

Misák Sándor

**SZÁMÍTÓGÉPES
ARCHITEKTÚRÁK**

**Nanoelektronikai és
Nanotechnológiai Részleg**

DE TTK

v.0.1 (2007.03.13.)

4. előadás

A DIGITÁLIS LOGIKA SZINTJE I.

A DIGITÁLIS LOGIKA SZINTJE I.

4. előadás

1. Kapuk és Boole-algebra:

- Kapuk;
- Boole-algebra;
- Boole-függvények megvalósítása;
- Áramköri ekvivalencia.

A DIGITÁLIS LOGIKA SZINTJE I.

4. előadás

2. Alapvető digitális logikai áramkörök:

- **Integrált áramkörök (IC-k);**
- **Kombinációs áramkörök (multiplexerek (adatszelektorok), demultiplexerek, kódoló-kódoló, összehasonlító, programozható logikai tömbök);**
- **Aritmetikai áramkörök (léptető, összeadó, aritmetikai-logikai egységek);**
- **Órák.**

A DIGITÁLIS LOGIKA SZINTJE I.

4. előadás

3. Memória:

- Szekvenciális (sorrendi) áramkörök (tárolók, időzített tárolók, flip-flopok, regiszterek);
- Memóriaszervezés;
- Memórialapkák;
- RAM-ok és ROM-ok.

4. CPU lapkák.

KAPUK ÉS BOOLE- ALGEBRA

LOGIKAI KAPUK

Digitális áramkör egy olyan áramkör, amelyben csak **két logikai érték** van jelen.

Különböző **feszültség-(ritkábban áram-)szintek** jelentik ezeket a **logikai szinteket**.

Pl.: **TTL** (**T**ransistor-**T**ransistor **L**ogic, tranzisztor-tranzisztor logika) áramköröknél pozitív logika esetén a logikai **0**-nak a **0 ÷ 0,8 V**, a logikai **1**-nek a **2,4 ÷ 5 V** feszültség szint felel meg.

LOGIKAI KAPUK

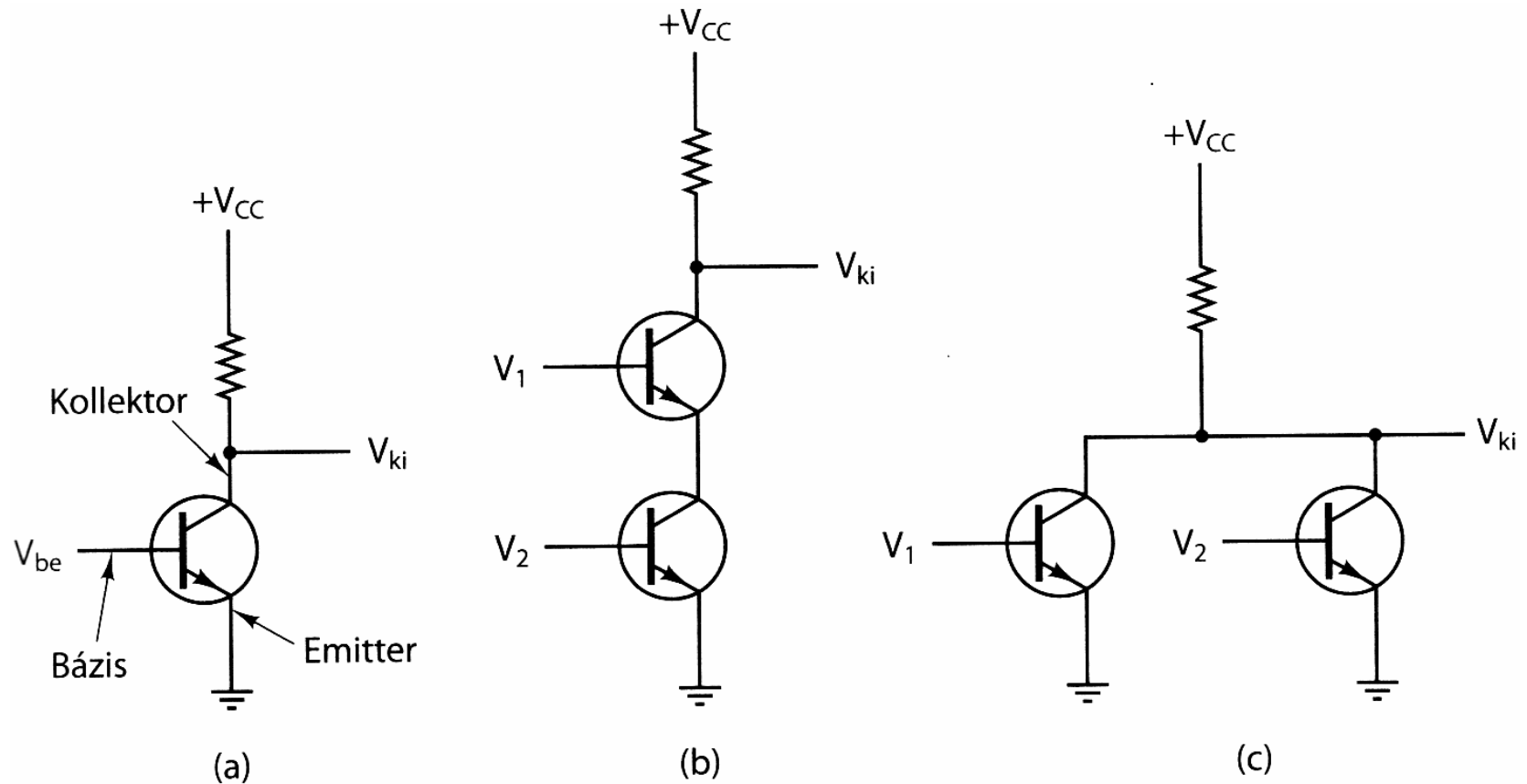
A kapuk legkisebb elemei a **tranzisztorok** (bipoláris vagy **térvezérlésű**), melyeknek **három kapcsolata** (kivezetése) van a **külvilággal**.

Egy **bipoláris tranzisztornál** ezek a következők: **bázis, kollektor, emitter**.

Térvezérlésű tranzisztor esetén: kapu, nyelő, forrás.

Különböző feszültségekkel vezérelve a tranzisztor bázisát, illetve kapuját, a tranzisztor nyílt (vezeti az áramot) vagy zárt (nem vezeti az áramot) állapotban lesz, ami a két logikai szintnek felel meg.

LOGIKAI KAPUK



- a) **Tranzisztoros fordító (inverter, NEM (NOT) kapu);**
- b) **NEM-ÉS (NAND) kapu;**
- c) **NEM-VAGY (NOR) kapu.**

LOGIKAI KAPUK

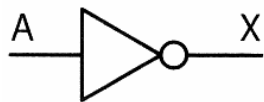
Különböző módon kapcsolva össze a tranzisztorokat különféle **logikai műveletet végző logikai áramkörök** készíthetők: a legegyszerűbbektől a legbonyolultabbakig.

