

A TL 74... sorozatú áramkörök átváltási tranziensei

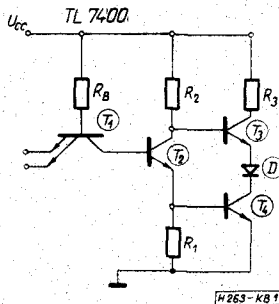
ETO 621.382.015.3:681.325.65

A TL 74... sorozat ekvivalens az SN 74...N sorozatú Texas áramkörökkel. Ez a jelenleg legszélesebb körben alkalmazott digitális áramkör család.

Az elektronikus berendezések tervezőinek nagy darabszámú digitális kapuáramkör egyidejű, vagy egymás utáni működtetésekor a fellépő tranziensek kellemetlen hatását kell figyelembe venni. Ehhez kíván segítséget nyújtani ez a cikk, amely konkrétan a TL 7400 (SN 7400N) típusú áramkör NAND kapuját vizsgálja. Az itt kapott eredményeink kellő megfontolással átvihetők a típuscsalád többi áramköreire is.

A NAND-kapu átkapcsolásakor megváltoznak a feszültség szintek mellett az áram szintek is. Az ilyen esetben fellépő tranziensek oka a különböző terhelések (kapacitív, ohmos) hatása és a kimeneti totem-pole fokozatban a vezetés átlapolása. Minden kapacitásnak (szórt, terhelő, stb.) fel kell töltnie, illetve ki kell sülnie a logikai állapotváltozás esetén.

Egy jellemző tranziens van a tápáramfelvételben ennél az áramkör családnál az átváltásnál. A kimeneti 0 szintről az 1 szintre való átváltásnál lesz egy olyan állapot, amikor a kimeneti oszlop mindkét tranzisztora és a dióda is nyitva van (1. ábra). Ez



1. ábra

azért következik be, mert a T_3 gyorsabban kapcsol be, mint ahogy a T_4 képes kikapcsolni. Ez a tápfeszültség és a föld közt egy olyan áramot enged meg, amelyet csak az R_3 ellenállás korlátoz.

$$I_{CC(max)} = \frac{U_{CC} - U_D - U_{CE sat}(T_4) - U_{CE sat}(T_3)}{R_3}$$

Összegezve: az I_{CC} kapcsolási tranziens három fő hatásnak a kombinációja: az I_{CC1} és az I_{CC0} közötti különbségnek, a terhelő kapacitás feltöltődésének, valamint a vezetési átlapolásnak.

A tranzienseknek az áramkör disszipációra gyakorolt hatását a C_T terhelő kapacitás és a működési frekvencia függvényében határoztuk meg. A karakterisztikával való megadási mód lehetőséget nyújt a

tervezőknek az őket érdeklő működési tartományok vizsgálatához. A $P-f$ karakterisztika meghatározását mérés és számítás, illetve számítás útján végeztük el.

A mérési és számítási módszer

Statikus esetben, illetve átkapcsoláskor a NAND-kapu teljesítménydisszipációja:

$$U_{CC} = 5 \text{ V}$$

Bemenet 2,4 V
Worst-case

Kimenet 0,22 V
 $P_1 = 18,6 \text{ mW}$

Bemenet 0,22 V
Worst-case

Kimenet 3,3 V
 $P_2 = 6 \text{ mW}$

Átváltáskor, amikor a kimenő totem-pole áramát csak a 130 ohm ellenállás korlátozza (a tápáramban ekkor van a nagy lökés):

$$P_{csúcs} \cong 70 \text{ mW}$$

Közelítőleg:

$$P_{\text{átlag}} = \frac{P_1 + P_2}{2} = 12,6 \text{ mW}$$

$$P_{\text{kapcs}} = f_T t_d P_{\text{csúcs}}$$

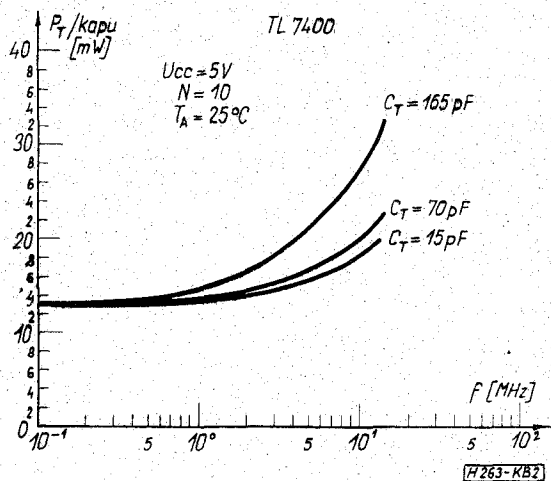
A tápáramfelvétel jelalak területének integrálásból számítva P_{kapcs} értéket, a kapcsolási átlagteljesítményt adja.

