

DIGITÁLIS TECHNIKA

Tároló áramkörök és számlálók

dr. Gruber Gábor

Budapesti Műszaki Egyetem

Híradástechnikai Tanszék

1977.

Tartalomjegyzék

1. TÁROLÓ ÁRAMKÖRÖK.....	3
1.1. Együtemű vezérlésű tárolók	3
1.2. Kétütemű vezérlésű tárolók.....	5
1.2.1. Master-slave tárolók	5
1.2.2. Élvezérelt tárolók	7
1.2.3. Kapuzott master-slave tárolók.....	7
1.3. Tárolók átalakítása	9
1.4. Egy gyakorlati probléma (metastabilitás).....	9
2. SZÁMLÁLÓK	12
2.1. Aszinkron számlálók	12
2.2. Szinkron számlálók	14
2.3. Számlálási ciklus módosítása	19

1. TÁROLÓ ÁRAMKÖRÖK

A tároló áramkörök (flip-flopok) sorrendi hálózatok, amelyek két stabil állapottal rendelkeznek és így 1 bit információ tárolására alkalmasak. A tároló áramkörök két kimenettel rendelkeznek, ezek helyes működés esetén mindig egymás negáltjai. A tároló áramkörök feloszthatók logikai függvényeik, ill. vezérlésük szerint.

Logikai függvényeik szerint a legfontosabbak az **RS**, **JK**, **T** és **D** típusú tárolók.

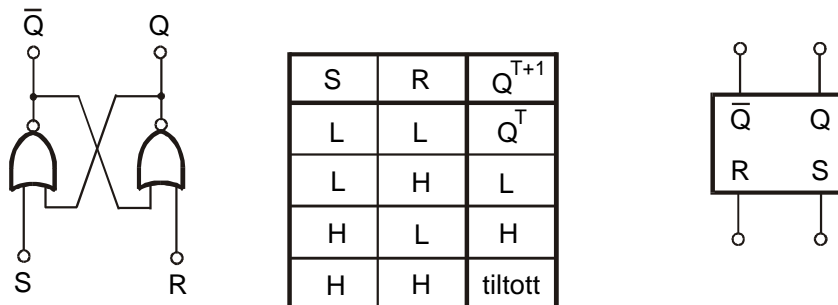
Vezérlésük szerint megkülönböztethetünk:

- együtemű (aszinkron, latch) és
- kétütemű (szinkron) tárolókat.

1.1. Együtemű vezérlésű tárolók

Az együtemű vezérlésű tárolókra jellemző, hogy a bemenetre adott hatásos logikai szinttel azonnal (áramköri késleltetések!) létrehozható a kimenetek megváltozása.

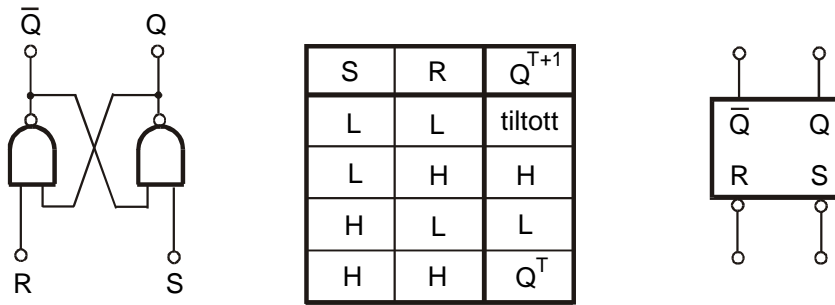
Együtemű vezérlésű tárolók egyszerűen kialakíthatók kapuáramkörökből. Az 1.1. ábrán NV (NEM-VAGY, NOR) kapukból kialakított H szintre hatásos együtemű vezérlésű tároló logikai rajza, igazságtáblázata és funkcionális rajza látható. Ha az S és R bemenetre egyaránt H szintet adunk, akkor a tároló mindkét kimenetén L szint jelenik meg, tehát ebben az esetben nem teljesül, hogy a kimenetek egymás negáltjai. Természetesen a "tiltott" kombináció is a bemenetekre adható, ha a kimeneten nem követeljük meg az ellentétes szinteken.



1.1 ábra. H szintre hatásos együtemű vezérlésű RS tároló

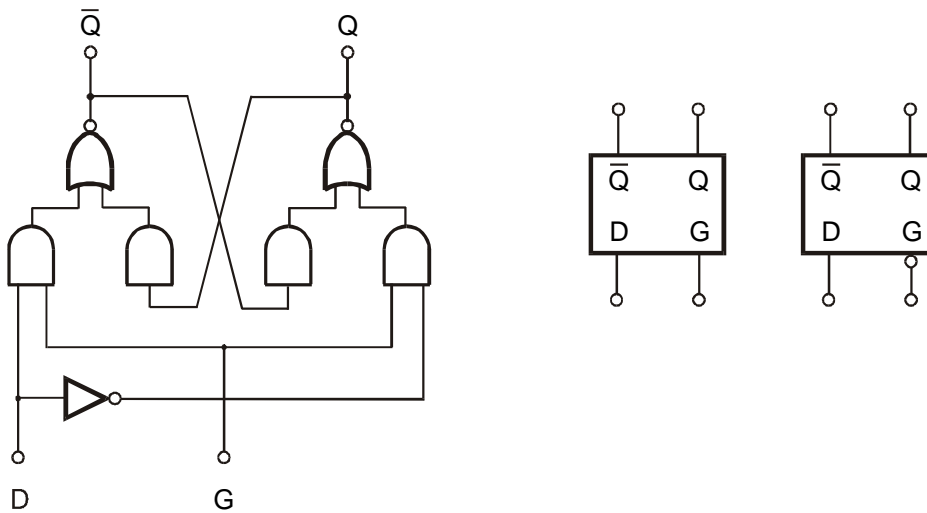
Az igazi probléma akkor adódik, ha a "tiltott" kombinációt az előző állapot tartását előíró ($S=L$, $R=L$) bemeneti kombináció követi, ilyenkor a tároló oszcillálni kezdhet vagy a kimeneteken az L ill. H szint közötti értékek jelenhetnek meg. Ezek a jelenségek gyakorlatilag előbb-utóbb megszűnnek (a két kapuáramkör paramétereinek -komparálási szint, késleltetési idő- különbözősége, ill. zajok és zavarok miatt) vagy be sem következnek, a tároló végül is véletlenszerűen valamelyik stabil állapotába billen. Ezt a kimeneteken létrejövő bizonytalan helyzetet nevezik **metastabilitásnak** (lásd 1.4. pont).

Az 1.2. ábrán NÉ (NEM-ÉS, NAND) kapukból kialakított L szintre hatásos együtemű vezérlésű tároló logikai rajza, igazságtáblázata és funkcionális rajza látható. Az $S=R=L$ esetre értelemszerűen vonatkoznak az előbb leírtak



1.2 ábra. L szintre hatásos együtemű vezérlésű RS tároló

Az együtemű vezérlésű tárolók elláthatók kapuzó jellel is. Az 1.3. ábrán látható az ilyen módon kialakított kapuzott D tároló logikai és funkcionális rajzai. A G kapuzó vagy engedélyező bemenetre adott L szint esetén a D bemenet tiltott, H szint esetén a D bemenetre adott információ az áramköri késleltetések után megjelenik a kimeneten (a tároló "átlátszó"). A gyakorlatban kétféle funkcionális jelölést használnak a kapuzott D tárolóra, az egyik szerint a G bemenet H szintre hatásos, hiszen ilyenkor lehet beírni, a másik szerint a G bemenet HL átmenete (vagyis az L szint megjelenése) tárolja a D bemeneten lévő információt.



1.3 ábra. Kapuzott D tároló

Egy integrált áramköri tokban általában 4, 6, 8 db együtemű vezérlésű RS vagy kapuzott D tárolót valósítanak meg, esetleg közös R, ill. G bemenettel.

Az együtemű vezérlésű tárolóknál nem valósítható meg a kimenetekről a bemenetekre való visszacsatolás, mivel oszcilláció léphet fel. Másrészt a szinkron sorrendi hálózatokban alkalmazott tárolókkal szemben követelmény, hogy a kimenetek csak a meghatározott időpillanatban változzanak meg. Ezek a követelmények a kétütemű vezérlésű vagy szinkron tárolók segítségével megoldhatók.