A logikai kapuk ezek közül a legegyszerűbbek, mivel csak a legegyszerűbb logikai műveletek elvégzésére képesek:

- **logikai tagadás (invertálás, NEM-művelet);**
- **logikai összeadás (VAGY-művelet);**
- **logikai szorzás (ÉS-művelet);**
- **NEM-ÉS-, NEM-VAGY-, kizáró VAGY-műveletek.**

LOGIKAI KAPUK

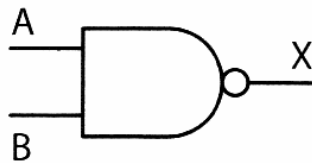
NEM (NOT)



A	X
0	1
1	0

(a)

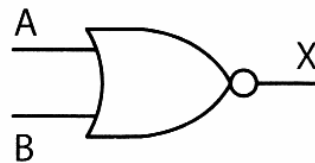
NEM-ÉS (NAND)



A	B	X
0	0	1
0	1	1
1	0	1
1	1	0

(b)

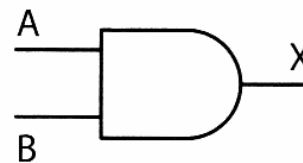
NEM-VAGY (NOR)



A	B	X
0	0	1
0	1	0
1	0	0
1	1	0

(c)

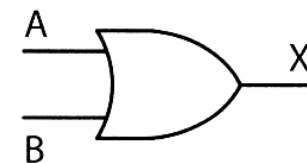
ÉS (AND)



A	B	X
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1

(d)

VAGY (OR)



A	B	X
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	1

(e)

Az **öt** **alapk**apu szimbóluma és működése

LOGIKAI KAPUK

A kis köröket, amelyeket a szimbólumok részeként használunk az inverter, a **NEM-ÉS**, **NEM-VAGY** kapuknál, inverziós gömböknek (**inversion bubbles**) nevezzük.

Eszközsinten a két főbb gyártási technológia: a bipoláris és a **MOS (Metal-Oxide-Semiconductor)** fém-oxid-félvezetős technológia.

A **bipoláris technológia** fő típusa:

- a **TTL**, amely évek óta az egyik főhordozója a digitális elektronikának;
- az **ECL (Emitter Coupled Logic)** emitter-csatolt logika, amelyet akkor használnak, ha nagy sebességű műveletek végrehajtására van szükség.

LOGIKAI KAPUK

A **MOS**-kapuk lassabbak, mint **TTL** és az **ECL**, de kevesebb áramot igényelnek, és kevesebb helyet foglalnak el, és ezért sokkal nagyobb számú elem rakható szorosan egymás mellé.

A **MOS**-nak nagyon sok változata van: **PMOS, NMOS, CMOS**.

Ha különböző technológiájú áramköröket össze akarjuk kapcsolni, gondoskodnunk kell az illesztő áramkörökről.

BOOLE-ALGEBRA

A kapuk kombinációjából felépíthető áramkörök leírásához egy új típusú algebra szükséges, amelynek változói csak a 0 és 1 értéket vehetik fel.

Egy ilyen algebrát **Boole-algebrának** (**switching algebra, kapcsolóalgebrának**) hívnak, **George Boole** (1815-1864) angol matematikusról elnevezve.

A **Boole-függvényeknek** egy vagy több bemeneti változója van, és egy eredményt szolgáltat, amely csak e változók értékétől függ.

BOOLE-ALGEBRA

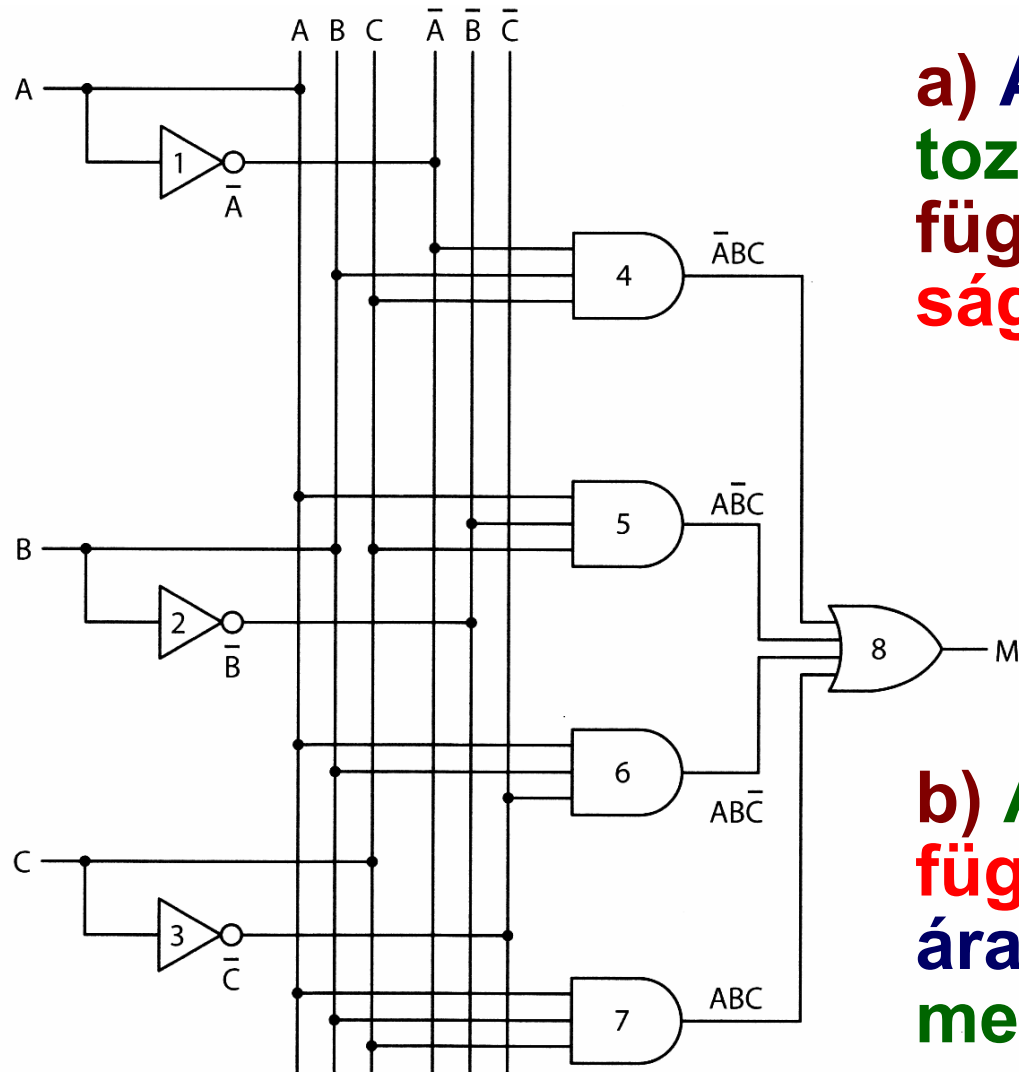
Mivel az n változós Boole-függvény változóinak csak 2^n lehetséges kombinációja van, a függvényt teljesen leírhatjuk egy 2^n sorral rendelkező táblázattal, ahol egy-egy sor megmondja a bemeneti értékek adott kombinációja mellett a függvényértékét.

