

RTV KLUB MURSKA SOBOTA

DIGITALNI MOSTOVI

"HITRI PACKET RADIO"

Murska Sobota, september 2000

Družine TTL digitalnih integriranih vezij

Matjaž Vidmar, YT3MV

Integrirana vezja najdemo danes skoraj na vsakem načrtu elektronskih naprav in tudi radioamaterska tehnika brez njih ne more več shajati. Čeprav nekatera integrirana vezja opravljajo pomembne naloge tudi v analognih vezjih, vključno s tistimi v naših amaterskih radijskih postajah, je večina integriranih vezij vendarle digitalnih. Digitalna (računska) tehnika je doživela svoj vzpon prav z razvojem integriranih vezij! Razen namenskih integriranih vezij, prirejenih za opravljanje točno predvidene naloge, obstaja predvsem kopica standardiziranih gradnikov, s katerimi je načrtovanje naprav zelo poenostavljeno, se pravi dostopno tudi navadnim smrtnikom in seveda nam radioamaterjem. Najbolj znani gradniki so digitalna integrirana vezja TTL serije, po domače integrirana vezja serije 74xx.

Oznake vrste 74xx najdemo na skoraj vsakem načrtu, toda stvari niso vedno enostavne. Na primer, na načrtu naprave najdemo oznako 74LS123 (to je dvojni monostabilni multivibrator). Bo naprava delovala tudi z vezjem 74123, ki smo ga našli v predalu med staro šaro oziroma z vezjem 74HC123, ki jih imajo v trgovini za vogalom? In če že bo delovala, kakšen vpliv bo imela zamenjava na lastnosti, oziroma bo delovanje take naprave zadosti zanesljivo?

Da bi razumeli razlike med različnimi družinami TTL vezij, se pravi razlike med serijami 74LSxx, 74xx in 74HCxx (ter se mnogimi drugimi) si moramo najprej ogledati zgodovino razvoja digitalnih integriranih vezij.

Zgodba se začne v začetku šestdesetih let s prvo serijo univerzalnih digitalnih gradnikov, poimenovano RTL serija Resistor-Transistor-Logic). RTL vezja so vsebovala komaj nekaj (običajno manj kot 10) tranzistorjev. Napajalna napetost je bila standardizirana na 3V, večina vezij pa je bila vgrajena v okrogla kovinska ohišja z 8 ali pa 10 priključnimi žicami, saj so bila v tem času tiskana vezja novost, ki jo je bilo treba šele dodobra preizkusiti. Električne lastnosti RTL vezij so bile zelo slabe: dopuščale so taktno frekvenco komaj nekaj MHz, se pravi slabše od vezja, sestavljenega iz običajnih elementov

(tranzistorjev, uporov, diod in kondenzatorjev). Če boste na kakšnem starem načrtu zasledili oznake uL914 (dvojna NOR vrata), uL923 (JK flip-flop) in podobne, oziroma našli na kakšni stari računalniški plošči primerke vezij serije uL9xx, jih nikar ne zavržite, saj so danes že pravi zgodovinski pojem, prav kot 6L6, 807, RL12P35, EL84 ali OC72!

RTL vezjem so kmalu sledile nove serije vezij, ki jih je omogočala izboljšana tehnologija izdelave. Par let za RTL vezji se je pojavila DTL serija (Diode-Transistor-Logic), v ohišjih dual-in-line s 14 nožicami razporejenimi v rastru 2.54mm (kot smo integrirana vezja navajeni videti danes), primernimi za vstavljanje v tiskana vezja in napajalno napetostjo standardizirano na 5V. Tudi električne lastnosti DTL vezij so bile boljše, saj so ta vezja dosegla taktno frekvenco 10MHz, en izhod pa je lahko krmilil tudi do 10 vhodov drugih vezij iste serije brez škodljivih posledic za hitrost.

DTL vezja se niso sirše uveljavila samo zato, ker so jim zelo hitro sledila TTL vezja v drugi polovici šestdesetih let. TTL vezja (Transistor-Transistor-Logic) so po notranjem načrtu zelo podobna DTL vezjem, rabijo enako napajalno napetost in delajo z istimi logičnimi nivoji, izboljšano notranje vezje pa jim omogoča delovanje pri taktni frekvenci do 50MHz. Kaj kmalu so TTL vezja postala standard za vso industrijo polprevodnikov, proizvodnjo TTL vezij pa je osvojila večina proizvajalcev polprevodnikov.

