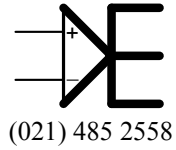


FAKULTET TEHNIČKIH NAUKA
DEPARTMAN ZA ENERGETIKU, ELEKTRONIKU I TELEKOMUNIKACIJE
KATEDRA ZA ELEKTRONIKU
NOVI SAD
TRG DOSITEJA OBRADOVIĆA 6
<http://www.elektronika.uns.ac.rs>

email: elektronika@uns.ac.rs



MIKRORAČUNARSKA ELEKTRONIKA

- *hardversko povezivanje* -

Novi Sad
februar 2016.

Fakultet tehničkih nauka
Katedra za elektroniku
mr Milan Nikolić

Sadržaj:

1.	Uvod	2
2.	Hardversko povezivanje mikrokontrolera	3
2.1.	Ulazno/izlazni portovi mikrokontrolera	3
2.2.	Brojači i tajmeri.....	7
2.3.	Povezivanje 7-segmentnih LED displeja.....	9
2.4.	Paralelno povezivanje 7-segmentnih displeja.....	10
2.5.	Redno (serijsko) povezivanje 7-segmentnih displeja	10
2.6.	Multipleksno povezivanje 7-segmentnih displeja	11
2.7.	Paralelno povezivanje tastature	13
2.8.	Redno (serijsko) povezivanje tastature.....	13
2.9.	Multipleksno povezivanje tastature.....	14
2.10.	Galvansko razdvajanje perifernih signala	16
2.11.	Serijska komunikacija	17
2.11.1.	RS232 Komunikacija.....	17
2.11.2.	RS485/RS422 Komunikacija.....	17
2.11.3.	SPI sinhrona komunikacija	18
2.11.4.	MicroWire sinhrona komunikacija	19
2.11.5.	I2C sinhrona komunikacija.....	19
2.12.	Ulazno/izlazni ekspanderi	20
2.13.	Deljenje portova	21
2.14.	Reset kolo i oscilator	22

1. Uvod

Da bi se mikroprocesor mogao iskoristiti, neophodno je dodavanje različitih vrsta digitalnih komponenti, kao što su memorije tipa ROM i RAM, adresni baferi, lečevi i dekoderi, brojači/tajmeri, kontroleri prekida, baferi i lečevi za digitalne ulaze i izlaze, kontroleri serijskih portova, A/D i D/A konvertori i slično. Ako se sve ove komponente, uključivši i mikroprocesor, integrišu u jedno integrisano kolo, dobija se mikrokontroler koji omogućava znatno smanjenje dimenzija uređaja u koji je ugrađen, uz mnogo veću pouzdanost i znatno nižu cenu. Prvi mikrokontroler, Intel 8048, nastao je davne 1976. godine. Danas postoji nekoliko hiljada tipova mikrokontrolera, razvijenih oko različitih familija mikroprocesora.

Osnovna ideja mikrokontrolera je namenska primena, u programabilnim elektronskim sklopovima predviđenim za ugradnju (*embedded* sistem). Primeri primene ovakvih uređaja se mogu naći na svakom koraku, počevši od kućnih aparata (veš mašina, mikrotalasna pećnica, audio i video uređaji), preko autoindustrije (autokompjuter, autoradio), računarskih perifernih komponenti (optički kompjuterski miš, USB memorijski modul), mobilnih telefona, pa do industrijskih uređaja (regulatori, PLC uređaji). Zbog velikog broja primena, različite familije i varijante unutar iste familije mikrokontrolera su veoma značajne, jer omogućavaju izbor mikrokontrolera koji najbolje odgovara postavljenim zahtevima, kao što su hardverske potrebe i programabilnost. Od posebnog značaja je i cena odabranog mikrokontrolera, pogotovo kada se uzmu u obzir velike proizvodne serije određenih tipova uređaja sa ugrađenim mikrokontrolerskim sistemima.

U okviru jedne familije mikrokontrolera, pojedinačni tipovi mikrokontrolera se dobijaju variranjem broja i tipova hardverskih proširenja. Na primer, mikrokontroleri iste familije se mogu razlikovati po:

- Veličini internog ROM-a.
- Tipu internog ROM-a (MaskROM, OTPROM, EPROM, FlashROM).
- Veličini internog RAM-a.
- Broju tajmera/brojača.
- Tipu i broju serijskih kanala.
- Tipu paralelnih portova.
- Broju kanala i preciznosti A/D konvertora.
- Broju kanala, tipu i preciznosti D/A konvertora.
- Broju i tipu hardverskih jedinica posebne namene (USB, CAN, itd.).

Uobičajen postupak proizvođača pri projektovanju novog mikrokontrolera je izbor i kombinovanje mikroprocesorskog jezgra i dodatnih hardverskih proširenja. Na primer, dva mikrokontrolera sa istim veličinama ROM i RAM memorije mogu se razlikovati u broju nožica, a samim tim i broju digitalnih i analognih linija. Sa druge strane, dva mikrokontrolera koji imaju isto kućište i hardverska proširenja, mogu se razlikovati samo u veličini ROM i RAM memorije. Posmatrajući proizvodni program nekih proizvođača, moglo bi se reći da se mikrokontroleri projektuju po principu Lego kockica.

Kao mikroprocesorsko jezgro mikrokontrolera koriste se kako CISC (*Complex Instruction Set Computer* – mikroprocesor koji u jednoj mašinskoj instrukciji izvršava jednu ili više osnovnih instrukcija, na pr. 8051), tako i RISC (*Reduced Instruction Set Computer* – u jednoj mašinskoj instrukciji se izvršava jedna osnovna instrukcija, na pr. Microchip) arhitekture. Takođe, programska memorija i memorija podataka mogu biti jedinstvene (*von Neumann*, na primer Motorola, 68HC11), ili razdvojene (*Harvard*, na primer 8051, Microchip). Kao glavni podatak koji se uvek daje uz mikrokontroler je broj bita (širina) memorije za podatke, pa je tako 8051 8-bitni mikrokontroler. Ako je arhitektura Harvard tipa, tada se daje i broj bita (širina) programske memorije. Na primer, Microchip ima 8-bitne mikrokontrolere sa programskom memorijom širine 12, 14 i 16 bita.

Zavisno od primene, na tržištu se mogu naći mikrokontroleri počevši od najjednostavnijih i u najmanjem pakovanju (8-bitni, samo 6 nožica), pa do vrlo složenih (16, 24, 32, 48, 64 bita), kao što su i mikrokontroleri specijalizovani za obradu audio, video i sličnih signala (*DSP – Digital Signal Processor*). Primeri korišćeni u ovom uputstvu se odnose uglavnom na jednostavnije varijante mikrokontrolera, pogotovo one koje se mogu naći na domaćem tržištu.

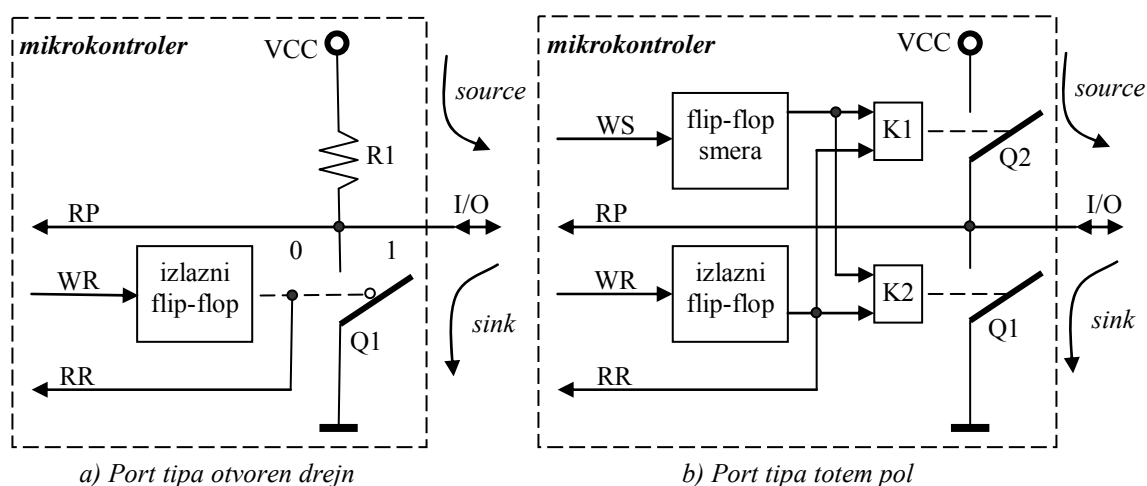
2. Hardversko povezivanje mikrokontrolera

Osnovni način povezivanja mikrokontrolera sa eksternim kolima je preko ulazno/izlaznih linija podeljenih po grupama (najčešće 8 linija u grupi), koje se obično nazivaju portovi. Kako je broj spoljašnjih fizičkih linija mikrokontrolera obično manji od ukupnog broja linija potrebnih za spoljašnje povezivanje svih internih hardverskih jedinica, ovi portovi su po pravilu multifunkcionalni i zavisno od konfiguracije preko internih registara, mogu imati različite namene. Iz ovoga se može zaključiti da nije moguće istovremeno korišćenje svih internih hardverskih kola, ili bar da nije moguće sva hardverska kola u potpunosti iskoristiti.

Među najčešćim perifernim uređajima koji se koriste u mikroprocesorskim i mikrokontrolerskim sistemima su displeji, tastature i serijski portovi. Svrha ovog teksta je upoznavanje studenata sa tipovima digitalnih ulaza i izlaza mikrokontrolera, kao i osnovnim načinima spajanja nekih perifernih kola kao što su 7-segmentni displeji i grupe tastera. Takođe, prikazani su neki standardni tipovi serijskog prenosa podataka.

2.1. Ulazno/izlazni portovi mikrokontrolera

Ulazno/izlazni portovi mogu biti realizovani na dva načina, kao otvoreni drejn (*Open Drain*, često se koristi izraz otvoreni kolektor – *Open Collector* – iako se danas koristi CMOS tehnologija), ili kao totem pol (odnosno *Push/Pull*). Pojednostavljeni šematski prikaz ova dva tipa portova dat je na slici 1. Na primer, mikrokontroleri iz familije 8051 koriste portove sa otvorenim drejnom, dok mikrokontroleri proizvođača Microchip koriste totem pol portove.



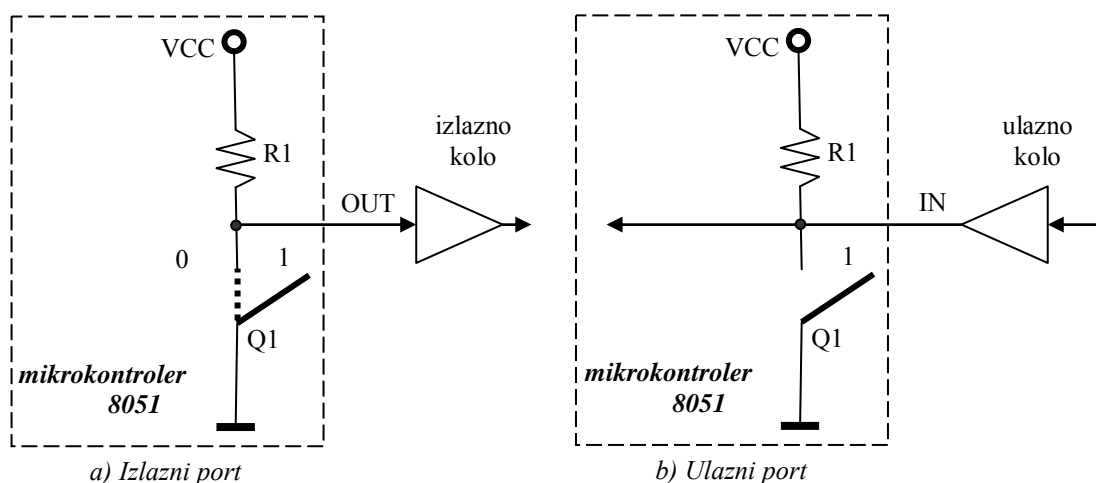
Slika 1: Ulazno/izlazni port mikrokontrolera

Oznake korišćene na slici su sledeće:

- WR – signal upisa u izlazni flipflop
- RR – signal čitanja stanja izlaznog flipflopa
- RP – signal čitanja stanja spoljašnje nožice porta
- WS – signal upisa u flipflop smera
- I/O – spoljašnja nožica porta
- Q1 – izlazni prekidački tranzistor, spojen prema masi
- Q2 – izlazni prekidački tranzistor, spojen prema napajanju
- R1 – ekvivalentni otpornik realizovan tranzistorom (ne postoji uvek)

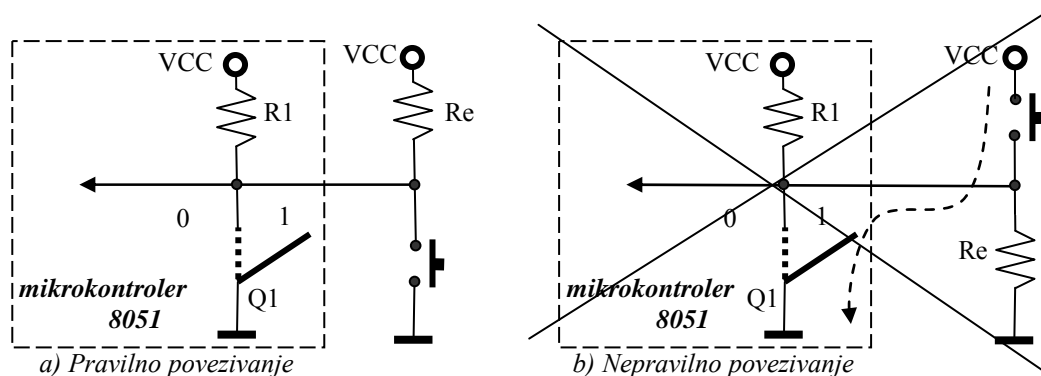
U varijanti porta sa otvorenim drejnom, slika 1a, mikrokontroler koristi tri kontrolne linije, RP, WR i RR. Izlazni flipflop, koji se kontroliše linijom WR, istovremeno se koristi za dve funkcije. Ako se u njega upiše logička nula, uključuje se izlazni tranzistor Q1 i spoljašnja I/O linija porta se dovodi takođe na logičku nulu. Međutim, ako se u flipflop upiše logička jedinica, izlazni tranzistor Q1 se isključuje, a logičku jedinicu na I/O liniji održava jedino otpornik R1. U ovom slučaju, spoljašnje kolo, priključeno na I/O liniju, može

forsirati logičku nulu ili logičku jedinicu, jer je I/O linija u stanju velike impedanse ($R1$ je tipično $50k\Omega$ za familiju 8051). To znači da logička jedinica na izlazu porta istovremeno označava i da je port ulazni. Na slici 2 su prikazani primeri za izlazni i ulazni port.