Ezt a táblázatot igazságtáblázatnak (truth table) nevezzük.

BOOLE-ALGEBRA

A	B	C	M
0	0	0	0
0	0	1	0
0	1	0	0
0	1	1	1
1	0	0	0
1	0	1	1
1	1	0	1
1	1	1	1

(a)



(b)

a) **A** háromváltozós többségi függvény igazságtáblázata;

b) **A** logikai függvény áramköri megvalósítása.

BOOLE-FÜGGVÉNYEK MEGVALÓSÍTÁSA

Egy Boole-függvény megvalósítása:

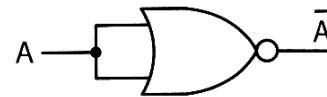
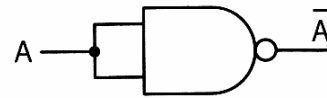
- 1. Írjuk fel a függvény igazságtáblázatát.**
- 2. Biztosítsunk NEM kapukat minden bemenet komplementésének előállításához.**
- 3. Rajzoljunk ÉS kaput minden sorhoz, amelynek az eredményoszlopában 1 van.**
- 4. Kapcsoljuk össze az ÉS kapukat a megfelelő bemenetekkel.**
- 5. Az összes ÉS kapu kimenetét tápláljuk be egy VAGY kapuba.**

BOOLE-FÜGGVÉNYEK MEGVALÓSÍTÁSA

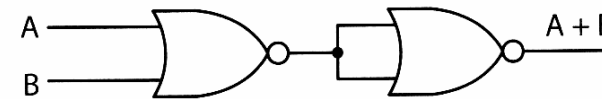
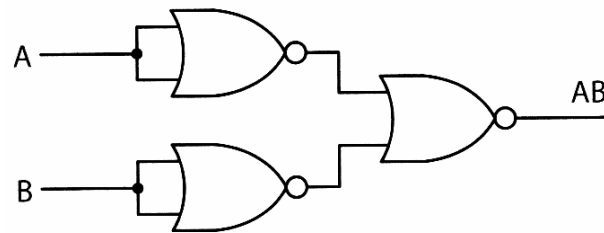
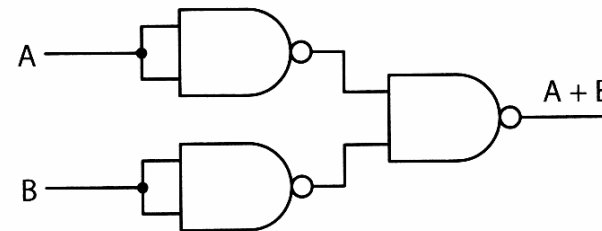
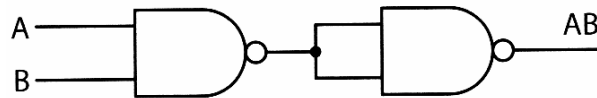
A **NEM-ÉS** és a **NEM-VAGY** kapukról azt mondjuk, hogy **teljesek (complete)**, mert bármely **Boole-függvény** kiszámítható ezek bármelyikének kizárólagos felhasználásával.

Más kapunak nincs meg ez a tulajdonsága, ami miatt **előnyben részesítik ezeket az áramköri blokkok tervezésénél.**

BOOLE-FÜGGVÉNYEK MEGVALÓSÍTÁSA



(a)



(b)

(c)

a) NEM, b) ÉS, c) VAGY kapuk csak **NEM-ÉS** és **NEM-VAGY** kapukkal történő megvalósítása.

ÁRAMKÖRI EKVIVALENCIA

A hálózattervezők gyakran próbálják **csökkenteni** termékeikben a **kapuk számát**, hogy **csökkentsék** az **alkatrészek árát**, a **nyomtatott áramköri lap nagyságát**, az **áramfogyasztást** és így tovább.

Az áramkör bonyolultságának csökkentéséhez, a tervezőknek találni kell egy olyan áramkört, amely ugyanazt a függvényt (ún. **ekvivalens függvény**) számolja ki, mint az eredeti, de **kevesebb kapuból áll** (**vagy egyszerűbb kapukból**, pl. kétbemenetes kapukból a négybemenetesekek helyett).

ÁRAMKÖRI EKVIVALENCIA

Az **ekvivalens áramkörök** keresésében a **Boole-algebra** nagyon értékes eszköz.

Általában az áramkör tervezők **Boole-függvénnyel** kezdenek, és aztán **alkalmazzák a Boole-algebra szabályait**, és próbálnak egyszerűbb, de ekvivalens függvényt találni.

A végleges formából azután létrehozzák az áramkört.

Ahhoz, hogy ezt a megközelítést használjuk, szükségünk van a **Boole-algebra néhány azonosságára**.

ÁRAMKÖRI EKVIVALENCIA

Név	ÉS forma	OR forma
Identitásszabály	$1A = A$	$0 + A = A$
Nullszabály	$0A = 0$	$1 + A = 1$
Idempotens szabály	$AA = A$	$A + A = A$
Inverz szabály	$A\bar{A} = 0$	$A + \bar{A} = 1$
Kommutatív szabály	$AB = BA$	$A + B = B + A$
Asszociatív szabály	$(AB)C = A(BC)$	$(A + B) + C = A + (B + C)$
Disztribúciós szabály	$A + BC = (A + B)(A + C)$	$A(B + C) = AB + AC$
Abszorpciószabály	$A(A + B) = A$	$A + AB = A$
De Morgan-szabály	$\overline{AB} = \bar{A} + \bar{B}$	$\overline{A + B} = \bar{A}\bar{B}$

A Boole-algebra néhány azonossága

KAPUK ÉS BOOLE- ALGEBRA

INTEGRÁLT ÁRAMKÖRÖK

A kapukat nem egyedileg gyártják és árulják, hanem egységekben, ún. integrált áramkörökben, amelyeket **IC**-knek (**Integrated Circuits**) vagy **lapkának** (**chips**) hívják.

Egy **IC** kb. egy **5x5 mm**-es négyzetes **szilíciumdarab**, amelyen néhány kaput helyeznek el.

A kis **IC**-ket szokásosan egy derékszögű műanyag vagy kerámialapon (tokban) helyezik el, amely **5-15 mm** széles és **20-50 mm** hosszú.

INTEGRÁLT ÁRAMKÖRÖK

A hosszú élek mentén **5 mm** hosszú lábaknak **két párhuzamos sora** van, amely behelyezhető egy **foglalatba**, vagy **nyomtatott áramköri táblára** forrasztható.

Minden láb egy-egy kapunak a **bemenete** vagy **kimenete**, vagy **áram**, vagy pedig **föld bemenet**.