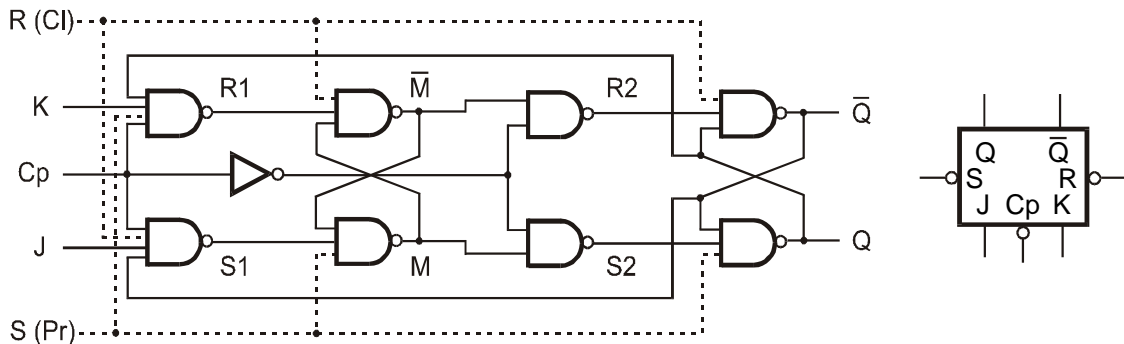
1.2. Kétütemű vezérlésű tárolók

A kétütemű vezérlésű tárolóknál az adatbemenetekre (R, S; J, K; T; D) adott információ csak egy megkülönböztetett jel az ún. órajel (clock) vagy vezérlőjel meghatározott állapotváltozására válik hatásossá. A TTL rendszerben az órajel szükséges állapotváltozásai alapján 3 féle tároló típust különböztetünk meg:

- master-slave (pulzus vezérelt) tároló
- élvezérelt tároló (edge-triggered flip-flop)
- kapuzott vagy élekkel vezérelt master-slave tároló (skew flip-flop, master-slave flip-flop with data lockout).

1.2.1. Master-slave tárolók

A master-slave tárolók két együtemű vezérlésű RS tárolóból (a master és a slave tárolóból), valamint a master tárolóba való beírást és a master tárolóból a slave tárolóba való átírást vezérlő kapukból állnak, ez utóbbi kapukat az órajellel, ill. annak negáltjával kapuzzuk. Az 1.4. ábrán NÉ kapukból kialakított master-slave tároló látható. Az órajel L szintje esetén a master tárolóba (M) való beírás tiltott (R1, S1), a master és a slave össze van kapcsolva (R2, S2), tehát a tartalma megjelenik a kimeneteken. Az órajel H szintje esetén a master tároló a beíró kapukon keresztül (R2, S1) billenthető, de mivel a master és a slave szét van választva, az új információ nem jelenik a kimeneten, csak ha az órajel újra L értékű lesz. Tehát a bemenetek és a kimenetek között logikai késleltetés van, ami lehetővé teszi a visszacsatolást és ezáltal különböző logikai funkciók megvalósítását (pl. JK tároló kialakítása az 1.4. ábrán látható módon).



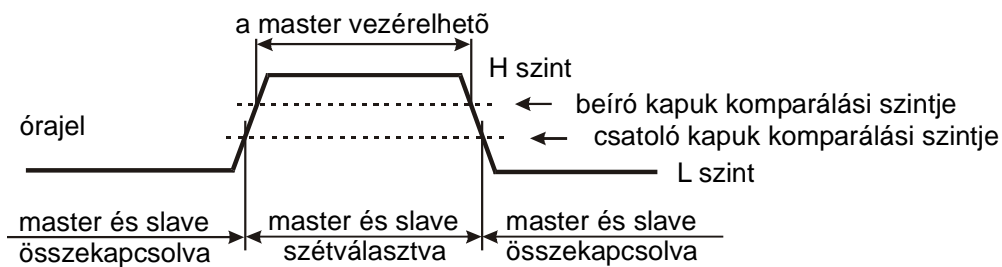
1.4 ábra. Master-slave tároló

A TTL rendszerben a kétütemű vezérlésű tárolók általában rendelkeznek együtemű vezérlésű törlő (clear), ill. beíró (preset) bemenetekkel is. Az 1.4. ábrán szaggatott vonalakkal berajzoltuk az együtemű törlést (R) és beírást (S) is. Ezek a bemenetek az L szint hatásos. Mivel a tároló felépítése szimmetrikus, ezért a törlés és a beírás hasonló módon zajlik le. Vizsgáljuk meg pl. az együtemű törlés megvalósítását. Ehhez a következőket kell elvégezni:

- törölni kell a slave tárolót. Ez azonban nem elegendő, mivel az órajel L szintje esetén a master esetleges ellentétes állapota átíródik a slave tárolóba ($Q = \bar{Q} = H$!). Ezért
- törölni kell a master tárolót is.
- a bemeneteket is le kell tiltani, mivel az órajel HL átmenetével egy idejű törléssel a bemenetek felől is előidézhető a $Q = \bar{Q} = H$ állapot.

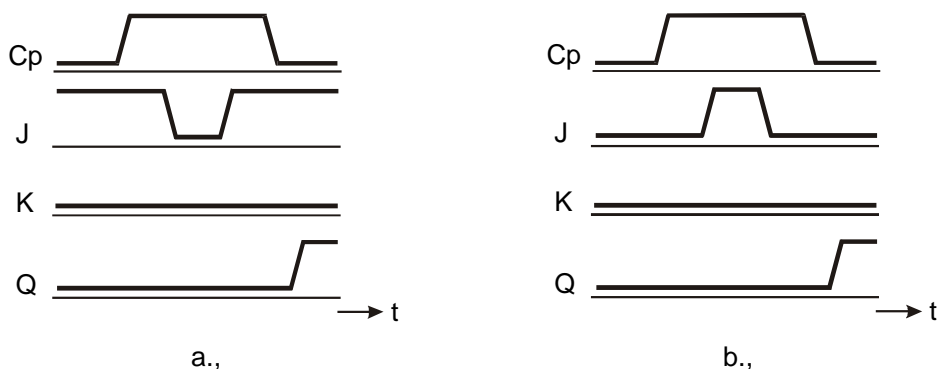
Az együtemű vezérlés hatása azonnal jelentkezik a kimeneteken, ezért a helyes kétütemű vezérlés feltétele az, hogy egyik együtemű vezérlésű bemeneten sem lehet hatásos szint.

Az 1.4. ábrán látható master-slave tároló ideális kapuk esetén helyesen működik, de a valóságban az órajel inverter túl nagy késleltetése vagy a beíró-, valamint a master és slave közötti csatoló kapuk különböző komparálási szintje következtében előfordulhat, hogy a master tárolóba való beírás idején még a csatoló kapuk nem zártak le, így a kimeneten együtemben megjelenik az információ. Az előbb leírt jelenség kiküszöbölésének egy lehetséges módja az ún. két komparálási szintű master-slave tároló kialakítása. Az 1.5. ábrán láthatók a két komparálási szintű master-slave tároló működési fázisai egy órajel pulzus lezajlása alatt. A két komparálási szint kialakulása az 1.4. ábrán látható ún. "elvi" master-slave tárolón elvégzett néhány - itt nem részletezett - áramkörü átalakítás következménye.



1.5 ábra. Két komparálási szintű master-slave tároló működési fázisai

A master-slave tárolóknál az órajel H szintjénél a bemenetre adott információ hatásos a master tároló állapotára. A master tároló sorrendi hálózat, ezért az órajel HL átmenete előtti bemeneti vezérlés nem határozza meg egyértelműen a master állapotát és ebből következően a tároló kimenetének állapotát. Az előzőek illusztrálására az 1.6. ábrán felrajzoltunk két esetet az SN7476 típusú JK master-slave tároló bemeneti információjának az órajel H szintje alatti változásra. Az a., esetben a tároló működésére hatástalan a J bemeneten lévő L szint. A b., esetben a J bemeneten lévő H szint a master tárolót H állapotba billenti és az órajel HL átmenetének hatására, ez megjelenik a kimeneten. Mindkét esetben feltételeztük, hogy a pulzusok szélessége nagyobb, mint a tároló maximális működtetési frekvenciájából következő idő.



