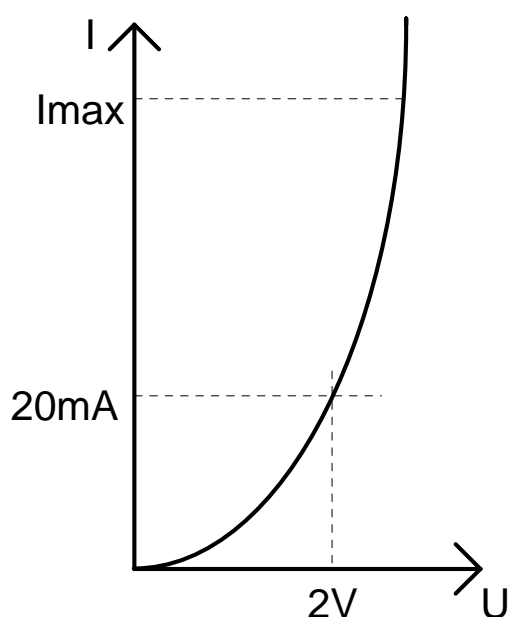
31. ábra SSH alaphelyzetbe hozása szinkron módon (itt az alaphelyzet $Q_1Q_0=01$)

Logikai család	Késleltetési idő	Él-idő	Vih(min)	Vil(max)	Voh(min)	Vol(max)	Zajmargó
74	22ns		2.0V	0.8V	2.4V	0.4V	0.4V
74LS	15ns		2.0V	0.8V	2.7V	0.5V	0.3V
74F	5ns	2.3ns	2.0V	0.8V	2.7V	0.5V	0.3V
74AS	4.5ns	1.5ns	2.0V	0.8V	2.7V	0.5V	0.3V
74ALS	11ns	2.3ns	2.0V	0.8V	2.5V	0.5V	0.3V
ECL	1.45ns	0.35ns	-1.165V	-1.475V	-1.025V	-1.610V	0.135V
4000	250ns	90ns	3.5V	1.5V	4.95V	0.05V	1.45V
74C	90ns		3.5V	1.5V	4.5V	0.5V	1V
74HC	18ns	3.6ns	3.5V	1.0V	4.9V	0.1V	0.9V
74HCT	23ns	3.9ns	2.0V	0.8V	4.9V	0.1V	0.7V
74AC	9ns	1.5ns	3.5V	1.5V	4.9V	0.1V	1.4V
74ACT	9ns	1.5ns	2.0V	0.8V	4.9V	0.1V	0.7V
74AHC	3.7ns		3.85V	1.65V	4.4V	0.44V	0.55V

Néhány gyakorlati kapcsolás

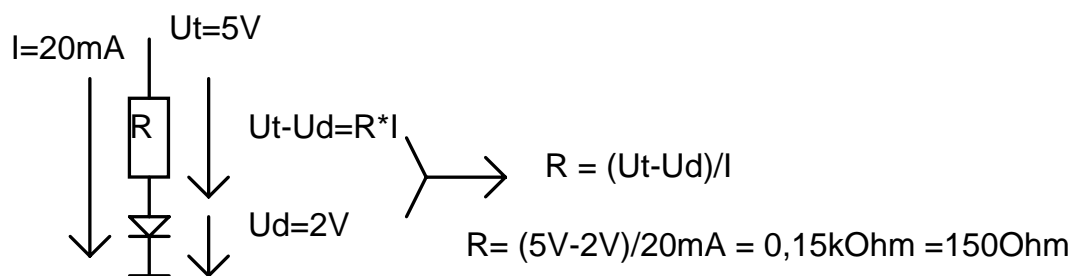
Hogyan használjuk a LED-et?

A LED tulajdonképpen fényemittáló *dióda*. A feszültség-áram karakterisztikája tipikus dióda karakterisztika.

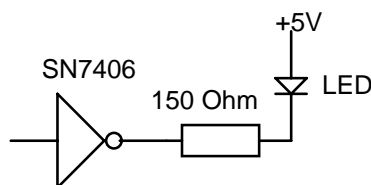


Egy átlagos LED kapcsain kb. 20mA áramnál kb. 2V feszültség jelenik meg. A feszültség kis megnövekedése is nagy áram növekedést okoz ami, ha meghaladja az Imax áramot, akkor a LED tönkre megy. Ezért nem szabad közvetlenül feszültség forrásra kapcsolni, csak ellenálláson keresztül.