A kívül kétsoros lábazást és a belső integrált áramkört együtt **DIP**-nek (**Dual Inline Packages**, kétlábsoros tokozás) nevezik, de mindenki **lapkának** (**chipnek**) hívja, elkenve a különbséget a **szilíciumdarab** és a **tokozása** között.

INTEGRÁLT ÁRAMKÖRÖK

A legtöbb ismert tokozásnak **14, 16, 18, 20, 22, 24, 28, 40, 64** vagy **68** lába van.

A **nagy lapkánál** gyakran használatos a **négyzetes tokozás**, ahol mind a négy oldalon, vagy pedig az alsó részen található lábak.

Egy kaput **ideálisnak** nevezzük, ha a kimenet azonnal előáll, amint a bemenetet alkalmaztuk.

A valóságban a lapkáknak véges **kapukésleltetésük** (**gate delay**) van, amely tartalmazza mind a **jel terjedését** a lapkán keresztül, mind a **kapcsolási időt**.

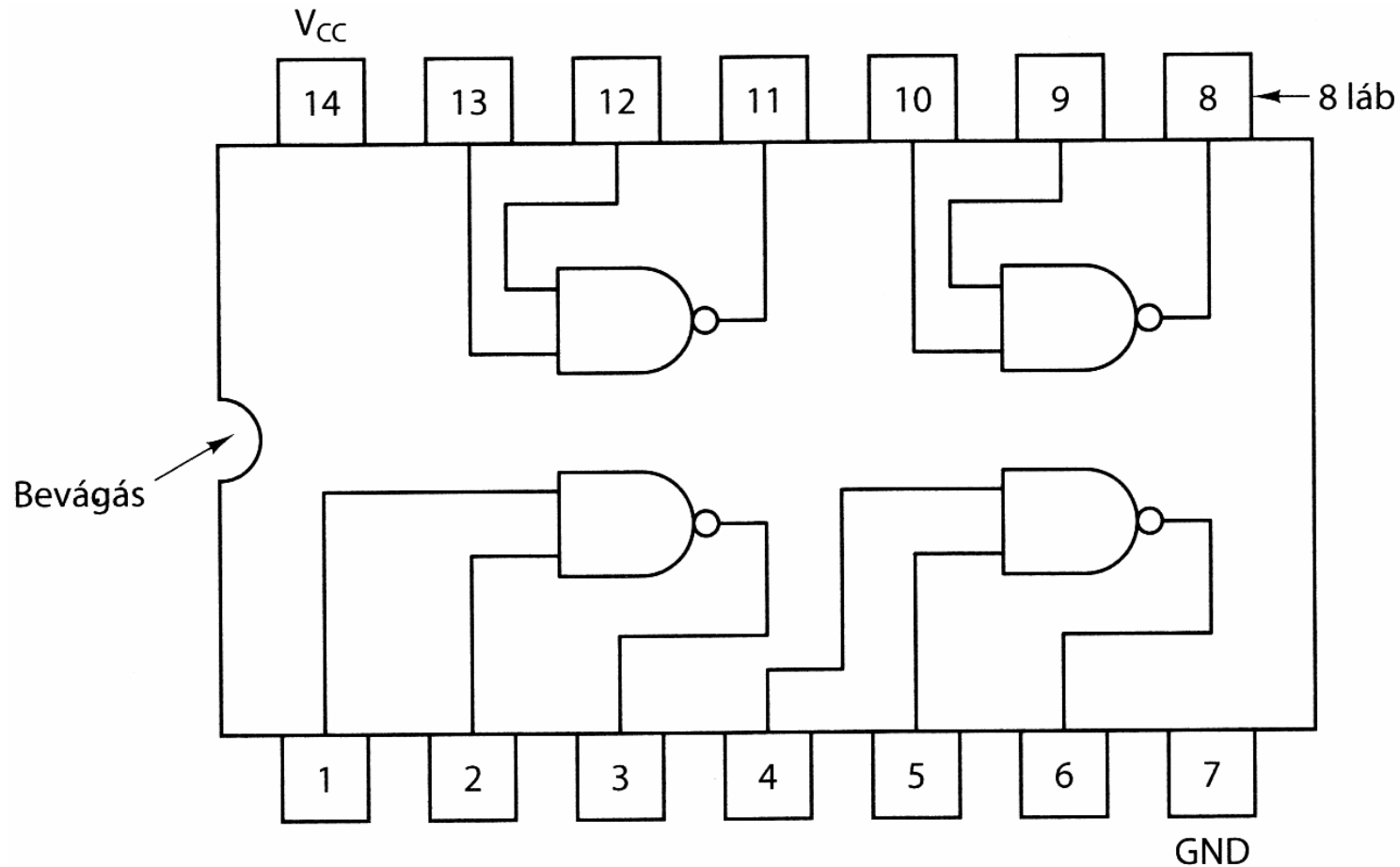
A **tipikus késleltetés 1-10 ns** között van.

INTEGRÁLT ÁRAMKÖRÖK

A lapkákat (nem pontos) **osztályokba** sorolhatjuk a **kapuk száma alapján**:

- **SSI (Small Scale Integrated** – kis integráltságú) áramkör: **1-10** kapu;
- **MSI (Medium Scale Integrated** – közepes integráltságú) áramkör: **10-100** kapu;
- **LSI (Large Scale Integrated** – nagy integráltságú) áramkör: **100-100000** kapu;
- **VLSI (Very Large Scale Integrated** – nagyon nagy integráltságú) áramkör: **> 100000** kapu.

INTEGRÁLT ÁRAMKÖRÖK



SSI lapka négy kapuval

KOMBINÁCIÓS ÁRAMKÖRÖK

A digitális logika nagyon sok alkalmazása megkívánja, hogy egy áramkör többszörös bemenettel és többszörös kimenettel rendelkezzen, és a kimeneteit a pillanatnyi bemenetei határozzák meg.

Az ilyen áramkört **kombinációs áramkörnek** (**combinational circuit**) hívjuk.

A memóriaelemeket tartalmazó áramkör tud **olyan kimeneteket generálni**, amelyek függenek a **tárolt értékektől** és természetesen a **bemenő változóktól** is.

Az ilyen tulajdonságú áramköröket **szekvenciális** (sorrendi, **sequential**) **áramköröknek** nevezzük.

