
ELEKTRONIKAI TECHNIKUS KÉPZÉS

2 0 1 3

DIGITÁLIS ELEKTRONIKA III.

DIGITÁLIS ÁRAMKÖRÖK

ÖSSZEÁLLÍTOTTA
NAGY LÁSZLÓ
MÉRNÖKTANÁR

Tartalomjegyzék

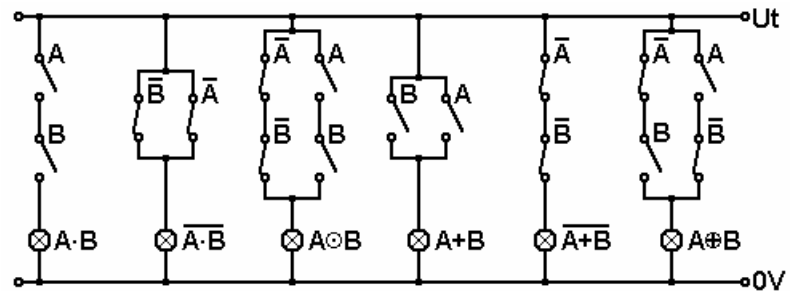
Logikai rendszerek.....	3
RTL rendszer	5
DTL rendszer	5
TTL rendszer	6
MOSFET rendszer	8
Analóg - digitális átalakítók	10
Digitális - analóg átalakítók.....	13

Logikai rendszerek

A logikai függvények áramköri megvalósításához, a logikai igaz és hamis értékekhez valamilyen villamos mennyiséget kell rendelni. Ez a villamos mennyiség lehet áram vagy feszültség, így áram-logikás vagy feszültség-logikás hálózatok jönnek létre.

Az áram-logikás hálózatok esetén a logikai változók értékének hordozója az áram. Egy lehetséges hozzárendelés a nem folyik áram eseményhez $\rightarrow$ "0", folyik áram eseményhez $\rightarrow$ "1". Az áramköri alkatrészek érintkezők illetve az azokat működtető nyomógombok, kapcsolók jelfogók. A logikai függvényt az érintkezők soros, párhuzamos vagy vegyes kapcsolású hálózatai valósítják meg. Az érintkezőket az úgynevezett raktározási vagy vezérlésmentes állapotban ábrázoljuk. Ez az állapot egyben az érintkezőhöz rendelt változó "0" értéket jelenti. Az érintkezők lehetnek záró és bontó típusúak. Vezérlés hatására a záró érintkező rövidzárként, a bontó érintkező szakadásként viselkedik. Ebből következik, hogy a záró érintkezőhöz a független változót ponáltan, a bontó érintkezőhöz negáltan rendeljük hozzá.

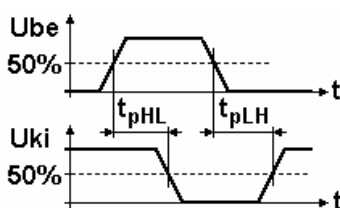
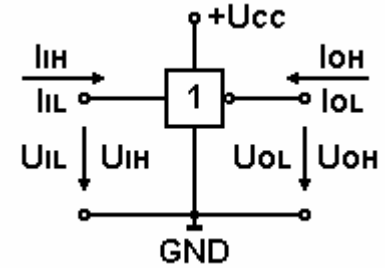
A rajzon érintkezős hálózattal realizált alapfüggvények vannak feltüntetve. A lámpa világítása a függő változó igaz értékét jelzi. Az érintkezőket működtető gerjesztő tekercsek nincsenek feltüntetve, az érintkezők így egyszerű nyomógomboknak is tekinthetők.



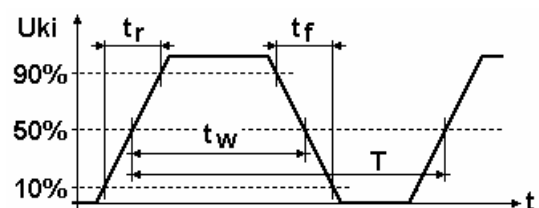
Egy záró és egy bontó érintkező egyik végének közösítésével váltóérintkezőt kapunk, melyet a szakirodalom Morse érintkezőnek nevez. Érintkezőkkel nemcsak kombiációs, hanem szekvenciális hálózatok is létrehozhatók. Az elemi tároló úgynevezett öntartással hozható létre, azaz a gerjesztő tekercs áramát egy saját záró érintkező biztosítja. Az áram-logikás rendszer alkalmazása régebben, a hagyományos villamos vezérléstechnikában volt elterjedt.

A feszültség-logikás hálózatok esetén a logikai változók hordozója a feszültség. Egy lehetséges hozzárendelés például a hamis értéket a nulla feszültség, az igaz értéket a feszültség valamekkora U értéke képviseli. Ebből következik, hogy a feszültség csak nulla vagy U értéket vehet fel. Az áramköri alkatrészek diódákból, tranzisztorokból, ellenállásokból összeépített elektronikus áramköri egységek az ún. kapuáramkörök. A logikai értékekhez rendelt feszültségszintek alapján, ha a logikai 1 értékéhez pozitívabb feszültség tartozik akkor pozitív logikásnak, ha a logikai 1 értékéhez negatívabb feszültség tartozik akkor negatív logikásnak nevezzük a rendszert. Az NPN tranzisztorok elterjedése miatt a pozitív logika a jellemző. A logikai függvények fizikai megvalósításához különböző gyártó cégek alapáramkör választékot fejlesztettek ki. Az alapáramkörök jellemző adatait katalógusok, adatlapok tartalmazzák.

