

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, kódolók-dekódolók, 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 (Transistor-Transistor Logic, tranzisztor-tranzisztor logika) áramköröknél pozitív logika esetén a logikai 0-nak a $0 \div 0,8$ V, a logikai 1-nek a $2,4 \div 5$ V feszültségszint felel meg.

LOGIKAI KAPUK

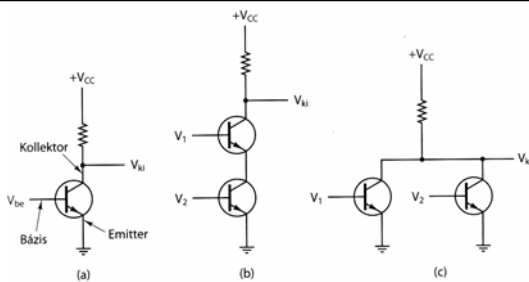
A kapuk **legkisebb elemei a tranzisztorok (bipoláris vagy térvezérlésű)**, melyeknek **három kapcsolata (kivezetése)** van a **külvilággal**.

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.**

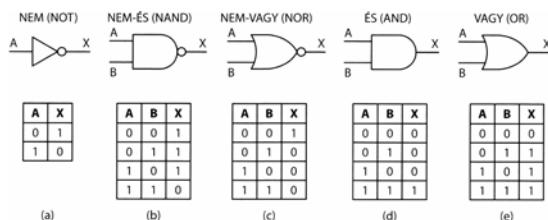
LOGIKAI KAPUK

Különböző módon kapcsolva össze a tranzisztorokat **különböző logikai művelet 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



Az öt alapkapu 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) nevezünk.

Eszközszinten 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.

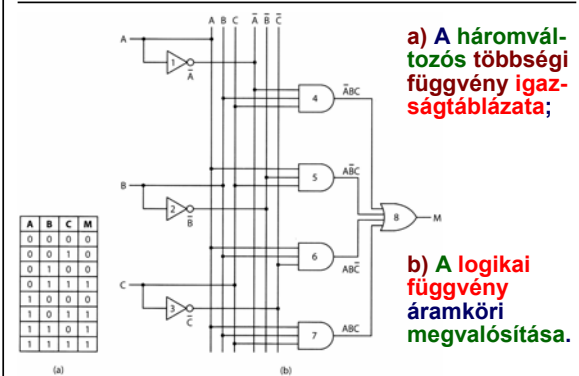
A Boole-függvényeknek egy vagy több bemeneti változója van, és egy eredményt szolgáltat, amely csak e változók értékétől függ.

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



BOOLE-FÜGGVÉNYEK MEGVALÓSÍTÁSA

Egy Boole-függvény megvalósítása:

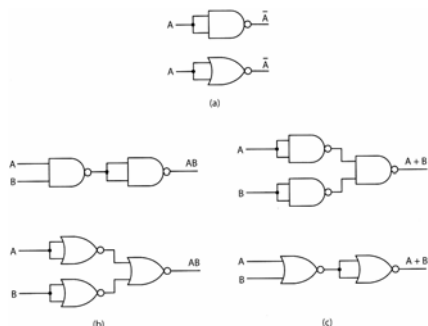
1. Írjuk fel a függvény igazságtáblázatát.
2. Biztosítsunk NEM kapukat minden bemenet komplementjének előállításához.
3. Rajzoljunk ÉS kaput minden sorhoz, amelynek az eredményoszlopában 1 van.
4. Kapcsoljuk össze az ÉS kapukat a megfelelő bemenetekkel.
5. Az összes ÉS kapu kimenetét tápláljuk be egy 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) 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 áramkört 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 négybemenetesek 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	$A + BC = (A + B)(A + C)$	$A(B + C) = AB + AC$
Abszorpció szabály	$A(A + B) = A$	$A + AB = A$
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) hívnak.

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

A kis IC-eket 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 láboknak **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 találhatóak lábak.

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

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

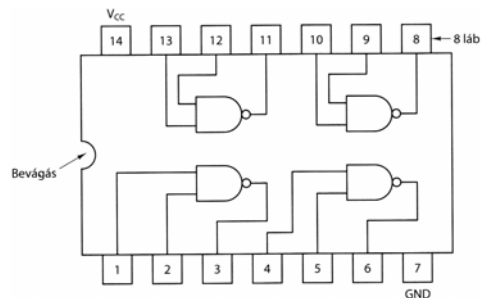
A **tipikus késleltetés 1-10 ns** között van.

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.

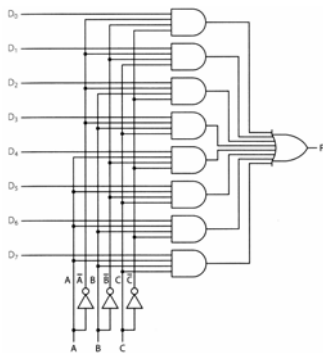
KOMBINÁCIÓS ÁRAMKÖRÖK

A digitális logika szintjén a **multiplexer (adatszelektor)** olyan áramkör, amely **2ⁿ 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 **2ⁿ 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 **dekódoló**nak 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 (Programmable Logic Array)** szolgál a logikai szorzat-összeg képzésére.