1.6 ábra. A bemeneti információ megváltozása az órajel H szintje alatt

A fenti problémák elkerülése a gyártó cégek előírják, hogy master-slave típusú tárolók esetén az **előkészítési idő** (setup time) nagyobb vagy egyenlő legyen az órajel pulzus szélességénél. Az

előkészítési idő az órajelnek a kimenet megváltozását létrehozó átmenetét megelőző idő, amely alatt a bemenetekre adott információt nem szabad megváltoztatni.

Gyakorlatban célszerű minél rövidebb órajel pulzust alkalmazni, ezáltal is csökken a J és K bemenetek "véletlen" (zaj, zavar, hazard) megváltozásának a veszélye. Az SN74N sorozatban a minimális órajel szélessége 20 ns.

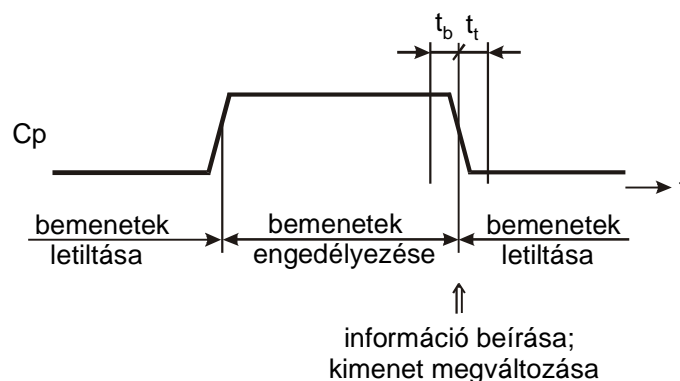
Master-slave tárolóknál **tartási időre** (hold time) nincs szükség. A **tartási idő** az órajelnek a kimenet megváltozását létrehozó átmenetét követő idő, amely alatt a bemenetekre adott információt nem szabad megváltoztatni. Az órajel fel- és lefutási ideje elvileg tetszőleges lehet, mivel a billenések a kapuáramkörök komparálási szintjeinél történnek. Gyakorlatilag célszerű rövid fel- és lefutási idejű órajelet használni, mivel így a komparálási tartományon való áthaladás viszonylag rövid ideig tart, ezért kisebb a zavarok felvételének valószínűsége.

1.2.2. Élvezérelt tárolók

Az élvezérelt tárolók az órajel valamelyik átmenetének hatására vételezik be az információt, ill. változtatják meg a kimenet állapotát, ezáltal kiküszöbölik a master-slave tárolóknak azon kedvezőtlen tulajdonságát, hogy az órajel H szintjének teljes tartama alatt hatásosak a bemenetek.

Az órajel LH átmenetére billenő tárolókat pozitív élvezérelt, míg a HL átmenetre billenő tárolókat negatív élvezérelt tárolóknak szokásos nevezni.

Az 1.7. ábrán egy negatív élvezérlésű tároló működési fázisai láthatóak.



1.7 ábra. Negatív élvezérlésű tároló működési fázisai

Master-slave és pozitív élvezérlésű tárolók együttes alkalmazása szinkron hálózatokban helytelen működést eredményezhet, ha az élvezérelt tárolók kimenetei master-slave tárolók bemeneteit hajtják meg. Az órajel felfutó élére az élvezérelt tárolók billennek, a master-slave tárolók bemenetei viszont az órajel lefutó éléig vezérelhetők, tehát a master-slave tárolók egy órajel pulzus hatására több állapotváltozást is végrehajthatnak.

Az élvezérelt tárolóknál az órajel fel- és lefutási idejének meghatározott értéknél kisebbnek kell lennie (ez az érték a TTL rendszerben 150 ns), ennek oka a komparálási szintek bizonytalansága miatt létrejövő időzítési bizonytalanságok, valamint az 1.2.1. pontban említett zavarjelenségek.

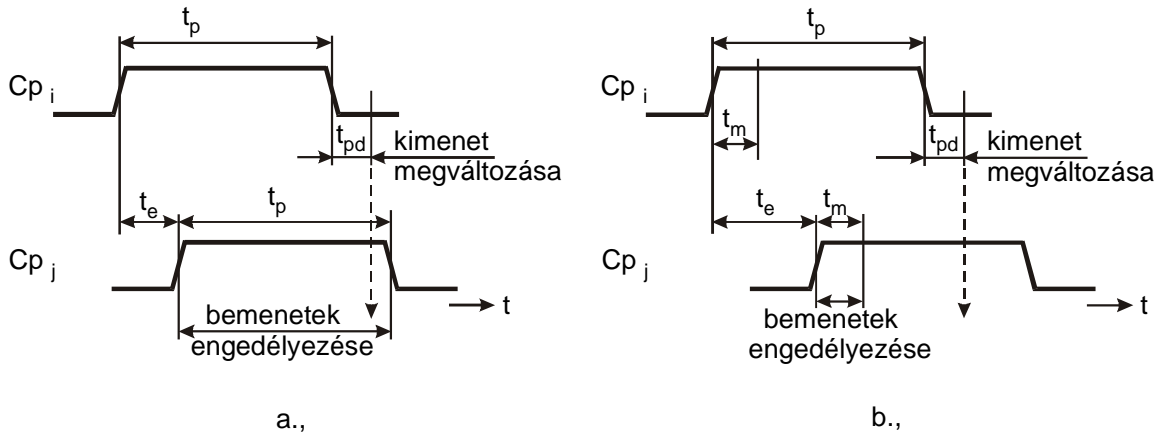
1.2.3. Kapuzott master-slave tárolók

Master-slave tárolókból felépített szinkron hálózatok esetén az egyes tárolók órajel impulzusai közötti elcsúszások, melyek az órajel vezeték különböző hosszúsága, terhelése és az esetleg szükséges meghajtó fokozatok beiktatása miatt létrejöhetnek, a hálózat helytelen működését eredményezhetik.

Vizsgáljuk meg az 1.8.a., ábrán látható idődiagramot. Ha az i tároló kimenetéről vezéreljük a j tároló bemenetét, akkor az órajel elcsúszás következtében az i tároló megváltozott kimenő jele még hatásos lehet a j tároló bemenetére. A megengedhető maximális órajel elcsúszás:

$$t_{e \max} = t_{pd} + t_k,$$

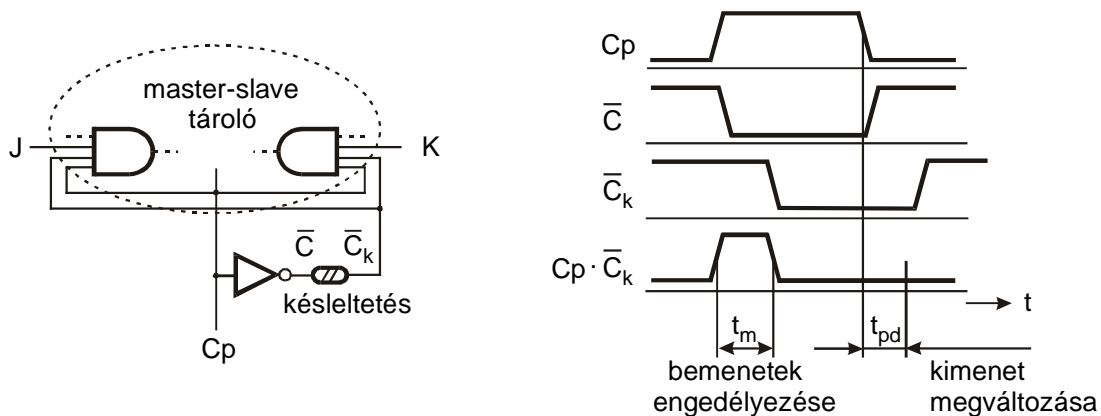
ahol t_{pd} a tárolók késleltetési ideje, t_k pedig a kimenet és bemenet között lévő kombinációs hálózat késleltetése. A TTL rendszerben ezen értékek 10 ns nagyságrendbe esnek, ami igen kis órajel elcsúszást enged meg.