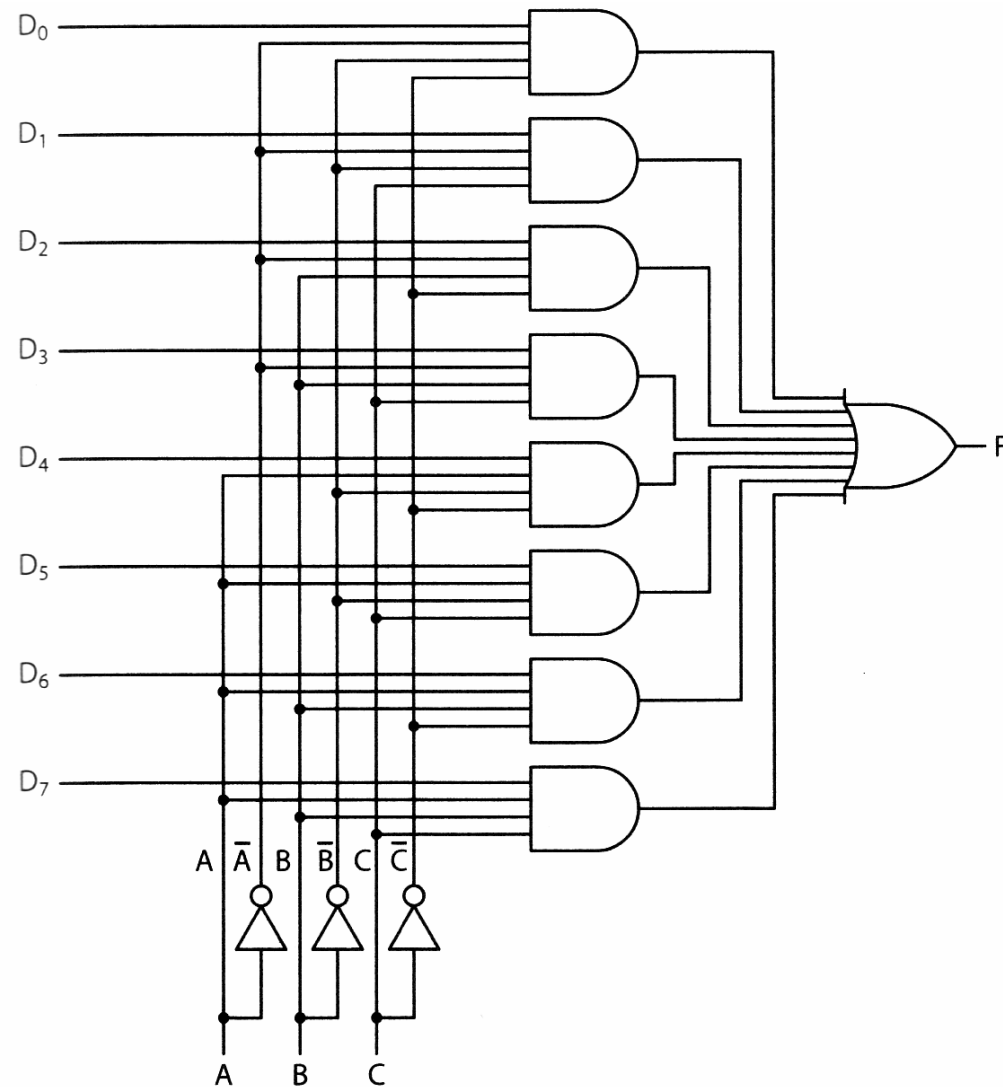
KOMBINÁCIÓS ÁRAMKÖRÖK

A digitális logika szintjén a **multiplexer** (**adatszelektor**) olyan áramkör, amely 2^n adatbemenettel, **1** adatkimenettel és **n** vezérlőbemenettel rendelkezik, mely utóbbiak egy adatbemenetet választanak ki.

A kiválasztott adatbemenetre azt mondjuk, hogy a kimenetre **irányított** vagy „**kapuzott**” (gated).

A multiplexer fordítottja a **demultiplexer**, amely egy egyedi bemenő jelet irányít a 2^n kimenet valamelyikére az **n** vezérlővonal értékétől függően. Ha a vezérlő vonalak bináris értéke **k**, a **k**-adik kimenet a kiválasztott kimenet.

KOMBINÁCIÓS ÁRAMKÖRÖK



Nyolcbemenetes multiplexer áramkör

KOMBINÁCIÓS ÁRAMKÖRÖK

Egy olyan áramkört, amely n bites számot használ bemenetként, és pontosan egyet kiválaszt a 2^n kimenet közül (1-re állítja).

Az ilyen áramkör **dekódolónak** nevezzük.

Egy másik hasznos áramkör az **összehasonlító** (**comparator**), amely két bemeneti szót hasonlít össze.

Tetszőleges függvények (igazságtáblázatok) megszerkeszthetők azáltal, hogy **ÉS** kapukkal logikai szorzatokat számolunk ki, és azután a szorzatokat **VAGY**-oljuk.

Egy nagyon általános **lapka**, a **programozható logikai tömb** vagy **PLA** (**P**rogrammable **L**ogic **A**rray) szolgál a logikai szorzat-összeg képzésére.

ARITMETIKAI ÁRAMKÖRÖK

Egy **léptető áramkör** a bemeneti jelek **1** bittel való eltolását végzi. Az eltolás irányát **1** darab vezérlővonal állapota határozza meg. **Az áramkör bemeneteinek száma megegyezik kimeneteinek számával.**

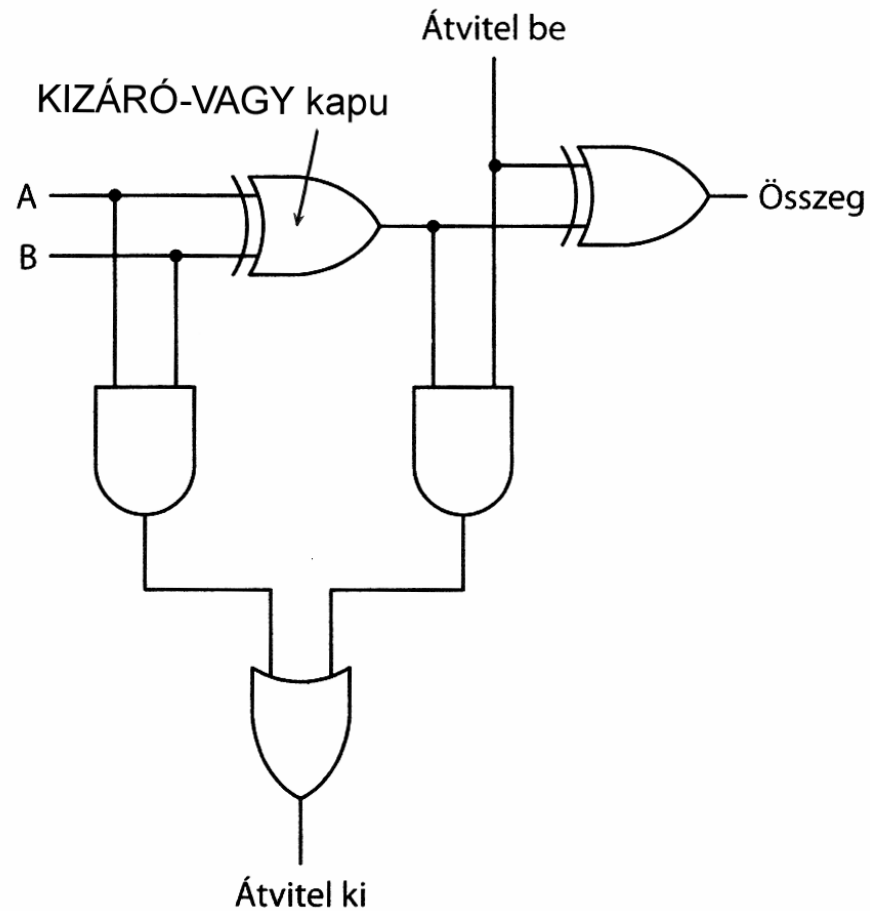
A **CPU** egyik leghényegesebb része egy **összeadást** végző áramkör.