A fenti számításnál több elhanyagolást végeztünk, de a gyakorlat számára jó közelítést biztosítottak az adatok.

A disszipált teljesítmény a kapcsolat gyakoriságától függ. Alacsony frekvencián (feltételezve az 1:1 kitöltési tényezőt) a $P \rightarrow P_{\text{átl}}$ -hoz, magasabb frekvencián a $P \rightarrow P_{\text{kapcs}}$ -hoz tart a disszipáció. Különböző frekvenciákon, különböző terhelő kapacitások alkalmazásával mértük a kapcsolási időket. A mért értékekkel és a P_{kapcs} segítségével kiszámítottuk és megszerkesztettük a $P-f$ karakterisztikát (2. ábra). A kapott görbék jól mutatják a terhelőkapacitás hatását a disszipációra növekvő működési frekvenciákon.

A számítási módszer

Az előző módszernél felhasznált közelítések több elhanyagolást tartalmaztak. A helyes fizikai kép kialakításához számítási úton is elvégeztük az átkapcsolási tranziens-analízist a következő módszer segítségével: az áramkör teljes dinamikus helyettesítő képéből az egyes működési szakaszokban csak a szakaszokra jellemző tagokat vettük figyelembe (szakaszosan — lineáris aproximáció), majd számítógéppel megvizsgáltuk az egyes paraméterek hatását az áramkör dinamikus viselkedésére.



2. ábra

A dinamikus helyettesítőkép megszerkesztésénél három forrásból eredő kapacitást vettünk figyelembe: a tranzisztort alkotó p-n átmenetek kapacitárait, az ellenállások kapacitárait és a terhelő kapacitást. A helyettesítő kép egyes kapacitásai összevonhatók, így kapjuk a számítások számára előnyösebb elrendezést, amit a 3. ábra mutat:

$$C_B = C_{B1} + C_{B1} + C_{RB} + C_{C2} + C_{e2} \times (C_{e4} + C_{R1} + C_{e4})$$

$$C_T = C_{C4} + C_{S4} + C_L$$

$$C_{C2} = 1,7 \text{ pF}$$

$$C_{S2} = 1,6 \text{ pF}$$

$$C_L = 25 \text{ pF}$$

$$C_T = 28,2 \text{ pF}$$

A TTL áramkör tranzienst működését gyakorlatilag két szakaszra, a bekapcsolási és kikapcsolási tranzienstre bonthatjuk. A bekapcsolási folyamatnál a bemeneti feszültség kis szintről – nagy szintre változik (0 → 1), míg a kikapcsolásnál nagy szintről – kis szintre (1 → 0).

Bekapcsolási tranzienst

Az ugrásszerű bemenőjel hatására a késleltetési idő alatt a kaputranzisztor, T_1 telített üzemből inverz aktív, a T_2 lezárt állapotból aktív, míg a T_4 lezárt állapotból aktív-lezárás határhelyzetébe kerül. Az átkapcsolási szakaszban lezár a T_3 tranzisztor és telítési határhelyzetbe kerül a T_4 tranzisztor. A 3. ábra alapján a bekapcsolási teljesítménye az áramkörnek:

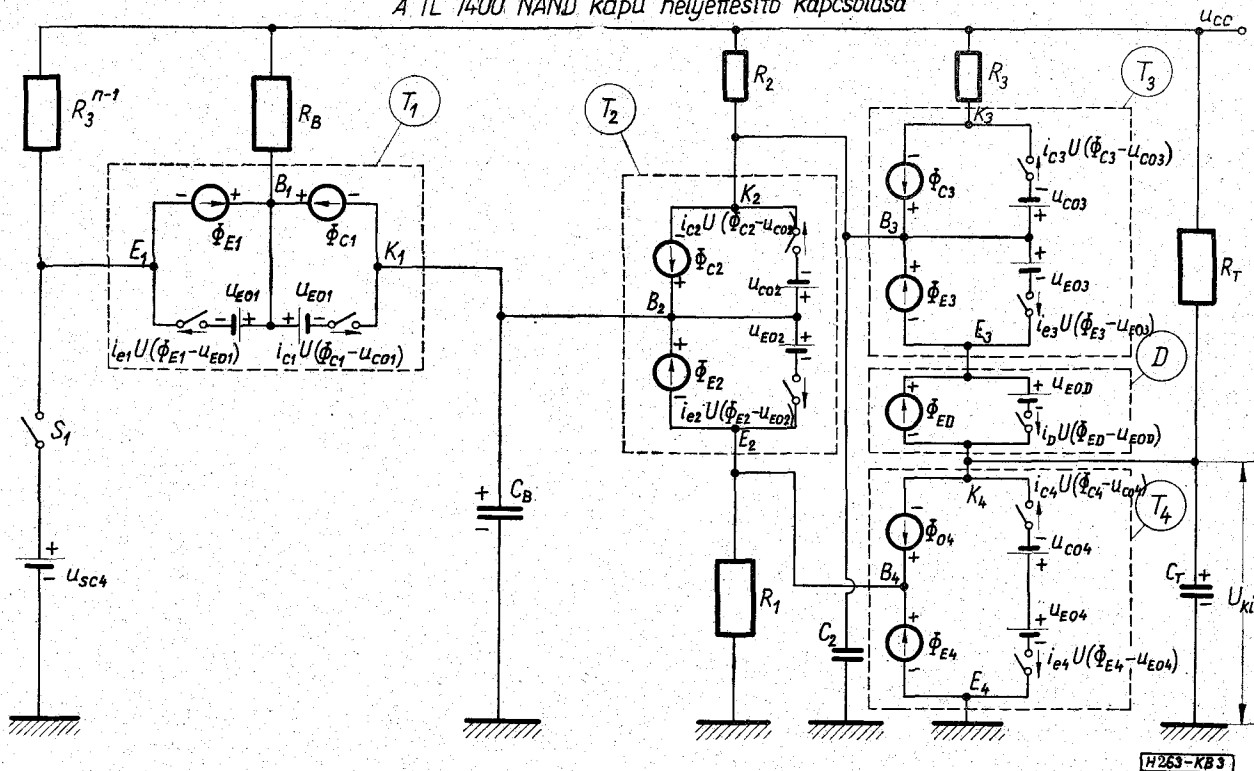
$$P_{be} = \frac{U_{CC}}{R_B} (U_{CC} - U_{C01} - U_{E02} - U_{E04}) + \frac{U_{CC}}{R_2} (U_{CC} - U_{CE2} - U_{E04}) + \frac{U_{CC} - U_{SC4}}{R_T} U_{SC4} \quad (1)$$

ahol U_{CC} a tápfeszültség, U_{C0} a kollektor-bázis dióda nyitó feszültsége, U_{E0} az emitter-bázis dióda nyitó feszültsége, U_{SC} a telítési feszültség.

Az áramkör bekapcsolási ideje:

$$t_{pdo} = R_B C_B \ln \frac{U_{CC} - U_{C01} - U_{SC4}}{U_{CC} - U_{C01} - (U_{E02} + U_{E04})} + C_T \frac{U_{0L} - U_A}{B_1 I_{B1}(T_2)} + \left(\tau_B + C_T \frac{R_B}{n} \right)$$

A TL 7400 NAND kapu helyettesítő kapcsolása



3. ábra

$$\ln \frac{B_1 B_2 I_{B1}(T_2) \frac{R_B}{n}}{B_1 B_2 I_{B1}(T_2) \frac{R_B}{n} - \left(U_{CC} - U_{E01} - \frac{I_T R_B}{n} - U_{SC4} \right)}, \quad (2)$$

ahol U_{OL} a kimeneti „NEM” szint, U_A az átváltási feszültség, n a terhelő fokozatok száma, I_T a terhelő áram, B_1 a nagyjelű áramerősítési tényezők, $I_{B1}(T_1)$ a tranzisztorok bekapcsolási árama, τ_B a bázisfutási idő.

