

Az eredeti TTL digitális IC-k viselkedése csökkentett tápfeszültség mellett

Dr. Madarász László okl. villamosmérnök, madarasz@3lan.hu

Az eredeti TTL digitális IC-k tápfeszültsége stabilizált $+5\text{ V} \pm 5\%$, ezt mindenki tudja, aki digitális IC-kkel foglalkozik. A későbbi TTL kompatibilis PMOS, NMOS majd CMOS áramköröknél is hasonló a tápfeszültségre vonatkozó előírás. De mi történik, ha egy SN74XXN áramkörre pl. 4 V -os tápfeszültséget kapcsolunk? Most induló cikksorozatunkban bemutatunk ezzel kapcsolatban néhány tanulságos kísérleti eredményt.

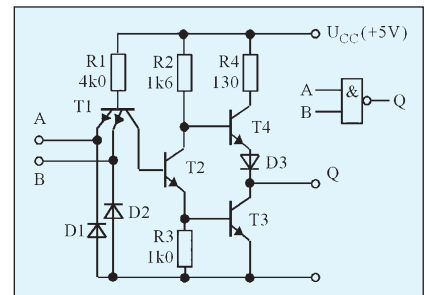
A TTL digitális IC-k megjelenése, tulajdonságai

Az 1965-ben megjelent SN74XXN digitális integrált áramköri sorozattal (1. ábra) megszületett a TTL IC-k fogalma, s egyúttal a $+5\text{ V} \pm 5\%$ értékű kötelező, stabilizált tápfeszültség igénye is (később, egyes változatoknál $\pm 10\%$ -ot is megengedett a katalógus). Mivel a tápfeszültség kötelezően $+5\text{ V}$, a katalógusokban a gyártók ettől eltérő esetekkel nem is foglalkoznak. Annyit jegyeznek meg a megengedhető legnagyobb értékek (Absolute maximum ratings) felsorolásánál, hogy az IC tönkremenetele nélkül legfeljebb $+7\text{ V}$ vezethető a tápfeszültség-pontra. A különféle működési adatokat csak a névleges, szűk tápfeszültség-tartományban ismertetik.

Közismert, hogy a sorozat TTL elnevezése hibás és félrevezető, mert nem ad útmutatást az áramkör legfontosabb sajátosságairól. Születésekor ez az elnevezés elfogadható volt, mert a korábban megjelent RTL (ellenállás-csatolású logika) és a DTL (diódás csatolású logika) digitális áramköri megoldások után az új sorozat áramköreiben a tran-

zisztorok közvetlenül kapcsolódnak egymással, illesztő alkatrész nélkül. Ezt valóban kifejezi a TTL (Transistor-Transistor Logic, tranzisztor-tranzisztor logika) elnevezés. Viszont a későbbi nagy vetélytárs, a CMOS (Complementer MOS-FET) logikai áramkörökben sincs a tranzisztorok között semmilyen illesztőtag, eszerint azok is tranzisztor-tranzisztor logikás áramkörök! A TTL megjelölés helyett (vagy mellett) fontos lenne (lett volna) még arra is utalni, hogy ezeket az IC-eket bipoláris npn tranzisztorokból alakították ki. A megszokás azonban nagy úr, ez a három betű (TTL) 1964 óta az npn bipoláris tranzisztorokból kialakított integrált logikai áramköröket jelenti. (A szerkesztő megjegyzése: akkoriban a korszerű kisfilmes fényképezőgépekkel kapcsolatban is megjelent a TTL rövidítés: Trough To Lens, azaz fénymérés az objektíven keresztül. Ezt is elektronikai eszközökkel valósították meg, de nem TTL logikai áramkörökkel...)

Mielőtt kísérletezni kezdünk a tápfeszültség csökkentésével, tekintsük át a TTL áramkörök szabályos, katalógus szerinti működését! Az SN74XXN sorozat egyik erőssége a viszonylag nagy terhelőáramot elviselő kvázikomplementer végfokozat (Totem-Pole, TP Output). A 2. ábrán látható az SN7400N IC-ben levő négy darab kétbemenetű NAND kapu egyikének kapcsolási rajza, a kimeneten az említett végfokozattal (T3, T4 tranzisztorok). A kvázikomplemen-

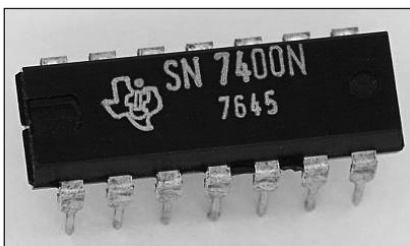


2. ábra

ter jellegből adódik a kimenet aszimmetrikus viselkedése, amire hamarosan kitérünk majd. A kapu bemenetén levő különleges, két emitteres tranzisztor helyett három-, vagy több emitteres is kiképezhető, így alakították ki a három-, vagy több bemenetű NAND kapu áramköreit. Ha pedig a T1-nek csak egyetlen emittere van, az inverter kapcsolása áll előttünk (hat ilyen invertert tartalmaz az SN7404N IC).

