

# DIGITÁLIS TECHNIKA II

Dr. Pődör Bálint

BMF KVK Mikroelektronikai és Technológia Intézet

## 6. ELŐADÁS: LOGIKAI ÁRAMKÖRÖK I



2008/2009 tanév 2. félév

1

## 6. ELŐADÁS LOGIKAI ÁRAMKÖRÖK

1. Digitális áramkörcsaládok
2. Inverter és tulajdonságai
3. Transistor-Transistor Logic (TTL) : bipoláris tranzisztoros integrált logikai áramkörök

2

## DIGITÁLIS ALAPÁRAMKÖRÖK

- Logikai áramkörök - homogén, egységes tulajdonságú alapelemek
- Kapuk, tárolók - azonos tápfeszültség, azonos logikai szintek, hasonló terjedési idők
- Technológia - közös, egy chip-en integrálhatók

Áramkörcsaládok

3

## DIGITÁLIS ALAPÁRAMKÖRÖK: AZ INVERTER

- Konstruktív szempontból egy áramkörcsalád leglényegesebb eleme az **inverter**
- Az inverter határozza meg az áramkörök alaptulajdonságait:
  - jelszintek,
  - zavarvédelem,
  - terjedési, késletési idő,
  - teljesítményfelvétel
- a bonyolultabb logikai elemek az inverterből származtathatók, pl.
  - NOR, NAND kapuk: inverter kiegészítése
  - SR flip-flop: két NOR kapu, stb.

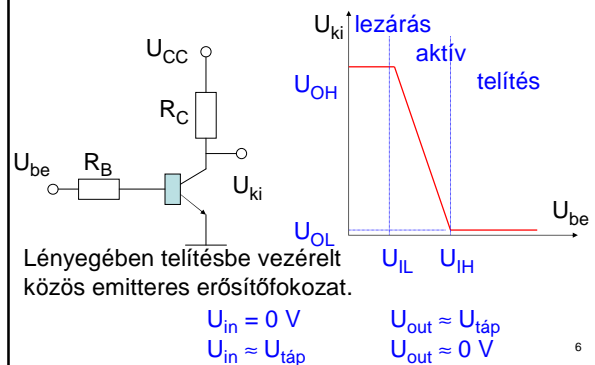
4

## INVERTER FUNKCIÓI

- **Jelregenerálás** - transzfer karakterisztika aktív szakasza, erősítés
- **Zavarvédelem** - transzfer karakterisztika kis meredekségű szakasza

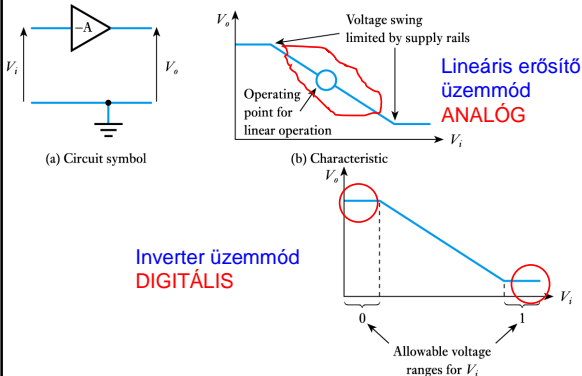
5

## INVERTER ALAPKAPCSOLÁS



6

## FÁZISFORDÍTÓ ERŐSÍTŐ ÉS INVERTER



## ÁRAMKÖRGENERÁCIÓK

1930-as évek, relés áramkörök, Bell Labs  
(korai hajtóerő: telefon kapcsolástechnika)

1940-évek, elektroncsövek, pl. ENIAC (**electronic numerical integrator and calculator**), 18 ezer cső, 140 kW (ma: négy alapműveletes kalkulátor kb. 9 ezer tranzistor)

(hajtóerő: katonai alkalmazások, tűzérési röppálya számítások, stb.)