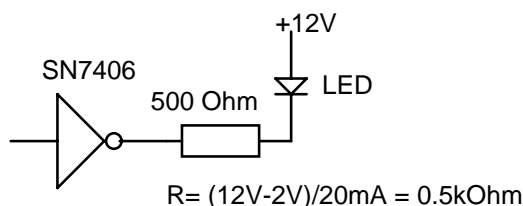
Ha 5V tápfeszültséget használunk, a fenti LED esetén (amelyen 20mA-nél kb. 2V feszültség esik), az alábbiak szerint határozhatjuk meg a szükséges ellenállás értékét.



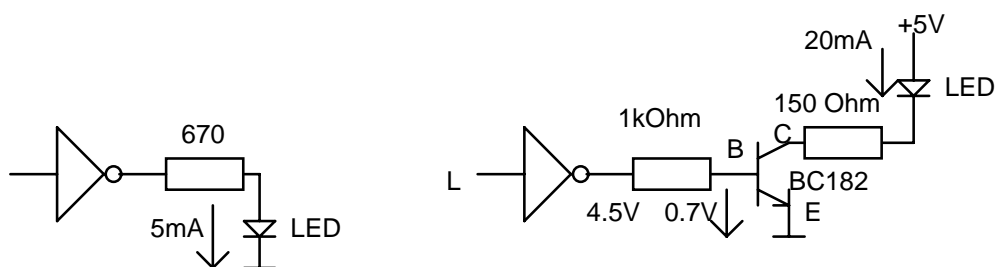
Ha TTL kapu kimenetéről akarunk LED-et meghajtani, akkor a sorozatban léteznek nyitott kollektoros (oc.) kimenettel rendelkező áramkörök, pl. A 7406 oc. inverter és a 7407 oc. Meghajtó, ráadásul egy IC-ben 6 áramkör van. Az áramkör kimenete max. 40 mA-el terhelhető, így a LED-et 20mA-el meghajthatjuk.



Az open kollektoros kapcsolás előnye, hogy a kollektorra kapcsolt terhelésre magasabb feszültséget is kapcsolhatunk, mint amekkora a meghajtó logika tápfeszültsége (hogy mekkorát az a tranzisztortól függ). Ebben az esetben persze pl. a LED meghajtásnál a soros ellenállás kiszámításakor ezt a feszültséget kell figyelembe venni.



Ha CMOS áramköről akarunk LED-et meghajtani, akkor azt (pl. 74HC32) csak kisebb, max. 5mA árammal tudjuk megtenni. A korszerű nagy fényerejű LED-ek már ilyen kis áramnál is elég jól világítanak és a LED-en eső feszültség elhanyagolhatóan kisebb 2V-nál (kb. 1.7V). Így a fenti képletbe ezt és 5mA-t helyettesítve 670 Ohm standard ellenállás adódik.