Az áramkörök katalógus szerint a már említett $+5\text{ V} \pm 5\%$ tápfeszültségről működnek. Mivel digitális áramkörök, csak két állapotba kerülhetnek, ez a két logikai tartomány (amit többnyire **0** és **1** jelöl, de gyakori a feszültségtartományok értékére utaló **L** (Low) és **H** (High) jelölés is. Az egyik logikai értéktartomány (az **L** szint) a 0 V (GND) közeli feszültségértékeket jelenti, a másik (a **H** szint) az 5 V tápfeszültséghez közeli értékeket (a későbbiekben pontosítjuk a logikai szintek értéktartományait).

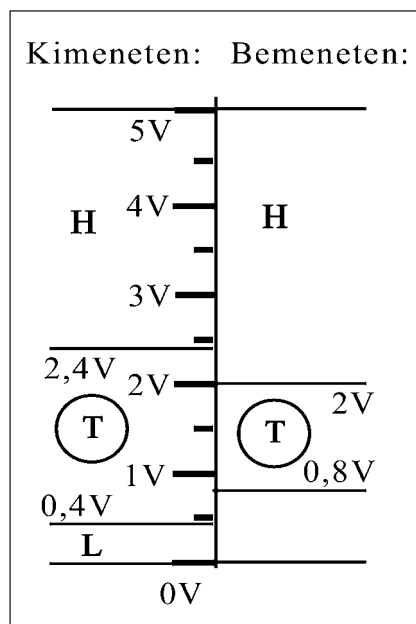
Az áramkör működését jó közelítéssel meg lehet érteni, ha kis- sé idealizálva a lezárt tranzisztort szakadásnak tekintjük, a telítés-



1. ábra

ben levő tranzisztoroknál pedig egységesen 0,1 V körüli maradékfeszültséget tételezünk fel. Az npn tranzisztorok bázis-emitter diódájának kb. 0,65...0,7 V-os nyitófeszültsége alatti bázis-emitter feszültségek esetén a tranzisztort lezártnak tekinthetjük, a nyitófeszültség feletti bemenőjel hatására pedig feltételezhető a telített állapot. Azért tehetjük ezt meg, mert a digitális kapcsolásokban a tranzisztorokat valóban a két szélsőséges állapotukban használjuk (vezérelt kapcsolókként), így a bázis-emitter feszültség a küszöbfeszültségtől távoli érték szokott lenni. Ha ezekkel a közelítésekkel élünk, a kapuáramkör működése könnyen követhető.

Ha a T1 mindkét emittere **H** szinten áll (bekötetlen, vagy közel +5 V feszültségű), a T1 tranzisztor inverz működésűvé válik. Az ekkor nyitott irányban előfeszített bázis-kollektor diódán át a T2 bázisa (az R1-en át) a tápfeszültségre kapcsolódik (pontosabban 5 V – 0,65 V feszültségre, mivel egy nyitott p-n átmenet is szerepel az áramkörben). Ennek hatására a T2 telítésbe kerül. Az emitterén (mintegy emitterkövető) közelítőleg a tápfeszültség jelenne meg, de ezt a T3 kinyitó bázis-emitter diódája kb. 0,7 V-nál levágja. A T2 kollektorán ennél a maradékfeszültséggel magasabb



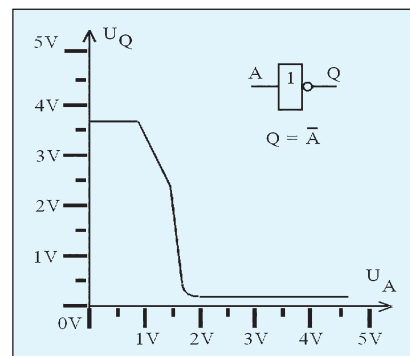
3. ábra

érték (kb. 0,9 V) alakul ki. A T3 telítésbe kerül, a kimeneten a maradékfeszültsége jelenik meg.