- ♦ Működés: az áramköri egység által megvalósított funkciót, logikai függvényt, igazságtáblázat vagy idődiagram, a bemenő és kimenő jelek kapcsolatának időbeli lefolyása adja meg. A szakirodalom, az angol elvezéseket átvéve, a 0 szintet L(ow), az 1 szintet H(igh) karakterekkel jelöli.
- ♦ Statikus vagy egyenáramú jellemzők, DC karakterisztikák, az áramkörök üzemi és hár feszültség, áram, teljesítmény adatai:
 - feszültség adatok: a bemeneti alacsony (U_{IL}) és magas (U_{IH}) illetve a kimeneti alacsony (U_{OL}) és magas (U_{OH}) feszültség szintek határértékei, tápfeszültség (U_{CC}) névleges értékei és tolerancia határai.
 - áram adatok: a bemeneti alacsony (I_{IL}) és magas (I_{IH}) ill. a kimeneti alacsony (I_{OL}) és magas (I_{OH}) logikai szintekhez tartozó áramok határértékei, valamint az áramkör által felvett tápáramok értékei. A logikai áramkörök feszültségeire és áramaira a négy pólusoknál is alkalmazott szabványos mérőirányok vonatkoznak.
 - terhelhetőség: a digitális áramkör be- és kimenetének áramviszonyai. A bemeneti terhelhetőség ($F_{an\ In}$) azt mutatja meg, hogy az áramkör bemenetén egy specifikusan megadott áramérték hány-szorosa folyhat, hogy a logikai feszültség szintek a megadott értéken belül maradjanak. A kimeneti terhelhetőség ($F_{an\ Out}$) azt mutatja meg, hogy az áramkör kimenetén egy specifikusan megadott - de a bemeneti értékekkel megegyező - áramérték hány-szorosa folyhat, hogy a logikai feszültség szintek a megadott értéken belül maradjanak. Egy 10-es $F_{an\ Out}$ azt jelenti, hogy egy kimenet 10 bemenetet képes meghajtani.
 - teljesítmény adatok: az integrált áramkörök fontos jellemzője a disszipált teljesítmény, amely az áramkör fogyasztására, illetve az általa leadható hőmennyiségre utal.
 - zavarérzékenység: a logikai áramkörök működésük közben környezetükből zavaró jelek, zajok hatnak, amelyek hibás működéshez vezethetnek. A cél, hogy az áramkör minél zajérzékeltlenebb legyen, de ez általában növeli a disszipációt.
- ♦ Dinamikus vagy váltakozó áramú jellemzők, AC karakterisztikák, az áramkörök idő és frekvencia adatai
 - jelterjedési - angolul t_d = propagation delay time - idő: a bemeneti szint megváltozását a kimeneti szint megváltozása késéssel követi. Mivel ez a késleltetés általában irányfüggő, ezért vagy a kimenet $H \rightarrow L$ szintváltás t_{pHL} késleltetési idejét és az $L \rightarrow H$ szintváltás t_{pLH} késleltetési idejét, vagy az ezekből számított átlag késleltetési időt (t_d) közli a katalógus.



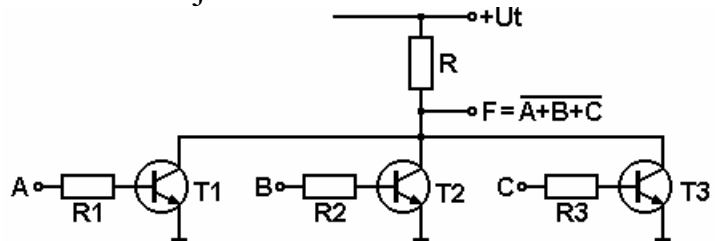
$$t_d = \frac{t_{pLH} + t_{pHL}}{2}$$



- órajel frekvencia: a szekvenciális áramkörök órajelének maximális frekvenciája vagy ennek periódus ideje. Az órajelre vonatkozó egyéb előírások - az impulzus jellemzőkhöz hasonlóan - a felfutási idő $t_r = \text{rise time}$, a lefutási idő $t_f = \text{fall time}$, az impulzus szélesség $t_w = \text{pulse width}$ és a kitöltési tényező $k = t_w/T \cdot 100 [\%]$.
- ♦ Egyéb adatok:
 - hőmérsékleti tényezők: az integrált áramkör tárolási és működési hőmérséklet tartománya valamint a hűtésre vonatkozó ajánlások.
 - tokozás: a tok megvédi az áramköröket a mechanikai-, vegyi-, hőmérsékleti-, esetleg sugárzási hatásoktól. Tokozási típusok: Flat package, lapos tok, speciális célokra, Dual In Pin vagy Dual In Line, a kivezetések két sorban helyezkednek el, számuk 50 alatt van, QUIP a tok négy oldalán vannak kivezetések, Pinbell négy oldalon összesen 104 kivezetés, Pin Grid Array négy oldalon összesen 196 kivezetés.
 - láb kiosztás: az egyes kivezetések funkcionális megnevezése (pl. Clock, Reset, Output, Data, stb.).
 - speciális előírások: szerelés, szállítás, csomagolás, mechanikai gyorsulás, mágneses -, nukleáris -, optikai hatások, sztatikus feltöltődés elleni védelem, stb.