Slika 2: Izlazni i ulazni port sa otvorenim drejnom

Za ulazni port (slika 2b) važno je napomenuti da tranzistor Q1 ni u jednom trenutku ne sme biti uključen, jer to može izazvati kratak spoj ukoliko spoljašnje ulazno kolo daje logičku jedinicu. Ovo je posebno važno kada se na port priključuje prekidač ili taster. Na slici 3 su dati primeri ispravnog i neispravnog povezivanja tastera na port sa otvorenim drejnom:



Slika 3: Povezivanje tastera/prekidača na port sa otvorenim drejnom

Spoj tastera (ili prekidača) prema slici 3b je veoma loše rešenje iz sledećih razloga:

1. Postoji opasnost od direktnog kratkog spoja između napajanja i mase, kroz taster i tranzistor Q1 u slučaju neke softverske greške (isprekidana linija).
2. Mikrokontroleri iz familije 8051 imaju reset ciklus koji dovodi sve portove u stanje logičke jedinice. Međutim, od momenta uspostavljanja napajanja potrebno je izvesno vreme da proradi oscilator čiji je rad neophodan za reset sekvencu. Kako se svi izlazni flipflopovi po pravilu inicijalno postavljaju na logičku nulu, to znači da je nakon uključenja napajanja potrebno izvesno vreme pre nego što svi portovi budu isključeni, odnosno postavljeni na logičku jedinicu. Ako je, u ovom kritičnom periodu, taster pritisnut, dolazi do kratkog spoja i izlazni tranzistor Q1 može biti trajno oštećen.
3. Spoljašnji otpornik R_e prema masi mora biti znatno manje otpornosti nego interni otpornik $R1$ porta, da bi, pri isključenom tasteru, napon na razdelniku $R1-R_e$ bio znatno niži od najvišeg dozvoljenog nivoa za logičku nulu (oko $0.8V$).
4. Za mikrokontroler 8051 najčešće se koriste ulazni logički nivoi kompatibilni sa TTL kolima, što znači da je logička nula najviše $0.8V$, a logička jedinica najmanje $2V$. Kako je margina šuma za logičku nulu (oko $0.8V$) znatno manja od margine šuma za logičku jedinicu (oko $3V$), to znači da spoljašnje kolo treba da ima znatno manju otpornost prema masi nego prema napajanju. Za taster se

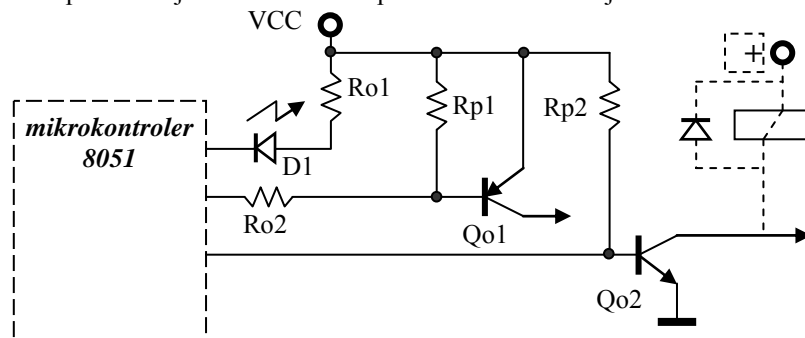
može smatrati da ima otpornost nula u pritisnutom stanju, zbog čega je očigledno bolje rešenje povezivanje tastera prema masi nego prema napajanju.

U spoju tastera prema masi (slika 3a) ne postoji mogućnost kratkog spoja, jer su jedina dva elementa sa malim otporom (taster i tranzistor Q1) vezani paralelno.

Iako 8051 ima interni (ekvivalentni) otpornik prema napajanju, obično se na liniju porta dodaje i spoljašnji otpornik (R_e), tipično reda $10k\Omega$, koji smanjuje uticaj smetnji na rad mikrokontrolera, jer ista smetnja (sa istom energijom) na manjem otporniku pravi manji pad napona, tako da je manja verovatnoća da visok logički nivo padne ispod minimalno dozvoljene vrednosti.

Pri povezivanju perifernih uređaja na izlazni port sa otvorenim drejnom treba imati u vidu da je struja koju port može dati od napajanja prema izlazu (*source current*) daleko manja od struje koju port može proguta prema masi (*sink current*), jer je otpornost uključenog izlaznog tranzistora Q1 mnogo manja od otpornosti ekvivalentnog otpornika R1. Zbog toga se, u okviru kataloških podataka mikrokontrolera, definiše samo maksimalna struja koju jedna linija porta može progutati. Osim toga, u katalogu se definiše ukupna struja 8-bitnog porta (uvek manja od 8 puta struja pojedinačne linije porta), kao i ukupna struja svih portova, takođe manja od proizvoda broja 8-bitnih portova i ukupne struje 8-bitnih portova. Na primer, ako je maksimalna struja pojedinačne linije porta 20 mA, ukupna struja jednog 8-bitnog porta može biti do 80 mA, a ukupna struja za četiri porta može biti do 160 mA. Ove numeričke vrednosti nisu pravilo i treba ih shvatiti samo uslovno.

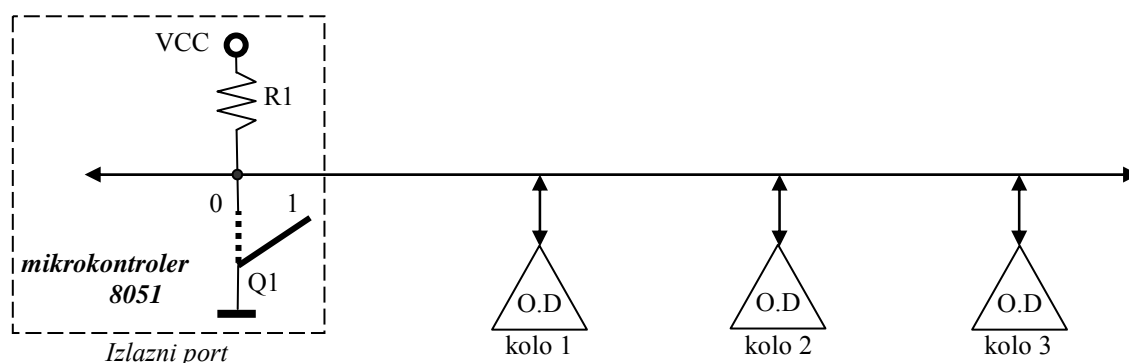
Neki primeri povezivanja izlaznih kola na port sa otvorenim drejnom su dati na slici 4.



Slika 4: Primeri spajanja izlaznih kola na port sa otvorenim drejnom

Zbog znatno boljih strujnih mogućnosti pri logičkoj nuli na izlazu porta, LED D1 je povezana prema napajanju, uz obavezni otpornik Ro1 za ograničenje struje. U primeru na slici 4 koristi se LED sa malom strujom (*Low Current LED*, oko 2 mA), što je u granicama raspoložive struje porta kod standardnog 8051. Drugi primer je povezivanje PNP tranzistora Qo1, koji se na port povezuje preko otpornika Ro2 (obavezno!), koji ograničava struju baze tranzistora, uz otpornik Rp1 čija je svrha ubrzanje isključenja Qo1 i povećanje margine smetnji invertora realizovanog tim tranzistorom. Treći primer prikazuje spajanje NPN tranzistora Qo2 (na pr. za pogon relea), za koji nije potreban redni otpornik prema portu, jer ne postoji potreba za ograničenjem struje baze (struja baze je određena paralelnom vezom otpornika Rp2 i internog otpornika R1 izlaznog porta, slika 1a; ovo je tzv. "direktna sprega" prekidača Q1 i Qo2). Otpornik Rp2 se dodaje radi povećanja struje baze Qo2, da bi se obezbedilo zasićenje ovog tranzistora. Važno je napomenuti da je nivo logičke jedinice u ovom slučaju oko 0.7V (napon baza-emiter), jer je baza Qo2 direktno spojena sa portom.

Port sa otvorenim drejnom može se koristiti i za dvosmerni rad, u vezi poznatoj kao ožičeno I (*Wired-And*). U ovom slučaju, na istu fizičku liniju povezuje se više uređaja, pri čemu svi moraju biti tipa otvoreni drejn (ili kolektor), kao na slici 5 (O.D. označava kolo sa otvorenim drejnom/kolektorom). Ukoliko sva kola priključena na liniju porta (uključivši i mikrokontroler) postavljaju na svoje izlaze logičku jedinicu (odnosno isključe svoje ekvivalentne Q1 tranzistore), tada će se na liniji pojaviti logička jedinica, koju obezbeđuje otpornik R1 (eventualno više otpornika paralelno). Ako bilo koje kolo na liniju postavi logičku nulu (odnosno uključi svoj ekvivalentni prekidač Q1 prema masi), tada se linija nalazi u stanju logičke nule. Ovo je ekvivalentno ponašanju logičkog I kola, pa odatle i naziv ovog načina povezivanja.



Slika 5: Povezivanje više kola po metodi ožičeno 1

Portovi sa totem polom imaju dva flipflop (slika 1b). Jedan flipflop ima istu funkciju kao i kod porta sa otvorenim drejnom, on određuje logičko stanje izlaza. Drugi flipflop određuje način rada, odnosno da li je port ulaznog ili izlaznog tipa. Logičke kapije K1 i K2 upravljaju tranzistorskim prekidačima Q1 i Q2, na osnovu stanja oba flipflopa. Ako je smer porta ulazni, tada su oba tranzistora isključena, a port se nalazi u stanju visoke impedanse. U slučaju izlaznog porta, jedan od dva tranzistora je uključen, zavisno od stanja izlaznog flipflopa. Za kontrolu smera porta koristi se dodatni flip flop sa pripadajućim kontrolnim signalom WS. Zavisno od tipa/familije mikrokontrolera, logička jedinica flipflopa smera može da znači ulazni ili izlazni tip porta, sto je uvek dato u kataloškim podacima proizvođača.

Glavna osobina porta sa totem polom je veća struja koju port može dati (od napajanja prema izlazu). Slično kao i kod porta sa otvorenim drejnom, definiše se maksimalna struja jedne linije porta, jednog 8-bitnog porta i svih portova zajedno, ali u ovom slučaju se to odnosi kako na izlaznu (*source*), tako i na ulaznu (*sink*) struju.

Za razliku od reset ciklusa kod mikrokontrolera iz familije 8051, kada se svi portovi postavljaju na logičku nulu u momentu uspostavljanja napajanja, a tek nakon izvesnog vremena budu postavljeni na logičku jedinicu (što znači da su kratkotrajno izlazni), mikrokontroleri sa totem pol portovima po pravilu nemaju ovaj problem, jer je inicijalno stanje flipflopa smera porta takvo da se portovi odmah postavljaju kao ulazni, u stanje visoke impedanse. Zbog toga ovde nije kritičan način povezivanja spoljašnjih kola niske otpornosti (tasteri, prekidači), pod uslovom da je softverski obezbeđeno održavanje ulaznog tipa porta. Ipak, i ovde postoje razlozi za povezivanje ovakvih komponenti prema masi, a ne prema napajanju:

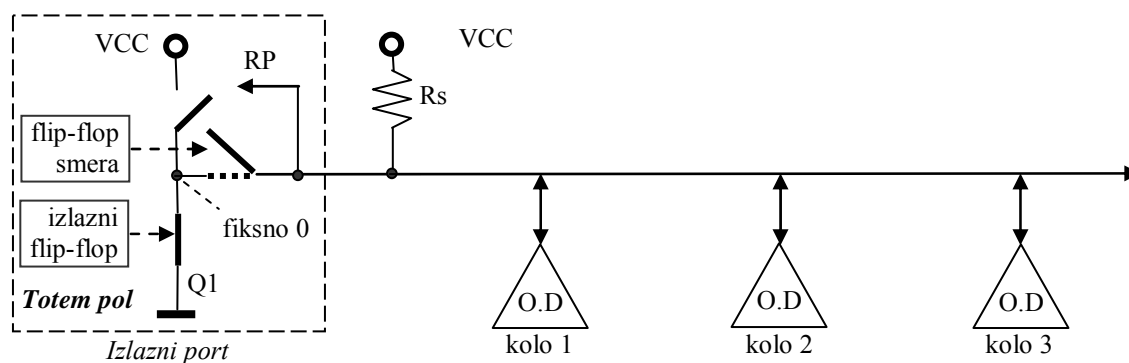
- Kada margine šuma za logičku nulu i jedinicu nisu iste (TTL ulazni nivoi).
- Za povezivanje tastera/prekidača potrebne su dve linije, jedna prema portu mikrokontrolera i druga prema masi ili prema napajanju (zavisno od načina povezivanja). Razvođenje veze mase je svakako manje kritično, jer eventualni kratak spoj sa metalnim delovima uređaja neće napraviti štetu, pogotovo ako su i ovi metalni delovi povezani sa masom. Razvođenje napajanja je svakako lošije rešenje, iako ovde nije u pitanju mogućnost oštećenja izlaznog tranzistora porta, nego je pre reč o potencijalnom kratkom spoju napajanja.