Korabeli mondás: **a röppálya kiszámításhoz felhasznált energia összemérhető a robbanótöltetével....**

8

## ÁRAMKÖRGENERÁCIÓK (2)

1950/1960 félvezető diódás és tranzistoros áramkörök

- RTL resistor-transistor-logic
- DTL diode-transistor-logic
- ECL emitter-coupled logic (később)

1961-től SSI (előzőek egy chipen)

1960as évek TTL (transistor-transistor logic), Sylvania, majd igazán sikeresen Texas Instruments

1980as évek CMOS (complementary metal-oxide-semiconductor)

9

## TTL BEVEZETŐ

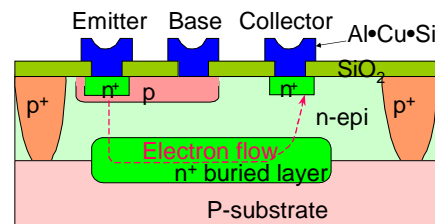
- Legelterjedtebb IC technológia (bipoláris)
- Két alapváltozat 74 (ipari) és 54 (katonai)
- Több sorozat
- Bipoláris tranzistorok, diódák és ellenállások
- Tokozás DIL, SMT

10

## TTL SZOROZATOK

- STANDARD **ELAVULT!**
- SCHOTTKY **ELAVULT!**  
S
- LOW-POWER SCHOTTKY LS
- ADVANCED SCHOTTKY AS
- FAST F
- ADVANCED LOW-POWER SCHOTTKY **ALS**

## Si NPN (PLANÁRIS) TRANZISZTOR



A Si npn tranzistor a bipoláris IC-k igáslova. Síkba kiterített (planáris) elrendezés.

12

## IC: Si BIPOLÁRIS TECHNOLÓGIA

- Technológia optimalizálása: Si npn tranzisztorhoz.
- Alkatrészválaszték: bipoláris tranzisztor, dióda, ellenállás, kondenzátor.
- Tranzisztor (és minden más alkatrész) síkba "kiterítve" - planáris technológia

13

## IC: Si BIPOLÁRIS TECHNOLÓGIA

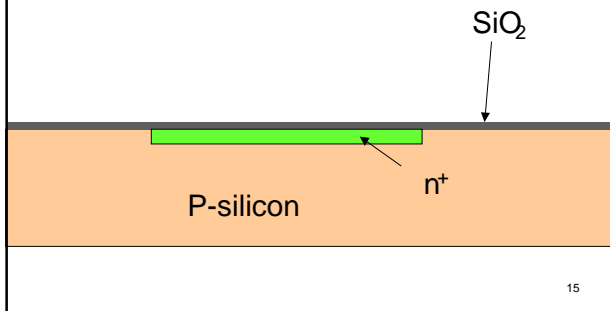
- Tipikus méretek:
  - emitter diffúzió  $\sim(2-2,5) \mu\text{m}$
  - bázis diffúzió  $\sim 4 \mu\text{m}$
  - n-epitaxiás réteg (kollektor)  $\sim 10 \mu\text{m}$
- emitter ablak (kisáramú, 1-2 mA tranzisztor)  
(10-15) x (10-15)  $\mu\text{m}$

Pl. a TTL áramkörben az emitter méret 16 x 16  $\mu\text{m}$ , egy bemenet árama max. 1,6 mA (az áramsűrűség 6,25 A/mm<sup>2</sup>).