RTL rendszer

Az elnevezés a Resistor - Transistor - Logic kifejezésből származik, és inkább csak a teljesség kedvéért kerül ismertetésre. A digitális áramkörök fejlesztésének kezdeti szakaszán alakult ki ez fajta kialakítás, diszkrét elemes és integrált kivitelben. Az alapötlet több párhuzamosan kapcsolt érintkezőre vezethető vissza. Az érintkezőket tranzisztoros inverterek valósítják meg, melyeknek közös a kollektor ellenállásuk. A bázis ellenállásra érkező logikai 0 vagy 1 szint a tranzisztorokat zárásba vagy telítésbe vezérli. Ha minden logikai bemeneten 0 szint van, akkor az összes tranzisztor zárt, a kimeneten megjelenik az 1 szint. Ha legalább egy bemenetre 1 szint kerül, akkor ez a tranzisztor 0 V-ra húzza a R ellenállás kimenetre csatlakozó végét, a kimeneten 0 szint jelenik meg. Az elrendezés tehát egy három bemenetű, pozitív logikás NEMVAGY kaput valósít meg. Az igen egyszerű felépítés ellenére az áramkör a nagy 30÷50 mW disszipációs teljesítménye miatt nem terjedt el. Tipikus katalógus adatok: tápfeszültség: 3,6 V, 1 szint: 1,6 V, 0 szint: 0,2 V, késleltetési idő: 25 ns.



DTL rendszer

Az elnevezése a Diode - Transistor - Logic kifejezésre utal. Az áramkör két részből, egy logikai műveletet végző diódás kapuáramkörből és egy tranzisztoros inverterből tevődik össze.

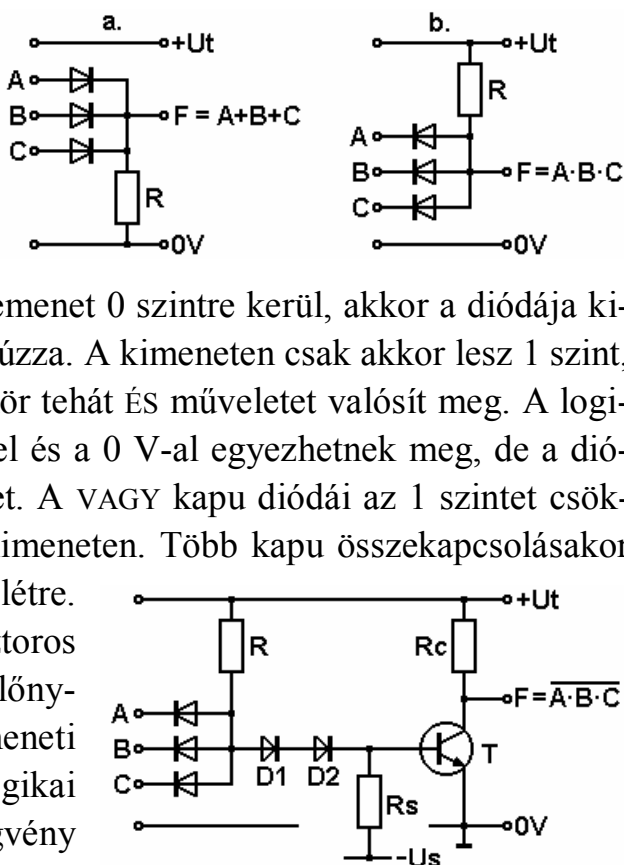
szé. Diódás kapuáramkörök láthatók a rajzon. Az "a" ábra egy három bemenetű pozitív logikás VAGY kaput mutat. Ha bármelyik bemenetre 1 szint kerül, akkor az a diódán keresztül az ellenállásra jut és megjelenik a kimeneten.

Ilyenkor a többi dióda zárt, a bemenetek nem hatnak egymásra. A kimeneten csak akkor lesz 0 szint, ha minden bemeneten 0 szint van. A "b." ábrán szintén pozitív logikájú, három bemenetű diódás kapu látható, de itt a diódák ka-

tóddal kifelé vannak elhelyezve. Ha bármelyik bemenet 0 szintre kerül, akkor a diódája kinyit, és az ellenállás kimenet felőli végét 0 V-ra húzza. A kimeneten csak akkor lesz 1 szint, ha minden bemenetre 1 szint kerül. A kapuáramkör tehát ÉS műveletet valósít meg. A logikai szintekhez tarozó feszültségértékek az $+U_t$ -vel és a 0 V-al egyezhetnek meg, de a diódák nyitófeszültsége eltolhatja ezeket az értékeket. A VAGY kapu diódái az 1 szintet csökkentik, az ÉS kapu diódái a 0 szintet növelik a kimeneten. Több kapu összekapcsolásakor jelentős, meg nem engedhető szinteltolódás jöhet létre.