Ezeknek két fajtája van az ún. **fél** és a **teljes összeadó áramkör**. Mindkettő képzí az aritmetikai összeget és az átvitelt a következő helyiértékre.

A különbség közöttük az, hogy a félösszeadó nem veszi figyelembe az előző helyiértéken keletkezett átvitelt, a teljes összeadó viszont igen.

ARITMETIKAI ÁRAMKÖRÖK

A	B	Átvitel be	Összeg	Átvitel ki
0	0	0	0	0
0	0	1	1	0
0	1	0	1	0
0	1	1	0	1
1	0	0	1	0
1	0	1	0	1
1	1	0	0	1
1	1	1	1	1



- A teljes összeadó igazságtáblázata;**
- Teljes összeadó áramkör.**

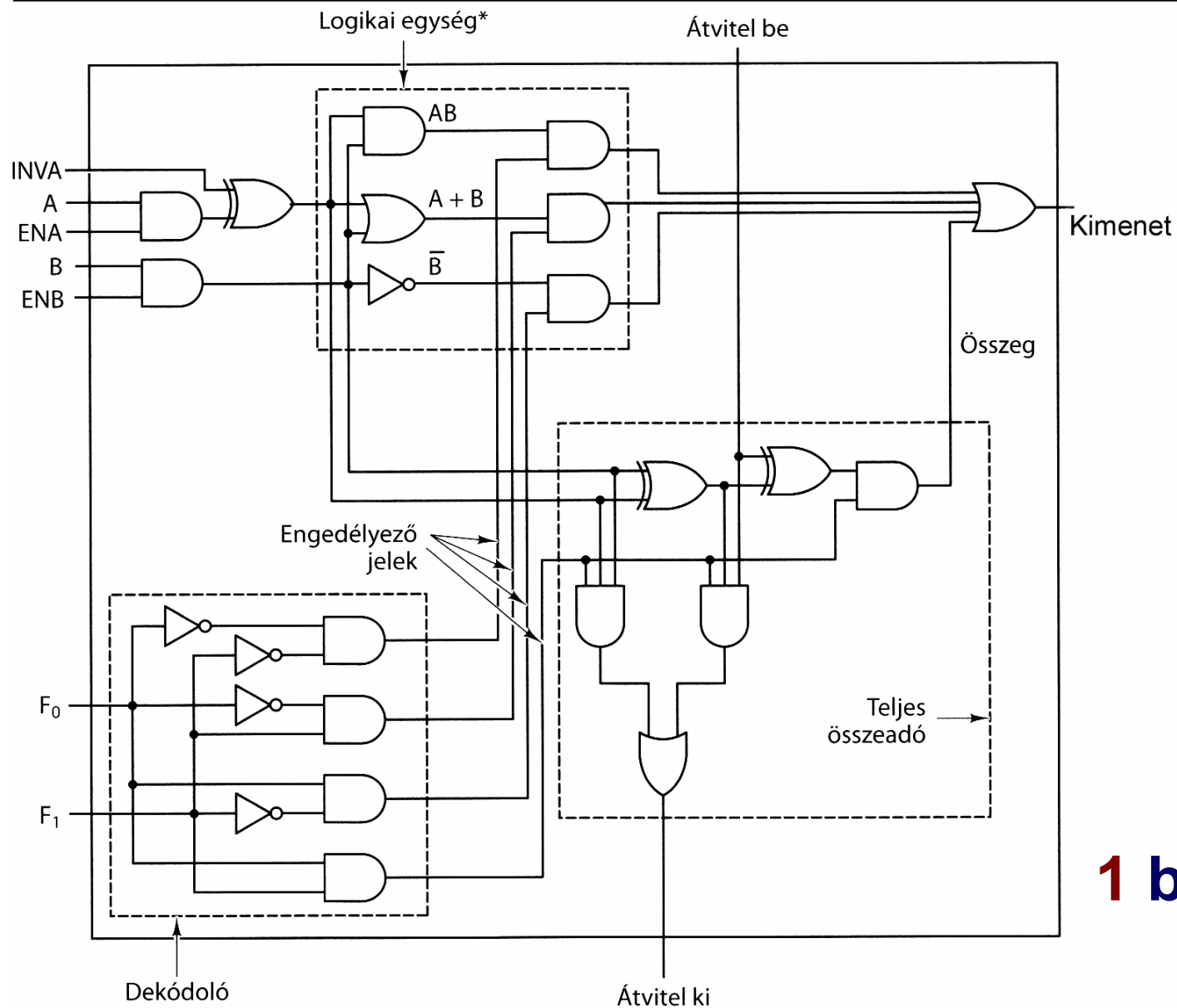
ARITMETIKAI ÁRAMKÖRÖK

A teljes összeadók között megkülönböztetik az **átvitelt tovább terjesztő összeadókat** (**ripple carry adder**), illetve az **átvitelt kiválasztó összeadókat** (**carry select adder**).

A legtöbb számítógép egyetlen áramkört tartalmaz az **ÉS**, **VAGY** végrehajtására és **két gépi szó összeadására**. Ez az áramkör tipikusan **n** bites szavakra készül, és **n** azonos áramkört tartalmaz az egyes bit pozíciókra.

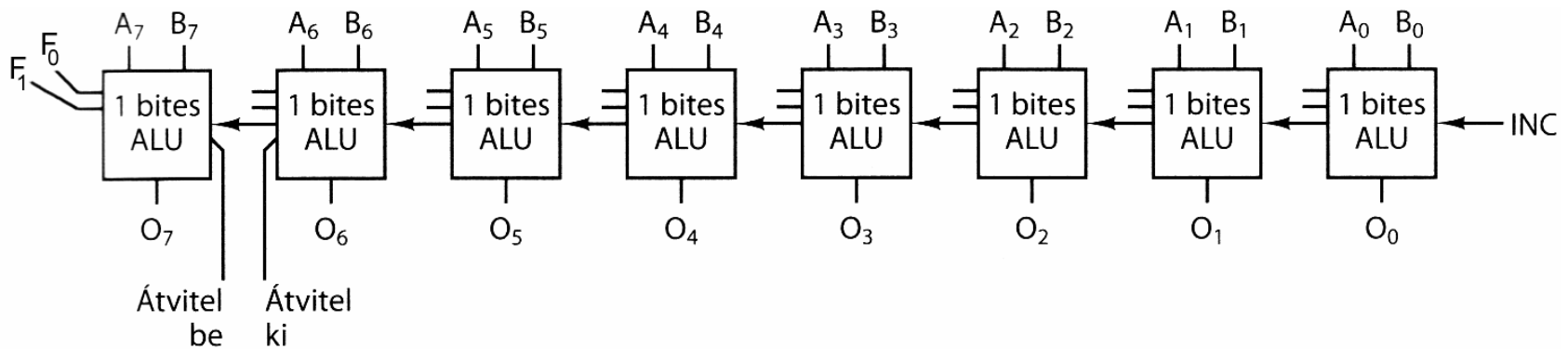
Az ilyen áramköröket **aritmetikai-logikai egységnek** (**Arithmetic Logic Unit**) nevezzük.

