

## **Predavanje 9.**

### **8-bitni mikrokontroleri**

Mikrokontroleri, kao dijelovi elektronskih uređaja i sistema doživljavaju ekspanziju i pojavljuju se u gotovo svim oblastima i djelatnostima. Od dječijih igračaka i ukrašavanja izloga u najzabačenijim dijelovima svijeta, preko industrije do upravljačkih mehanizama aviona i svemirskih brodova.

Sama jedna takva raznolikost primjene nameće potrebu za uporednim prikazom mikrokontrolera, kako bi se dizajnerima i projektantima što više olakšao izbor odnosno postigao optimum u ispunjavanju zahtjeva naručioca i ostvarenoj dobiti, te olakšalo planiranje vlastitog razvoja.

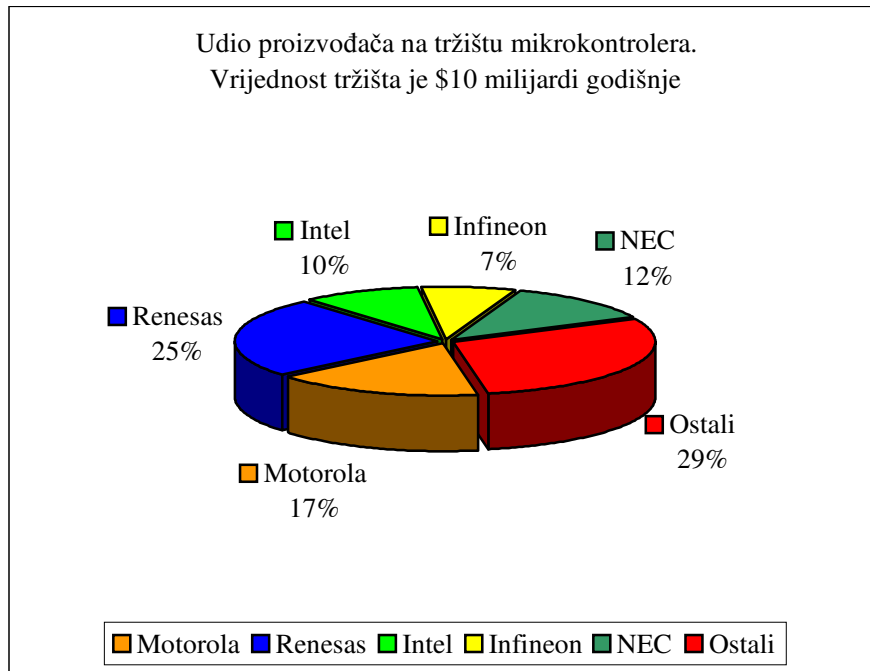
Mikrokontroleri se mogu proučavati iz više uglova: tehnološkog, računarskog i korisničkog. Prva dva stanovišta su od interesa za inženjere mikroelektronike, te za projektante hardvera, dok je za stručnjake, koji rade u području upravljanja sistemima i gradnje ugradbenih sistema, mikrokontroler interesantan sa korisničkog stanovišta kao komponenta ili procesor informacija koji treba da bude u stanju obaviti odgovarajuće funkcije u nekom sistemu.

Stoga se ovom poglavlju kao primarni cilj postavlja da olakša, odnosno omogući brz i jednostavan, izbor optimalnog mikrokontrolera.

Gotovo svi koji razvijaju sisteme bazirane na mikrokontrolerima susreću se sa jednom endemskom situacijom, ako se sve posmatra sa strane razvijanja softvera. Praktično, računar se isporučuju kao dio gotovog proizvoda. To za sobom vodi jedan stalni trošak koji se javlja na svakoj pravljenoj jedinici, te se i kreira jedan stalan tržišni pritisak da se resursi sistema svode na apsolutni minimum. Iz tog pritiska i proizilazi potreba da se pravi uporedni pregled mikrokontrolera koji će olakšati odabir.