Kikapcsolási tranzienst

A késleltetési idő alatt kapcsol át a T_1 kaputranzisztor, ennek a működési ideje gyakorlatilag elhanyagolható, mivel a bázison átfolyó áram változása igen kis értékű. Ez idő alatt szűnik meg a T_2 , ill. T_4 tranzisztor telített működése, míg a T_3 tranzisztor aktív, illetve telített üzeme végzi a tényleges átkapcsolási folyamatot.

Az áramkör kikapcsolási teljesítménye:

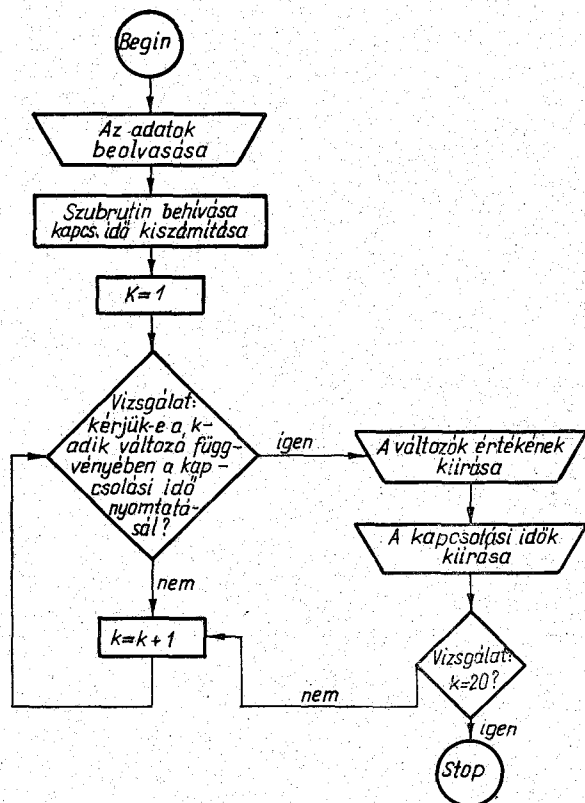
$$P_{ki} = \frac{U_{CC}}{R_B} (U_{CC} - U_{E01} - U_{SC4}) + \frac{U_{CC} - U_{OH} - U_{CE3}}{R_3 \frac{B_3}{B_3 + 1} \times \frac{R_B}{n}} U_{SC3} \quad (3)$$

Az áramkör kikapcsolási ideje:

$$t_{pd1} = t_{S1} + t_{S2} + C_T \left(\frac{R_B}{n} \times R_3 \frac{B_3}{B_3 + 1} \right) \ln 2, \quad (4)$$

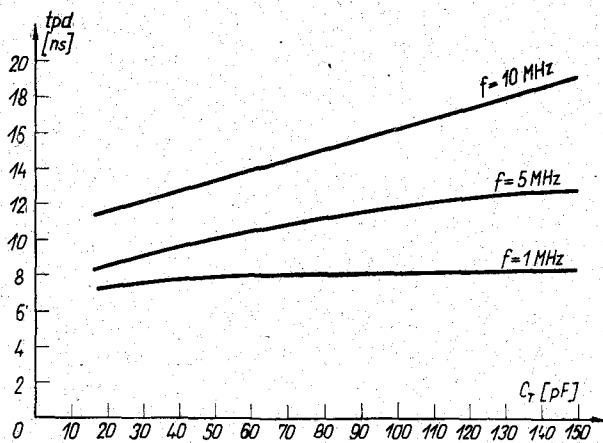
ahol t_{S1} a T_1 tranzisztor tárolási ideje, t_{S2} a T_2 tranzisztor tárolási ideje.