ARITMETIKAI ÁRAMKÖRÖK



1 bites ALU

ARITMETIKAI ÁRAMKÖRÖK



Nyolc 1 bites ALU-szelet összekapcsolása 8 bites ALU-vá. Az engedélyező és invertáló jelek nincsenek feltüntetve

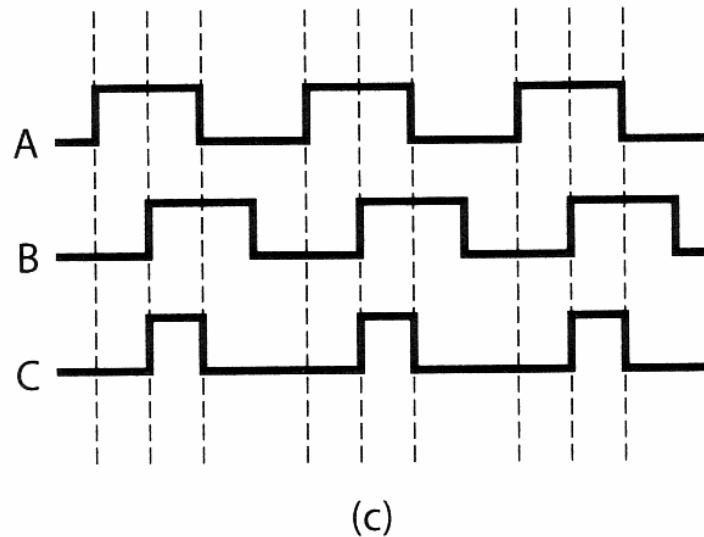
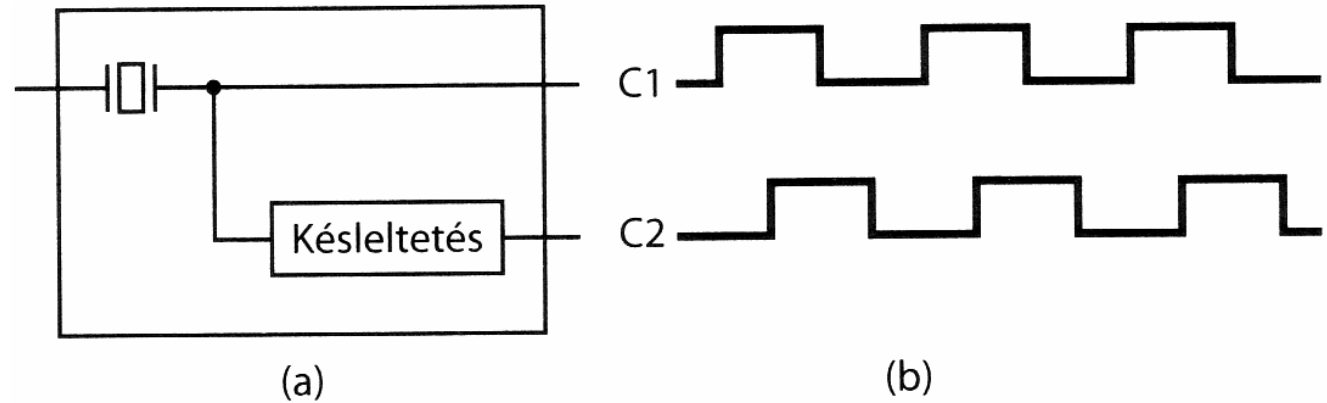
ÓRÁK

Az **óra (clock)** ebben az értelemben egy áramkör, amely pontosan meghatározott szélességű impulzusok sorozatát bocsátja ki, és nagyon precízen meghatározott a két egymás utáni impulzus közötti intervallum is.

A két egymást követő impulzus élei közötti intervallumot az **óra ciklusidejének (clock cycle time)** nevezzük.

A nagy pontosság eléréséhez az óra frekvenciáját általában egy **kristály-oszcillátor** vezérli.

ÓRÁK



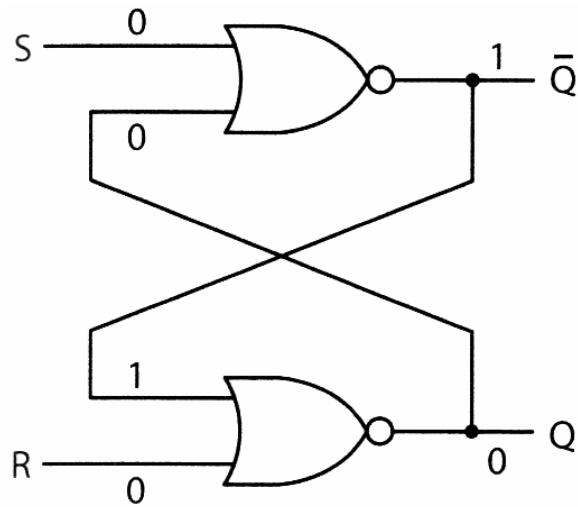
a) Óra;

b) Időzítési diagram;

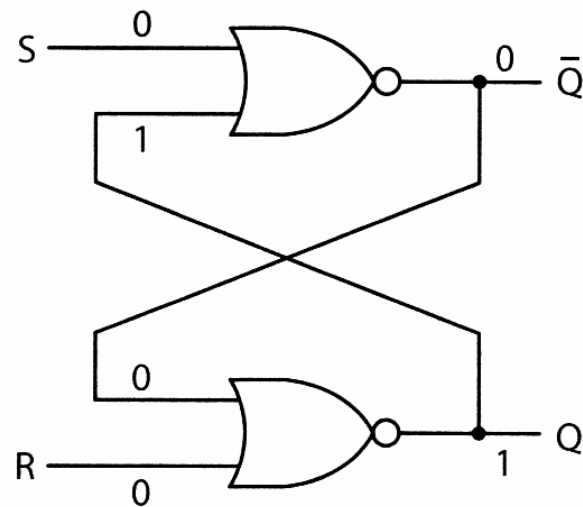
c) Aszimmetrikus óra generálása.

MEMÓRIA

TÁROLÓK



(a)



(b)

A	B	NOR
0	0	1
0	1	0
1	0	0
1	1	0

(c)

a) **NEM-VAGY** kapukból álló **SR-tároló 0-s** állapotban;

b) **NEM-ÉS** tároló **1-s** állapotban;

c) **NEM-VAGY** igazságtáblázata.

TÁROLÓK

Az előző ábra áramkörét **SR-tárolónak (Set Reset Latch)** hívjuk.