Kako bi se uopće počelo sa sagledavanjem mikrokontrolera, potrebno je napraviti uopćeni pregled mikrokontrolera koji su dostupni. A potom je potrebno da se odaberu oni koji će biti obradivani. Jedan efikasan način pregleda je da se napravi uvid u tržišne statistike i na osnovu njih identificiraju najpopularniji uređaji. Na taj način se obuhvataju najčešće korištene karakteristike, a sam pregled primjenjiv na procentualno najveći broj konkretnih slučajeva.

Analitičari se razilaze u mišljenju po pitanju veličine tržišta mikrokontrolera. Ipak, svi se slažu u jednom, a to je da je veliko. Prema SEMI.Trends magazinu (SEMI.Trends - Semiconductor

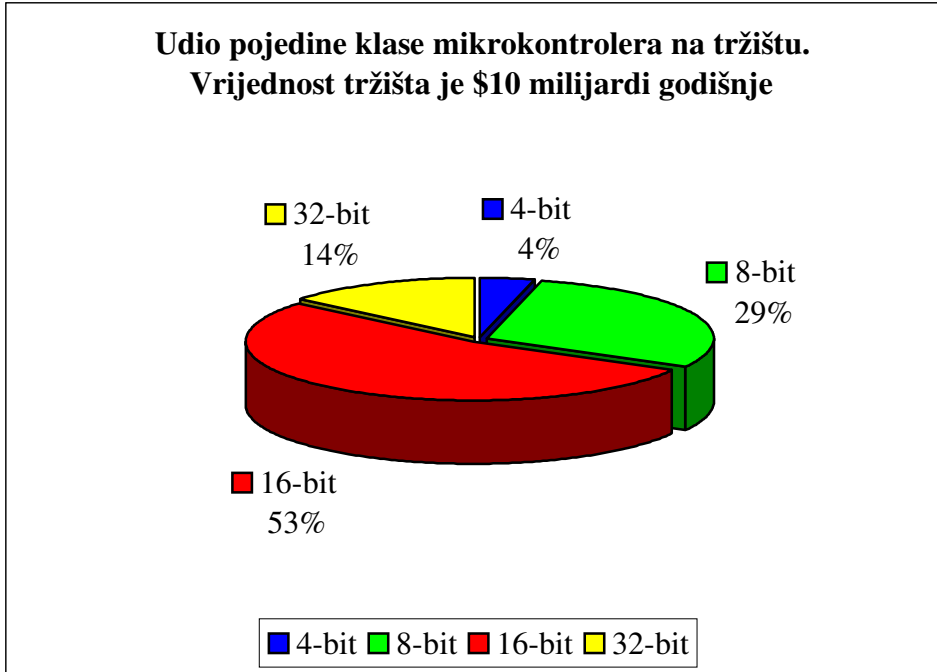


Slika 9.1: Segmentacija tržišta mikrokontrolera po proizvođačima

Izvor: SEMI.Trends - Semiconductor Equipment and Materials International (SEMI) analysis by ARASIL, [www.arasil.com](http://www.arasil.com)

Equipment and Materials International (SEMI) analysis by ARASIL [www.arasil.com](http://www.arasil.com)), tržište mikrokontrolera u 2003. godini je iznosilo 10 milijardi US\$. 12,4 milijarde US\$ u 2004.godine, a procjena za 2005. godinu je 12,4 milijarde US\$. Projekcije za 2006 i 2007 godinu su 13.2 milijarde US\$ i 15,1 milijardu US\$, respektivno. Neslaganje postoji i kada je u pitanju udio pojedine klase na tržištu, ali se neslaganja uglavnom odnose na udio 8-bitnih sklopova. Neki naime smatraju da je on veći, ali je to na uštrb 16-bitnih mikrokontrolera, pa neće imati uticaj na ovo razmatranje.