Az áramkör átlag disszipált teljesítménye, és átlag átkapcsolási ideje (1:1 kitöltési tényező, dina-



4. ábra

H263-KB4



5. ábra

H263-KB5

mikus üzem esetén):

$$\bar{P} = \frac{P_{be} + P_{ki}}{2} \quad \bar{t}_{pd} = \frac{t_{pd0} + t_{pd1}}{2} \quad (5)$$

Az (1–5) képletekből számolva:

$$U_{CC} = 5 \text{ V esetén } \bar{P} = 13,775 \text{ mW}$$

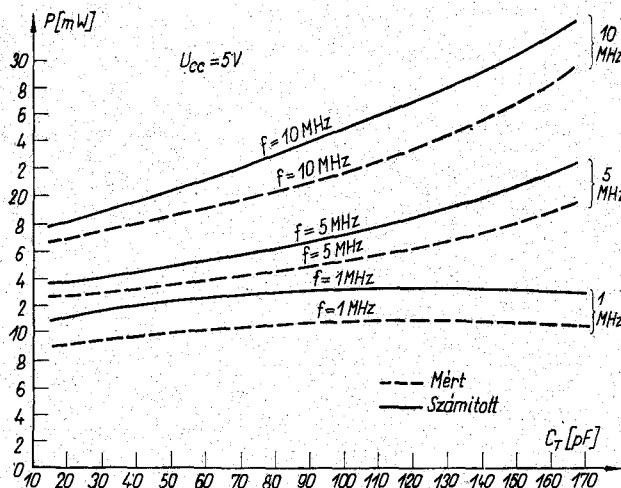
Terjedési idő vizsgálata

Röviden ismertetjük a működési sebességgel kapcsolatos kérdéseket, elsősorban a különböző tényezők (C_T , f) hatását az áramkör terjedési idejére. Ezt a vizsgálatot számítógép segítségével végeztük el (4. ábra) és az 5. ábra szerinti eredményre jutottunk. Az ábrából látható, hogy a terhelő kapacitás (C_T) növekedésével az átkapcsolási idő is növekvő tendenciát mutat. A működési frekvencia növelésével az áramkör kapcsolási ideje nő.

Ezen összefüggések ismeretében meg lehet határozni, hogy az áramkör teljesítménye hogyan változik a fenti tényezők (C_T , f) függvényében.

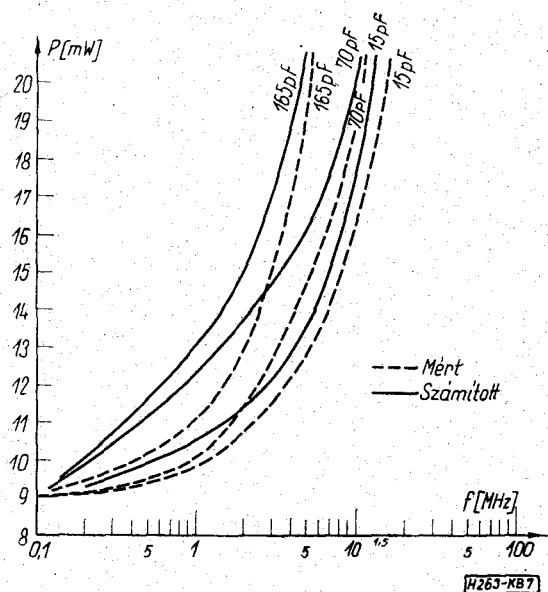
(2) alapján:

$$\bar{P} = \frac{PD}{\bar{t}_{pd}}$$



6. ábra

H263-KB6



7. ábra

ahol PD a „productum” rövidítése — adott áramkörre jellemző átkapcsolási energia pJoul-ban, ha

\bar{t}_{pd} psec-ban, míg \bar{P} — mW-ban van kifejezve, \bar{t}_{pd} a terhelő kapacitás és frekvenciafüggő áramkör átlag átkapcsolási ideje.

Ily módon ismerve a \bar{t}_{pd} -nek a terhelő kapacitástól, valamint a frekvenciától való függését, könnyű megvizsgálni az áramkör-teljesítmény függését a fenti tényezőktől (6. és 7. ábra).

A mérési és számítási eredmények értékelése

A 6. és a 7. ábrából látható, hogy a mért és a számított görbék között a maximális eltérés 3,1 mW. Az eltérés csekély volta bizonyítja mind a mérést, mind a számítás helyességét.

A közölt karakterisztikák jól kezelhetők a tervezésnél és kellő számszerű tájékoztatást biztosítanak.

I R O D A L O M

- [1] Robert L. Morris and John R. Miller: Designing with TTL Integrated Circuits. 1971.
- [2] David K. Lynn: Analysis and design of Integrated circuits.