TTL serijo univerzalnih gradnikov je krstila tovarna Texas Instruments z oznakami 74xx, kjer so xx dve ali tri številke, čeprav je tudi ta tovarna na začetku uporabljala za TTL vezja druge oznake. Drugi proizvajalci so za TTL vezja (ekvivalenti 74xx serije, pa tudi druga vezja) seveda uporabljali svoje oznake: Fairchild 90xx, 93xx in 96xx, Siemens FLxxxx (in podobno), National Semiconductor 82xx, SGS T1xx, IBM 21xx in podobno. Tako na primer znani 7400 (štiri NAND vrata) nosi tudi oznako 9002, FLH101, T102 ali 2100, bolj komplicirani pomikalni register 74195 pa oznake 9300, FLJ561 ali T151. Štrene je nazadnje zamešal se

sam Texas Instruments, z oznakami serije 84xx in 54xx, ki ustrezajo izvedenkam vezij za delovanje v razširjenem temperaturnem območju (industrijsko -25C do +85C in vojaško -55C do +125C), sicer pa so popolnoma enake seriji 74xx, delovanje katere je zagotovljeno samo v komercialnem temperaturnem območju (0C do +70C).

TTL integrirana vezja zahtevajo napajalno napetost +5V (dovoljena odstopanja so od 4.75V do 5.25V), pri nazivni napetosti napajanja pa nizek logični nivo - ničla ustreza napetosti 0V (maksimalno 0.8V) in visok logični nivo napetosti okoli 3.5V (minimalno 2.4V). En standardni TTL izhod lahko krmili 10 standardnih TTL vhodov, vsak vhod pa lahko vleče največ 1.6mA vhodnega toka.

Standardna TTL integrirana vezja so bila tudi prva integrirana vezja, ki so doživela resnično velikoserijsko proizvodnjo in najširše področje uporabe. Tudi za nas radioamaterje so pomenila pravo revolucijo: digitalni frekvencmeter, prej amaterjem skoraj nedostopen merilni instrument, je postal v sedemdesetih letih standardni merilni pripomoček vsakega resnega radioamaterja.

Tehnologija izdelave standardnih TTL integriranih vezij (74xx) je omogočala se nekaj različnih in različnih digitalnih vezij. Običajno se da povečati hitrost delovanja s povečanjem porabe vezja in obratno, porabo se da zmanjšati z zmanjšanjem hitrosti vezja. Poraba standardnih TTL vezij ni ravno majhna: okoli 10mW za vsaka vrata in še dosti več za bolj komplicirana vezja, kar pogojuje predvsem načrtovanje naprav z baterijskim napajanjem. Zato so proizvajalci uvedli še dve varianti standardne TTL 74xx serije: serijo 74Lxx in serijo 74Hxx.

Serija 74Lxx ima 10krat manjšo porabo, je pa tudi 10krat počasnejša od standardne 74xx serije. Integrirana vezja 74Lxx so sicer kompatibilna s 74xx, toda en izhod 74Lxx lahko krmili največ en vhod standardnega 74xx, saj so v 74Lxx seriji vse vrednosti tokov 10krat manjše! Obratni primer je serija 74Hxx: ta doseže malo večjo hitrost delovanja (70MHz) ob znatnem povečanju porabe (22mW za vsaka vrata).

Hkrati s TTL vezji sta se pojavili še dve družini logičnih vezij: HTL in ECL. HTL serija (High-Threshold-Logic) je bila namenjena predvsem industrijskemu okolju z visokim nivojem motenj, ki niso dovoljevala uporabe TTL serije. HTL serija dela z napajalno napetostjo 15V, notranja shema in električne lastnosti pa so podobne DTL seriji.

ECL vezja (Emitter-Coupled-Logic) so bila od vsega začetka namenjena delovanju pri največjih hitrostih. Prva ECL vezja so delovala pri taktih frekvencah do 200MHz, današnja ECL vezja pa dosežejo tudi 4GHz!. ECL vezja se delijo v več različnih družin (najbolj znane so 10xxx in 100xxx), rabijo napajalno napetost -5.2V (pozitivni pol napajanja je ozemljen), logični nivoji pa niso kompatibilni z nobeno drugo družino digitalnih vezij in niti med različnimi ECL družinami! Za radioamaterje ECL vezja so in bojo ostala eksotika razen nekaj namenskih vezij, kot so hitri preddelilci za frekvenčmetre in UHF PLL frekvenčne sintetizatorje.