Kada je reč o povezivanju izlaznih kola na port sa totem polom, način povezivanja zavisi od strujnih mogućnosti porta, odnosno od toga koja je struja veća, izlazna (*source*) ili ulazna (*sink*). Preporučljivo je korišćenje logičkog nivoa koji obezbeđuje veću struju, ali treba uzeti u obzir i način povezivanja izlaznog kola, odnosno dužinu i vrstu veza prema izlaznom kolu (da li se vodi napajanje ili masa). U primeru sa slike 4, ovde je LED moguće povezati i prema masi, dok se tranzistor Qo2 povezuje slično tranzistoru Qo1, sa rednim otpornikom na izlazu porta, ali uz bazno-emiterski otpornik vezanim prema masi.

Za oba tipa izlaznog stepena porta, otvoreni drejn i totem pol, od posebnog značaja su mogućnosti i načini softverskog pristupa portu. Ako se pogleda slika 1, uočljivo je da za upis izlaznog stanja porta postoji samo jedan signal, WR. Na slici 1b postoji dodatni signal WS, ali on određuje smer porta, a ne izlazno stanje. Međutim, za čitanje stanja porta postoji dva signala, RR za čitanje stanja izlaznog registra (flipflopa) i RP za čitanje stanja spoljašnje, fizičke linije porta. Razlog postojanja ovih signala krije se u softverskom modelu portova. Naime, kako su svi kontrolni registri za rad sa internim hardverom mapirani u okviru memorijskog prostora mikroprocesorske jedinice, širina (broj bita) ovih registara je određena brojem bita jedne reči

memorije u koju su registri mapirani, što je obično 1, 2 ili 4 bajta, odnosno 8, 16 ili 32 bita (u daljem tekstu, radi jednostavnosti, podrazumevaće se rad sa 8-bitnim mikrokontrolerima). Zbog toga se svim bitima jednog registra mora pristupiti istovremeno, čitanjem ili upisom jedne reči, širine jednog bajta. Ako su sve linije 8-bitnog porta deklarirane kao ulazne ili izlazne, tada se vrši samo čitanje (ulaza) ili upis (izlaza), po pravilu jednom mašinskom instrukcijom. Međutim, ako je port kombinovano podešen, odnosno jedan deo porta je ulazni, a drugi izlazni, tada se može postaviti pitanje sadržaja pročitane reči sa porta. Ovo je posebno izraženo kod portova sa otvorenim drejnom (slika 1a), gde logička jedinica na izlazu porta istovremeno označava ulazni port. Problem nastaje kada se pročita stanje porta (RR), a zatim se isti sadržaj upiše u registar porta (WR). Ako je periferna jedinica, koja je spojena na neku ulaznu liniju porta, u momentu čitanja porta forsirala logičku nulu, tada će ta nula biti i pročitana. Kada se isti (pročitani) sadržaj vrati na port, ova logička nula će se pojaviti na do tada ulaznoj liniji i ta će linija postati izlazna, što će potpuno blokirati rad ove linije kao ulazne. Ovaj problem se može eliminisati ako se za čitanje izlaznog porta koristi signal RR, a ne RP. Kako se čitanjem izlaznog flipfopa (RR) ne može dobiti stanje ulaznih linija, uvodi se pojam instrukcija koje modifikuju port u jednoj mašinskoj instrukciji (*Read-Modify-Write*, pročitaj-promeni-upiši). Neki primeri instrukcije ovog tipa su postavka (SETB P1.2), brisanje (CLR P1.2) ili inverzija (CPL P1.2) jednog bita porta. Instrukcije iz ove kategorije čitaju stanje izlaznih registara (RR), a ne stanje fizičkih linija porta, dok sve ostale instrukcije, čitaju stanje fizičkih linija porta (RP). Ako instrukcija **RMW** tipa nije primenljiva, ona se može zameniti sledećim nizom instrukcija: čitanje porta, promena odgovarajućih bita koji pripadaju izlazima, postavka svih bita ulaznog tipa na logičku jedinicu i upis dobijene reči na port. U ovom slučaju, korak u kome se ulazni biti pročitane reči forsiraju na logičku jedinicu, obezbeđuje da ulazne linije i dalje ostanu ulazne.

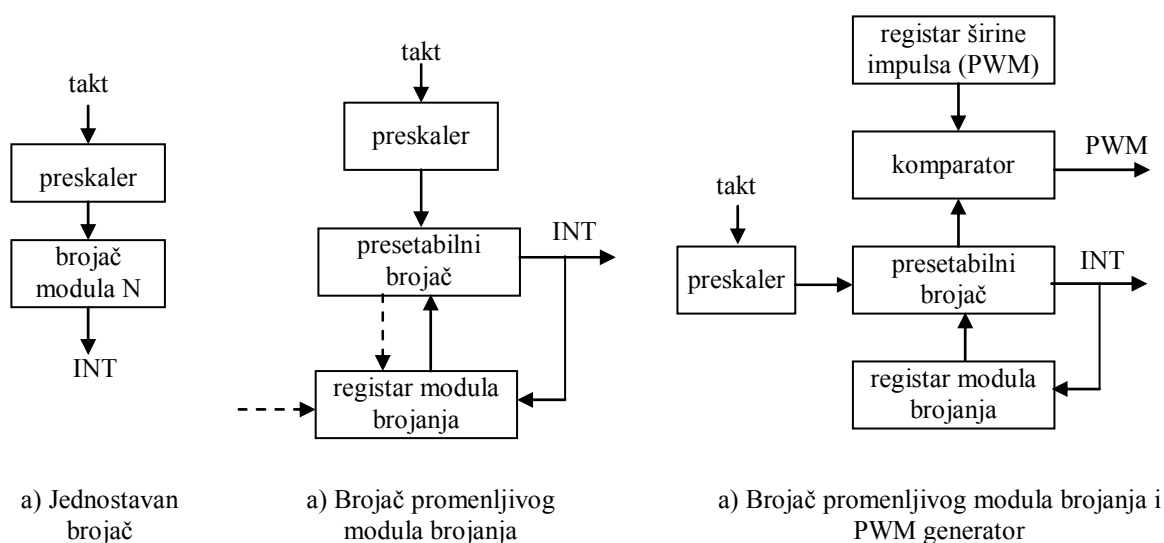
Isti princip softverskog pristupa portovima koristi se i za portove tipa totem pol, iako ovde ne postoji problem promene smera porta sa ulaznog na izlazni. Naime, čitanjem porta i ponovnim upisom pročitane reči na port, stanje fizičkih linija se upisuje u izlazne flipfopove. Kako ovi flipfopovi ne mogu da utiču na stanje fizičke linije definisane kao ulaz, jedina promena će biti u stanju izlaznog registra, ali ne i na fizičkim linijama. Problem, ovoga puta manji, nastaje ako se namena porta dinamički menja između izlaznog i ulaznog tipa, pri čemu je potrebno zadržavati sadržaj izlaznih flipfopova. Dobar primer je simulacija izlaza tipa otvoren drejn pomoću izlaza tipa totem pol. Na slici 6 prikazana je blok-šema, koja u električnom smislu nije potpuno tačna, ali funkcionalno dobro opisuje način rada. U ovom slučaju izlazni flipflop se trajno drži u stanju logičke nule, a stanje fizičke linije porta se određuje flipfopom smera porta. Ako se smer podesi kao izlazni, tada se na izlazu pojavljuje logička nula kao posledica stanja izlaznog flipfopa. Kada se smer podesi kao ulazni, tada je izlazni stepen isključen i jedino spoljašnji otpornik, povezan prema napajanju, definiše logičku jedinicu. Ovakvo ponašanje u potpunosti odgovara ponašanju porta sa otvorenim drejnom i često se koristi u povezivanju po principu ožičeno I.



Slika 6: Totem pol port kao port sa otvorenim drejnom

2.2. Brojači i tajmeri

Imajući u vidu namenu mikrokontrolera, praktično je nemoguće zamisliti mikrokontroler koji nema neki pogodan način za precizno merenje vremena. Za ove svrhe se koriste brojači u najrazličitijim konfiguracijama, pri čemu se koriste interni ili eksterni izvori takta. Ukoliko je takt interni, brojač postaje tajmer, jer se ovaj takt dobija iz glavnog oscilatora, većinom kristalnog. Primer generičkog tajmera/brojača prikazan je na slici 7.



Slika 7: Neke varijante brojača/tajmera mikrokontrolera

Preskaler nije uvek prisutan, a ako postoji, obično ima jedan ili nekoliko fiksnih faktora deljenja. Brojač može imati fiksno (2^N) ili varijabilan/programabilan moduo deljenja. Prekoračenje opsega brojanja je obično praćeno signalom prekida, što se koristi za generisanje preciznih vremenskih intervala. Uz brojač mogu postojati dodatni registri namenjeni za različite svrhe.

Najjednostavnija varijanta brojača/tajmera je prikazana na 7a). Ovde se brojač koristi u varijanti tajmera, sa fiksnim modulom brojanja (na primer 1:256), uz vrlo malo mogućnosti programiranja. Ako postoji, preskaler obično može da deli ulaznu frekvenciju sa nekoliko faktora, uglavnom sa vrednostima 2^N , na primer 1, 2, 4, 8, 16, 32. Neki kontroleri, koji imaju ovakav tajmer, nemaju čak ni mogućnost generisanja prekida pomoću tajmera, ali je tada obično moguće čitanje trenutnog stanja brojača, što se može iskoristiti za približno određivanje vremenskih intervala. Primeri ovakvih brojača mogu se naći u najjednostavnijim mikrokontrolerima proizvođača Microchip.

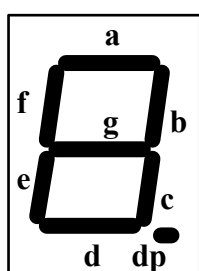
U varijanti 7b), brojač može da radi kao delitelj sa programabilnim faktorom deljenja, za šta se koristi dodatni registar modula brojanja. Svaki put kada dođe do prekoračenja opsega brojača, sadržaj dodatnog registra se prebacuje u glavni brojač, koji ovu vrednost koristi kao početnu. Ako brojač broji na gore, tada se može smatrati da je vrednost u registru modula brojanja u stvari negativna vrednost intervala brojanja, izražena u taktovima brojača. Svaki prelaz u stanje 0 (sa 111...111 na 000...000), osim ponovnog punjenja brojača, generiše i signal prekida mikrokontrolera, koji se ponavlja u programabilnom vremenskom intervalu. Ako se registar modula brojanja ne koristi, u potprogramu za obradu prekida brojač se može napuniti programski, čime se takođe dobija programabilan vremenski interval, koji u ovom slučaju nije potpuno precizan, zbog promenljivog vremena odziva na prekid. Vrlo često, dodatna mogućnost ovakvih brojača je prebacivanje sadržaja brojača u pomoćni registar (*capture režim*). Ovo 'hvatanje' stanja brojača se obično vezuje na spoljašnji događaj preko ulaznog porta i može se iskoristiti za merenje trajanja spoljašnjih signala. Primeri ovakvih brojača/tajmera se mogu naći u mikrokontrolerima iz familije 8051.

Brojački sklop sa slike 7c), uz sve mogućnosti kao i varijanta pod 7b), ima mogućnost generisanja programabilnog PWM signala (*Pulse-Width Modulation*, impulso-širinska modulacija). Ova mogućnost se dobija pomoću dodatnog PWM registra i digitalnog komparatora. U toku jedne periode brojanja (što je perioda PWM signala), koji se podešava registrom modula brojanja, komparator generiše određeni logički nivo (na primer visok nivo) sve dok brojač ne dostigne vrednost u PWM registru. Od tog momenta pa sve do kraja intervala, izlazni signal komparatora generiše suprotan logički nivo (na primer nizak nivo). Promenom sadržaja PWM registra, perioda (kao i učestanost) izlaznog signala ostaje ista, ali se menja trajanje aktivnog logičkog nivoa, odnosno faktor ispune izlaznog signala. Ako se ovakav PWM signal propusti kroz niskopropusni filter, dobija se analogni signal proporcionalan faktoru ispune, što se može iskoristiti kao jednostavan D/A konvertor. Primeri brojača/tajmera koji mogu da generišu PWM signal mogu se naći u većini današnjih mikrokontrolera (varijante 8051, mikrokontroleri proizvođača Microchip, Atmel itd.).

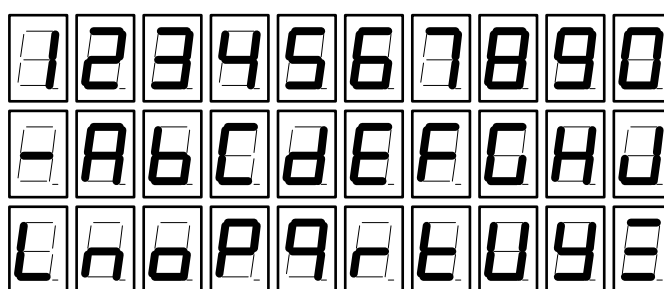
Jedna posebna varijanta tajmera su *Watch Dog* tajmeri. Ovakav tajmer se ponaša kao retrigerabilni monostabilni multivibrator, koji hardverski resetuje mikrokontroler ukoliko se ne osveži u određenom vremenskom intervalu. Svrha ovog tajmera je zaštita od pogrešnog izvršavanja programa, do koga može doći iz bilo kog razloga (greška u programu, uticaj smetnji). Softverski, instrukcije za osvežavanje ovog tajmera postavljaju se na mesta u programu kroz koja program mora redovno da prolazi, ukoliko nema nikakvih grešaka zbog kojih je zaštita i postavljena. *Watch Dog* tajmer (ili WDT) se najčešće programira fiksno, tako da ni jedna instrukcija programa ne može da ga uključi ili isključi, odnosno da promeni podešeni vremenski interval. Pri podešavanju ovog tajmera obično je vrlo malo mogućnosti na raspolaganju, što je i razumljivo s obzirom na njegovu svrhu.