1.8 ábra. Az órajel elcsúszás hatása

Teljesen hasonló problémák élvezérelt tárolók esetén is felléphetnek.

A probléma megoldását a **kapuzott** vagy **élekkel vezérelt master-slave tárolók (skew flip-flops, master-slave flip-flops with data lockout)** alkalmazása jelenti.



1.9 ábra. Kapuzott master-slave tároló kialakítása

A kapuzott master-slave tárolóknál az órajel H szintjének csak egy rövid szakaszáig történik a bemeneti információ bevételezése, a kimenet a master-slave elvnek megfelelően az órajel L szintjének megjelenésére változik. Ennek megfelelően az 1.8.b., ábrán látható az órajel elcsúszás hatása kapuzott master-slave tárolók esetén. A megengedhető maximális órajel elcsúszás:

$$t_{e \max} = t_p - t_m + t_{pd} + t_k,$$

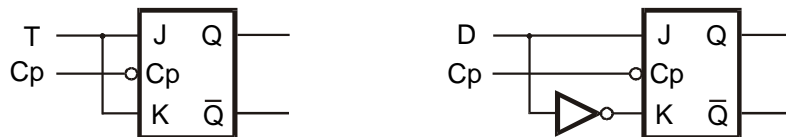
ahol t_p az órajel szélessége, t_m a bemeneti mintavételezés ideje. Látható, hogy az órajel szélességétől függ a megengedhető órajel csúszás. Az órajel szélességét megfelelően megválasztva tehát kiküszöbölhető az elcsúszás hatása.

A kapuzott master-slave tárolók egyik megvalósítási lehetősége az 1.9. ábrán látható. A tároló felépítése megegyezik az SN7476 típusú JK master-slave tárolóéval, azzal a különbséggel, hogy a bemenetek az órajel negáltjának késleltetett értékével is kapuzva vannak. Ennek a következménye, hogy a bemenetek csak t_m ideig engedélyezettek.

A kapuzott master-slave tárolók másik szokásos megvalósításánál (SN74110) a "master"-nak megfelelő tároló pozitív élvezérelt, a slave tárolóba pedig a szokásos módon az órajel L szintjének megjelenésére íródik át az információ.

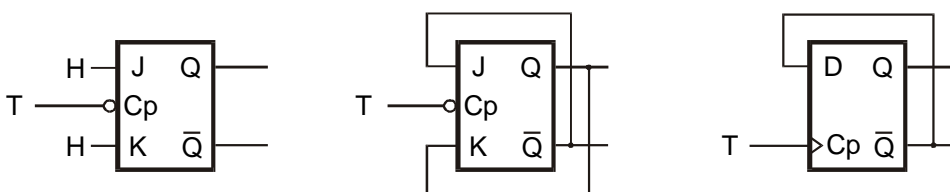
1.3. Tárolók átalakítása

A TTL rendszerben JK és D típusú kétütemű vezérlésű tárolókat gyártanak. Ezekből egyszerűen kialakíthatók más típusú tárolók is. A JK tároló közvetlenül felhasználható RS tárolóként, mivel a tiltott kombináció nem kerülhet a bemenetekre. Kétütemű vezérlésű JK tárolóból az 1.10. ábra alapján kialakítható kétütemű vezérlésű T, ill. D tároló. Természetesen mind JK, mind D tárolóból külső kombinációs hálózatok segítségével tetszőleges tárolók kialakíthatók, de nem túl célszerű ezek alkalmazása bonyolultságuk miatt.



1.10 ábra. Kétütemű vezérlésű JK tároló átalakítása kétütemű T ill. D tárolóvá

A kétütemű vezérlésű JK, ill. D tárolókból egyszerűen kialakíthatók együtemű T tárolók (bináris osztó) az 1.11. ábra szerint.



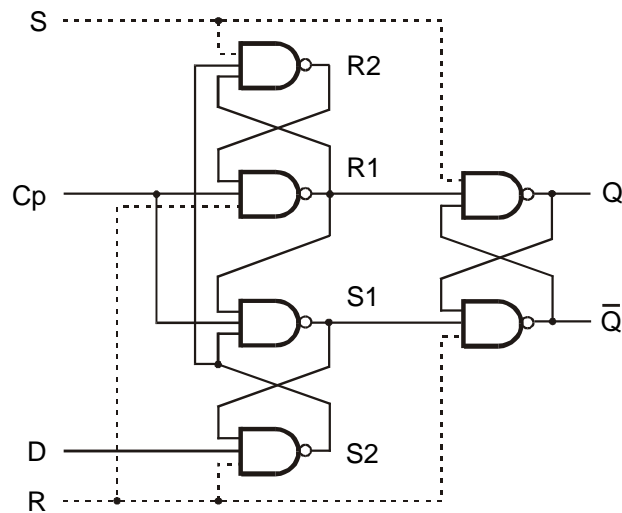
1.11 ábra. Együtemű vezérlésű T tárolók kialakítása

1.4. Egy gyakorlati probléma (metastabilitás)

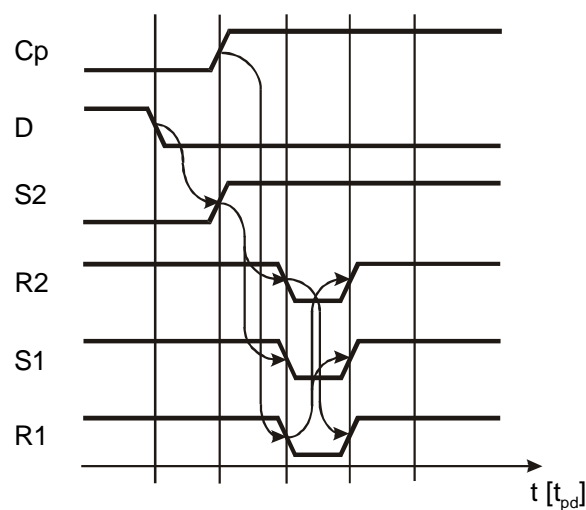
A digitális technikában gyakran előforduló feladat, egy szinkron (órajellel ütemezett) hálózat bemeneteire a "külvilág" felől érkező, aszinkron (az órajelhez képest időben véletlenszerűen bekövetkező) jele(k) szinkronizálása (mintavételezése). A legegyszerűbb és leggyakrabban használt

megoldás az élvezérelt D tároló alkalmazása. Az aszinkron bemenő jelek miatt azonban semmi garancia nincs a tároló előkészítési és tartási idejének biztosítására. Milyen probléma származhat egy élvezérelt D tároló előkészítési vagy tartási idejének megsértéséből?

Az 1.12. ábrán látható az SN7474 D típusú pozitív élvezérelt tároló logikai vázlata. (Számos ehhez hasonló felépítésű tároló és regiszter létezik még). A logikai vázlaton szereplő valamennyi kapu terjedési késleltetési idejét azonosnak (t_{pd}) tekintve az 1.13. ábrán látható a tároló belső működését jellemző idődiagram egy részlete. Az S1, R1 kapuk kimenetein bekövetkező egy idejű LL \rightarrow HH átmenet (az 1.1. pontban leírtak szerint) az M1, M2 kapukból kialakított L szintre hatásos együtemű vezérlésű RS tároló kimenetén (vagyis a D tároló kimenetén) létrehozza az un. metastabil állapotot. Az előzőekből indirekt módon belátható, hogy a D tároló előkészítési idejét t_{pd} -nél nagyobbra kell megadni, vagyis az adott esetben nem tartottuk be a szükséges előkészítési időt. (A logikai vázlatból beláthatóan az előkészítési idő = $2t_{pd}$ és a tartási idő = t_{pd}).