Ez elkerülhető, ha a kapuáramköröket tranzisztoros inverterrel egészítjük ki. Ez a kiegészítés több előnnyel jár, egyrészt helyreállítja, regenerálja a kimeneti logikai szintet, másrészt a NEMÉS univerzális logikai műveletet hozza létre, amivel bármilyen más függvény is előállítható. A tranzisztor csak akkor tud kinyitni, ha

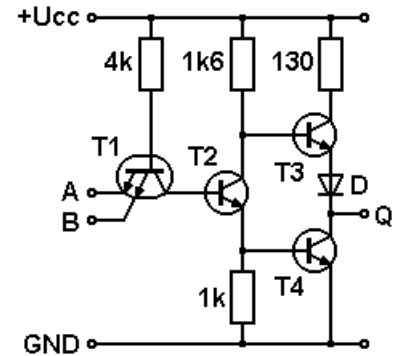
a diódás kapuáramkör kimenetén a feszültség eléri vagy túllépi a D1 és D2 diódák valamint a tranzisztor bázis - emitter rétegátmenet által meghatározott háromszoros nyitófeszültséget, tehát közelítőleg a 2 V-ot. A két dióda alkalmazásával, a tápfeszültség vagy a bemenet felől érkező zajokkal szemben az áramkör védettsége növekszik. A gyártó cégek a további fejlesztések során, a negatív segéd feszültséget elhagyták és az R_s ellenállást a 0 V-ra kötötték. A diódás VAGY kapu inverteres kiegészítésének nem sok jelentősége volt, mivel a tranzisztor védelmét is meg kellett oldani további alkatrészek beépítésével. Tipikus katalógus adatok: tápfeszültség: 6 V, 1 szint: 4 V, 0 szint: 0,4 V, késleltetési idő: 30 ns, teljesítményfelvétel 20 mW.



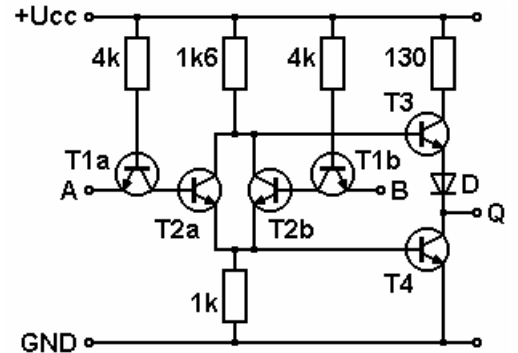
TTL rendszer

A Transistor - Transistor - Logic áramkör család a továbbfejlesztett és integrált áramköri formában kivitelezett DTL alapáramkörből alakult ki. Megjelenése óta számos fejlesztésen esett át, amelyeknek a célja az áramkör gyorsítása és a fogyasztás csökkentése volt. Még ma is széles körben használatos. A TTL NAND kapu három funkcionális egysége: a logikai műveletet megvalósító T1 úgynevezett multiemitteres tranzisztor, a T2 meghajtó fokozat és a megfelelő logikai szinteket előállító T3-T4 ellenütemű kimenet. A T1 két vagy több

emittere és bázisa pozitív feszültség logikás ÉS műveletet valósít meg. Gyártáskor a "p" típusú bázisrétegen több "n" típusú szigetet hoznak létre, végső soron anódjaival közösített diódák jönnek létre. Ha bármelyik emitter 0 V-ra kerül, a T1 kinyit és a kollektorán megjelenő 0 V körüli feszültség miatt a T2 lezár és ennek következtében a T4 is. Az 1,6k ellenállás nyitásba vezérli a T3-at, így a Q kimeneten U_{cc} -hez közeli feszültség, tehát logikai "1" jelenik meg. Ha mindegyik bemenetre logikai "1" tehát U_{cc} kapcsolódik, a T1 B-E diódái lezárnak, ugyanakkor a B-C diódáján és a 4k ellenálláson keresztül a T2 kinyit. Az 1,6k ellenállás a nyitott T2 miatt nyitásba vezérli a T4-et, így a Q kimeneten GND-hez közeli feszültség, tehát logikai "0" jelenik meg. A D dióda ilyenkor a T3 biztos zárását segíti elő. A T1 tranzisztor által megvalósított ÉS műveletet az ellenütemű kimenet invertálja, tehát az áramkör NAND működést hoz létre. Ha a T1 tranzisztor egy emittert tartalmaz, akkor a kapcsolás inverterként működik.



A TTL NOR kapu három funkcionális egysége: a bemeneti szintet érzékelő T1a - T1b tranzisztorok, a meghajtást és a logikai műveletet megvalósító T2a - T2b, valamint a megfelelő kimeneti logikai szinteket előállító T3 - T4 ellenütemű kimenet. A meghajtó fokozatban a párhuzamosan kapcsolt tranzisztorok pozitív áram logikás VAGY műveletet valósítanak meg. Ha bármelyik bemeneten logikai "1" szint van, akkor a bemenethez



kapcsolódó meghajtó tranzisztor kinyit és az 1,6k keresztül a T4 is, tehát a Q kimeneten GND-hez közeli feszültség, tehát logikai "0" jelenik meg. Ha mindegyik bemenetre logikai "0" szint (GND) kapcsolódik, akkor a meghajtó fokozat minden tranzisztora lezár és az 1,6k ellenállás nyitásba vezérli a T3-at, így a Q kimeneten U_{cc} -hez közeli feszültség, tehát logikai "1" jelenik meg.