14

## Buried Layer Implantation

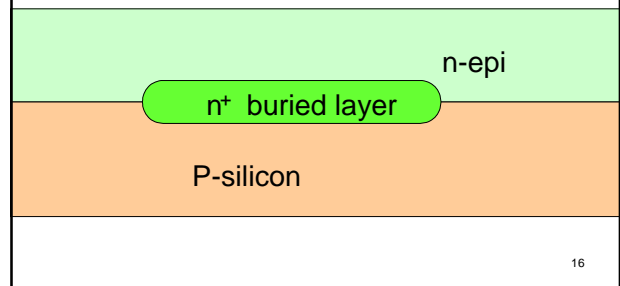
Betemetett réteg: ionimplantáció



15

## Epitaxy Growth

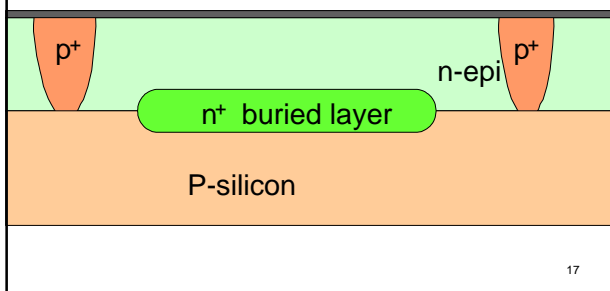
N-Si epitaxiás réteg növesztése



16

## Isolation Implantation

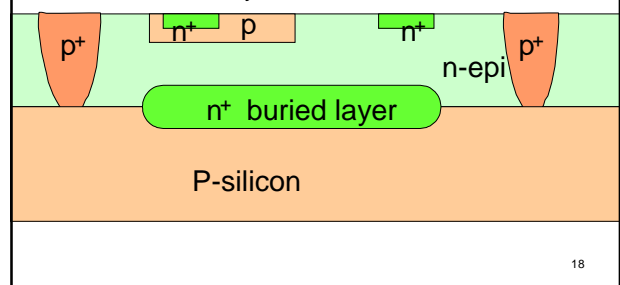
Elválasztó (p-típus) implantáció



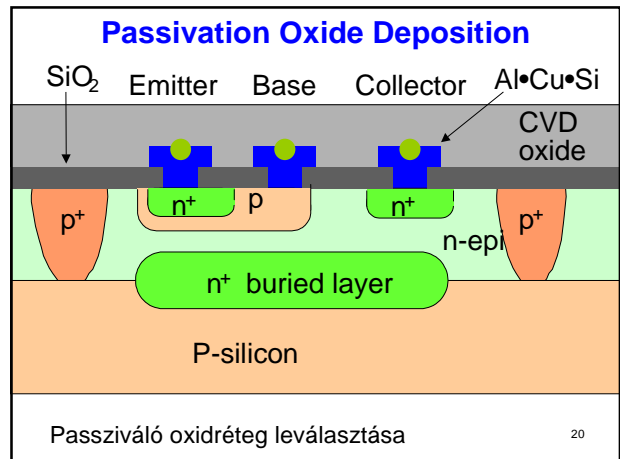
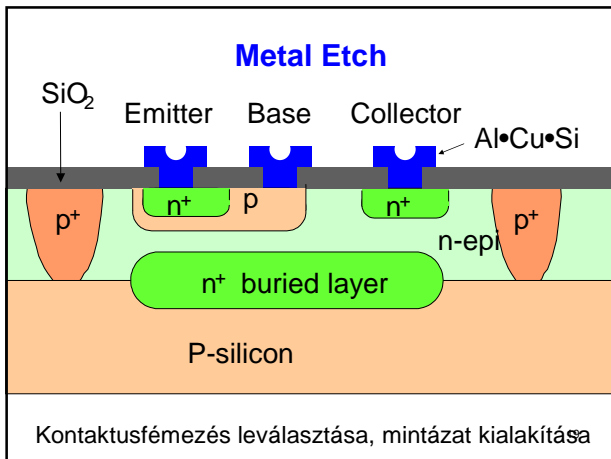
17

## Emitter/Collector and Base Implantation

Emitter és bázistartomány, illetve kollektor kontaktus-tartomány kialakítása



18



### IC: Si BIPOLÁRIS TRANZISZTOR

Si npn tranzisztor tipikus paraméterei

Region	$V_{BE}$ (V)	$V_{CE}$ (V)	Current Relation
Cutoff	< 0.6	Open circuit	$I_B = I_C = 0$
Active	0.6-0.7	> 0.8	$I_C = h_{FE} I_B$
Saturation	0.7-0.8	0.2	$I_B \geq I_C / h_{FE}$

### A BIPOLÁRIS TRANZISZTOR SZABADALOM

Sept. 25, 1951 W. SHOCKLEY 2,569,347  
SHOCKLEY SEMICONDUCTOR CORPORATION, MENLO PARK, CALIF. 94025  
 FILED JAN 25, 1948

A page from the original patent by W. Shockley:

**CIRCUIT ELEMENT UTILIZING SEMICONDUCTOR MATERIAL**

Filed: June 26, 1948  
 Published: Sep 25, 1951,  
 2569347

### A Si IC SZABADALOM (FAIRCHILD)

R. Noyce eredeti szabadalmának egy lapja:

**SEMICONDUCTOR DEVICE-AND-LEAD STRUCTURE**

Filed: July 27, 1960  
 Közzétéve: April 25, 1961,  
 2981877

(R. Noyce az INTEL egyik alapítója)

### INTEGRÁLT ÁRAMKÖR

Az elektronika mérföldkövei 3.