ARITMETIKAI ÁRAMKÖRÖK

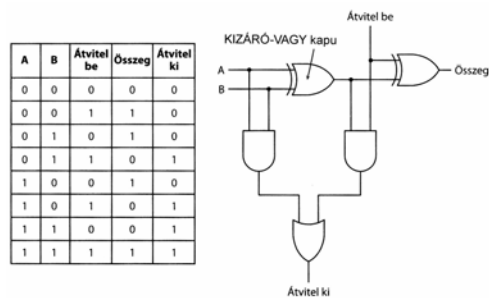
Egy **léptető áramkör** a bemeneti jelek 1 bittel való eltolását végzi. Az eltolás irányát 1 darab vezérlővonal állapota határozza meg. Az áramkör bemeneteinek száma megegyezik kimeneteinek számával.

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

Ezeknek két fajtája van az ún. **fél** és a **teljes összeadó áramkör**. Mindkettő képi 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) A teljes összeadó igazságtáblázata;
b) Teljes összeadó áramkör.

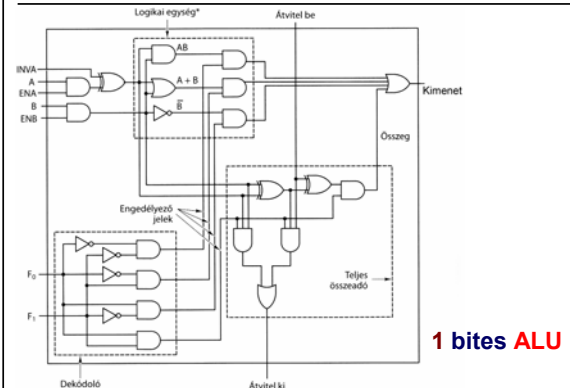
ARITMETIKAI ÁRAMKÖRÖK

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.

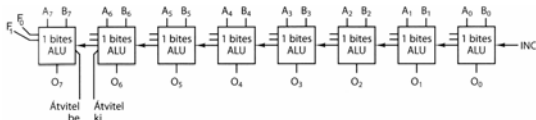
Az ilyen áramköröket **aritmetikai-logikai egységnek (Arithmetic Logic Unit)** nevezzük.

ARITMETIKAI ÁRAMKÖRÖK



1 bites ALU

ARITMETIKAI ÁRAMKÖRÖK



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

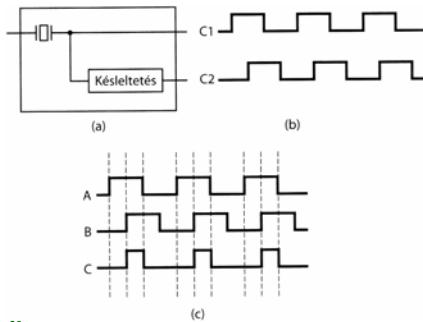
ÓRÁK

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.

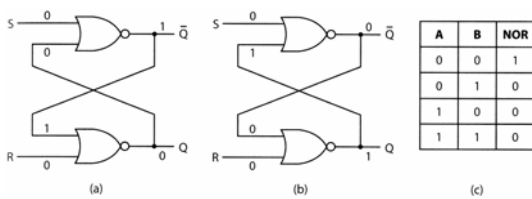
ÓRÁK



- a) Óra;
- b) Időzítési diagram;
- c) Aszimmetrikus óra generálása.

MEMÓRIA

TÁROLÓK



- a) NEM-VAGY kapukból álló SR-tároló 0-s állapotban;
- b) NEM-ÉS tároló 1-s állapotban;
- c) NEM-VAGY igazságtáblázata.

TÁROLÓK

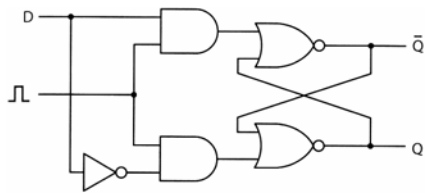
Az előző ábra áramkörét **SR-tárolónak (Set Reset Latch)** hívjuk.

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.

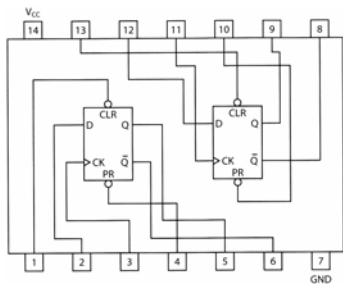
Ezt a változatot **flip-flopnak** (flip-flop, billenőkör) nevezzük.

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 **szinvezérelt** (level triggered).

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

FLIP-FLOPOK



Duális D-flip-flop