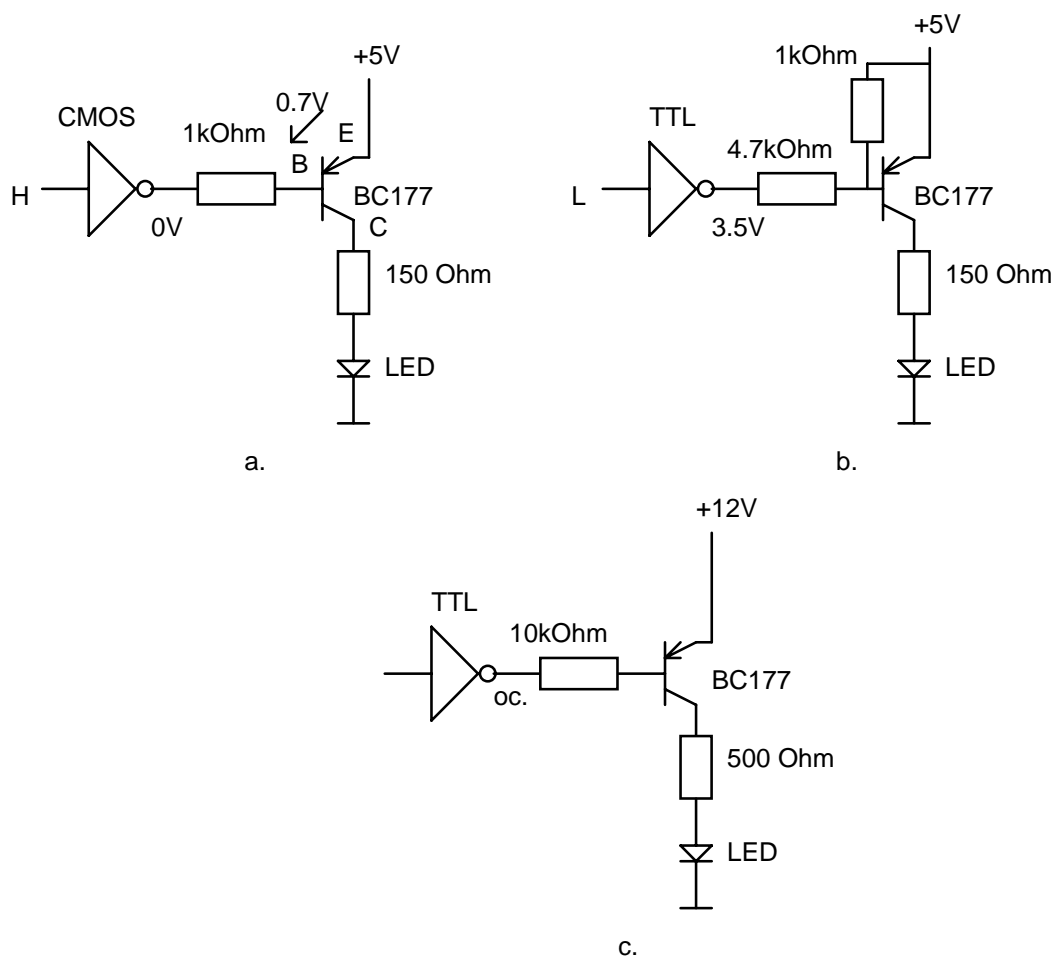
Ha az adatlap szerint logikai kimenet nem képes a megfelelő áram leadására, akkor tranzisztort használhatunk kapcsolóként. A bekapcsolt tranzisztor collector-emitter feszültsége kb. 0.1-0.2V, amit itt elhanyagolhatunk. Így a LED soros ellenállását a már ismertetett módon számíthatjuk. A most következő dőlt betűs részt csak azok olvassák el, akiket érdekel, hogyan lehet kiszámítani a tranzisztor bázis ellenállásának értékét.

A tranzisztor bázis-emitter átmenete diódaaként viselkedik. Ha a tranzisztor nyitva van, 0.7V feszültség esik rajta (mint a szilícium diódákon). A tranzisztor kollektorán (és kb. az emitterén) átfolyó áram a bázisába folyó áram, B-szerese, ahol

B a tranzisztor egyenáramú erősítési tényezője. (Pontosabban $I_e = I_b + I_c$) Ha a bázisba a kapcsolandó áram legalább B-ed része (I_c/B) folyik, akkor a tranzisztor bekapcsol (át tud rajta folyni a kívánt I_c áram). Egy kapcsoló tranzisztor B-je legalább 50 szokott lenni. Így $I_c = 20\text{ mA}$ -hez bőven elegendő 1 mA -es bázisáram. 5 V -os táp esetén a CMOS kimenet legalább 4.5 V -ot kiad (4 mA terhelés esetén). A bázis ellenálláson eső feszültség tehát legrosszabb esetben is $4.5\text{ V} - 0.7\text{ V} = 3.8\text{ V}$. Így 1 mA bázisáram esetén $3.8\text{ V} / 1\text{ mA} = 3.8\text{ k}\Omega$ -os ellenállás jön ki. Ennél kisebbet választva még jobban kinyit a tranzisztor (a kollektor-emitter maradék feszültség (U_{ce}) csökken). A bázis ellenállást ehhez képest jóval kisebbre nem érdemes választani, mert feleslegesen nagy áram folyik a bázisba (feleslegesen fogyasztja az energiát). A kapcsolási rajzon feltüntetett $1\text{ k}\Omega$ megfelelő érték. Pontos számítás a tranzisztor karakterisztika pontos ismeretében lehetséges. Az elektronikus áramkör szimulátorokat szoktuk ilyen célra használni. (Pl. a TINA ingyen letölthető a Texas Instrument honlapjáról:

<http://focus.ti.com/docs/toolsw/folders/print/tina-ti.html>)

Ha fontos, hogy a terhelés föld pontja állandóan a földre legyen kapcsolva, akkor a tápot kell rákapcsolnunk a terhelésre. Ekkor az előzőekben alkalmazott NPN tranzisztor helyett PNP-t kell használnunk.