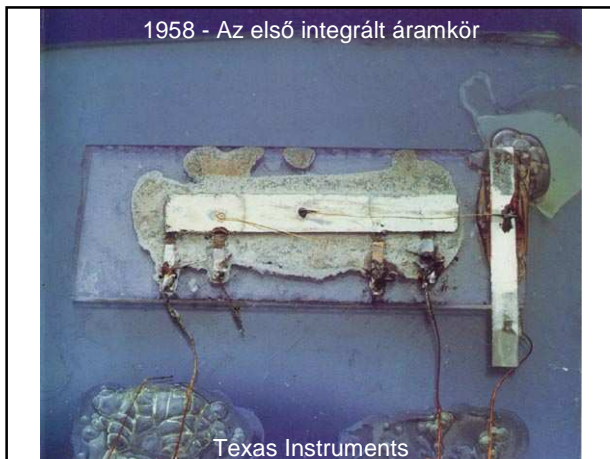
Integrált áramkör

Első germánium integrált áramkör

Jack St.Clair Kilby 1958 (TI)

Első szilícium integrált áramkör

Robert Noyce 1959 (Fairchild)

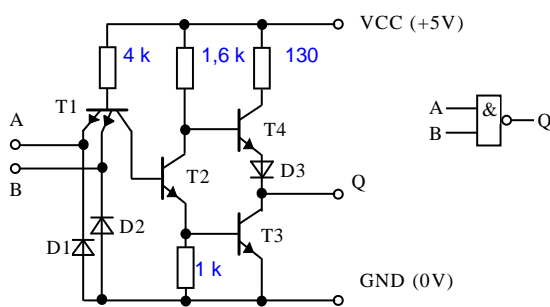


## A TTL ÁRAMKÖRCSALÁD

- Alacsony fokú integráció (SSI) és rövid késleltetési idők → TTL áramkörcsalád
- Bemenet: multiemitteres-tranzisztor (ÉS funkció);
- Kimenet: változó
- Legegyszerűbb TTL-áramköri elem a kétbemenetes NAND-kapu.
- Invertáló kimenetű (NAND, NOR, NOT) kapuáramkörök technikailag egyszerűbben valósíthatók meg mint a neminvertálóok.

26

## (KLASSZIKUS) TTL ALAPKAPU (NAND)



27

## TTL ALAPKAPU (NAND)

- Funkcionális felépítése:
  - bemeneti fokozat, ÉS kapu, T1,
  - második fokozat, fázishasító, T2,
  - ellenütemű kimenőfokozat, "totem-pole", T3, T4, diódás szinteltolóval.
- A logikai funkciót diódák is ellátnák, a tranzistorhatás felgyorsítja az átkapcsolást.

28

## TTL ALAPKAPU (NAND)

- A "totem-pole" kimenet felső tranzisztora mint aktív felhúzó terhelés kis dinamikus munka-ellenállást képvisel, ami felgyorsítja a kimenetet terhelő kapacitások áttöltését, és így az átkapcsolást.
- A 130 ohmos ellenállás szerep áramkorlátozás.

29

## TTL ALAPKAPU (NAND)

- A többemitteres tranzisztor a Texas Instruments szabadalma.
- A D1 és D2 diódák a bemenet védik az esetleges negatív túlfeszültség ellen, illetve a negatív amplitúdójú tranziensek és zavarjelek ellen.

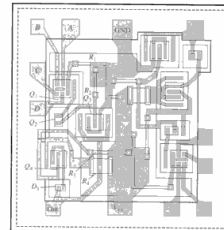
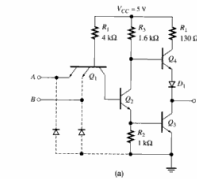
30

## TTL ALAPKAPU LAYOUT

- Egy chipen illetve egy IC tokban 4 db "klasszikus" kétbemenetű NAND kapu helyezkedik el.
- Egy NAND kapu helyigénye kb. 600  $\mu\text{m}$  x 600  $\mu\text{m}$ , a chip mérete durván milliméter nagyságú.
- Mind a négy kapu ellenállásai (összesen 12 db) egy közös "szigetén" helyezkednek el.
- Az egyetlen dióda emitter-bázis átmenettel van megvalósítva.