A TTL AND ill. OR kapuk felépítése csak annyiban tér el a NAND ill. a NOR kapuktól, hogy egy további meghajtó fokozat végzi el a fázis fordítást. A TTL kapuáramkörök jellegzetessége, hogy a bemenetek akkor "éreznek" logikai "0"-t, ha egy előző kapu Q kimenete lenyeli a bemenetről kifolyó emitter áramot, és akkor "éreznek" logikai "1"-t, ha bemeneti emitter áram nem tud kialakulni a záróirányú bemeneti feszültség vagy szabadon hagyott bemenet miatt létrejövő szakadás miatt. A standard kapuáramkörök logikai szintjeihez tartozó garantált kimeneti és megengedett bemeneti feszültségek közötti 0,4V-os ún. zajtartalék a stabil működést biztosítja. A logikai szintekhez tartozó maximális áramértékekből következik, hogy egy kimenet 10 bemenetet képes meghajtani, tehát $F_{an} I_n = 1$ és $F_{an} O_u = 10$.

kimenet	bemenet
$0V < U_{OL} < 0,4V$	$0V < U_{IL} < 0,8V$
$2,4V < U_{OH} < 5V$	$2,0 < U_{IH} < 5V$
$I_{OL} = 16 \text{ mA}$	$I_{IN} = -1,6 \text{ mA}$
$I_{OH} = -0,4 \text{ mA}$	$I_{IH} = 40 \mu A$

A TTL áramkörök többféle kimenettel készülnek. Ellenütemű kimenet vagy angolul Totem Pole a standard vagy normál kimeneti elrendezés. A beépített 130 Ω -os védőellenállás miatt a kimenet “H” szintje nem terhelhető, tehát a kimenet nem feszültséggenerátoros.

Nyitott kollektoros vagy angolul Open Collector kimenet az áramnyelő tranzisztor kollektora van kivezetve. Tipikus felhasználási területe a nagyobb, 20-50 mA áramú fogyasztók, mint LED, 7 szegmens kijelző, lámpa, jel-fogó, stb. meghajtása. Több OC kimenetet párhuzamosan lehet kapcsolni és közös külső Ucc-re kötött ún. felhúzó ellenállással lehet a logikai szinteket előállítani. Ezt a kialakítást ne

Három állapotú kimenet, angolul Three State egy különleges áramköri megoldás, mellyel a kimenet a rákapcsolt bemenetekről leválasztható, az áramkör úgy viselkedik, mintha nem is létezne. Az ellenütemű kimenet T3 bázisa egy T3e tranzisztorral és egy De leválasztó diódával egészül ki. Ennek a tranzisztornak a bázisát egy standard T1e, T2e tranzisztorokból álló bemenetről lehet vezérelni. Ha erre a bemenetre 0 szint kapcsolódik, akkor az áramkör kimenete normál vagy standard működésű lesz. Ha a bemenetre 1 szint érkezik, akkor a T2e és a T3e is kinyit, az ellenütemű kimenet mindkét tranzisztora lezár, a Q kimenet úgynevezett lebegő vagy nagyimpedanciás, angol rövidítéssel HighZ állapotba kerül. A bemenet szokásos jelölései: En(able), Chip Enable, Output Enable, Chip Select. Több TS kimenet egy közös vezetékre csatlakoztatható de mindig csak egy kimenet határozhatja meg a logikai szintet.

A TTL áramkör család jelölése és továbbfejlesztett választéka:

SN 74 xxx standard áramkör,

↳ a logikai funkció,

H(igh speed), L(ow power), S(chottky), HCT belül CMOS, kívül TTL,

↳ $0 \div +70\text{ C}^\circ, 84: -25 \div +85\text{ C}^\circ, 54: -55 \div +125\text{ C}^\circ.$

Az L és LS jelzésű áramkörök ellenállásai 10-szer nagyobbak, a bemeneti és kimeneti áramok 10-szer kisebbek a normál típushoz viszonyítva. Az S jelzés a telítés gátló diódákra utal.

MOSFET rendszer

A Metal Oxid Semiconductor áramkör családban IGFET-ekből felépített áramkörök valósítják meg a logikai funkciót. A MOS aktív elemek alkalmazásának jelentősége, hogy lényegesen nagyobb elemsűrűséggel integrálhatók mint a bipoláris tranzisztorok és teljesítmény veszteség nélkül vezérelhetők. Az áramkör család PMOS, NMOS és CMOS típusokból áll.

csolt T2 és T4 valamelyike zárt, ugyanakkor a párhuzamosan kapcsolt T1 vagy T3 nyitott, a kimeneten a GND jelenik meg. Ha mindkét bemeneten "0" szint van, akkor a Q kimenet a nyitott soros T2-T4-en a $+U_t$ -re kerül.

A CMOS digitális áramkörök logikai szintjeihez tartozó feszültségek értékei között kb. 1V a zajtartalék. A bemeneti áramok pA tartományba esnek, gyakorlatilag nullának tekinthetők, a kimenetek kb. két TTL-L bemenetet képesek meghajtani. Az áramkörök CD 40xxx típusjelzéssel, az alapkaptól az összetett logikai függvényt megvalósító funkcionális egységekig készülnek.