2.3. Povezivanje 7-segmentnih LED displeja

Izgled 7-segmentnog displeja dat je na slici 8a. Iako je ovakav displej namenjen prvenstveno za prikaz cifara, na njemu je moguće prikazati i određeni broj slova, kao i neke posebne simbole, kao na slici 8b.



a) Izgled 7-segmentnog displeja



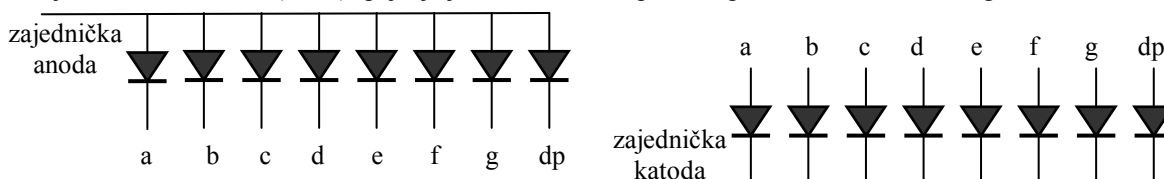
b) Izgled cifara i nekih slova i simbola koji se mogu prikazati na 7-segmentnom displeju

Slika 8: 7-segmentni displej

Osim 7 osnovnih segmenata koji se označavaju slovima 'a' do 'g', svaki displej ima i decimalnu tačku 'dp', pa je stvaran broj svetlećih elemenata 8. Ukoliko je na ovakvom displeju potrebno prikazivati znake koji nisu samo cifre, tada se mora predvideti povezivanje svakog pojedinačnog segmenta na mikrokontroler. Međutim, ako su dovoljne standardne cifre, broj linija povezivanja može smaniti na 4, korišćenjem dekodera 4/7seg, koji 4 ulazne linije konvertuje u 7-segmentne cifre. Neki tipovi ovakvih dekodera podržavaju i heksadecimalni prikaz, odnosno 10 standardnih cifara i slova 'A' do 'F'.

Pasivni LED displeji se proizvode u dve varijante, sa zajedničkom anodom i sa zajedničkom katodom (slika 9). Osim pasivnih, postoje i aktivni displeji sa ugrađenim dekodernima, ali se oni ređe koriste i ovde neće biti razmatrani. Kako su pasivni displeji u suštini grupa LED elemenata, sve što se u daljem tekstu odnosi na displeje direktno je primenljivo i na pojedinačne LED ili LED grupe. Direktno spajane jedne ili više LED na mikrokontroler (naravno, preko otpornika, kao na slici 4), moguće je samo uz poštovanje maksimalno dozvoljene struje porta mikrokontrolera.

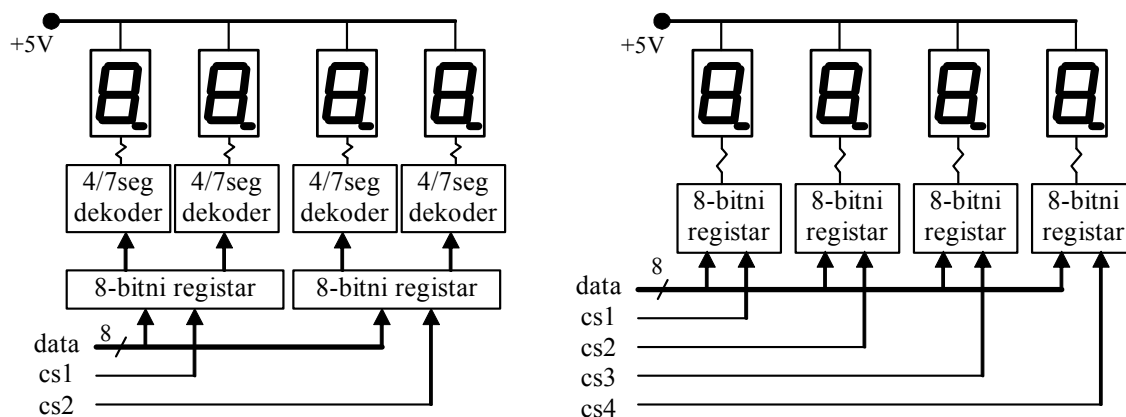
Zavisno od broja cifara 7-segmentnih displeja i znakova koje treba prikazivati, povezivanje ovih komponenti moguće je na više načina, kao što su paralelni, redni i multipleksni. U navedenim primerima korišćeni su displeji sa zajedničkom anodom ('CA'), kada se segment aktivira logičkom nulom. Za displeje sa zajedničkom katodom ('CC') spajanje je slično, ali sa suprotnim polaritetima odnosno logikom.



Slika 9: Displeji sa zajedničkom anodom i katodom

2.4. Paralelno povezivanje 7-segmentnih displeja

Osnovna metoda paralelnog povezivanja displeja podrazumeva upravljanje displejem preko registara, slike 10a i 10b. Na ovim slikama 8-bitni registri mogu biti posebna kola, ali i portovi kontrolera, pri čemu u drugom primeru treba voditi računa o maksimalnoj struji priključaka portova. Na slici, izlomljenje linije ispod displeja označavaju obavezne redne otpornike za ograničenje struje svakog segmenta displeja.



a) Povezivanje preko 7-segmentnog dekodera

b) Povezivanje za punu kontrolu svih 8 segmenata

Slika 10: Paralelno povezivanje 7-segmentnih displeja

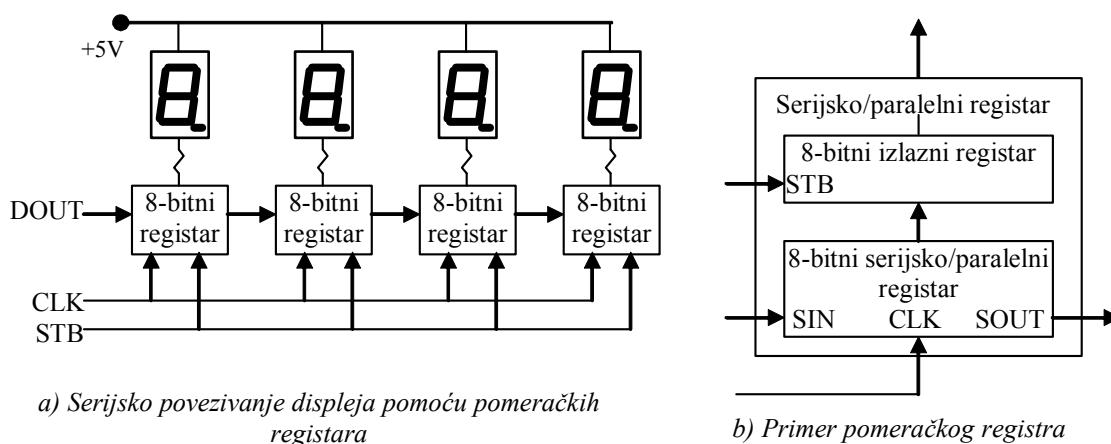
U prvom primeru, na 8-bitne registre su priključeni 4/7 segmentni dekodera, koji se mogu primenjivati uglavnom samo za brojevi prikaz zbog najviše 16 mogućih kombinacija segmenata, dok se u drugom primeru mogu postići potpuno proizvoljni simboli (svih 256 segmentnih kombinacija). Upis u registre (ako se koriste posebna kola) vrši se preko kontrolnih linija *cs1..cs4*, podacima preko magistrale podataka *data*. Minimalan broj fizičkih linija je 8+broj registara, pri čemu se broj linija *cs* može malo smanjiti korišćenjem dodatnog dekodera. Prednost ovakvog načina povezivanja je u vrlo brzom pristupu pri promeni sadržaja displeja, uz kontinualnu struju kroz LED segmente, sa retkim strujnim impulsnim udarima samo u momentima promene sadržaja, dok je mana veći broj fizičkih linija koje je potrebno provlačiti do svih registara, kao i veći broj otpornika segmenata. Primer registarskih kola koja se ovde mogu koristiti su 573 i 574 iz familija 74LS/HC/HCT.

U oba načina povezivanja, registri mogu biti mapirani u eksterni adresni memorijski prostor i tada signali *cs1..cs4* moraju biti generisani preko adresnog dekodera i signala upisa. Ako se sve kontrolne linije povežu na portove mikrokontrolera, tada se upis u registre vrši softverskim podešavanjem ovih linija.

Prikazani displeji koriste zajedničku anodu, a segmenti se aktiviraju logičkom nulom. Svakako, moguća je i primena displeja sa zajedničkom katodom (aktiviranje logičkom jedinicom), uz izbor odgovarajućih dekodera/registara.

2.5. Redno (serijsko) povezivanje 7-segmentnih displeja

U ovom načinu povezivanja displeja koriste se serijsko/paralelni pomerački registri, kao što je prikazano na slici 11a, dok je na slici 11b dat primer odgovarajućeg kola. Sa svega tri fizičke linije moguće je kontrolisati veći broj displeja, ulančavanjem serijsko/paralelnih pomeračkih registara. Preko DOUT se prenose podaci, sinhrono sa taktom CLK. Kada se svi pomerački registri napune, tada se signalom STB sadržaj pomeračkih registara prebacuje u izlazne registre svih kola od jednom. Ova vrsta sinhrona komunikacije je u skladu sa SPI sinhronim serijskim protokolom (poglavlje 2.11.3) i može se veoma jednostavno implementirati, bez obzira da li primenjeni mikrokontroler ima ili nema odgovarajuću hardversku jedinicu. Prednost ovog načina povezivanja je u vrlo malom broju fizičkih linija kojima se pomerački registri povezuju, dok je mana sporije upravljanje displejima nego kod paralelnog povezivanja.

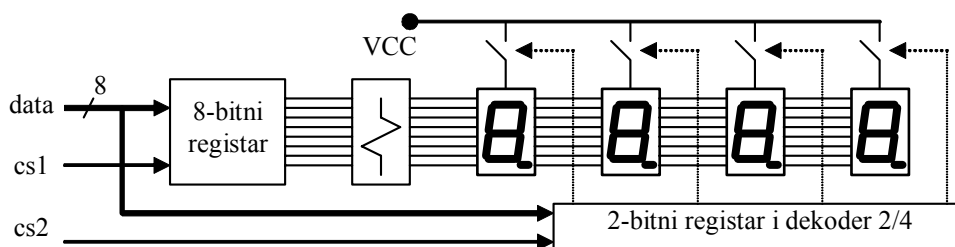


Slika 11: Redno povezivanje 7-segmentnih displeja

Ako mikrokontroler hardverski podržava SPI protokol, tada brzina ne mora da predstavlja problem i usporenje u odnosu na paralelnu vezu postaje zanemarljivo. Kao i kod paralelnog povezivanja, i ovde se radi sa kontinualnim strujama i retkim strujnim impulsima u momentima promene sadržaja displeja. Primer pomeračkih registara koji se ovde mogu koristiti su 4094 iz familije 4000 ili 74HC/HCT, kao i 595 iz familija 74LS/HC/HCT, a izbor zavisi od strujnih potreba displeja.

2.6. Multipleksno povezivanje 7-segmentnih displeja

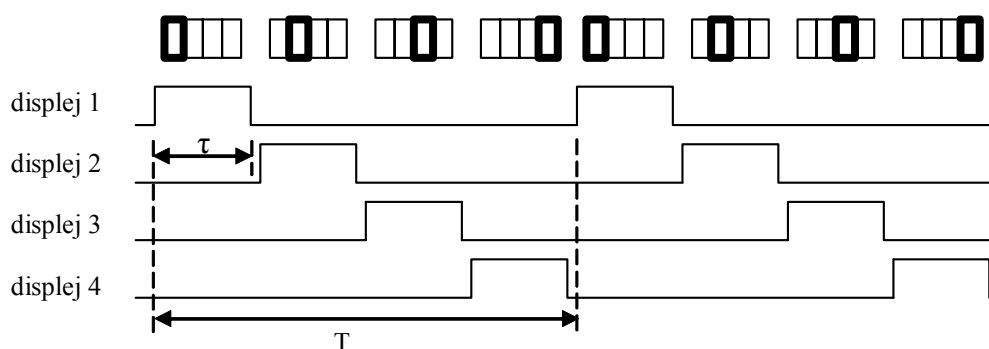
Multipleksno povezivanje displeja podrazumeva povezivanje elemenata displeja u matricu, kao što je prikazano na slici 12. U ovom primeru su takođe primenjeni displeji sa zajedničkom anodom.