V začetku sedemdesetih let je tovarna RCA uvedla CMOS integrirana vezja serije 40xx. Čeprav tedaj nova CMOS tehnologija ni omogočala taktne frekvence večje od 5MHz, pa je zanemarljivo majhna poraba CMOS vezij resno ogrozila dotedanji uspeh TTL serije na vseh tistih področjih, kjer je majhna poraba važnejša od hitrosti delovanja. CMOS vezja serije 40xx pa so imela se druge prednosti pred TTL vezji: delovanje v izredno širokem temperaturnem območju in izredno širokem območju napajalne napetosti: od 3V do 15V!

40xx vezja so dosegla na tržišču velik uspeh in praktično izrinila serijo 74Lxx, HTL vezja in verjetno se kakšno drugo družino. Povezava 40xx vezij s standardnimi TTL vezji ni prav enostavna, tudi v slučaju napajanja 40xx in TTL vezij z isto napetostjo (5V). TTL vezja potrebujejo na izhodih dodatne upore (proti +5V), da lahko pravilno krmilijo CMOS vezja, v obratni smeri pa je treba vzporedno vezati več 40xx izhodov za krmiljenje enega samega standardnega TTL (74xx) vhoda, ker so izhodni tokovi 40xx vezij zelo majhni.

Tudi serijo 40xx je privzela večina proizvajalcev polprevodnikov. Žal 40xx serija ne nudi istih logičnih funkcij kot 74xx serija (razen nekaj redkih izjem), zato direktna zamenjava TTL vezij s CMOS vezji ni bila možna. Tovarna National Semi-

conductor je sicer izdelala 74Cxx serijo z isto tehnologijo kot 40xx ter 74xx logičnimi funkcijami, toda iz neznanih razlogov se serija 74Cxx ni obnesla in je kmalu izginila s tržišča. Z isto tehnologijo kot za 40xx serijo se je končno dalo izdelati tudi ročno (zapestno) digitalno uro.

V drugi polovici sedemdesetih let je boljše tehnologija že omogočala izdelavo izboljšane 40xxB serije CMOS vezij, ki lahko delajo z dvakrat večjo taktno frekvenco (okoli 10MHz, pri CMOS vezjih je največja taktna frekvenca premosorazmerna z napajalno napetostjo), izhodi pa zmorejo znatno večje tokove glede na staro 40xx serijo, po novem preimenovano v 40xxA serijo. Žal vsa 40xxB vezja niso pravi ekvivalenti 40xxA vezij, razlike so predvsem pri enostavnih funkcijah (vrata) in pri nekaterih bolj kompliciranih vezjih (4028 in 4029). Zato nekateri proizvajalci ponujajo še 40xxUB serijo, ki naj bi bila točen ekvivalent stare 40xxA serije, toda izdelana z novejšo tehnologijo.

Seveda pa tudi razvijalci TTL vezij niso medtem stali križem rok: v drugi polovici sedemdesetih let so ponudili dve novi TTL seriji, z znatno boljšimi električnimi lastnostmi, kar so dosegli z uporabo schottky diod. Z dodatkom schottky diod so iz 74Hxx serije razvili 74Sxx vezja, ki ob sicer veliki porabi (19mW/vrata) omogoča res visoke taktne frekvence (120MHz).

Danes pa je prav gotovo najbolj poznana in uporabljana 74LSxx serija, ki omogoča približno isto hitrost delovanja kot stara 74xx (standard TTL) serija (okoli 50MHz) ob petkrat manjši energije (2mW/vrata). Brez 74LSxx vezij si danes skoraj ne moremo zamisliti mikroračunalnika, pa tudi marsikatero druge naprave ne. Kljub razvoju kompliciranih mikroračunalniških sestavnih delov le ti se vedno potrebujejo marsikatero 74LSxx vezje za povezavo v celotni napravi. Zato so za 74LSxx serijo Američani takoj iznašli novo ime: "glue (lepilo)", saj brez lepila se tako vsemogočnih mikroprocesorskih kock ne moremo sestaviti skupaj...

V osemdesetih letih je sel razvoj v dve smeri, v izboljšavo obsotoječih TTL tehnologij in v razvoj novih CMOS tehnologij. Izboljšana TTL schottky vezja omogočajo večje hitrosti ob manjši porabi. Tako je 74ALSxx družina naslednik 74LSxx družine. Iz 74Sxx družine pa so razvili 74Fxx in 74ASxx vezja, ki ob porabi manjši od standardnih 74xx TTL lahko delajo pri taktih fre-

kvencah do 140MHz.