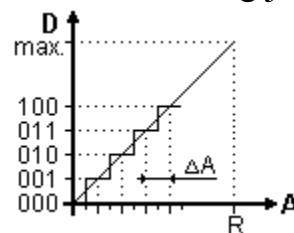
kimenet	bemenet
$0V < U_{OL} < 0,5V$	$0V < U_{IL} < 1,5V$
$4,5V < U_{OH} < 5V$	$3,5 < U_{IH} < 5V$
$I_{OL} \approx 0,4 \text{ mA}$	$I_{IN} = 0$
$I_{OH} \approx -0,4 \text{ mA}$	$I_{IH} = 0$

TTL és CMOS digitális kapuáramkörök néhány jellemzőjének összehasonlító táblázata:

	TTL	CMOS
tápfeszültség	kötött: + 5 V	kötetlen: + 3 ÷ + 15 V
zajtartalék	0,4 V	1 V
Fan Out	10 ÷ 20	50
frekvencia	10 ÷ 100 MHz	5 MHz
teljesítmény	1 ÷ 20 mW / kapu	0,5 ÷ 3 μ W / kapu / kHz

Analóg - digitális átalakítók

Analóg-digitális átalakításon valamely analóg mennyiség digitális formába való átalakítását értjük mintavételezés, kvantálás és kódolás műveletekkel. A kvantálás - tehát az elemi részekből, kvantumokból történő összeállítási tevékenység - hozza létre a mérendő analóg jel folytonos értéktartományából a diszkrét amplitúdó értékeket. Ehhez az A jel R értéktartományát véges számú és nem szükségszerűen egyenlő ΔA rész-tartományra kell felbontani. Az A/D átalakító azt a mérőszámot állítja elő, amely megmutatja, hogy a mérendő A mennyiség hányszor nagyobb egy ΔA kvantumnál. Az így nyert mérőszám valamilyen kódban jelenik meg. A transzfer karakteristikából következik, hogy az egyenletes kvantáló az A jel bármely értékét a hozzá legközelebb eső diszkrét értéknek felelteti meg. A kvantálás elvi hibát okoz az átalakításban, amelynek nagysága a kvantum méretének függvénye. A digitális multiméterekben alkalmazott A/D átalakítók a kvantumot egy U_r stabil referenciafeszültségből állítják elő, amelynek értéke általában a bemeneti feszültség maximális értékével, a végkitéréssel, angolul Full Scale, egyezik meg. A kvantum értéke egy n-bites bináris kódolású átalakítónál $\Delta U = FS/2^n$. Az A/D átalakítók lehetnek:

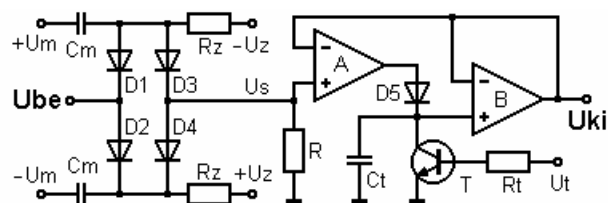


- a konverzió módja szerint: közvetlen vagy közvetett működésűek,
- a mért feszültségérték szerint: pillanatérték vagy átlagérték mérők,
- a mérés folytonossága szerint: szakaszos vagy folyamatos működésűek,

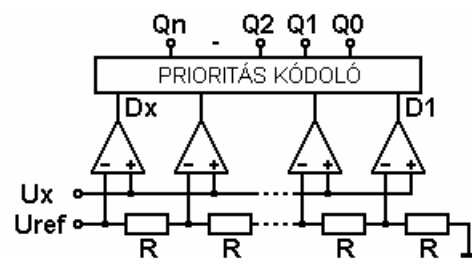
a felépítés alapján:

nyílthurkú vagy visszacsatolt típusúak.

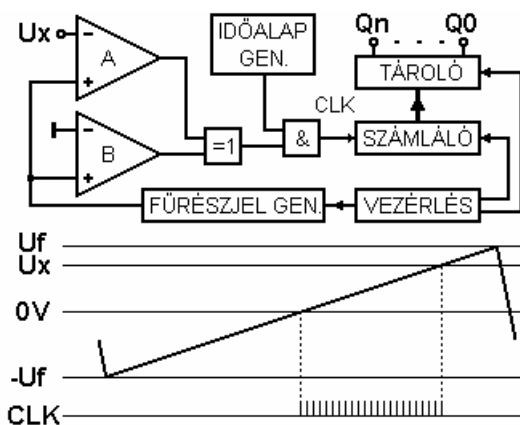
Az átalakító típusától függően a konverziós idő vagy állandó, vagy az analóg átalakítandó feszültség értékének függvénye. Az átalakítónak a konverzió végrehajtásához - felépítésétől függően - adott ideig érzékelni kell a mérendő jelet. Ha ezen idő alatt a mérendő feszültség a felbontásnál nagyobb mértékben változik, akkor hiba lép fel. A hiba csökkentésére mintavevő - tartó áramköröket alkalmaznak, melyekben általában egy analóg kapcsoló és egy csúcsérték mérő van. Az analóg kapcsoló négy hídkapcsolású, $\pm U_z$ -vel záróirányban előfeszített diódából áll. Mintavételkor két ellenfázisú U_m túimpulzus, a C_m -eken keresztül kinyitja a diódákat. A nyitófeszültségek szembekecsesülnek, ezért az $U_s = U_{be}$. A csúcsérték mérőben a C_t , a visszacsatolás miatt, az U_s -re töltődik. Ha az U_s csökken, akkor a D_5 lezár és a C_t tárolja az U_s csúcsértékét. A mintavétel előtt az U_t -re adott impulzus kinyitja a T tranzisztort, ami kisüti a C_t kondenzátort.