A totem pole kimenetű CMOS áramkörök kimenetén H szint esetén kb. a tápfeszültség jelenik meg. Így ott nincs probléma mindaddig, amíg a terhelést nem akarjuk nagyobb tápfeszültségről üzemeltetni.

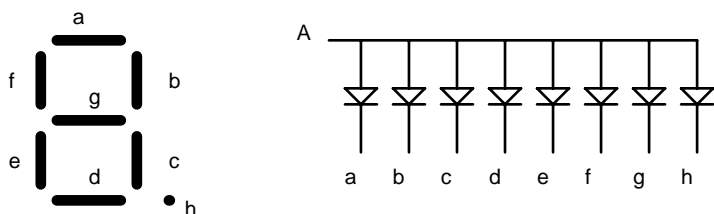
Viszont a TTL áramkörök totem pole kimenet esetén kb. 3.5V-ot adnak ki terheletlenül. Ez nem lenne elég, hogy a PNP tranzisztort kikapcsoljuk, még akkor sem, ha a terhelést 5V-ról tápláljuk, mivel a bázis-emitter feszültség túl nagy marad. Ezen segít a bázis-emitter közötti ellenállás (b. ábra), amely segítségével csökkenteni tudjuk a bázis-emitter feszültséget, s így eléggé ki tudjuk

kapcsolni a tranzisztort. (Egyes LED-ek halványan éghetnek a megmaradó pici áramtól.)

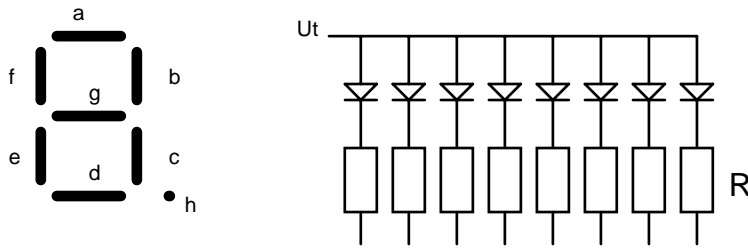
Azonban legjobb megoldás, ha open kollektoros kimenetű áramkörrel hajtjuk meg a PNP tranzisztort (c. ábra). Ilyenkor kikapcsolt oc.esetén nem folyik bázis áram, s a PNP tranzisztor is kikapcsol, ráadásul nagyobb feszültségről is üzemeltethetjük a terhelést, mint a meghajtó TTL tápja.

7 szegmenses kijelzők meghajtása

A 7szegmeneses LED kijelzővel a számokat lehet megjeleníteni (akár hexadecimális formában is).



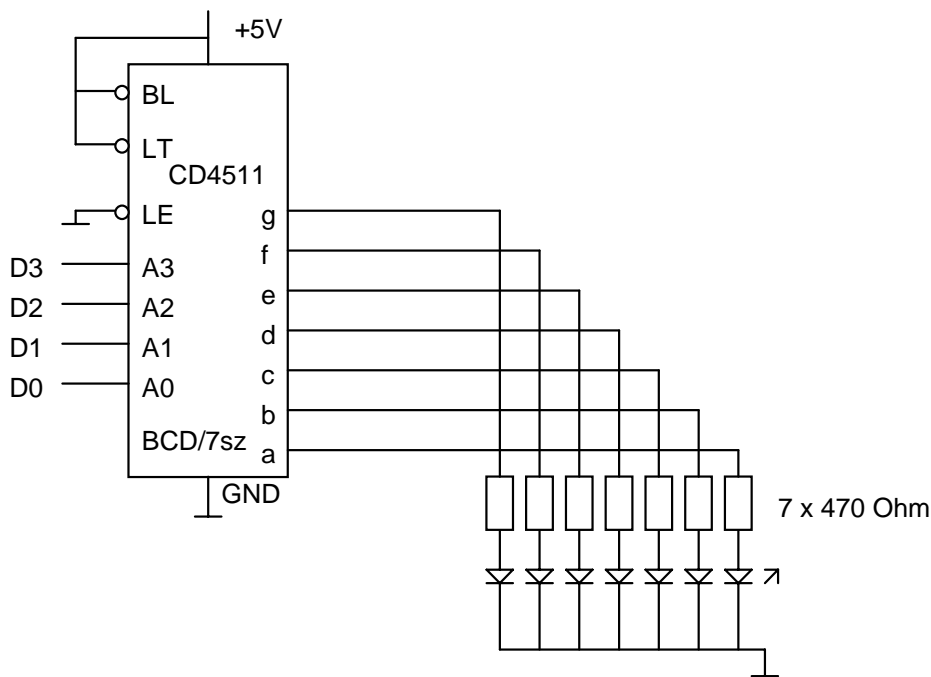
Ezek 7 db egyik végükön közösített LED-et tartalmaznak. Ha az a végük van közösítve, amelyre a pozitív feszültséget kell kapcsolni, akkor “közös anódos” kijelzőnek nevezik, egyébként “közös katódos”-nak. Ennek meghajtásánál is LED-enként szükséges egy ellenállás, melynek értékét az előzőek szerint lehet kiszámolni.