A T4 bázisára a T2 kollektorfeszültsége, azaz 0,9 V-ra kerül, az emitterére a T3 kollektorfeszültségénél a D3 dióda nyitóirányú feszültségesésével (kb. 0,7 V) magasabb érték, így összesen kb. 0,9 V jut. Mivel a két érték közel azonos, a T4 nem képes kinyitni, lezárt állapota miatt nem befolyásolja a kimenet viselkedését. Mindez azt eredményezi, hogy a kimeneten **L** szint alakul ki.

Ha valamelyik bemeneten **L** szintű jel lép fel, azaz a T1 valamelyik emitterét *GND*-re kötjük, akkor a T1 aktívá válik, a tápfeszültségre kötött bázisa miatt telítésbe kerül. A kollektorán a maradékfeszültsége jelenik meg, ami kevés a T2 nyitáshoz, az tehát lezár, szakadásként viselkedik. A T4 így a *GND*-re kötött bázisa miatt szintén lezár, míg a T4 a tápfeszültségre kötött bázisa révén telítésbe kerül. A kimenet a tápfeszültségre kapcsolódik, az R4 ellenálláson, a telítésben levő T4-en és a D3 diódán keresztül. A tranzisztoron és a diódán együtt kb. 0,9 V esik, az R ellenálláson eső feszültséget a terhelőáram határozza meg. A kimenet mindenesetre **H** szintre kerül.

A TTL kapuk működtetéséhez nem szükséges **L** szint esetén 0 V, **H** szint esetén +5 V; mindkét jeltartomány szélesebb lehet. A 3. ábrán látható, hogy a bemenetek megengedett tartományai **L** szint esetén a 0...0,8 V, **H** szinthez pedig 2...5 V. A biztonságos működéshez a kimeneteken szűkebb tartományokat engednek meg, a kimeneti **L** tartomány ezért csak 0...0,4 V, míg a **H** tartomány így alakul: 2,4...5 V. Így mindkét jelszintnél 0,4 V biztonsági tartalék (zajmargó) áll rendelkezésre, ami akár 0,4 V-os zavarójel esetén is garantálja az egyértelmű működést. Az **L** és a **H** tartomány korábban említett aszimmetrikus alakulása az ábrán jól megfigyelhető. Ha a kimeneten **L** szint áll, ezt (a tápfeszültség felé) akár 16 mA árammal is lehet terhelni, ekkor még a kimeneti feszültség nem emel-



4. ábra

kedik 0,4 V fölé. A kimeneti **H** szint (a *GND* felé) csak 400 μ A-rel terhelhető, nagyobb terhelés esetén a kimeneten 2,4 V-nál kisebbé válhat a feszültség. Mivel a TTL áramkör bemenete **L** szint esetén 1,6 mA terhelést jelent (a tápfeszültség felé), **H** szintnél 40 μ A áramigényű (a *GND* felé), egy kimeneti fokozatra párhuzamosan 10 bemenetet lehet rákötni (a digitális áramköröknél szokásos szóhasználat szerint a kimeneti terhelés, a Fan Out, röviden FO megengedhető legnagyobb értéke 10).

Az **L** és a **H** szint közötti, T-vel jelölt tartományokat a normál működés során el kell kerülni (tiltott tartományok), mert az ide eső bemeneti jelek nem eredményeznek egyértelmű áramköri viselkedést, sőt, akár oszcillációhoz is vezethetnek.

Ha a bemeneti feszültség 0 V-ról nő, az áramkör először csak lassan reagál a változásra, a kimeneti érték kb. 0,7 V felett kezd észrevehetően csökkenni, majd 1,3...1,5 V között meredeken esik, 2 V felett pedig felveszi az **L** szintnek megfelelő értéket. Az átviteli karakterisztikát a 4. ábrán láthatjuk, ez érvényes inverter esetén is, de a kétbemenetű NAND kapu egyik bemenetének 0...+5 V közötti változása is ugyanilyen hatású.

Az SN74XXN sorozatnak elkészült a kis fogyasztású változata is, ezekben az IC-kben az eredeti kapcsolást alkalmazták, csak nagyobb ellenállásértékeket használtak. Ez egyúttal azt is eredményezte, hogy az áramkörök lelassultak. Volt nagysebességű sorozat is (SN74HXXN), ezekben az