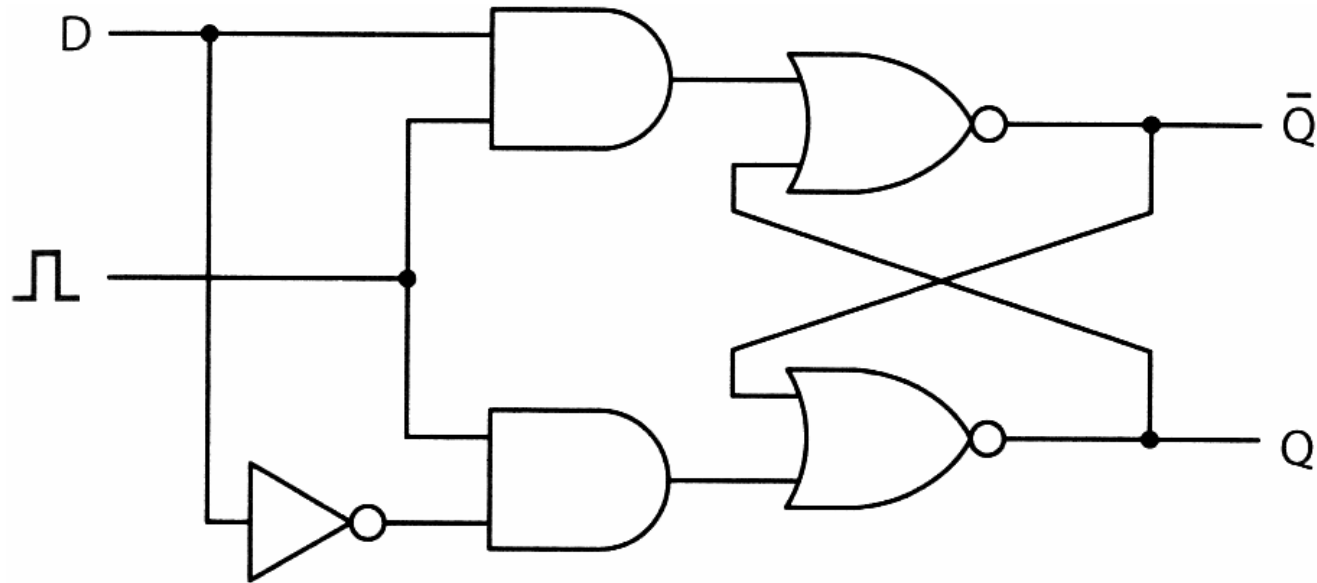
Gyakran fontos, hogy a tároló állapotváltozásai csak bizonyos meghatározott pillanatban történjenek.

Ezeket az áramköröket egy újabb bemenettel bővítették, melyeket **érvényes (enable)**, illetve a **kapuzójel (strobe)** bemenetnek neveztek el.

Amikor ezen bemenet értéke **1**, akkor az áramkör érzékeny az **R, S** bemenetek állapotváltozásaira.

Ezeket az áramköröket **időzített (clocked) tárolóknak (reteszeknek)** nevezik.

TÁROLÓK



Időzített D-tároló

FLIP-FLOPOK

Sok áramkörnél szükséges lehet, hogy meghatározott időpontban vegyen mintát bizonyos vonalon levő értékről, és tárolja azt az értéket.

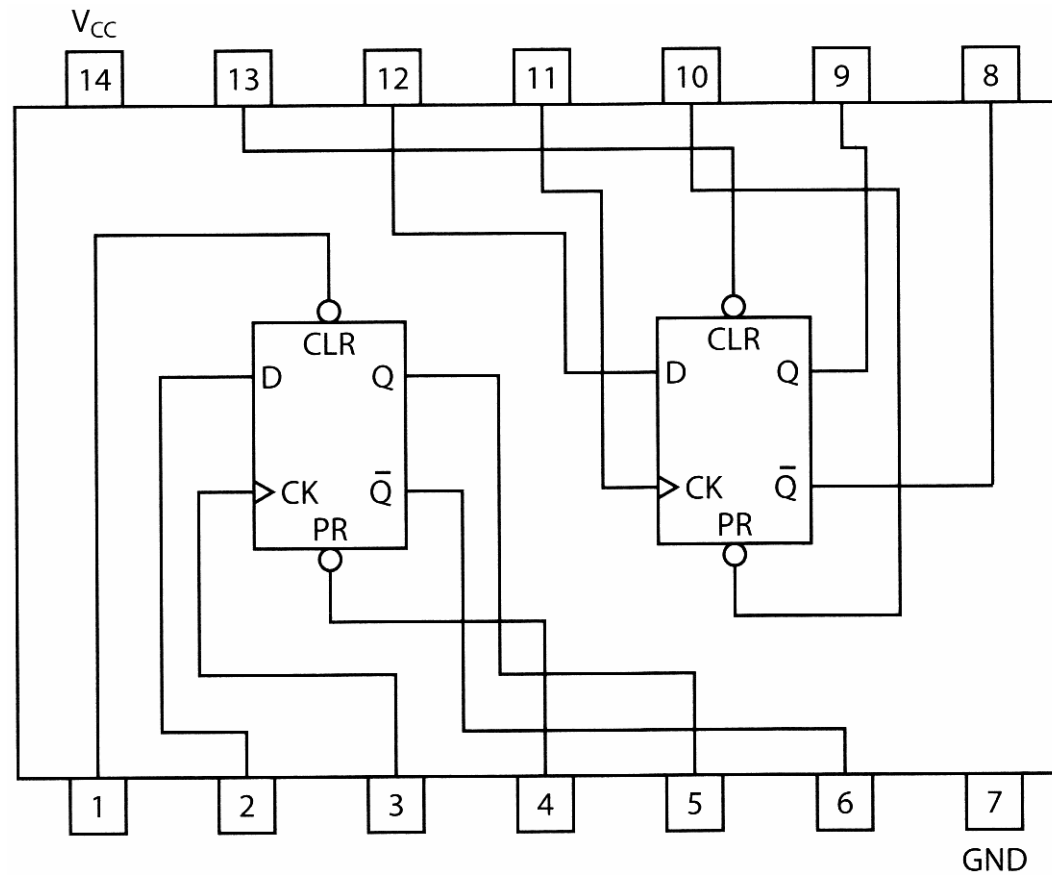
Ezt a változatot **flip-flopnak** (flip-flop, billenőkör) nevezzük.

Flip-flop esetén az órajel 1-es állásánál nem fordul elő az állapotváltozás, hanem csak akkor, amikor az órajel átmegy 0-ból 1-be (felfutó él) vagy 1-ből a 0-ba (lefutó él). Így az órajel hossza nem lényeges, ha elég gyors az átmenet.

A flip-flop élvezérelt (edge triggered), míg a tároló színvezérelt (level triggered).

Több flip-flopból alakítanak ki regisztereket, melyek alkalmasak több bit tárolására is.

FLIP-FLOPOK



Duális D-flip-flop