Slika 12: Multipleksno povezivanje 7-segmentnih displeja

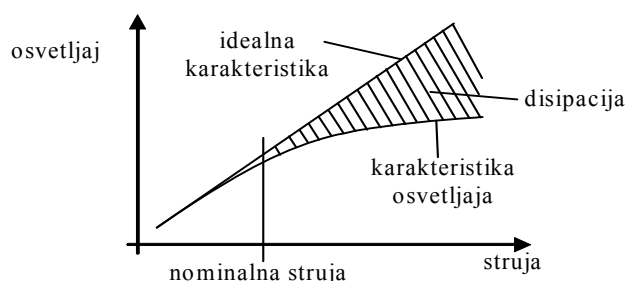
Katode svih 'a' segmenata su vezane zajedno na prvu izlaznu liniju 8-bitnog registra, katode svih segmenata 'b' na drugu itd. Veza sa 8-bitnim registrom je ostvarena preko otpornika za ograničavanje struje (prikazano kao pravougaonik sa izlomljenom linijom). Anode pojedinačnih displeja se vezuju preko tranzistorskih prekidača na napajanje, pri čemu ni u jednom momentu nije uključeno više od jednog prekidača. Ako je jedan prekidač uključen, odgovarajući displej je aktivan, a svetle oni segmenti displeja čija se katoda (preko otpornika) nalazi na logičkoj nuli izlaza 8-bitnog registra. Brzim naizmeničnim uključivanjem jednog po jednog displeja stiže se utisak kontinualnog rada svih displeja.

Vremenski dijagram uključivanja displeja prikazan je na slici 13. Na slici se vidi i kratka pauza između dva uključivanja, koja je potrebna radi pouzdanog isključivanja prekidačkih tranzistora a time i gašenja aktivnog displeja pre nego što se sadržaj 8-bitnog registra promeni u vrednost potrebnu za naredni aktivni displej. Ova pauza između dva aktiviranja koristi se za promenu sadržaja 8-bitnog registra. Treba napomenuti da je i ovde moguće oba prikazana registra puniti paralelno i serijski, ali se češće primenjuje paralelni način.



Slika 13: Vremenski dijagrami multipleksnog načina rada

Osnovni problem ovog načina vezivanja displeja je što displeji rade u impulsnom režimu, pri čemu se pojedini segmenti napajaju impulsnom strujom I_{max} , odnosno srednjom strujom $I_{max} * 1 / N$, gde je N broj displeja. Da bi se ostvarila ista srednja (nominalna) struja kao kod paralelnog i serijskog načina povezivanja, struja svakog segmenta I_{max} mora biti N puta veća od zahtevane srednje struje.



Slika 14: Karakteristika LED diode

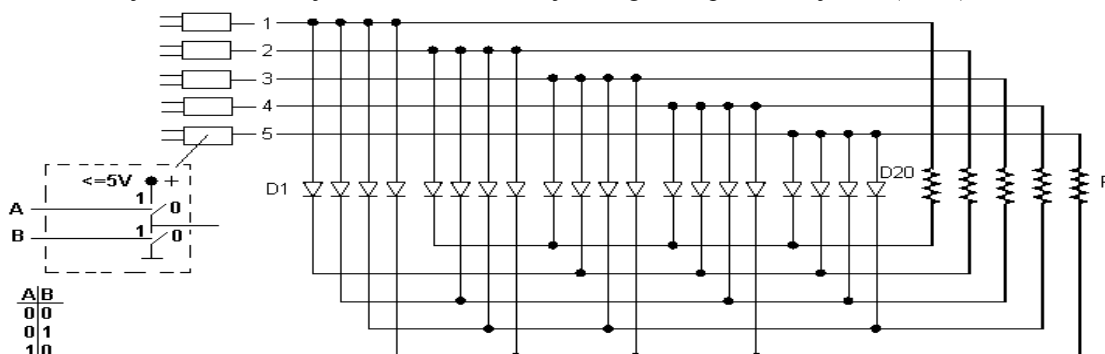
Ako u toku rada dođe do blokade multipleksa tako da jedan displej ostane uključen, velika je verovatnoća uništenja aktivnih segmenata tog displeja, jer je struja segmenta u ovom načinu rada znatno iznad najveće dozvoljene struje za kontinualni režim rada, zbog čega je i znatno veća disipacija na diodi.

Dodatni problem stvara karakteristika LED segmenta zbog svoje nelinearnosti (slika 14), jer pri povećanju struje preko maksimalne dozvoljene trajne vrednosti sve više raste disipacija, a sve manje osvetljaj, odnosno opada efikasnost diode. Na primer, za trajnu nominalnu struju od 20 mA, ako se pri faktoru ispune 1/8 (za 8 displeja) koristi struja od 80 mA po segmentu, osvetljaj displeja će odgovarati kontinualnoj struji od oko 7 mA, a ne 10 mA ($80 \text{ mA} / 8$), kao što bi se moglo očekivati.

U datom primeru (80 mA po segmentu), ukupna struja za displej kome su svi segmenti aktivni je 640 mA. Brze promene multipleksa mogu zbog toga da izazovu česte promene opterećenja napajanja i znatnije impulsne smetnje, pa je potrebno voditi računa o pravilnoj blokadi napajanja i načinu razvođenja veza napajanja i mase.

Prednost ovog načina povezivanja je u srednjem broju fizičkih linija i malom broju potrebnih kola, kao i u malom broju ograničavajućih otpornika (samo 8). Takođe, u ovoj varijanti mikrokontroler mora konstantno periodično da osvežava displej (uobičajeno pod prekidom), za razliku od jednokratnog upisa kao kod prethodnih varijanti, ali to može biti i prednost, jer je pojedinačni pristup (jedno aktiviranje) brz i vrlo malo vremenski opterećuje mikrokontroler. Kako spoljašnji 8-bitni registar u svakom trenutku sadrži podatak samo za jednu cifru displeja, u internoj memoriji mikrokontrolera mora postojati potpuna slika kompletnog displeja, na osnovu koje se vrši periodičan ispis pojedinih simbola. Kao što je rečeno, rad multipleksa se izvodi pod prekidom i nije vezan za funkcije koje manipulišu sadržajem displeja i koje direktno rade samo sa internom slikom sadržaja displeja. Osim toga, nikakvo drugo osvežavanje eksternih kola nije potrebno, što je inače obavezno u slučaju paralelnog (ili rednog) povezivanja displeja.

Jedan interesantan način multipleksnog povezivanja LED matrice (primenljivo na 7-segmentne displeje), poznat pod nazivom *Charlieplexing* (dizajner Charlie Allen, Maxim), prikazan je na slici 15. Ovaj metod obezbeđuje minimalan broj fizičkih veza – N linija omogućava povezivanje $N * (N - 1)$ elemenata.

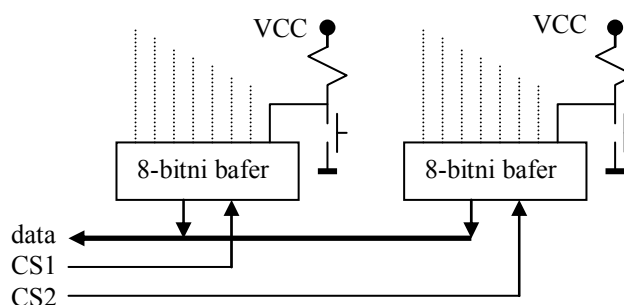


Slika 15: Charlieplexing metoda multipleksnog povezivanja displeja

Pri projektovanju multipleksnog povezivanja displeja i LED matrica, potrebno je konsultovati podatke proizvođača ovih komponenti, radi pravilnog određivanja maksimalne (impulsne) struje I_{max} , vremena uključenosti pojedinačnog displeja (τ na slici 13), kao i faktora ispune (τ/T).

2.7. Paralelno povezivanje tastature

Paralelno spajanje tastature se realizuje slično paralelnom spajanju displeja, sa tom razlikom što se podatak o stanju čita a ne piše, slika 16. Umesto registara koriste se baferi, čiji se sadržaj čita odgovarajućim signalima CS1 i CS2. Kako su tasteri spojeni prema masi, pročitana logička nula znači da je taster pritisnut.



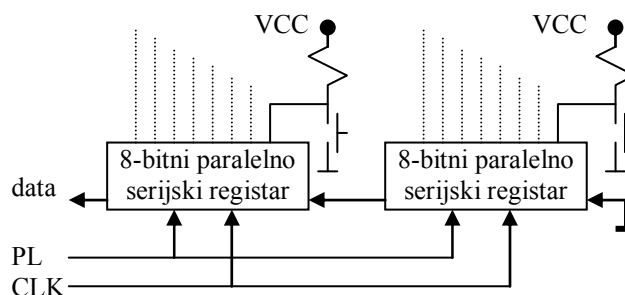
Slika 16: Paralelno spajanje tastature

Ako se umesto običnih bafera koriste invertori, tada logička jedinica označava pritisnut taster. Ukoliko na mikrokontroleru postoji dovoljno slobodnih priključaka, baferi nisu neophodni i može se izvršiti direktno spajanje. Prednost ovog načina spajanja je vrlo brzo čitanje, a mana je veći broj linija spajanja sa mikrokontrolerom. Kola koja se mogu koristiti za baferne su na primer 541 iz familija 74LS/HC/HCT, a za invertore 540 iz istih familija.

2.8. Redno (serijsko) povezivanje tastature

Za serijsko povezivanje tastature koriste se takođe pomerački registri, ali paralelno/serijskog tipa, kao na slici 17. Slično povezivanju displeja, i ovde su dovoljne tri fizičke linije. Signal **PL** se koristi za učitavanje stanja tastera u pomerački registar, preko **data** se dobijaju podaci o stanju tastera, taktovano signalom **CLK**. Mali broj fizičkih linija je istovremeno i velika prednost ovog načina spajanja, uz manu sporijeg pristupa stanjima svim tastera. Imajući u vidu da realno ne postoji potreba brzog pristupa, može se reći da ova je mana često zanemarljiva. Ipak, ovaj način se ne koristi često, jer se za mali broj tastera koristi paralelni način sa direktnim spajanjem (bez dodatnih kola), dok se za veći broj tastera uglavnom koristi multipleksni način spajanja. Kao primeri kola koja se ovde mogu primeniti su standardni pomerački registri 165 i 166 iz familija 74LS/HC/HCT.

Kod rednog povezivanja tastature i displeja mogu se koristiti i I2C (poglavlje 2.11.5) ekspanderi (poglavlje 2.12), ali se to ređe koristi.

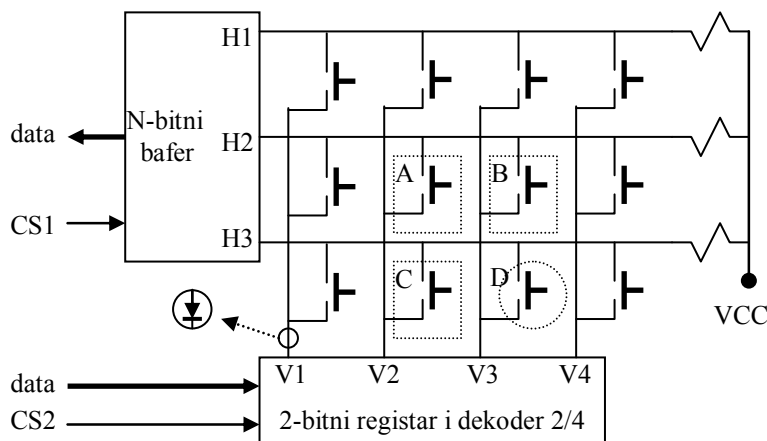


Slika 17: Serijsko povezivanje tastature

Treba napomenuti da se u oba prethodna načina spajanja (paralelni i serijski) dobija podatak koji je jednoznačan, odnosno stanje koje se pročita u potpunosti odgovara stvarnom stanju tastature, što znači da ne postoje nikakva ograničenja u broju istovremeno pritisnutih tastera. Ovo omogućava da se potpuno slobodno kombinuju tasteri, prekidači, ali i neki drugi elementi kao što su optokapleri, pa u krajnjem slučaju i standardni digitalni ulazi, jer svaki pročitani bit tačno odgovara samo jednoj fizičkoj ulaznoj liniji u bafer odnosno pomerački registar.

2.9. Multipleksno povezivanje tastature

Multipleksni način povezivanja tastature je verovatno najčešći zbog malog broja dodatnih kola koja su potrebna za njegovu realizaciju. Kao što se vidi na slici 18, tasteri se spajaju u matricu NxM formata, koja kao rezultat ima N+M fizičkih linija. Ove linije su podeljene u dve grupe, M vertikala V i N horizontala H.