Közvetlen vagy Flash A/D átalakító működése az amplitúdó szelekció elvén alapul. Az U_x feszültséget komparátorok hasonlítják össze az U_{ref} -el táplált ellenálláslánc leosztott feszültségeivel. Amelyik komparátor nagyobb U_x -et érzékel, mint a hozzá tartozó lépcsőfeszültség az logikai 1 szintet, amelyik kisebbet érzékel az logikai 0 szintet küld a prioritás kódoló bemenetére. A prioritás kódoló a legnagyobb értékű decimális bemenet bináris kódját állítja elő. Előnye a gyors működés, hátránya, hogy n bites kimenethez 2^{n-1} db. komparátor és ellenállás szükséges. Az átalakítás pontosságát az ellenállások szórása, az U_{ref} stabilitása és a komparátorok komparálási bizonytalansága határozzák meg.

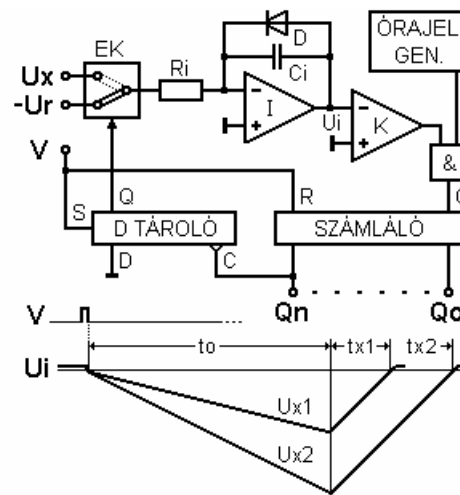


Fűrészgenerátoros vagy időkonverziós A/D átalakító közvetve hozza létre az ismeretlen U_x digitális mérőszámát. A fűrészjel generátor $\pm U_f$ csúcsértékű, nagy linearitású, lassú felfutású és gyors lefutású fűrészfeszültséget állít elő. Az A komparátor az U_x -et, a B komparátor a 0-át hasonlítja össze a fűrészfeszültséggel. Az XOR kapu kimenetén megjelenő impulzus hossza azzal az időtartammal egyezik meg, amely alatt a fűrészfeszültség a 0-tól az U_x -ig vagy a $-U_x$ -től a 0-ig változik. Az impulzus időtartamára az ÉS kapu a számlálóra engedi az időalap generátorból érkező órajelet. A vezérlő az átalakítási ciklus kezdetén törli a számlálót, a végén a tárolóba írja a számláló állapotát. Az átalakítás pontosságát a fűrészjel linearitása, a kompa-

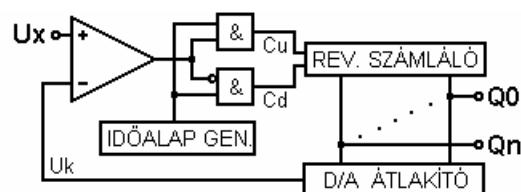


rátorok komparálási bizonytalansága és az órajel-generátor frekvenciájának stabilitása határozzák meg. Mérés gyakorisága kb. 10 átalakítás/sec.

Kettős meredekséggel integráló vagy Dual Slope átalakító két időtartam arányával képezi le az U_x digitális értékét. Alaphelyzetben a D tároló törölt állapotban van, az EK elektronikus kapcsoló a $-U_r$ feszültséget vezeti az I műveleti erősítő integráló áramkör bemenetére. A D dióda nyitása miatt az U_i feszültség kb. 0,6 V. A K komparátor kimenetén a logikai 0 tiltja a számláló működését. Az átalakítási ciklust a V bemenetre érkező tüimpulzus indítja el. A számláló törlődik, a D tároló Q kimenete 1-be billen és ezért az EK kapcsoló átvált. Az integrátor kimenő feszültsége a bemenetére kapcsolódó U_x miatt a 0,6 V-ról negatív irányba elmozdul és a dióda lezáródása után $-U_x / R_i C_i$ állandó sebességgel csökken. Az U_i nulla átmeneténél a komparátor átbillen és az órajel az ÉS kapun keresztül a számlálóba jut. Az U_x integrálása a számláló átfordulásáig azaz t_o ideig tart, mert a Q_n lefutó éle törli a D tárolót, ami az EK átváltásával most az $-U_r$ -t kapcsolja az integrátor bemenetére. Az $-U_r$ integrálása alatt az U_i egyenletes sebességgel növekszik és amikor t_x idő elteltével 0 V-ra ér a komparátor visszabillen és leállítja a számlálót. Mivel az U_x integrálása állandó ideig tart és az U_r integrálása állandó meredekséggel történik, így a számlálóban a leállításkor tárolt érték a $t_x / t_o = U_x / U_r$ -el arányos. Ha az $U_r = 1V$, akkor az U_x egy három dekádos decimális számlálóval 1mV-os (0,999V) felbontással leképezhető. Az átalakítás pontosságát kizárólag a referencia feszültség stabilitása határozza meg.