1.12 ábra. Pozitív élvezérelt D tároló



1.13 ábra. Pozitív élvezérelt D tároló metastabilitást okozó vezérlése

A metastabil állapot, mint azt már az 1.1. pontban említettük, végül is megszűnik és a tároló kimenete véletlenszerűen valamelyik stabil állapotába billen. A probléma nem az, hogy a stabil állapot véletlenszerűen jön létre (hiszen ezt tekinthetjük úgy, hogy az órajel felfutásának idejében változó bemenő jelet még nem, vagy már észlelte a rendszer). A probléma egyrészt az, hogy a tároló kimeneti terjedési késleltetési ideje a megadott értéket lényegesen túllépheti (ez a rendszer órajel frekvenciája szempontjából lényeges), másrészt a kimeneten nem várt hazárdok léphetnek fel és ezek a jelenségek a rendszer helytelen működéséhez vezethetnek.

A metastabilitás hatásának elkerülésére tervezéskor a következőket célszerű betartani:

- a rendszerbe minél kevesebb helyen léptessünk be aszinkron jeleket,
- két egymás utáni (pipe line) tároló vagy regiszter alkalmazása nagymértékben csökkenti a hiba valószínűségét (az első kimenete és a második bemenete szinkron),
- egy órajelet használjuk a rendszerben (ha több órajelre van szükség, akkor azokat egy órajelből állítsuk elő),
- a bemeneti mintavételező tárolók után (aszinkron adatút) kerüljük az élre érzékeny eszközök alkalmazását,
- az időzítések legrosszabb értékeinek figyelembevételkor az aszinkron adatutak esetén vegyük számításba a metastabilitás idejét is.

Az elmondottakból belátható, hogy a fenti probléma gyakorlatilag csak a "nagysebességű rendszerek" (amikor a kapuk és tárolók terjedési késleltetési ideje által meghatározott maximális órajel frekvenciát vagy ahhoz közeli értéket alkalmazunk) esetén jelentkezik, hiszen ha az órajel frekvenciát a metastabilitás idejének figyelembevételével határozzuk meg, akkor a probléma elkerülhető.

2. SZÁMLÁLÓK

A számláló (számlánc) olyan áramkör, amely a kimenetein jelzi kódolt formában a beérkezett impulzusok (órajelek) számát. A számlálás alapját a tárolás és valamilyen aritmetikai művelet képezi, ez utóbbi operandusai a tárolt érték és a beérkező impulzus, az új tárolt érték pedig a művelet eredménye.

A tárolt értékekhez, vagyis a számláló állapotaihoz különböző kódrendszerek rendelhetők. A legfontosabb állapotkódok a bináris és a decimális. A decimális számokat általában binárisan kódolják és az így működő számlálókat BCD vagy dekádikus számlálónak nevezik. A dekádikus (tizes csoport) elnevezés arra utal, hogy a számláló egység egy decimális helyértéket valósít meg. A számláló fontos jellemzője a számlálási irány, vagyis az aritmetikai művelet típusa. Az előre számláló, vagy egyszerűen számláló, minden pulzus hatására növeli a tárolt értéket, a visszazámláló vagy hátra számláló pedig csökkenti. A reverzibilis vagy kétirányú számláló a vezérléstől függően előre vagy hátra számol. A tárolt érték növelése vagy csökkentése csak a számláló maximális kapacitása által meghatározott értékig történhet, utána előlről kezdődik a számlálás. Ezt nevezik moduló N számlálónak, ahol:

$$N = 2^n$$

bináris számláló (n = bitek száma) és

$$N = 10^d$$

decimális számláló (d = dekádok száma) esetén.

A maximális számérték:

$$2^n - 1$$

bináris számláló és

$$10^d - 1$$

decimális számláló esetén.

Működési mód szerint megkülönböztetünk **aszinkron** vagy soros (ripple) és **szinkron** számlálókat.

2.1. Aszinkron számlálók

Aszinkron számlálók egyszerűen felépíthetők tároló áramkörökből kialakított bináris osztókból. A 2.1. ábrán 4 bites aszinkron bináris számláló látható. A tároló áramkörök egymást billentik, ezért állapotváltozásaik nem egyidejűleg történnek, ami a számlálási frekvencia jelentős csökkenését eredményezi. A maximális számlálási frekvencia:

$$f_{\text{Max}} = \frac{1}{n \cdot t_{\text{pd}}}$$

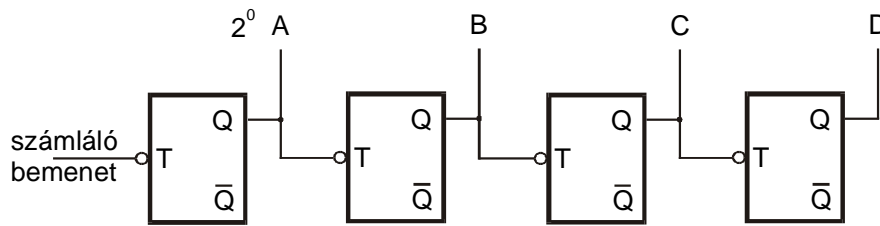
ahol n a fokozatok száma t_{pd} pedig egy tároló késleltetési ideje.

A **maximális számlálási frekvencia** alatt annak az időnek a reciprokát értjük, ami a beérkezett impulzus után eltelik az új kimeneti állapot beállításig.

A **maximális számlálási frekvencia** másik értelmezése szerint azt a frekvenciát jelenti, amit a számláló még hiba nélkül képes feldolgozni. Ilyenkor nem követeljük meg az egyes állapotok helyes

megjelenését a kimeneteken számlálás közben, csak az utolsó beérkező pulzust követően. Ezt a frekvenciát az első tároló működési sebessége határozza meg, mivel a számláló tárolói frekvenciaosztóként működnek.

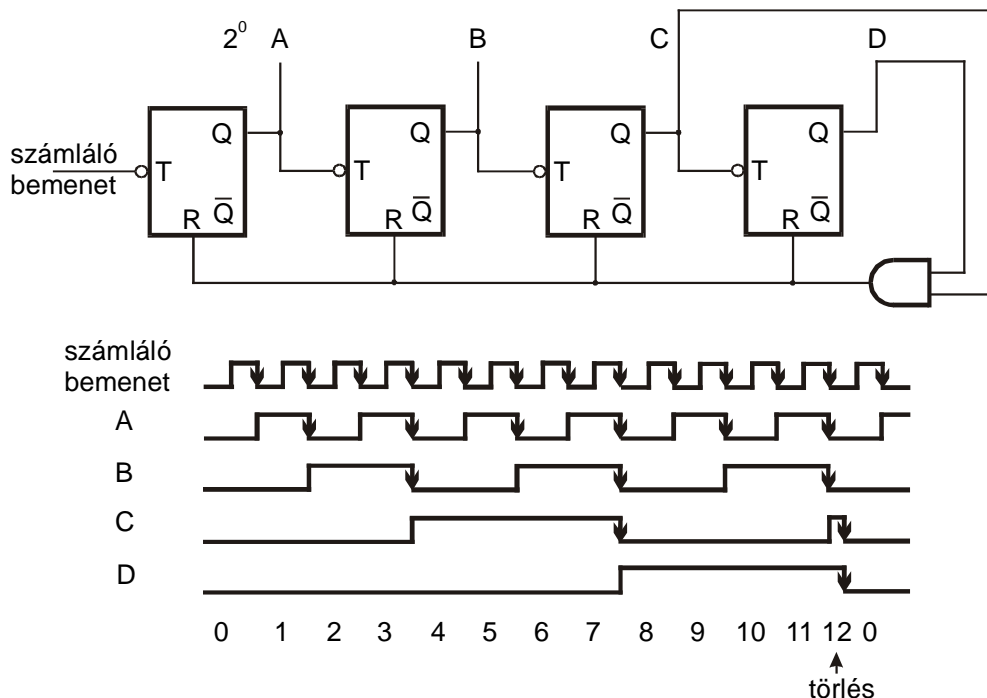
A továbbiakban maximális számlálási frekvenciaként az elsőnek megadott értelmezést használjuk.



2.1. ábra. 4 bites aszinkron bináris számláló

Az aszinkron működési mód következménye, hogy a számláló kimenetein hamis állapotok jelennek meg. Ezek hatása a kimenetek megfelelő kapuzásával kiküszöbölhető.