31

## TTL NAND LAYOUT



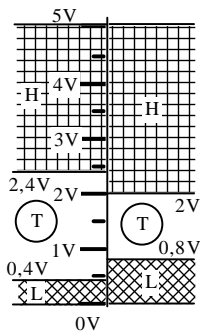
Standard 2-bemenetű TTL NAND kapu áramköre

Kettős 4-bemenetű TTL NAND kapu layout-ja

32

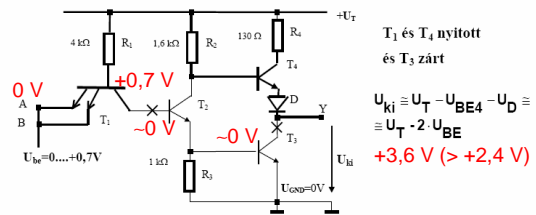
## TTL FESZÜLTÉGSZINTEK

Kimeneten: Bemeneten:



33

## TTL ALAPKAPU FESZÜLTÉGEI, BEMENET ALACSONY (LOW)



$T_1$  és  $T_4$  nyitott és  $T_3$  zárt

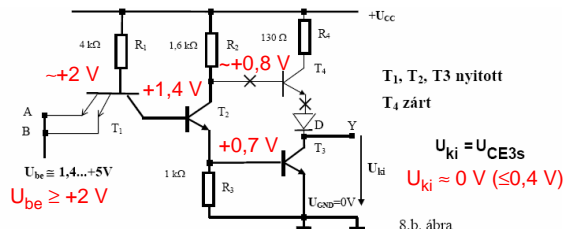
$$U_{ki} \approx U_T - U_{BE4} - U_D \approx U_T - 2 \cdot U_{BE} \approx +3,6 \text{ V } (> +2,4 \text{ V})$$

$$I_{be} < U_T / R_1 = 5 \text{ V} / 4 \text{ k} \approx 1,2 \text{ mA (specifikáció 1,6 mA)}$$

$$U_{ki} \text{ (üresjárásban)} = 5 - 2 \times 0,7 = +3,6 \text{ V}$$

34

## TTL ALAPKAPU FESZÜLTÉGEI, BEMENET MAGAS (HIGH)



$T_1, T_2, T_3$  nyitott  
 $T_4$  zárt

$$U_{ki} = U_{CE3s}$$

$$U_{ki} \approx 0 \text{ V } (\leq 0,4 \text{ V})$$

8.b. ábra

$I_{be} \leq 40 \mu\text{A}$ ,  $U_{ki} \leq 0,4 \text{ V}$ . A  $T_2$  és  $T_3$  tranzisztorok telítésben vannak, ez jelentős sebességkorlátozó tényező. Kimeneten 0  $\rightarrow$  1 átmenet: 10-15 nsec késleltetés.

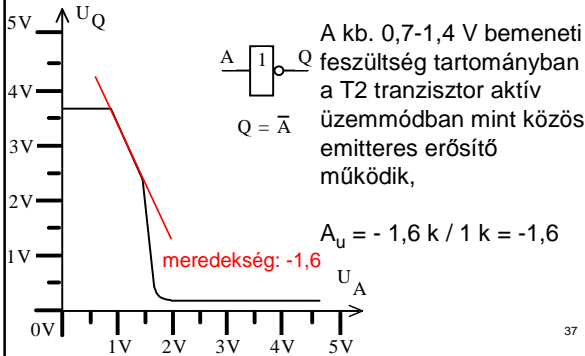
35

## TTL ALAPKAPU TRANSZFER KARAKTERISZTIKÁJA

Az átviteli karakterisztika alakját lényegében az aktív felhúzó üzem és a totem-pole kimenet határozzák meg.