Razvoj novih, hitrejših CMOS vezij pa so omogočili MOS tranzistorji s krmilno elektrodo (gate) iz polikristalnega silicija (namesto aluminija kot v 40xx serijah). V tej novi tehnologiji so izdelana 74HCxx vezja. MOS tranzistorji s krmilno elektrodo iz polikristalnega silicija delajo pri nižjih napetostih, zato je delovanje 74HCxx vezij zagotovljeno v razponu napetosti od 2V do 6V. Pri 5V se 74HCxx vezja po hitrosti lahko primerjajo z 74LSxx vezji (takt okoli 50MHz) ob hkrati skoraj zanemarljivi porabi energije CMOS vezij.

Pri 74HCxx družini so se proizvajalci končno odločili, da bojo proizvajali večino logičnih funkcij prejšnjih družin: oznake 74HCxx tako ustrezajo funkcijam TTL 74xx serije, oznake 74HC40xx pa funkcijam CMOS 40xx serije. 74HCxx vezja zmorejo tudi precej večje izhodne tokove, zato brez težav krmilijo ostale TTL družine. V obratni smeri pa so se vedno potrebni upori (proti +5V), saj 74HCxx vezja zahtevajo CMOS logične nivoje (0V ali pa polna napajalna napetost) za pravilno delovanje. Uporaba 74HCxx in 74LSxx vezij v isti napravi zato ne gre brez težav.

Da bi omilili težave pri uporabi CMOS in 74LSxx vezij v isti napravi, so si proizvajalci omislili 74HCTxx vezja. Družina 74HCTxx uporablja isto tehnologijo in je zelo podobna družini 74HCxx, le da so vhodi prirejeni tako, da se pravilno odzivajo na TTL in na CMOS vhodne nivoje. 74HCTxx vezja se zato brez težav in brez dodatnih elementov spajajo s 74LSxx in 74HCxx vezji v obeh smereh. Žal ima vsaka stvar svojo ceno: univerzalna vhodna stopnja poslabša delovanje vezja, zato so 74HCTxx vezja za okoli 10% počasnejša od enakih 74HCxx vezij, delovanje 74HCTxx vezij pa je zagotovljeno samo v napetostnem območju od 4.5V do 5.5V.

Čeprav pomenijo že 74HCxx vezja veliko olajšanje za marsikatero načrtovalca elektronskih naprav, pa so šli proizvajalci še dlje. Nove CMOS tehnologije so v drugi polovici osemdesetih let omogočile izdelavo še hitrejših CMOS vezij. Najnovejša družina CMOS vezij nosi oznake 74ACxx in je namenjena zamenjavi 74Fxx in 74ASxx vezij, sicer pa so njene lastnosti podobne 74HCxx družini. Družina 74ACxx dela s CMOS logičnimi nivoji (in ima tudi majhno porabo), zato so se tudi

proizvajalci odločili še za 74ACTxx družino, ki omogoča enostavno spajanje v obeh smereh z 74Fxx, 74ASxx in 74ACxx, seveda na račun malo slabših lastnosti od 74ACxx družine.