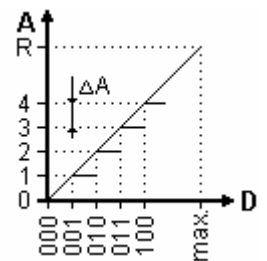
Előre-hátra számlálás vagy Digital Servo A/D átalakító kompenzációs elven működik. Az ismeretlen feszültséget egy komparátor hasonlítja össze egy U_k kompenzáló feszültséggel. Az U_k feszültséget egy D/A átalakító állítja elő egy reverzibilis számláló pillanatnyi állapotából. A komparátor kimenete ponáltan illetve negáltan egy-egy ÉS kapun keresztül vezérli a számlálási irányt, azaz az időalap generátor jelét a számláló felfelé - Clock up - vagy a lefelé - Clock down - órajel bemenetre juttatja. Ha az U_x nagyobb mint az U_k , akkor a számláló előre, ha kisebb akkor hátrafelé számlál. Egyensúlyi helyzetben a számláló egyet előre, egyet hátra lép. Az U_x lassú változásait a digitális kimenet azonnal követi, az eredmény folyamatosan felhasználható. Az átalakítás pontosságát a komparátor komparálási bizonytalansága és a D/A átalakító felbontása és linearitása határozzák meg.



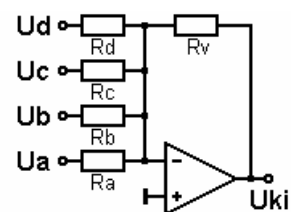
Fokozatos közelítésű vagy Successive Approximation A/D átalakító felépítése hasonlít az előre-hátra számlálás típushoz, de a kompenzáló feszültség nem azonos nagyságú, hanem ($R-2R$ létrahálózattal előállított) $U_r / 2$, $U_r / 4$, $U_r / 8$, stb. elemi lépcsők összegzéséből tevődik össze. Az átalakítási ciklus során egy órajel ütemében egy vezérlő, az összes U_r lépcsőt csökkenő sorrendben a komparátorra kapcsolja. Ha a komparátor “kisebb”-et jelez, akkor a vezérlő megtartja, ha “nagyobb”-at jelez, akkor visszaveszi a bekapcsolt U_r lépcsőt. A ki- és bekapcsolva hagyott U_r lépcsők helyértékén tárolt 0-1 bitek adják a digitálisan leképezett U_x -et. Az átalakítási idő rövid (néhány μs), mivel annyi órajel szükséges, ahány bites a digitális kimenet.

Digitális - analóg átalakítók

A D/A átalakítók valamely mennyiséget jelentő D digitális jelet egy A analóg jellel, általában feszültséggel képezik le. A digitális jel tulajdonságaiból eredően az analóg jel csak diszkrét értékeket vehet fel. Az átalakítás alapját a D maximális értékéhez tartozó R referencia mennyiség képezi, mely egyben az analóg jel végkitérési értékét, angolul Full Scale jelenti. Egy n bites bináris kódolású D/A átalakító esetén a legkisebb lépcső az analóg jelben $\Delta A = FS/2^n$. Az analóg jel kvantálása - elemi részekből történő összeállítása - annál pontosabb, minél kisebb egy elemi lépcső. A lépcső méretének csökkentése a D jel bitszámának növelésével ($8 \div 16$) lehetséges. A D/A átalakítók minőségi jellemzője a linearitás, azaz a transzfer karakterisztika az origóból induljon és az analóg jel bármelyik két egymás után következő diszkrét értéke között azonos legyen a ΔA . A D jel kódolása többnyire bináris vagy BCD, de előjelhelyes analóg jel előállítására léteznek 2-es komplementes vagy eltolt nullapontos kódot fogadó D/A átalakítók is.



Súlyozott ellenállásos D/A átalakító egy olyan műveleti erősítő invertáló összeadó áramkör, melyben a soros R_a , R_b , R_c , stb. ellenállások értéke 2 hatványa szerint csökkenő értékek és a bemenő U_a , U_b , U_c stb. feszültségek, mint digitális bemenetek, csak két, 0V és U_r diszkrét értéket vehetnek fel. Az egyes bemenetekre vonatkozó erősítés az R_v / R_s alapján, a soros ellenállások értékének súlyozása miatt szintén 2 hatványa szerint alakul. Az egyes erősítések tehát $A_{ua} = -1$, $A_{ub} = -2$, $A_{uc} = -4$, és így tovább. A kimenő feszültség az egyes bemeneteken lévő U_r feszültségek súlyozott összege lesz. Az átalakító hátránya, hogy nagyobb bitszám ($6 \div 10$) esetén a soros ellenállások pontos értékének betartása integrált kivitelben nehezen valósítható meg.



A létrahálózatos D/A átalakítóban a feszültséglépcsőket egy speciális kialakítású feszültségosztó lánc, az ún. létrahálózat hozza létre. A bemenő U_a , U_b , U_c stb. feszültségek, mint digitális bemenetek, szintén csak két, 0V és U_r diszkrét értéket vehetnek fel. A létrahálózat $R - 2R$ ellenállásokból épül fel és a tagok száma nincs korlátozva. Az egyes bemenetekre vonatkozó erősítések - a létrahálózat csomópontjaira a Thevenin tételt alkalmazva - $A_{ud} = -1$, $A_{uc} = -1/2$, $A_{ub} = -1/4$, stb. értékek szerint alakulnak. Az átalakító 8÷16 bite integrált kivitelben is készül.