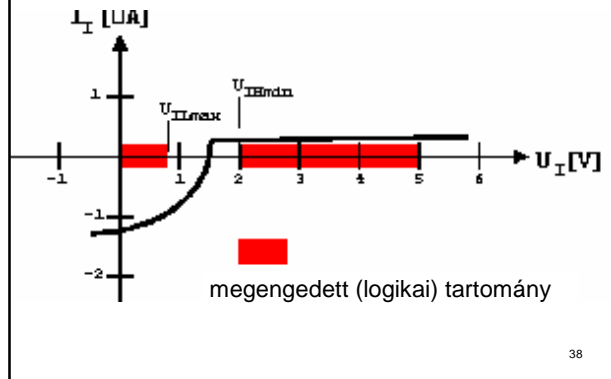
36

## TTL INVERTER TRANSZFER KARAKTERISZTIKA



37

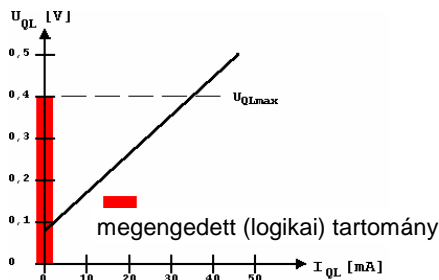
## TTL BEMENETI KARAKTERISZTIKA



38

## TTL KIMENETI KARAKTERISZTIKA

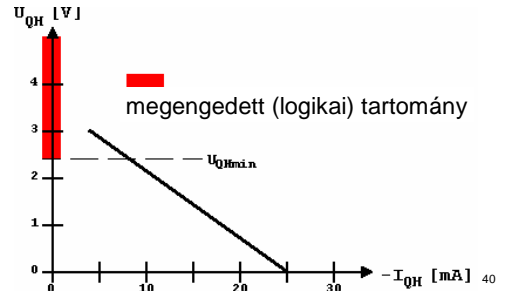
A kimeneti karakterisztika függ a logikai állapottól!  
Kimeneti karakterisztika (kimenet LOW)



39

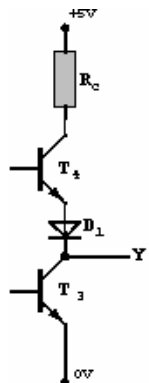
## TTL KIMENETI KARAKTERISZTIKA

A kimeneti karakterisztika függ a logikai állapottól!  
Kimeneti karakterisztika (kimenet HIGH)



40

## KIMENETI FOKOZAT: TOTEM-POLE



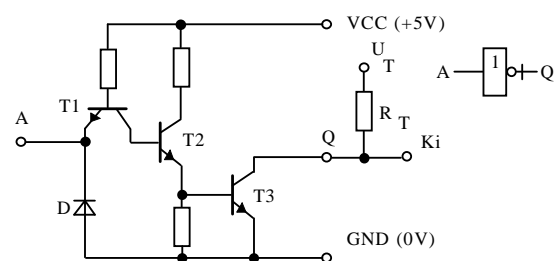
Standard TTL-kapcsolásokban: **ellenütemű kimeneti fokozat** „*totem pole*”-kimenet. Ez a leggyakoribb TTL-kimenet. Több kimenetet nem szabad párhuzamosan kapcsolni. Üzem mód: pull-down és pull-up.

Több TTL-kimenet összekapcsolása (pl. buszrendszerek):

- nyitott kollektoros kimenet (*open collector*)
- *Tri-State*-kimenet

41

## NYITOTT KOLLEKTOROS INVERTER

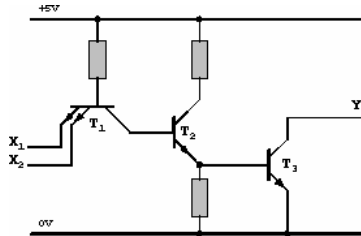


Alkalmazás: nagyobb kimeneti áramok, nagyobb tápfeszültségek, stb., továbbá ún. huzalozott kapuknál.

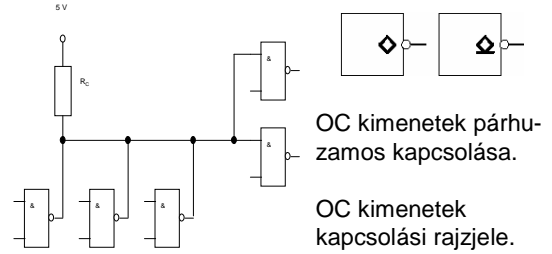
42

## OPEN-COLLECTOR KIMENET

A kimeneti tranzisztor mindig pull-down-üzem-módban dolgozik. Vezetési állapotában a kimenetet a testponttal összeköti, zárt állapotában pedig leválasztja (nagy ellenállás).



## OPEN COLLECTOR KIMENETEK KAPCSOLÁSA

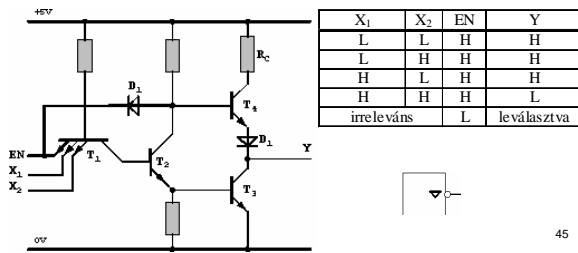


OC kimenetek párhuzamos kapcsolása.

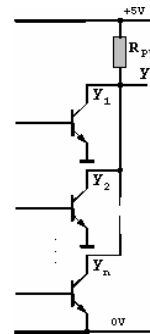
OC kimenetek kapcsolási rajzjele.