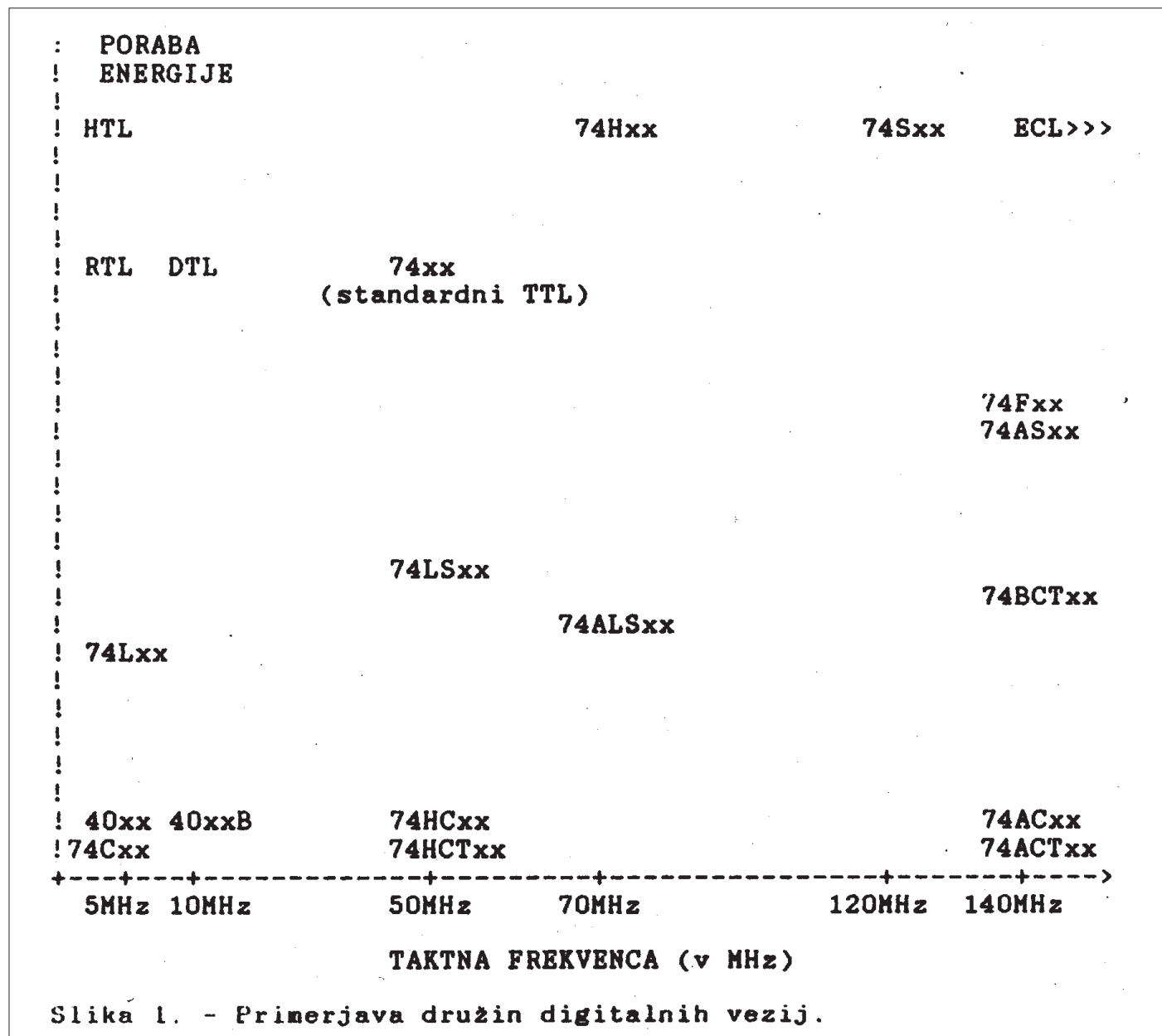
In kaj nam obeta razvoj tehnike v bližnji bodočnosti? Digitalna vezja družin 74Fxx, 74ASxx in 74ACxx so že tako hitra, da nadaljnje izboljšanje električnih lastnosti motijo že parazitne induktivnosti in kapacitivnosti dual-in-line ohišij, v katera so vezja vgrajena. Zato so nekateri proizvajalci že ponudili tako imenovano "alternate pinout logic" z oznakami 74AC1xxx s spremenjenim razporedom nožic, a istimi logičnimi funkcijami kot 74ACxx serija. Za kaj pravzaprav gre? 74xx serija integriranih vezij ima, razen nekaj redkih izjem, priključke za napajanje vedno v nasprotnih vogalih ohišja, se pravi nožice 7 in 14, 8 in 16 in podobno.

Takšna razporeditev je sicer ugodna pri risanju enostranskih tiskanih vezij, hkrati pa pomeni največjo možno parazitno induktivnost prav v napajalnih vodih, po katerih tečejo največji tokovi. "Alternate pinout logic" 74AC1xxx serija ima napajalne priključke zato sredi ohišja, in to običajno po dve nožici za vsak pol napajanja, tako da se parazitna induktivnost dodatno zmanjša. Manjšo parazitno induktivnost se da seveda izkoristiti samo v slučaju, če je integrirano vezje montirano na štiri ali več slojno tiskano ploščico!

Proizvajalci preizkušajo tudi kombinirane tehnologije, na primer 74BCTxx serija, ki združuje prednosti bipolarnih in CMOS vezij, po hitrosti pa ustreza 74Fxx ali 74ACxx. Raziskovalci so tudi ugotovili, da do sedaj standardna napetost napajanja za vse mikroracionalniške elemente, +5V, negativni pol ozemljen, ni naj-

bolj ugodna za delovanje kompliciranih vezij pri še višjih hitrostih. Trenutna vrhunska tehnologija bi delovala boljše pri nižjih napajalnih napetostih, okoli 3V. Čeprav 74HCxx in 74ACxx vezja lahko delajo v razponu napetosti od 2V do 6V, pa bi bilo treba prilagoditi nižji napajalni napetosti kopico bolj kompliciranih integriranih vezij, od mikroprocesorjev do spominskih enot, zato so razgovori o novi standardni napajalni napetosti zaenkrat še na mrtvi točki...

