

Družine TTL digitalnih integriranih vezij
=====

Matjaz Vidmar, YT3MV

Integrirana vezja najdemo danes skoraj na vsakem nacrtu elektronskih naprav in tudi radioamaterska tehnika brez njih ne more vec shajati. Ceprav nekatera integrirana vezja opravljajo pomembne naloge tudi v analognih vezjih, vkljucno s tistimi v nasih amaterskih radijskih postajah, je vecina integriranih vezij vendarle digitalnih. Digitalna (racunska) tehnika je dozivela 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 nacrtovanje naprav zelo poenostavljeno, se pravi dostopno tudi navadnim smrtnikom in seveda nam radioamaterjem. Najbolj znani gradniki so digitalna integrirana vezja TTL serije, po domace integrirana vezja serije 74xx.

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

Da bi razumeli razlike med razlicnimi 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 zacenja v zacetku sestdesetih let s prvo serijo univerzalnih digitalnih gradnikov, poimenovano RTL serija (Resistor-Transistor-Logic). RTL vezja so vsebovala komaj nekaj (obicajno manj kot 10) tranzistorjev. Napajalna napetost je bila standardizirana na 3V, vecina vezij pa je bila vgrajena v okrogla kovinska ohišja z 8 ali pa 10 prikljucnimi zicami, saj so bila v tem casu tiskana vezja novost, ki jo je bilo treba sele dodobra preizkusiti. Elektricne lastnosti RTL vezij so bile zelo slabe: dopuscale so taktno frekvenco komaj nekaj MHz, se pravi slabse od vezja, sestavljenega iz obicajnih elementov (tranzistorjev, uporov, diod in kondenzatorjev). Ce boste na kaksnem starem nacrtu zasledili oznake uL914 (dvojna NOR vrata), uL923 (JK flip-flop) in podobne, oziroma nasli na kaksni stari racunalniski plosci primerke vezij serije uL9xx, jih nikar ne zavržite, saj so danes ze pravi zgodovinski pojem, prav kot 6L6, 807, RL12P35, EL84 ali OC72!

RTL vezjem so kmalu sledile nove serije vezij, ki jih je omogocala izboljsana tehnologija izdelave. Par let za RTL vezji se je pojavila DTL serija (Diode-Transistor-Logic), v ohišjih dual-in-line s 14 nozicami 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 elektricne lastnosti DTL vezij so bile boljse, saj so ta vezja dosegla taktno frekvenco 10MHz, en izhod pa je lahko krmilil tudi do 10 vhodov drugih vezij iste serije brez skodljivih posledic za hitrost.

DTL vezja se niso sirse uveljavila samo zato, ker so jim

zelo hitro sledila TTL vezja v drugi polovici šestdesetih let. TTL vezja (Transistor-Transistor-Logic) so po notranjem nacrtu zelo podobna DTL vezjem, rabijo enako napajalno napetost in delajo z istimi logicnimi 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, ceprav je tudi ta tovarna na zacetku 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 (stiri NAND vrata) nosi tudi oznako 9002, FLH101, T102 ali 2100, bolj komplicirani pomikalni register 74195 pa oznake 9300, FLJ561 ali T151. Strene je nazadnje zamesal se sam Texas Instruments, z oznakami serije 84xx in 54xx, ki ustrezajo izvedenkam vezij za delovanje v razsirjenem temperaturnem območju (industrijsko -25C do +85C in vojasko -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 logicni nivo - ničla ustreza napetosti 0V (maksimalno 0.8V) in visok logicni 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 dozivela resnicno velikoserijsko proizvodnjo in najsirše področje uporabe. Tudi za nas radioamaterje so pomenila pravo revolucijo: digitalni frekvencometer, 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 inacic 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 se dosti več za bolj komplicirana vezja, kar pogojuje predvsem nacrtovanje naprav z baterijskim napajanjem. Zato so proizvajalci uvedli se dve varianti standardne TTL 74xx serije: serijo 74Lxx in serijo 74Hxx.