Slika 18: Multipleksno povezivanje tastature formata 3x4

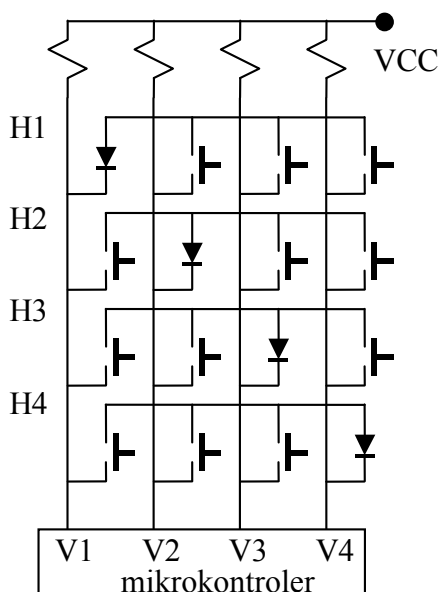
Vertikale se spajaju na izlaze dekodera tipa otvorenog drejna (kolektora), tako da je od svih vertikala u uvek samo jedna aktivna, i to na logičkoj nuli. Ova vertikala aktivira N tastera koji su na nju spojeni i daje im mogućnost da odgovarajuću horizontalu na koju su spojeni dovedu takođe na logičku nulu. Sve horizontale su spojene preko otpornika na napajanje, tako da horizontala na kojoj taster nije pritisnut, ostaje u stanju logičke jedinice. Kada se izvrši čitanje horizontalnih linija za sve pojedinačne vertikale, dobija se kompletna mapa stanja tastera. Ako dekodera nema izlaze tipa otvorenog drejna/kolektora, na njegove izlaze potrebno je staviti diode sa katodom prema dekoderu (na slici prikazano kružićem na izlazu vertikale V1), da bi se sprečilo kratko spajanje dva izlaza na različitim logičkim nivoima u slučaju pritiskanja više tastera od jednom, kao što je slučaj sa tasterima uokvirenim isprekidanom linijom (A, B, C i D). Dioda treba da bude Schottky tipa zbog njihovog vrlo malog radnog napona ako su ulazi u mikrokontroler kompatibilni sa TTL nivoima (0.8V maksimalna logička nula), dok u slučaju CMOS kompatibilnosti (prag oko polovine napona

napajanja) mogu biti korišćene i standardne signalne diode. Postupak čitanja kompletnog stanja tastature je sledeći: Preko **data** linija se kontrolnim signalom **CS2** upiše redni broj prve vertikale **V2** u 2-bitni registar/dekoder, a zatim se, takođe preko **data** linija pročitaju stanja svih tastera na prvoj vertikali, otvaranjem bafera pomoću signala **CS1**. Postupak se ponavlja za sve vertikale dok se ne dobije kompletno stanje. U najčešćim primenama zaobilazi se N-bitni bafer i horizontale se direktno vezuju na ulaze mikrokontrolera, a takođe se izbegava i 2-bitni registar (odnosno T-bitni, zavisno od broja vertikala), dok se ostavlja samo dekoder. Naravno, moguće je i dekoder eliminisati ako ima slobodnih priključaka na mikrokontroleru. U ovom slučaju, ako su izlazi mikrokontrolera tipa totem pola, potrebno je simulirati izlaz tipa otvorenog drejna na već opisani način (slika 6).

Mana ovog načina spajanja tastature je pojava virtuelno pritisnutih tastera. Ako su, na primer, pritisnuti tasteri označeni sa **A**, **B** i **C**, tada se, pri čitanju tastera na vertikali **V3** dovodi logička nula na taster **B**, preko njega na horizontalu **H2**, zatim preko tastera **A** se stiže do vertikale **V2** (iako ona nije aktivna) i na kraju, preko tastera **C** horizontala **H3** dolazi na nivo logičke nule. Pri čitanju bafera postojaće nule na horizontalama **H2** i **H3**, kao da su pritisnuti tasteri **B** i **C**, iako taster **C** nije pritisnut. Ovo se može izbeći ako se redno sa svakim tasterom ubaci dioda (takođe *Schottky* tipa), kada više nisu potrebne eventualne diode na izlazima dekodera. Naravno, to zahteva onoliko dodatnih dioda koliko ima i tastera, što komplikuje realizaciju.

Ako se na istom uređaju istovremeno potrebni multipleksni displej i tastatura, koristi se zajedničko upravljanje vertikalama, čime se štedi na broju fizičkih linija mikrokontrolera. Softverski, oba drajvera se spajaju i realizuju pod jednom prekidnom funkcijom, čime se dobija i kvalitetnije softversko rešenje.

Multipleksna tastatura se može realizovati i na jedan poseban način, vezivanjem direktno na mikrokontroler koji ima ili izlaze sa otvorenim kolektorom, ili može da ih simulira na već opisani način (ekvivalent Charlieplexing metodi povezivanja LED matrice). Ova varijanta se izvodi u dimenziji $N \times N$, sa najvećim brojem tastera do $N \times (N-1)$, kao na slici 19 za 12 tastera.

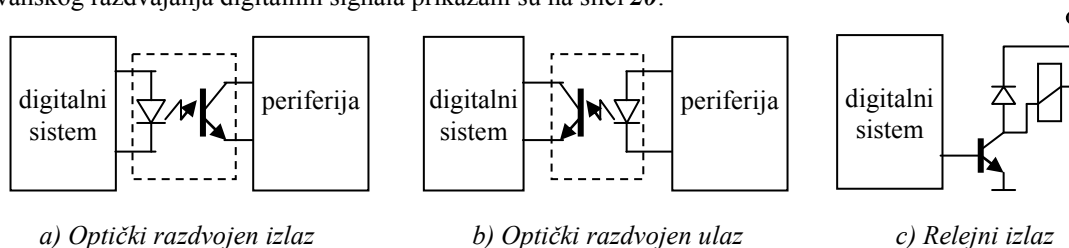


Slika 19: Minimalna forma multipleksnog povezivanja tastature

Ovaj način spajanja zahteva, osim tastera, samo još N otpornika i isto toliko dioda, takođe *Schottky* tipa. Princip rada je sledeći: Vertikala **V1** se postavi na logičku nulu, dok se ostale vertikale podese kao ulazne linije. Preko diode na **V1** horizontala **H1** dobija logičku nulu, tako da se stanje tri tastera na toj horizontali može pročitati na vertikalnim ulazima **V2**, **V3** i **V4**. Postupak se ponovi za sve vertikale, čime se dobija kompletno stanje tastature. Mana je ista kao i kod prethodne varijante, mogućnost pojave virtuelno pritisnutih tastera, ali se ovde ne preporučuje rešavanje tog problema dodavanjem rednih dioda na sve tastere zbog povećanja pada napona. I pored ove mane, ovaj način je svakako najjednostavniji, jer pored minimuma dodatnih komponenti, koristi najmanji mogući broj fizičkih linija.

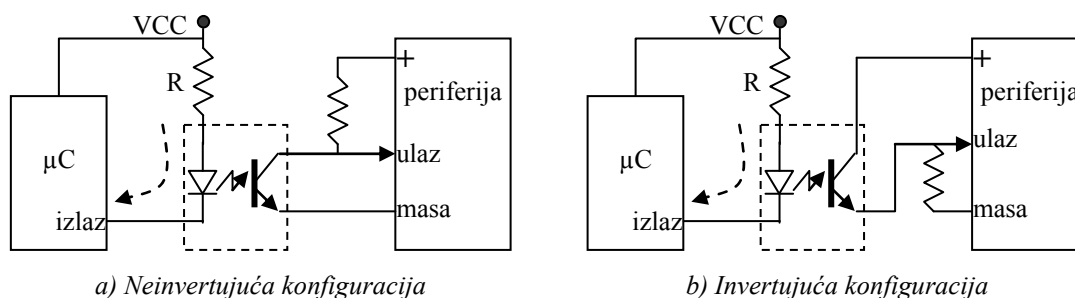
2.10. Galvansko razdvajanje perifernih signala

U mikrokontrolerskim sistemima često se javlja potreba za galvanskim razdvajanjem perifernih signala od mikrokontrolerske jedinice, kao što su slučajevi u kojima su digitalna masa i masa perifernje jedinice su na različitim potencijalima, ili perifernja jedinica radi sa velikim strujama, zbog čega postoji opasnost od prenosa smetnji kroz masu na digitalni sistem. Zavisno od smera podataka, odnosno da li su u pitanju ulazi ili izlazi, za galvansko razdvajanje se koriste se različite komponente. Jedna od najčešće korišćenih komponenti ovog tipa je optospreznjak (*Opto Coupler* – u daljem tekstu optokapler), sastavljen od LED diode i fototranzistora (ili fotootpornika, fotodiode, fotodiaka, fototriaka i slično). Neki primeri galvanskog razdvajanja digitalnih signala prikazani su na slici 20.



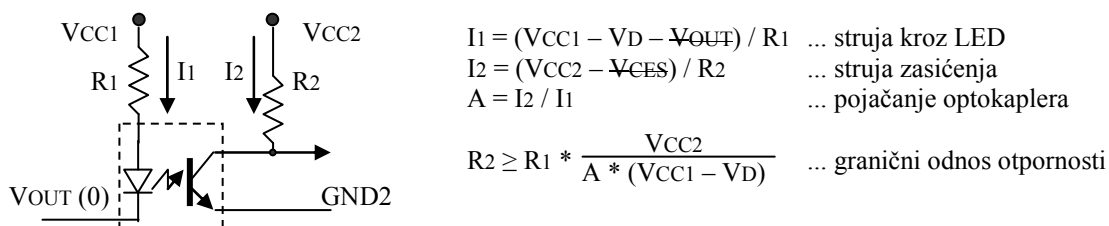
Slika 20: Primeri galvanskog razdvajanja

Na slici su data tri primera, dva izlaza (a i c) i jedan ulaz (b). Radi jednostavnosti, u ovim primerima su izostavljeni obavezni otpornici i eventualne dodatne komponente. Konkretna realizacija galvanski razdvojenih izlaza zavisi od tipa izlaznog porta (otvoren drejn ili totem pol), aktivnog nivoa (nizak ili visok) i od perifernje jedinice (karakteristike ulaznog dela), dok su kod galvanski razdvojenih ulaza značajni aktivan nivo i karakteristike perifernjeg signala. Tako na primer, imajući u vidu karakteristike mikrokontrolerskih portova (poglavlje 2.1), za portove sa otvorenim drejnom (kao što je 8051) optičko razdvajanje izlaza sa slike 20a može se realizovati na načine prikazane na slici 21.



Slika 21: Optičko razdvajanje izlaza za portove sa otvorenim drejnom

Direktno povezivanje optokaplera (LED strane) na mikrokontroler moguće je samo ako izlazni port ima dovoljan strujni kapacitet za provođenje struje LED prema masi (red veličina 10-tak mA). U suprotnom, koriste se dodatni baferi kao strujni pojačavači. Najčešće korišćeni optokapleri imaju strujno pojačanje (odnos struja fototranzistora i LED) oko 0.5, što treba imati u vidu pri određivanju otpornika na obe strane optokaplera. Pri računanju otpornika za LED, može se smatrati da je pad napona na LED oko 1.6 do 1.8 V. Primer približnog proračuna LED i tranzistorskog otpornika dat je na slici 22, uz napomene: V_{CES} i V_{OUT} se zanemaruju; struja kroz LED je bar polovina nominalne vrednosti (5 mA za 10 mA optokaplere), a otpornost R_2 treba da bude veća od proračunate vrednosti (na pr. dvostruko), radi pouzdanog zasićenja tranzistora.



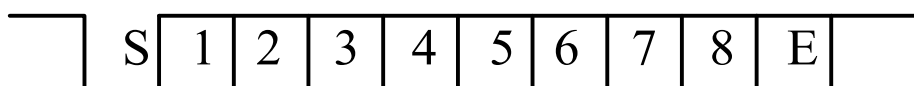
Slika 22: Primer proračuna optokaplerskih otpornika

2.11. Serijska komunikacija

Tipovi serijske komunikacije koji će ovde biti ukratko prikazani su RS232, RS485, RS422, SPI, MicroWire i I2C. Prva tri tipa komunikacije se koriste za prenos podataka na kraća ili duža rastojanja, dok se preostala tri tipa koriste za komunikaciju između pojedinih digitalnih komponenti na jednoj ili više štampanih ploča.

2.11.1. RS232 Komunikacija

RS232 je asinhrona serijska komunikacija namenjena za kraća rastojanja i manje brzine prenosa. Minimalni broj veza je masa plus jedna linija za svaki smer komunikacije. Komunikacija je dupleksna, što znači da komunikacioni uređaj može istovremeno da šalje i prima podatke. Na fizičkoj liniji definisana su tri moguća stanja, visoko stanje u opsegu od +3 do +15 V (po standardu maksimalno do 25V), nisko stanje u opsegu -3 do -15 V (odnosno -25V), i nedefinisano stanje u opsegu od -3 do +3 V. Predajni drajver i prijemni bafer su po pravilu invertorskog tipa, i koriste se za konverziju naponskih nivoa od 0-5V (TTL nivo) u +/- 12V i obrnuto. Format ove komunikacije na TTL strani je prikazan na slici 23.



Slika 23: Format RS232 serijske komunikacije

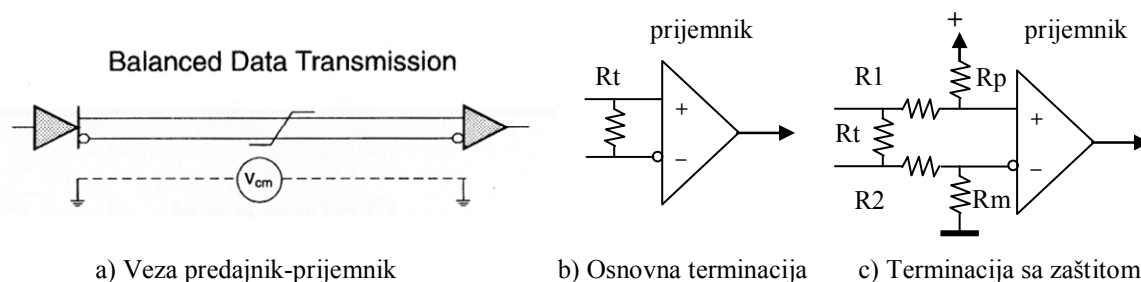
Logička jedinica je pasivno stanje. Prvi bit 'S' je start bit na logičkoj nuli. Zatim slede biti podataka, najčešće 8, i na kraju stop bit 'E', koji je na logičkoj jedinici. Broj bita podataka može biti 5, 6, 7 ili 8, uz mogućnost uključivanja i 9-tog bita koji se uglavnom koristi kao bit parnosti prethodnih N bita, radi lakše detekcije greške u komunikaciji. Na fizičkoj liniji su nivoi obrnuti, odnosno neutralno stanje je nedostatak pozitivnog napona, start bit je pojava pozitivnog napona itd. U nekim slučajevima 9-ti bit može se koristiti i za posebne vidove komunikacije kao što je automatsko adresiranje, kada se on koristi za određivanje da li je preostalih 8 bita podatak ili adresa.