A 7szegmenses kijelzőhöz sokszor BCD/7szegmenses dekódert használunk meghajtóként. Ennek 4 db bemenetére a megfelelő 4 bites BCD kódolású (0000-1001) számnak megfelelő logikai szintet kapcsolva, a kijelzőn megjelenik a szám.

Az alábbi ábra egy CD4511-el kialakított 7 szegmenses kijelző meghajtást mutat. Ez közvetlenül közös katódos LED-eket képes meghajtani, 5V táp esetén LED-enként max. 8mA árammal. Az /LT bemenet funkciója lámpa teszt, ha L szintű, minden LED világít. A /BL bemenet funkciója blank display (minden LED kialszik).

Az /LE bemenet a belső latch tárolót vezérli. L-H átmenet hatására eltárolja az aktuális bemeneti értéket, L esetén a kimenet a bemeneten levő számnak megfelelő. Az alábbi kapcsolásban a /LT, /BL, /LE bemeneteket nem használjuk.



Tápfeszültség biztosítása

A digitális áramkörök többsége 5V-ot vagy 3.3V-ot igényel, de vannak olyan CMOS áramkörök, amelyek szélesebb feszültség tartományban működőképesek (pl. 2V-6V). A 3.3V és 5V-os áramkörök tápja általában $\pm 5\%$ -al térhet el a névlegestől. Ezért stabilizált tápfeszültség forrás szükséges a tápellátásukhoz.

Néhány lehetőség a tápellátásra:

Kaphatók stabilizált tápegységek. Ma már csak kapcsoló üzeműeket lehet forgalomba hozni, ezek ára viszonylag magas. A kívánt feszültség sokszor kapcsolóval állítható.

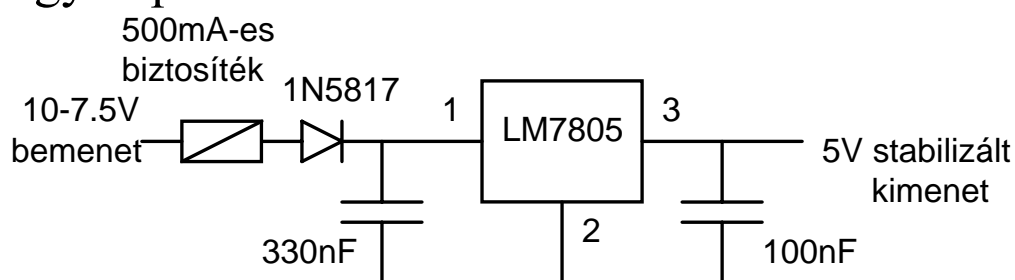
Felhasználhatjuk az otthoni falba dugós tápokat, ha kiegészítjük stabilizátorral. A legolcsóbb és

legegyszerűbb ún. áteresztő tranzisztor elvű 5V-os stabilizátor az LM7805.



1 2 3

Egy kapcsolás ezzel az áramkörrel:



Ez az áramkör hűtés nélkül 10V-ról táplálva kb. 500mA áramot képes leadni, de ekkor már eléggé melegszik. Az 500mA a digitális áramkörökkel való játszadozásnál szükséges néhányszor 10mA áramhoz képest elég nagy, tehát bőven elegendő. A biztosíték rövidzár esetén védi az áramkört, a dióda a stabilizálatlan táp fordított bekötése ellen nyújt védelmet.

Tápellátásra felhasználhatjuk az otthoni PC-nk USB portját, ugyanis ezen is megjelenik az 5V. Az USB elvileg max. 500mA-el terhelhető, de a valóságban ez inkább kevesebb.

Szükséges egy USB apa csatlakozó. A csatlakozó két szélső pontján jelenik meg az 5V, ahogy az ábrán látható. Itt is célszerű egy 200mA-es biztosítékot sorba kapcsolni a +5V-os ággal, az esetleges rövidzár elleni védelem miatt.