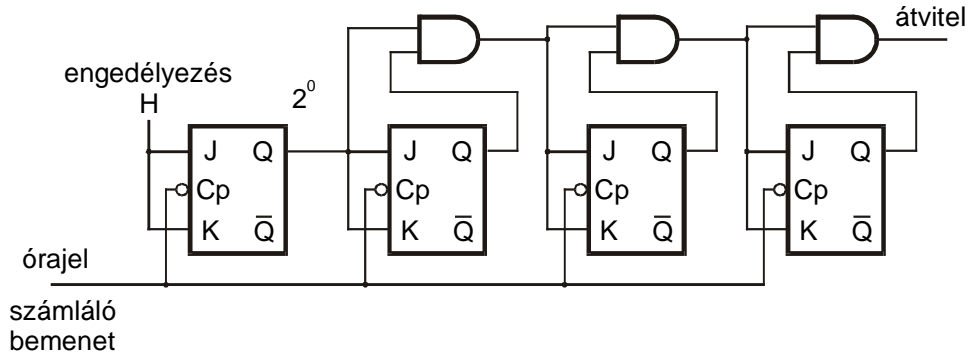
A 4 bites bináris számlálók számlálási ciklusa 0-tól 15-ig tart (moduló 16-os számláló). Ez a ciklus lerövidíthető, ha törléssel vagy beírással rendelkezik a számláló. A ciklus K állapotra ($0 < K < 2^n - 1$) a következő módon rövidíthető le. A kimeneten dekóduljuk K értéket és ezzel töröljük a számlálót. K értéke csak az aszinkron törlés idejéig tart a kimeneten. A 2.2. ábrán látható a ciklus lerövidítése $K=12$ esetben, vagyis a számláló 0-tól 11-ig számol, ami 12 állapot. Az idődiagramból látható, hogy az aszinkron törlés idejéig megjelenik a 13. állapot. Ennek a hatása a kimenetek kapuzásával megszüntethető.



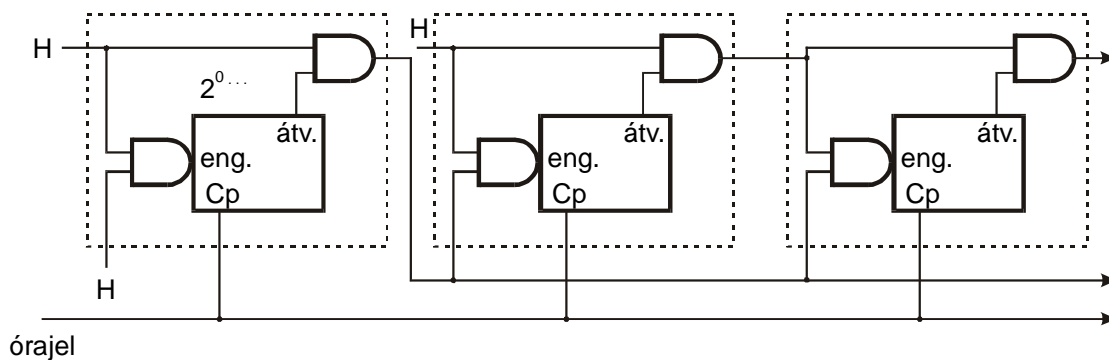
2.2. ábra. Számlálási ciklus lerövidítése

Az aszinkron számlálók egyszerűségük miatt könnyen integrálhatók. Az SN74 sorozatban gyártott aszinkron számlálók egy része (pl. SN7493 bináris, SN7492 12-vel osztó) 4 db master-slave

átvitelképzéssel lehet bővíteni. Ez azt jelenti, hogy az előző fokozatról jövő átvitelen kívül (amely sorosan terjed) egy további engedélyező bemenetre is szükség van a számláláshoz és ezekre a bemenetekre párhuzamosan kötik az első fokozat átvitelét. A bővítés (kaszkádosítás) elve a 2.5. ábrán látható. Egy blokk egy 4 bites párhuzamos átvitelű szinkron számlálót tartalmaz. A szaggatott vonallal bekeretezett részek képezik egy-egy integrált áramköri tok tartalmát. A tokon belüli átvitel előállítását és az átvitel soros terjedését egy 5 bemenetű ÉS kapuval megvalósítható.



2.4. ábra. 4 bites szinkron bináris számláló soros átvittel



2.5. ábra. Szinkron számlálók bővítése párhuzamos átvittel és kapuzott engedélyezéssel

Az ilyen módon bővített számlálók működési sebessége gyakorlatilag nem csökken az elemek számával, mivel az első fokozat átvitele párhuzamosan terjed. A maximális számlálási frekvencia csökkentését csak az engedélyező kapu késleltetése okozza.

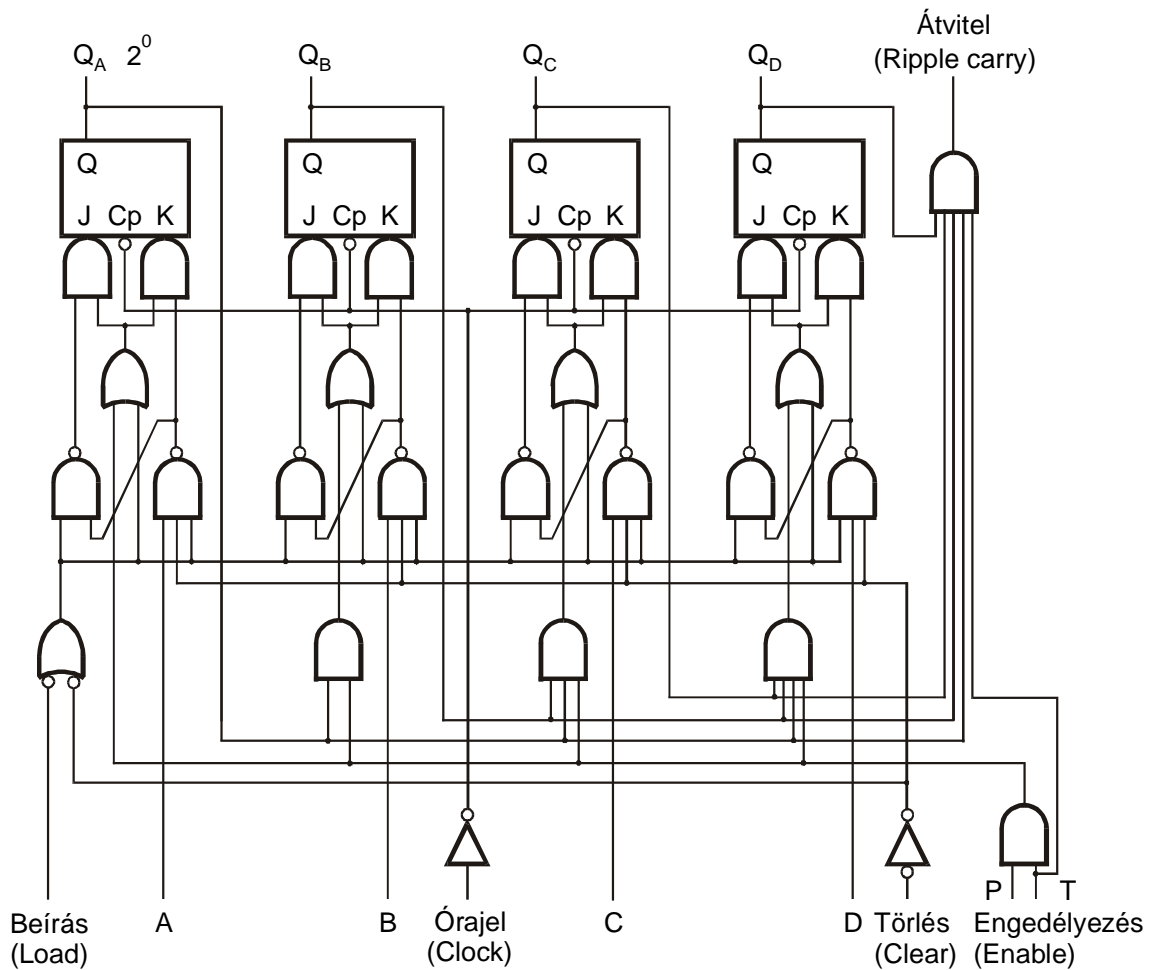
$$f_{\text{Max}} = \frac{1}{t_{\text{pd}} + 2 \cdot t_{\text{k}}}$$

ahol t_{k} az engedélyező, ill. az átvitelt előállító kapuk terjedési késleltetési ideje.