Za komunikaciju RS232 se najčešće koriste brzine dobijene deljenjem 115200 sa celim brojem, kao na primer 300, 600, 1200, 2400, 4800, 9600, 19200, 38400, 57600 i 115200 Bd (Bauda), što označava brzinu broja prenetih bita u sekundi. Ako se koristi 8-bitna komunikacija, tada se za jedan bajt mora preneti 10 bita (8 + 1 start i 1 stop bit), pa se može približno smatrati da je brzina u bajtovima približna jednoj desetini brzine u Baudima. Da bi komunikacija bila moguća, predajnik i prijemnik moraju biti podešeni na istu brzinu, jer se takt ne prenosi posebno. Postoji mogućnost i automatskog određivanja brzine prenosa, ali se za to koriste određene softverske tehnike, koje baziraju na slanju određenog broja nul-bajtova pre stvarnog paketa, tako da prijemnik može izmeriti vreme proteklo od pojave start do pojave stop bita i na osnovu toga podesiti prijemnu brzinu.

Softverska implementacija protokola komunikacije može biti raznolika i za to postoji niz različitih rešenja. Osnovna podela može se napraviti između prenosa ASCII karaktera (teksta) i binarnog prenosa, kada se prenose sve vrednosti u opsegu od 0 do 255. Način na koji se preneti podaci tumače zavise od primene i mogu biti i potpuno proizvoljni, zavisno od namene.

2.11.2. RS485/RS422 Komunikacija

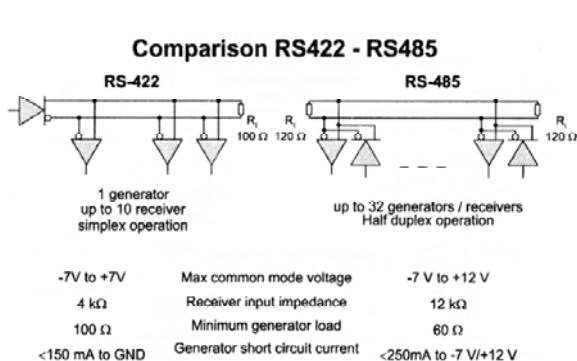
Komunikacija tipa RS485 i RS422 baziraju na prenosu podataka simetričnim vodom, odnosno ukrštenom paricom sa protufaznim signalima u opsegu od 0 do 5 V. Za ove svrhe predajnik je izveden sa diferencijalnim izlazom, a prijemnik je u vidu diferencijalnog komparatora sa malim histerezisom. Na slici 24 je prikazana veza predajnika i prijemnika ukrštenom paricom, kao i dva načina terminacije prenosnog voda. Osobina ovog tipa komunikacije je velika brzina prenosa na veća rastojanja. Po osnovnoj definiciji, maksimalan proizvod brzine prenosa i rastojanja je 100 Mbit-metara u sekundi, uz ograničenje brzine na najviše 10 Mbita u sekundi. Ograničenja maksimalne dužine takođe postoje i zavise od ukupne otpornosti voda. Za dobar prenos obavezna je pravilna terminacija voda na prijemnoj strani. Otpornost terminatora zavisi od karakteristične impedanse voda, a tipična vrednost terminacionog otpornika iznosi oko 100 Oma. Terminacioni otpornik se postavlja što bliže priključcima prijemnika, između obe fizičke linije.



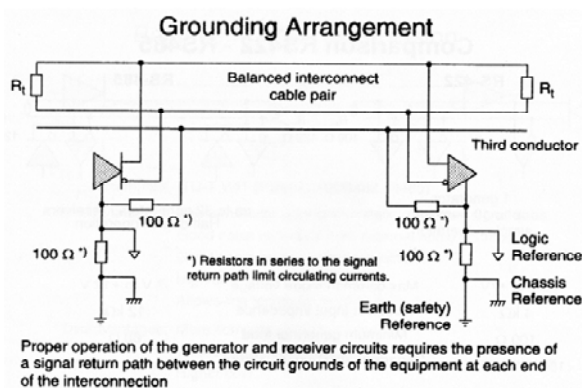
Slika 24: Komunikacija RS485/RS422

Na slici 24 je, osim osnovnog načina terminacije, prikazana i varijanta sa zaštitom od kratkog spoja i otvorene veze (pod c). U oba ova slučaja, na prijemniku je jasno definisan ulazni napon veći od napona ulaznog histerezisa, za razliku od varijante pod b), kada ulazni napon nije definisan i podložan je uticaju smetnji.

Komunikacija tipa RS422 je namenjena za komunikaciju između dve tačke, odnosno između jednog predajnika i jednog prijemnika, ali je moguće postojanje i više od jednog prijemnika. Za komunikaciju u oba smera mora se koristiti dve parice, po jedna za svaki smer. Za razliku od RS422, komunikacija tipa RS485 koristi jednu paricu za dvosmernu poludupleksnu komunikaciju. Pošto ovde jednu paricu koristi više predajnika, definiše se Master (glavni) predajnik, koji inicira komunikaciju prozivanjem pojedinih prijemnika pomoću različitih adresa, nakon čega prozvani uređaj preuzima komunikaciju i šalje potrebne informacije nazad do glavnog uređaja. Kako uvek postoji mogućnost da se u nekom trenutku više predajnika priključe na liniju, definiše se pojam kolizije na liniji, kao i metode za utvrđivanje i otklanjanje ove pojave. Osnovne razlike između RS422 i RS485 prikazane su na slici 25.



Slika 25: Razlike između RS422 i RS485



Slika 26: Način povezivanja linije mase

Osim pravilne terminacije, za ova dva tipa komunikacije važno je i pravilno spajanje masa, što je prikazano na slici 26.

Oba ova tipa komunikacije mogu biti zamena za komunikaciju tipa RS232 kada su potrebne veće brzine, duže veze, ili veći broj uređaja na istoj liniji. Sa druge strane, komunikacija RS422 se može koristiti i za sinhroni prenos, kada se, osim podataka, prenose takt i ostali neophodni signali.

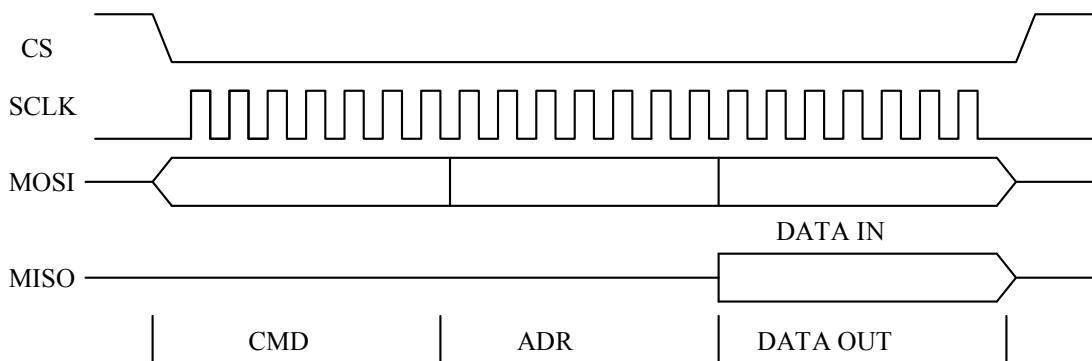
Među najčešće korišćenim drajverima i prijemnicima za ovaj tip komunikacije su AM26LS31 i AM26LS32, a proizvode se i u CMOS verziji sa smanjenom potrošnjom struje.

2.11.3. SPI sinhrona komunikacija

SPI sinhrona komunikacija koristi 4 fizičke linije, SCLK (*Serial CLoCK*), MOSI (*Master-Out-Slave-In*, od glavnog uređaja do periferije), MISO (*Master-In-Slave-Out*, od periferije ka glavnom uređaju) i CS (*Chip Select*). Komunikacija startuje obaranjem signala CS na logičku nulu, a zatim sledi prenos

Katedra za elektroniku

podataka prvo preko linije **MOSI** (komanda prema periferiji), a zatim vraćanje podataka od periferije preko linije **MISO**, sinhrono sa taktom **SCLK**. Komunikacija se zaključuje vraćanjem signala **CS** na logičku jedinicu. Ukoliko je komanda koja je poslata periferiji takvog tipa da se ne očekuje odgovor, **CS** se vraća na logičku jedinicu odmah nakon poslate komande, u suprotnom je potrebno sačekati da podaci budu vraćeni glavnom uređaju. Komunikaciju vodi glavni uređaj čiji su signali **CS** i **SCLK** izlaznog tipa, kao i **MOSI**, dok je **MISO** ulaznog tipa. Primer čitanja podatka iz memorije 25C040 je prikazan na slici 27.



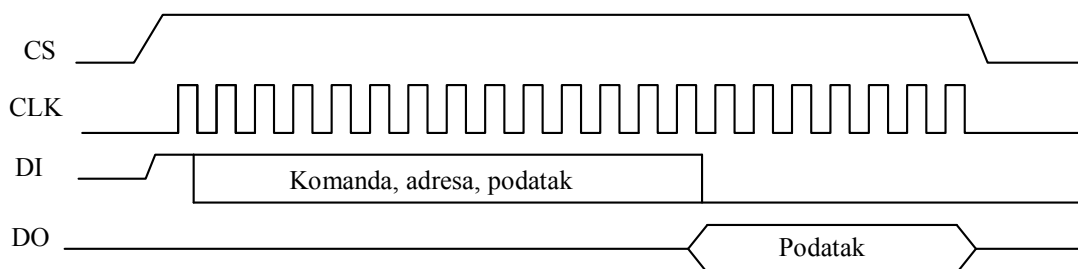
Napomena: CMD, ADR, DATA IN, DATA OUT su u grupama po 8 bita.

Slika 27: Primer sinhronne komunikacije SPI tipa

Zavisno od komande, zadnji bajt preko **MISO** linije se ignoriše pri upisu u memoriju, a preko **MOSI** linije kada se memorija čita.

2.11.4. MicroWire sinhrona komunikacija

MicroWire komunikacija je slična SPI sinhronoj komunikaciji i takođe koristi četiri fizičke linije, u ovom slučaju **CS** (*Chip Select*), **CLK** (*CLock*), **DI** (*Data In*) i **DO** (*Data Out*). Ovde su linije **DI** i **DO** posmatrane sa strane periferije, odnosno EEPROM memorije 93C56 za koje je opisana komunikacija na slici 28. Linija **CS** je na logičkoj nuli u neaktivnom stanju. Komunikacija startuje na prednju ivicu **CLK**, ako su **CS** i **DI** na logičkoj jedinici. Nakon toga, podaci se menjaju na svaku silaznu ivicu, a sempluju na svaku prednju ivicu **CLK** signala. U potrebnom broju taktova prvo se periferiji preko **DI** linije prenosi komanda koja ne mora biti u dužini $N \times 8$ bita, nego može da zavisi od primenjene periferije. Komanda može da sadrži i podatak, a ako je komanda takvog tipa da se zahteva povratni podatak, periferija vraća traženi podatak nakon prijema komande, kontinualno sinhronizovano sa taktom **CLK**.



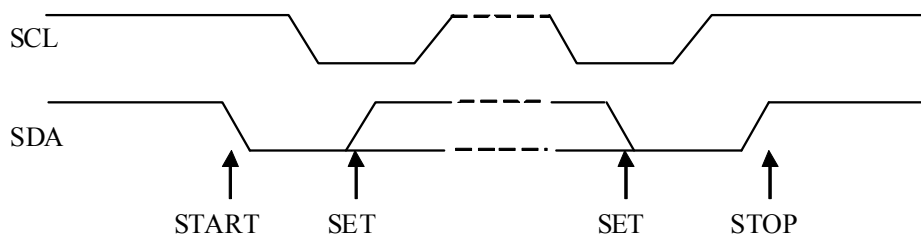
Slika 28: Primer MicroWire komunikacije serijskog EEPROM-a 93C56

Mnogi mikrokontroleri, koji imaju hardversku podršku za SPI odnosno MicroWire komunikaciju, mogu se programirati za rad sa oba ova načina, jer su razlike između njih vrlo male.

2.11.5. I2C sinhrona komunikacija

Veoma rašireni način serijske komunikacije, razvijen od strane proizvođača Philips, koristi samo dve fizičke linije tipa otvoren drejn i naziva se I2C (I2C ili IIC – *Inter Integrated Circuit*), a koristi se za povezivanje integrisanih kola na malom rastojanju. Komunikacione linije su **SCL** (*Serial CLock*) i **SDA**

(*Serial Data*). Zavisno od stanja jedne u trenutku promene stanja druge linije, definišu se momenti **START** i **STOP** komunikacije, kao i pravilo kada se menja i odabira podatak. Uslov za start komunikacije je prelaz sa 1 na 0 linije **SDA**, za vreme dok je **SCL** na logičkoj jedinici. Uslov za stop komunikacije je prelaz sa 0 na 1 linije **SDA**, za vreme dok je **SCL** na logičkoj jedinici. Promena stanja **SDA** linije radi postavljanja odnosno promene podatka se vrši isključivo dok je **SCL** na logičkoj nuli. Dijagram uslova startovanja i zaustavljanja komunikacije kao i postavljanja podatka dat je na slici 29.



Slika 29: Princip rada I2C sinhronne komunikacije

Prema originalnom dizajnu, na I2C 2-bitnoj magistrali može postojati do 112 kola (7-bitno adresiranje, uz 16 rezervisanih adresa), ali se danas uglavnom koristi adresiranje sa 3 bita, dok preostala 4 bita označavaju tip kola. Bar jedno priključeno kolo mora biti glavni uređaj (*Master*, obično je to mikrokontroler), koji inicira komunikaciju, a ostala kola su periferije (*Slave*) koje odgovaraju na zahtev glavnog kola. Moguće je i postojanje više glavnih (*Master*) uređaja, kada se definiše i pojam *kolizije*, u slučaju istovremenog aktiviranja više *Mastera*. U primeru koji sledi date su neke komande za rad sa I2C memorijom 24C04A. Ovakvih kola može biti do 8 na jednoj I2C magistrali, zbog načina adresiranja.