Serijska 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 se dve družini logicnih 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 elektricne lastnosti pa so podobne DTL seriji.

ECL vezja (Emitter-Coupled-Logic) so bila od vsega zacetka namenjena delovanju pri največjih hitrostih. Prva ECL vezja so

delovala pri taktnih frekvencah do 200MHz, danasnja 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 frekvencometre 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 vaznejša 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 tržiscu velik uspeh in praktično izrinila serijo 74Lxx, HTL vezja in verjetno se kaksno 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. Za 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 Semiconductor 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 tržisca. Z isto tehnologijo kot za 40xx serijo se je končno dalo izdelati tudi rocno (zapestno) digitalno uro.

V drugi polovici sedemdesetih let je boljša 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. Za 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 se 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 krizem 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 mikroracunalnika, pa tudi marsikatero druge naprave ne. Kljub razvoju kompliciranih mikroracunalniških sestavnih delov le ti se vedno potrebujejo marsikatero 74LSxx vezje za povezavo v celotni napravi. Zato so za 74LSxx serijo

Američani takoj iznasli novo ime: "glue (lepilo)", saj brez lepila se tako vsemogocnih mikroprocesorskih kock ne moremo sestaviti skupaj...

V osemdesetih letih je šel razvoj v dve smeri, v izboljšavo obstoječih 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 taktnih frekvencah 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 logicnih 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 logicne 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. Zal 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.

Ceprav pomenijo za 74HCxx vezja veliko olajšanje za marsikaterega nacrtovalca elektronskih naprav, pa so sli proizvajalci se 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 logicnimi nivoji (in ima tudi majhno porabo), zato so se tudi proizvajalci odločili se 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 ohisij, 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 logicnimi funkcijami kot 74ACxx serija. Za kaj pravzaprav gre? 74xx serija integriranih vezij ima, razen nekaj redkih izjem, priključke za napajanje vedno v nasprotnih vogalih ohisja, 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 ohisja, in to običajno po dve nozici 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 stiri ali več slojno tiskano ploščico!

Proizvajalci preizkusajo 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 dosedaj standardna napetost napajanja za vse mikroracunalske elemente, +5V, negativni pol ozemljen, ni najbolj ugodna za delovanje kompliciranih vezij pri se visjih 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 nizji napajalni napetosti kopico bolj kompliciranih integriranih vezij, od mikroprocesorjev do spominskih enot, zato so razgovori o novi standardni napajalni napetosti zaenkrat se na mrtvi točki...

In kako naj se v vsej tej zmesnjavi oznak nazadnje ravnamo mi radioamaterji, pri sestavljanju in popravilih nasih naprav? Če je nacrtovalec 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, ce bomo v napravi zamenjali vsa vezja s CMOS izvedenkami. Ce pa bomo uporabljali mesano 74LSxx in 74HCxx vezja, bo treba seci po dodatnih uporih oziroma po 74HCTxx seriji vezij. 74HCTxx vezja so potrebna tudi v zvezi z nekaterimi mikroracunalskimi sestavnimi deli, ki kljub MOS tehnologiji izdelave na svojih izhodih ne zmorejo CMOS logicnih nivojev.

Bolj previdni moramo biti pri zamenjavi vezij, ki opravljajo se kaksno analogno funkcijo, na primer monostabilni multivibratorji. 74123, 74LS123 in 74HC123 imajo sicer isti razpored nozic in zahtevajo iste zunanje elemente (po en RC spoj za vsak monostabilni), dopustne vrednosti R in C za 74123, 74LS123 in 74HC123 pa se precej razlikujejo, kot tudi polariteta kondenzatorja (ce ta mora biti elektrolitski)!