A működési sebességre vonatkozó előző megállapítások csak addig érvényesek, amíg a sorosan terjedő átvitel késleltetési ideje kisebb, mint az első fokozat számlálási ciklusának ideje. Ez az SN74 sorozat paramétereit figyelembe véve kb. 40 dekádus ill. 300 bites számlálókig igaz.

Az elmondottaknak megfelelőek, pl.: az SN74160 és SN47162 típusú szinkron dekádikus számlálók, valamint az SN74161 és SN74163 típusú szinkron bináris számlálók. Ezek a számlálók rendelkeznek szinkron beírással, ill. szinkron vagy aszinkron törléssel is.

Az SN74163 típusú 4 bites szinkron bináris számláló, amely szinkron beírással és törléssel rendelkezik a 2.6. ábrán látható.



2.6. ábra. SN74163 4 bites szinkron bináris számláló

A számláló master-slave tárolókból épül fel, ezért általában igaz az, hogy a funkcionális vezérlőjelek (engedélyezés, beírás, törlés) állapotát csak a külső órajel H szintje alatt (a belső inverter miatt) szabad megváltoztatni. A pontos előírásokat (időzítésekkel együtt) minden esetben katalógusból kell kiválasztani!

A szinkron törlés és beírás egyszerű lehetőséget biztosít a számlálási ciklus módosítására. A kimeneten dekódoljuk azt az állapotot, amelyik után következő állapot eltérő kell, hogy legyen a számláló belső felépítéséből következő állapottól. A dekódoló kimenetét a törlő vagy a beíró bemenetre kötjük. A kimeneten megjelenő kiválasztott állapot hatására előkészítődik és a következő órajel hatására végrehajtodik a szükséges következő állapot beírása vagy a törlés.

Ciklus módosítására néhány példát a 2.3. pontban mutatunk be.

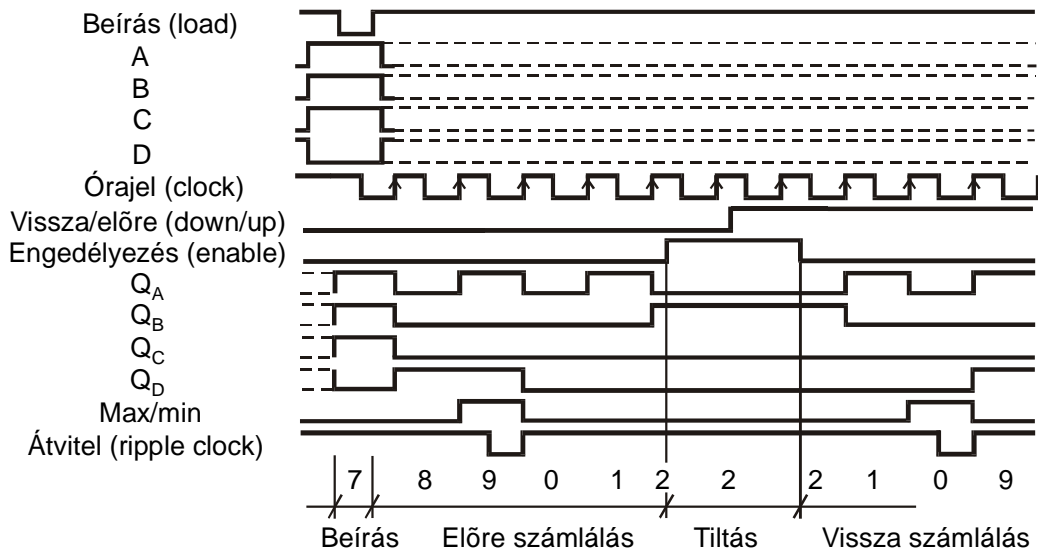
A szinkron számlálók fontos csoportját alkotják a **szinkron reverzibilis számlálók**.

A reverzibilis számlálók vissza számlálva komplement kódban számolnak. Bináris számláló esetén 2-es komplement, decimális számláló esetén 10-es komplement kódban.

A szinkron reverzibilis számlálókat kétféle módon lehet megvalósítani. Az egyik esetben a bemenetre érkező impulzusok egy vezérlőjel értékétől függően számláltatják előre vagy vissza a számlálót. Ilyen, pl. az SN74190 dekádikus és az SN74191 bináris szinkron reverzibilis számláló.

A másik esetben külön-külön bemenet szolgál az előre ill. visszaszámláláshoz. Ilyen, pl. az SN74192 dekádikus és az SN74193 bináris szinkron reverzibilis számláló.

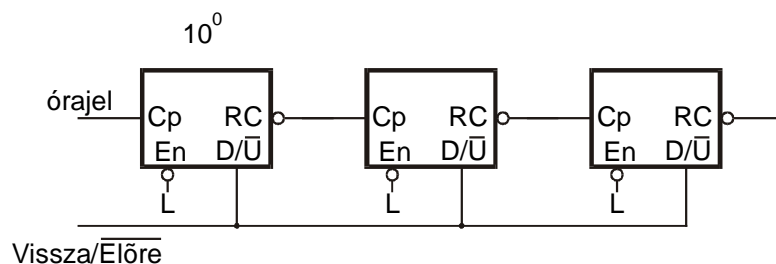
A következőkben példaként megvizsgáljuk az SN74190 dekádikus szinkron reverzibilis számlálót, amely aszinkron beírási lehetőséggel is rendelkezik. A számláló felépítése a katalógusban megtalálható. A 2.7. ábrán látható az idődiagramot aszinkron beírás, előre számlálás, tiltás és visszaszámlálás esetére.



2.7. ábra. SN74190 szinkron decimális számláló idődiagramja

A számlálót többféle módon lehet bővíteni. A számlálók bővítési elveit bemutató ábrákon az egyszerűség kedvéért a továbbiakban csak a bővítés szempontjából fontos jeleket tüntetjük fel.

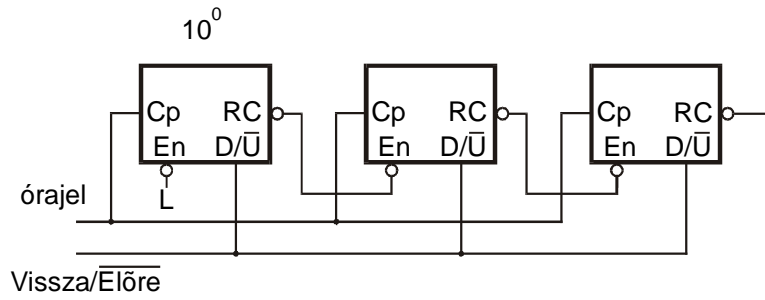
Aszinkron bővítés a 2.8. ábrán látható módon lehetséges. Ekkor azonban a maximális számlálási frekvencia a fokozatok számától függően jelentősen lecsökkenhet.



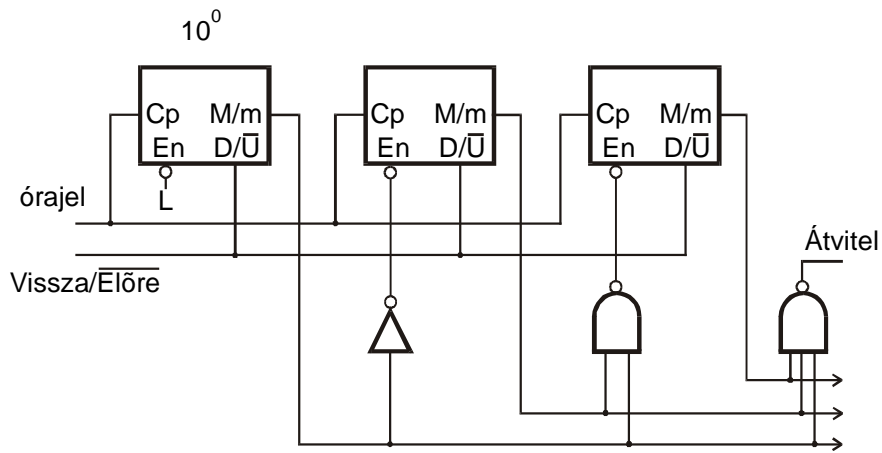
2.8. ábra. SN74190 bővítése aszinkron módon

Szinkron számláló soros átvittel a 2.9. ábrán látható módon alakítható ki. A maximális számlálási frekvencia ebben az esetben is függ a fokozatok számától, a soros engedélyezés miatt.