## HÁROMÁLLAPOTÚ (TRI-STATE) KIMENET

**Tri-State-kimenet:** A totem-pole-kimenet módosított változata. Az engedélyező bemenetre adott „0”-szint mindkét kimeneti tranzisztort egyszerre lezárja.



## OPEN-COLLECTOR KIMENETEK ÖSSZEKÖTÉSE

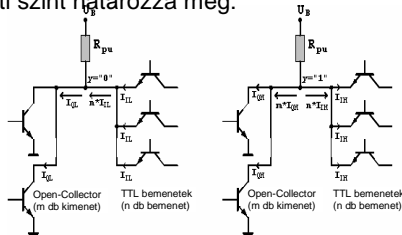


Huzalozott VAGY, huzalozott ÉS funkció

wired-OR  
wired-AND

## OC KIMENET: FELHÚZÓ ELLENÁLLÁS MÉRETEZÉSE

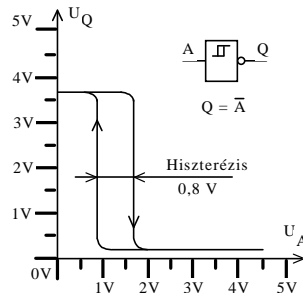
Minimális értékét az „L”, maximális értékét a „H” kimeneti szint határozza meg:



$$R_{pu \min} = \frac{U_{B \max} - U_{OL \max}}{I_{OL} - n \cdot I_{IL}}$$

$$R_{pu \max} = \frac{U_{B \min} - U_{OH \min}}{m \cdot I_{OH} + n \cdot I_{IH}}$$

## SCHMITT-TRIGGERES BEMENETŰ INVERTER



Lassan változó, vagy zajjal terhelt jelek is feldolgozhatók. Ha a zavar amplitúdója kisebb mint a hiszterézis, nem okoz hibás működést



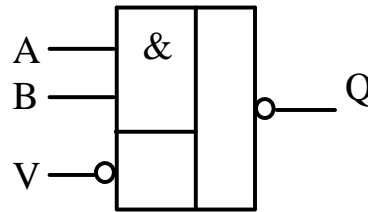
## SCHMITT-TRIGGERES BEMENETŰ INVERTER

A Schmitt-trigger bemenetű inverter funkciója nem logikai, hanem áramköri.

A Schmitt-trigger áramkör megformálja a bemenetére érkező jelet, a jelváltozások átmeneteit meredekebbé teszi (felgyorsítás).

49

## HÁROM ÁLLAPOTÚ KIMENET



A kapu működését egy V tiltja vagy engedélyezi. Ha V tilt (HIGH), a kiment egy ún. harmadik, nagyimpedanciás állapotba kerül, nem befolyásolja a következő kapu állapotát.

50

## HÁROM ÁLLAPOTÚ KIMENET

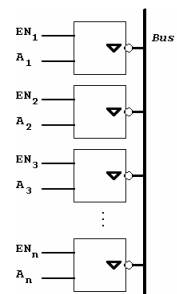
- Normál "totem-pole" kimenet: nem köthetők össze, tönkremegy!
- Több kimenet egy vezetékre kapcsolása: háromállapotú (tri-state) kimenetű kapuval.
- Felhasználás: busz vezeték meghajtása. A buszvezetékre csatlakoztatott tri-state kimenetű áramkörök közül mindig csak egyet szabad engedélyezni, a többi kimenete "lebeg", így nem befolyásolják a buszvezeték állapotát, és nem is károsítják egymást.

51

## 3-ÁLLAPOTU KIMENET: ALKALMAZÁS

Tri-State kimenetek gyakorlati alkalmazása:

- Az **Open-Collector**-os megoldás-hoz képest előnye az, hogy nem kell a kapcsolás változtatásakor a felhúzó-ellenállást újraméretezni.
- Hátránya, hogy az összekötött kimenetek közül egyszerre csak az egyik lehet aktív, ez **vezérlést** igényel (az EN-bemenet). inaktív állapot = nagy-ohmos lezárás (*high impedance*).