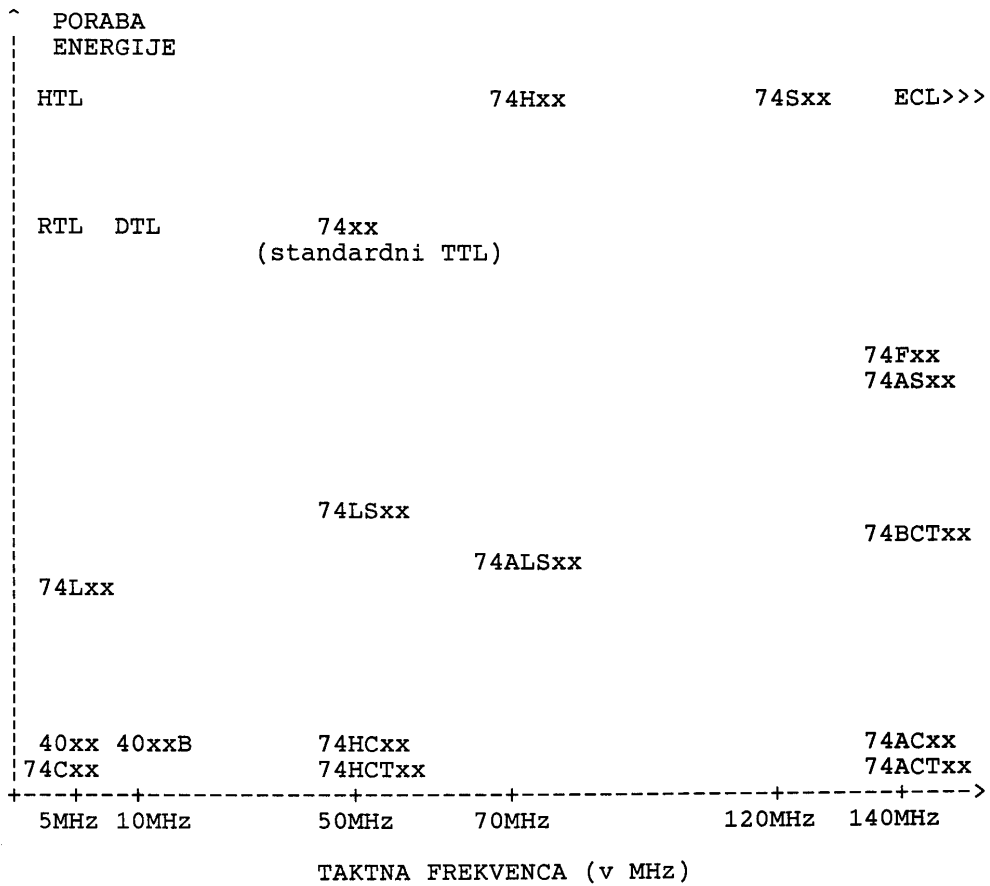
Se najbolj previdni pa moramo biti takrat, ko je nacrtovalec uporabil digitalno vezje za kaksno analogno funkcijo. Na primer, kristalni oscilator lahko naredimo s skoraj vsemi logicnimi družinami (74xx in 40xx), toda vrednosti elementov in tudi nacrt samega oscilatorja so precej različni za različne družine vezij. Kristalni oscilator potrebuje na primer dva inverterja 74LSxx družine, za isto nalogo pa zadosca en sam inverter 74HCxx družine v precej drugacnem vezju! V teh vezjih povzroca tezave tudi zamenjava 40xx (ali 40xxA) družine z novejšo 40xxB družino.

Zamenjave so najbolj tezavne v slučaju, ko nacrtovalec vezja ni bil "posten" in je logicna vezja uporabljal tudi na "nedovoljene" nacine. Taka vezja povzročajo tezave celo z

nazivnimi sestavnimi deli! Zal spada v to skupino velika vecina elektronskih tasterjev, z in brez spomina, objavljenih po radioamaterskih casopisih.

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

Vsa logocna 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 ce 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 cokoladni papir, ozemljitvene zapestnice in podobna "antistaticna" navlaka pri delu s temi vezji popolnoma odvec!



Slika 1. - Primerjava družin digitalnih vezij.