Upis bajta:

TIP:	S	C	A	ADR	A	DATA	A	P
VELIČINA:	1	8	1	8	1	8	1	1

Upis niza bajtova (Page mode):

TIP:	S	C	A	ADR	A	DATA	A	DATA	A	DATA	A	DATA	A	P
VELIČINA:	1	8	1	8	1	8	1	8	1	8	1	8	1	1

Čitanje bajta sa tekuće adrese:

TIP:	S	C	A	DATA	N	P
VELIČINA:	1	8	1	8	1	1

Čitanje bajta sa proizvoljne adrese:

TIP:	S	C	A	ADR	A	S	C	A	DATA	N	P
VELIČINA:	1	8	1	8	1	1	8	1	8	1	1

ADR – adresa unutar memorije

S – *Start* (uslov startovanja) – pod ‘veličina’ ovde se podrazumeva prelazno stanje, a ne taktni interval

C – *Control* (slanje kontrolnog bajta)

A – *Ack* (‘0’ => odgovor prijemnika da je dobro primio prethodni podatak)

N – *No Ack* (‘1’, ne očekuje se da prijemnik potvrdi prijem nakon slanja podatka)

P – *Stop* (uslov zaustavljanja) – kao i kod Starta, i ovde ‘veličina’ označava prelazno stanje

Kontrolni bajt:

1	0	1	0	A2	A1	A0	R/W
---	---	---	---	----	----	----	-----

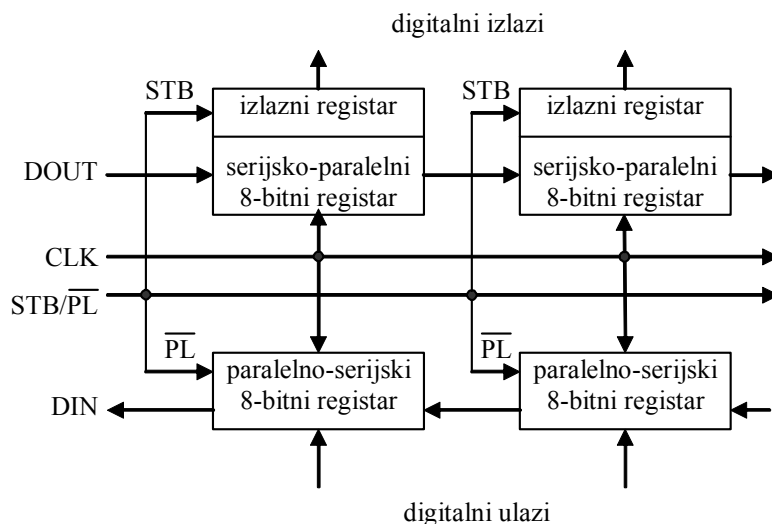
R/W – 0=WRITE, 1=READ

2.12. Ulazno/izlazni ekspanderi

Za povezivanje displeja, LED matrica, tastature, ali i ostalih ulazno/izlaznih digitalnih perifernih jedinica, mogu se koristiti kola za proširenje broja digitalnih linija. Neka kola su već predstavljena pri opisu serijskog povezivanja displeja (slika 11) i tastature (slika 17). Serijsko-paralelni i paralelno-serijski konvertori mogu se redno povezivati radi povećanja broja paralelnih izlaza odnosno ulaza. Takođe, moguće je spajanje kontrolnih signala tako da se za kompletan istovremeni serijski prenos za ulazna i izlazna kola

Katedra za elektroniku

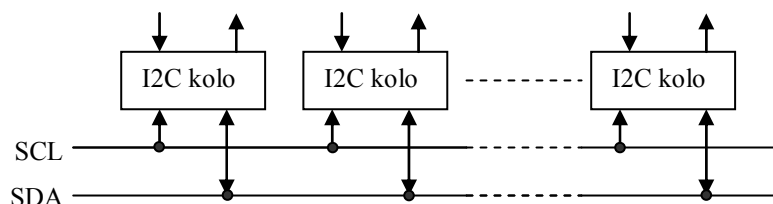
koriste samo 4 fizičke linije, kao na slici 30. Princip rada je sledeći: Dok je STB/PL na visokom nivou, izlazni podaci se prenose preko DOUT, a ulazni preko DIN. Kada je prenos završen, signal STB/PL se dovede na nizak nivo, čime se izvrši punjenje ulaznih pomeračkih registara sadržajem na digitalnim ulazima. Nakon toga, STB/PL se vraća na visok nivo, što izaziva prenos sadržaja izlaznih pomeračkih registara u njihove izlazne paralelne registre, čime se postavljaju i digitalni izlazi.



Slika 30: Proširenje broja digitalnih ulaza i izlaza pomoću pomeračkih registara

Zavisno od načina funkcionisanja kontrolnih signala (aktivan nizak ili visok nivo, odnosno rastuća ili opadajuća ivica), ovakav prenos sa četiri signala može da odgovara tipu serijske komunikacije SPI ili MicroWire, što hardverski podržavaju mnogi mikrokontroleri, pa je i programiranje ovakvih ulazno/izlaznih proširenja jednostavno.

Umesto navedenog, veoma često se primenjuju I2C ekspanzerska kola koja imaju određeni broj izlaznih ili ulaznih paralelnih linija, slika 31. Zavisno od strujnih karakteristika ovih kola, sa ili bez dodatnih drajvera (bafera) moguće je i povezivanje displeja kao izlaznih uređaja. Primer jednog ovakvog kola je PCF8574.



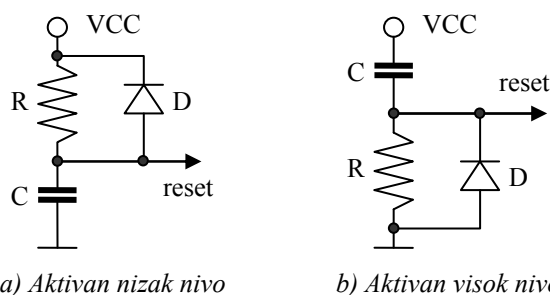
Slika 31: Proširenje broja digitalnih ulaza i izlaza I2C kolima

2.13. Deljenje portova

Kao što je na početku rečeno, spoljašnji priključni portovi mikrokontrolera su u manjoj ili većoj meri multifunkcionalni, a konkretna namena im zavisi od spoljašnjih veza i priključenih kola. Da bi sve ove veze funkcionisale ispravno, interne hardverske jedinice mikrokontrolera moraju biti pravilno konfigurisane. Šta i kako treba konfigurisati, zavisi od familije i konkretnog tipa mikrokontrolera, a predstavlja jedan od prvih koraka pri pisanju programa za mikrokontroler. Vrlo često i najmanji previd može dovesti do pogrešnog ili nepouzdanog rada, zbog čega treba detaljno proučiti programski model mikrokontrolera, odnosno sve njegove hardverske jedinice i kontrolno/upravljačke registre, kao i inicijalne vrednosti koje ovi registri dobijaju neposredno nakon reset ciklusa, nezavisno od toga da li se neka hardverska jedinica koristi ili ne. Na primer, u mikrokontroleru Microchip PIC 16F87x je inicijalno aktiviran A/D konvertor. Ako se on ne koristi i pri tom ne isključi, digitalne linije na portu deljenom sa A/D konvertorom neće ispravno funkcionisati.

2.14. Reset kolo i oscilator

Iako vrlo jednostavni, kolo za resetovanje i oscilator su od ključne važnosti za rad mikrokontrolera. Osnovna svrha reset kola je zadržavanje mikrokontrolera u reset fazi, sve dok oscilator u potpunosti ne proradi i kompletna inicijalizacija mikrokontrolera ne bude završena. Zavisno od familije mikrokontrolera, reset signal može biti aktivan na niskom ili visokom nivou. U ovom slučaju, niski i visoki nivo reset signala ne mora odgovarati graničnim naponskim nivoima logičkih signala mikrokontrolera, a za tačne vrednosti treba proveriti kataloške podatke proizvođača. Primeri oba tipa reset kola prikazani su na slici 32.



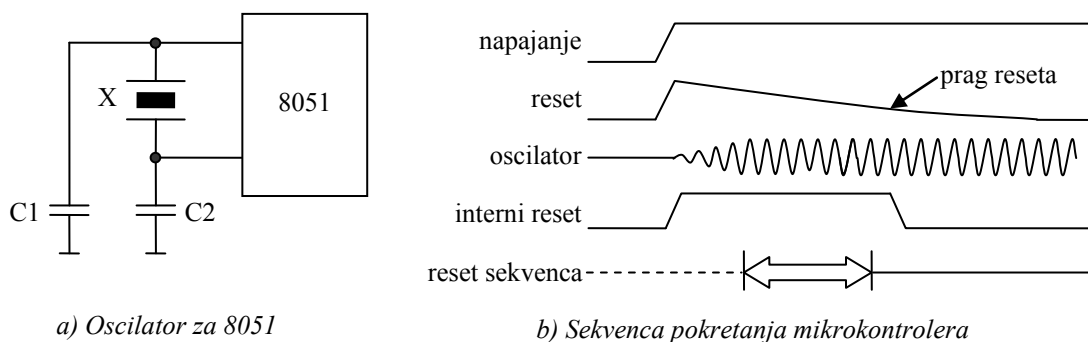
Slika 32: Primeri reset kola za oba tipa reset signala

Osnovnu funkciju reset kola obavlja R-C član, koji održava reset signal aktivnim nakon uspostavljanja napajanja, u trajanju određenim RC konstantom i nivoom ulaznog praga reset signala. Dioda nije obavezna, ali je preporučljiva, jer obezbeđuje brzo pražnjenje kondenzatora pri nestanku napajanja, tako da je reset kolo vrlo brzo sposobno za novu reset sekvencu. Bez ove diode, ako je gubitak napajanja kratkotrajan i kondenzator se ne isprazni dovoljno, reset signal može biti suviše kratak ili potpuno izostati, što može dovesti mikrokontroler u neregularan režim rada, odnosno potpuno onemogućiti pravilan rad. Većina savremenih mikrokontrolera ima histerezisni reset ulaz (šmit-triger), tako da su ovako jednostavna reset kola potpuno zadovoljavajuća. U nekim slučajevima (na primer Microchip mikrokontroleri) reset kolo je moguće i potpuno izostaviti, ako je u mikrokontroler ugrađeno reset kolo koje interno generiše reset signal u odgovarajućem trajanju.

Kod nekih mikrokontrolera ulazni prag reset signala je vrlo nizak (ako je reset signal aktivan na niskom nivou), zbog čega prikazano RC kolo nije primenljivo. U tom slučaju, kao i kada je ostalim delovima mikrokontrolerskog sistema neophodan reset signal, koriste se namenska integrisana kola, koja mogu imati i dodatne mogućnosti, kao što su detekcija smetnji u napajanju (*brown-out* – pad napajanja ispod dozvoljene vrednosti), ugrađeni *WatchDog* tajmer, zaštićeni signal za selekciju baterijski napajane RAM memorije i slično.

Slično reset kolu, i oscilator je za većinu mikrokontrolera vrlo jednostavan. Oscilator može biti realizovan na različite načine, zavisno od zahtevane tačnosti i stabilnosti radne frekvencije. Osnovno kolo oscilatora najčešće je ugrađeno u mikrokontroler, izuzev neke specifične komponente kao što su kristal i keramički rezonator. Oscilator može biti kristalni (kod većine mikrokontrolera), sa keramičkim rezonatorom, RC tipa i slično. Tako na primer, mikrokontroleri proizvođača Microchip uglavnom podržavaju sve navedene tipove oscilatora, uključivši i interni, fabrički podešen, RC oscilator. Kod ovih kontrolera, prilikom programiranja moguće je podesiti i tip oscilatora. Kada je reč o RC oscilatoru, treba imati u vidu da je on primenljiv samo ako mikrokontroler ne zahteva veliku tačnost i stabilnost frekvencije, kao što je to u slučaju tačnog merenja vremena, asinhorne serijske komunikacije i slično. Sa druge strane, mikrokontroleri bazirani na Intelovoj familiji 8051 uglavnom koriste samo kristalni oscilator, kao što je prikazano na slici 33a.

Uz spoljašnji kristal oscilatora obavezno se stavljaju i dva kondenzatora kapaciteta od 27 do 47 pF (tipično 33 pF), koji sa kristalom i internim invertujućim kolom formiraju Pirsov (*Pierce*) oscilator. Ovi kondenzatori veoma malo (zanemarljivo) utiču na frekvenciju oscilovanja, koja je tačno određena i odgovara frekvenciji kristala. Kristal i prateći kondenzatori se uvek montiraju što bliže priključcima mikrokontrolera.



a) Oscilator za 8051

b) Sekvenca pokretanja mikrokontrolera

Slika 33: Oscilator na bazi kristala (a) i prikaz sekvence pokretanja mikrokontrolera (b)

Na slici 33b je prikazana sekvenca pokretanja mikrokontrolera. Sa uspostavljanjem napajanja aktivira se i spoljašnja reset linija. Oscilator zahteva izvesno vreme za dostizanje pune amplitude, nakon čega započinje i interna reset sekvenca (postavljanje svih registara na inicijalne vrednosti). Za pravilnu inicijalizaciju mikrokontrolera, ova sekvenca mora biti završena pre nego što spoljašnji signal dostigne prag reseta. Program mikrokontrolera započinje izvršavanje kada se dostigne ovaj prag, čime je reset ciklus i završen.