Szinkron számláló párhuzamos átvittel a 2.10. ábrán látható módon alakítható ki. A maximális számlálási frekvencia csak kismértékben csökken, de a fokozatok számát korlátozza a max/min kimenetek terhelhetősége.

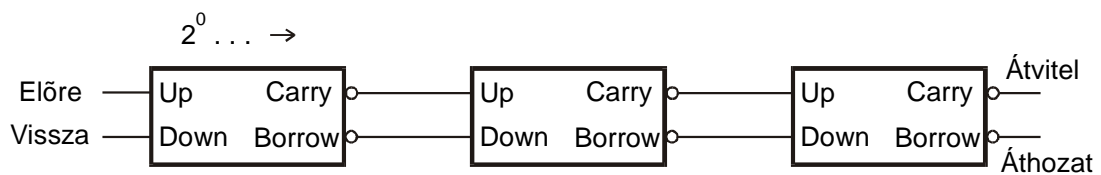


2.9. ábra. SN74190 bővítése szinkron, soros átvitelrel

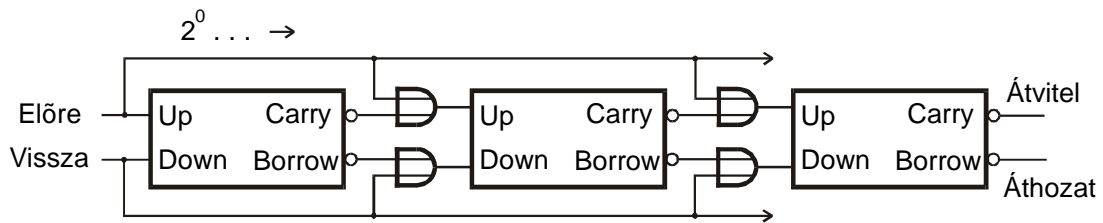


2.10. ábra. SN74190 bővítése szinkron, párhuzamos átvitelrel

Az SN74192 dekadikus és az SN74193 bináris szinkron számláló bővítése aszinkron (2.11. ábra) vagy szinkron, soros átvitelrel (2.12. ábra) történhet.



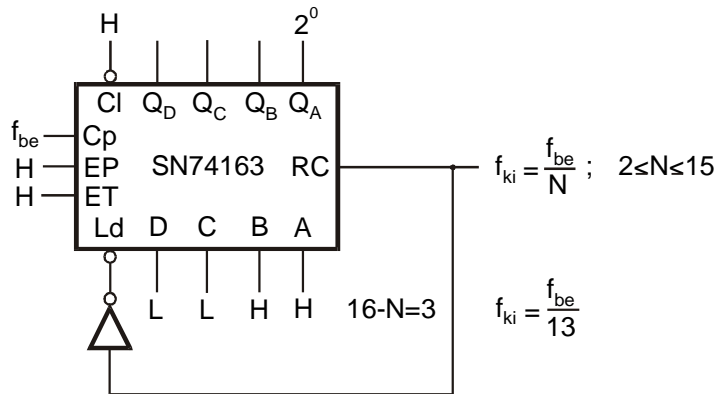
2.11. ábra. SN74193 bővítése aszinkron módon



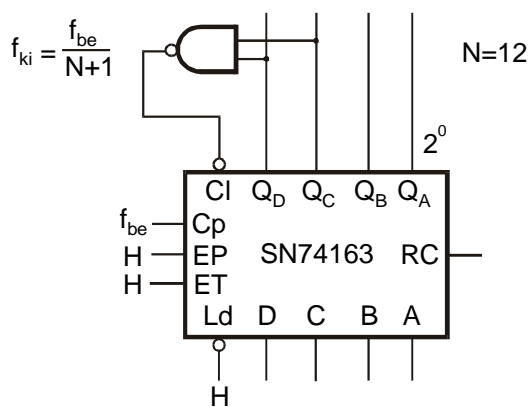
2.12. ábra. SN74193 bővítése szinkron, soros átvittel

2.3. Számlálási ciklus módosítása

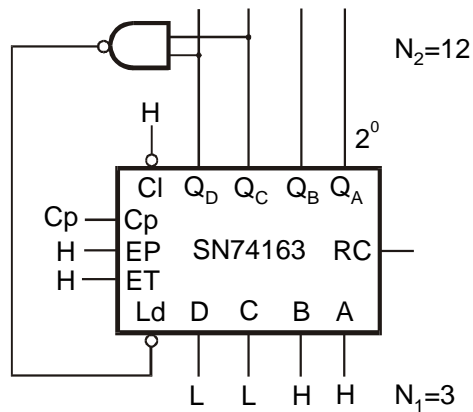
A 2.13., 2.14., 2.15. és a 2.16. ábrákon látható néhány tipikus számlálási ciklus megvalósítása az SN74163 típusú szinkron bináris számláló esetén. Az ábrákon az egyszerűség kedvéért a kezdeti értékek beállításával nem foglalkoztunk.



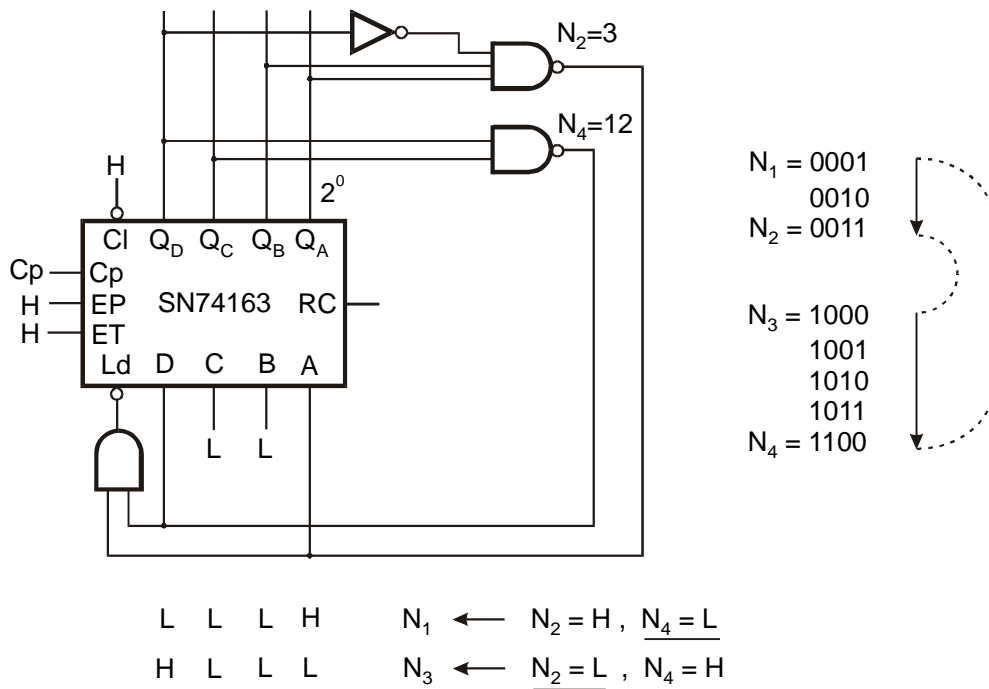
2.13. ábra. Frekvenciaosztó



2.14. ábra. 0-tól N-ig számláló



2.15. ábra. N_1 -től N_2 -ig számláló



2.16. ábra. N_1 -től N_2 -ig majd N_3 -tól N_4 -ig számláló

Ha aszinkron törlő vagy beíró bemenettel rendelkező számláló ciklusát módosítjuk, akkor figyelembe kell venni, hogy a dekódolt állapot csak rövid ideig (dekódoló hálózat késleltetési ideje + törlési vagy beírési késleltetési idő) marad meg a kimeneteken.