In kako naj se v vsej tej zmešnjavi oznak nazadnje ravnamo mi radioamaterji, pri sestavljanju in popravilih naših naprav? Če je načrtovalec segel po vezjih 74Fxx, potem je prav gotovo potreboval res hitro vezje, ki ga ne moremo zamenjati s počasnejšimi 74LSxx na primer. Na srečo je takih vezij malo, večina amaterskih naprav uporablja standardno 74xx serijo, poleg nje pa



se 40xx in 74LSxx družini. Vse te družine v zadnjem času vedno bolj izpodriva 74HCxx (74HCTxx) serija.

Stara 74xx vezja običajno smemo zamenjati z 74LSxx vezji, pri tem pa moramo upoštevati predvsem to, da 74LSxx vezja delajo z manjšimi tokovi, zato tudi 74LSxx izhodne stopnje ne zmorejo krmiliti tako velikih bremen kot 74xx vezja. 74LSxx vezja lahko zamenjamo s 74HCxx vezji, če bomo v napravi zamenjali vsa vezja s CMOS izvedenkami. Če pa bomo uporabljali mešano 74LSxx in 74HCxx vezja, bo treba seči po dodatnih uporih oziroma po 74HCTxx seriji vezij. 74HCTxx vezja so potrebna tudi v zvezi z nekaterimi mikroračunalniškimi sestavnimi deli, ki kljub MOS tehnologiji izdelave na svojih izhodih ne zmorejo CMOS logičnih nivojev.

Bolj previdni moramo biti pri zamenjavi vezij, ki opravljajo še kakšno analogno funkcijo, na primer monostabilni multivibratorji. 74123, 74LS123 in 74HC123 imajo sicer isti razpored nožic in zahtevajo iste zunanje elemente (po en RC spoj za vsak monostabilni), dopustne vred-

nosti R in C za 74123, 74LS123 in 74HC123 pa se precej razlikujejo, kot tudi polariteta kondenzatorja (še ta mora biti elektrolitski)!

Še najbolj previdni pa moramo biti takrat, ko je načrtovalec uporabil digitalno vezje za kakšno analogno funkcijo. Na primer, kristalni oscilator lahko naredimo s skoraj vsemi logičnimi družinami (74xx in 40xx), toda vrednosti elementov in tudi načrt samega oscilatorja so precej različni za različne družine vezij. Kristalni oscilator potrebuje na primer dva inverterja 74LSxx družine, za isto nalogo pa zadošča en sam inverter 74HCxx družine v precej drugačnem vezju! V teh vezjih povzroča težave tudi zamenjava 40xx (ali 40xxA) družine z novejšo 40xxB družino.

Zamenjave so najbolj težavne v slučaju, ko načrtovalec vezja ni bil "pošten" in je logična vezja uporabljal tudi na "nedovoljene" načine. Taka vezja povzročajo težave celo z nazivnimi sestavnimi deli! Žal spada v to skupino velika večina elektronskih tasterjev, z in brez spomina, objavljenih po radioamaterskih časopisih.

Kmalu po pojavu prvih CMOS vezij so proizvajalci in uporabniki, predvsem pa trgovci zagnali strašen krik in vik glede občutljivosti teh vezij na statično elektriko. Tako vam danes trgovci ponujajo celo navadne upore zavite v čokoladni papir! Prva CMOS vezja so se res dosti kvarila, pa ne zaradi statike, pač pa zaradi nedovršeni tehnologije in predvsem zaradi neznanja načrtovalcev, ki takih vezij niso pravilno uporabljali v svojih napravah.

Vsa logična vezja, tudi CMOS vezja 40xx in 74HCxx, proizvajalci preizkusijo tako, da na njih izpraznijo kondenzator 100pF, ki so ga prej naelektrili na 2kV napetosti! Energija, ki se sprosti ob izpraznitvi tega kondenzatorja na preizkusnem vzorcu vezja je enaka tisti, kot če bi se s prstom dotaknili visokonapetostnega voda na katodno cev v televizorju. CMOS integrirana vezja so zato bistveno manj občutljiva na visoko napetost od ljudi, zato so čokoladni papir, ozemljitvene zapestnice in podobna "antistatična" navlaka pri delu s temi vezji popolnoma odveč!