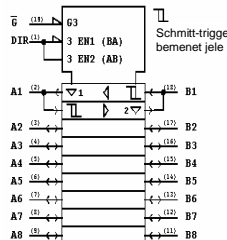


52

## TRI-STATE KIMENET

Példa: 74LS245

74LS245: Octal Bus Transceivers with 3-State Output



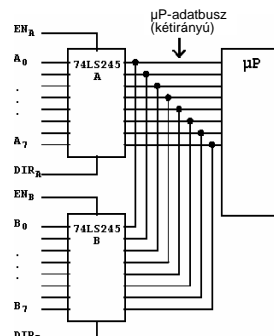
DIR= „0” adatút B → A  
DIR= „1” adatút A → B

G = ENABLE (Tri-State-funkció)  
G=„1” ≡ nagyohmos leválasztás

Schmitt-triggeres adatbemenet: zavarjelelnyomás (Hiszterézis: TTL + 0,4 V)

53

## TRI-STATE KIMENET

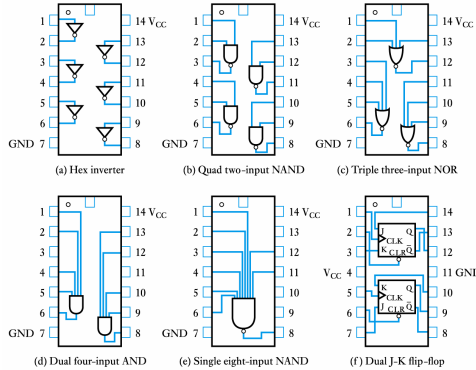


74LS245 egyik jellemző alkalmazása:

8-bites mikroprocesszor-busz és két perifériaegység - A és B - összekapcsolása

54

## TIPIKUS LÁBKIOSZTÁSOK



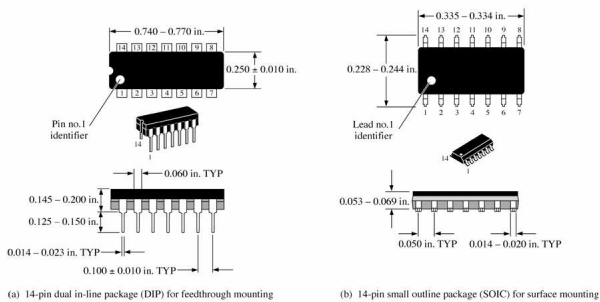
55

## TTL GYAKORLAT

Egy kapu nem használt bemenetei egy soros ellenálláson keresztül a tápfeszültségre köténdők.

Egy tokban lévő nem használt kapuk bemeneteit 0 V-ra vagy a tápfeszültségre célszerű kötni oly módon, hogy a kimenet a magas szinten legyen.

## IC TOKOZÁS



57

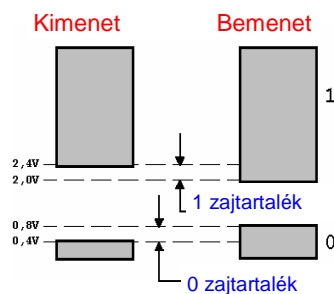
## ZAJTARTALÉK

- A egy fokozat legrosszabb esetbeli (worst case) kimenőfeszültsége és a következő fokozat legrosszabb esetbeli bemenő feszültsége közötti különbség (noise margin).

- Minél nagyobb a zajtartalék, annál nagyobb az a zavarófeszültség, melyet a kimenethez hozzáadva még nem okoz hibás működést.

58

## STATIKUS ZAJTARTALÉK



59

## FAN-OUT

Mérőszám, egy kapukimenet azon képességére vonatkozik, hogy milyen mértékben tudja a következő kapuk bemenetét meghajtani. Rendszerint egy áramkörsaládon belül a megengedett (szabványos) egységterhelések számával mérik.

Általában egy inverter-bemenet az egységterhelés.

60

## TELJESÍTMÉNYFELVÉTEL

Statikus:

ohmikus veszteségek (passzív komponensek)

Dinamikus:

a kondenzátoroknak az ellenállásokon keresztül való feltöltésekor illetve kisütésekor keletkező ohmikus veszteség

61

## TELJESÍTMÉNY-KÉSLELTETÉS SZORZAT

Áramkörtípus akkor "jó" ha kicsi a késleltetése és a teljesítményfelvétele.

**Jósági szám** (figure-of-merit): a két paraméter szorzata (power-delay product).

54/74 típus:  $t_{pd} = 10$  nsec, egy kapura  $P = 10$  mW

$$P t_{pd} = 100 \text{ pJ}$$

Értelmezhető (kb.) mint 1 bit "kapcsolásához" szükséges energia.

62

VÉGE

63