Prema navedenoj statistici SEMI.Trends-a, najveći udio na tržištu ima Renesas (ujedinjeni Hitachi i Mitsubishi). Slijedi Freescale (bivša Motorola), tržišni lider prije nastanka Renesasa (1.4.2003. godine). Da bi se postigla sveobuhvatnost i postigla što veća univerzalnost u prikaz će se uzeti još i Microchip i Atmel, kao kompanije koje su imale neke pionirske korake u određenim fazama razvoja mikrokontrolera, a cjenovno se nalaze među najpristupačnijima. Anegdotski dokazi tvrde da upravo ove dvije firme, gotovo suvereno, vladaju tržištem hobi elektronike i uspješno se primjenjuju svugdje gdje su potrebna mala, jednostavna i jeftina rješenja.



Slika 9.2: Segmentacija tržišta prema klasi mikrokontrolera

Izvor: SEMI.Trends - Semiconductor Equipment and Materials International (SEMI) analysis by ARASIL, [www.arasil.com](http://www.arasil.com)

Broj različitih proizvoda na tržištu mikrokontrolera se broji stotinama (čak i kada je u pitanju samo jedan proizvođač), te je jako teško i pokušati praviti bilo kakvo poređenje kao što se to uobičajeno radi za desktop sisteme (koji su više-manje tržišno standardizirani) ili desktop procesore (gdje imamo dva igrača).

Prije bilo kakve komparacije interesantno je za primjetiti da se u toku protekle dekade desila jedna masivna migracija sa 4-bitnih mikrokontrolera na 8-bitne, gdje je vjerovatno ključnu ulogu odigrala odluka Intela da arhitekturu svog 8051 ostavi otvorenom, te je uslijedila njegova masovna proizvodnja od strane velikog broja kompanija. Takva jedna dominantna arhitektura nije nikada ostvarena na polju 16-bitnih uređaja, koje se uglavnom sastoji iz jezgri koje je svaka kompanija razvijala ponaosob.

Pošto periferali i memorija, na samom čipu zauzimaju relativno mnogo (obično najviše) silicijskog prostora, sama cijena jezgre praktično je mala stavka u ukupnom budžetu. Tako se desilo da se za većinu aplikacija zbog velike razlike u cijeni, prelaz s 4-bitnih na 16-bitne mikrokontrolere čak nije ni razmatrao.

## Osnovni pojmovi

### Podjela programabilnih struktura

Mikrokontroleri kao komponente sa korisničkog stanovišta, možemo posmatrati kao jednu od programabilnih struktura, koje se koriste za rješavanje niza sličnih problema. Da bi se imao uvid u kompletnu sliku, te poziciju mikrokontrolera, ovdje će se prvo napraviti pregled struktura koje se u općem slučaju mogu koristiti umjesto mikrokontrolerskih sistema.

- **Diskretna rješenja**

Diskretna rješenja ovdje navodimo samo zbog sveobuhvatnosti, a pod njima podrazumijevamo cjelokupna rješenja sa tranzistorskom logikom, SSI (engl. small scale integration) i MSI (engl. medium scale integration). Pogodni su za realizacije jako malih i jednostavnih sistema, ali se za većinu drugih primjena u startu isključuju zbog ograničenja na dimenzije i troškove.

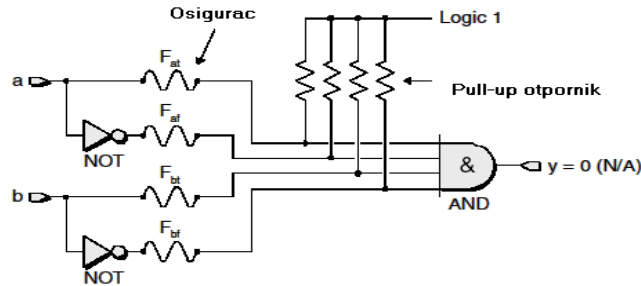
- **Namjenski integrirani krugovi (ASICs)**

Namjenski integrirani krugovi (engl. Application Specific Integrated Circuits - ASICs) predstavljaju (najjeftinija) rješenja u situacijama kada se očekuje velika serija jednog čipa. Uključuju relativno velike troškove inženjeringa, a skoro nikakve mogućnosti promjene napravljenog dizajna (bez dodatnih velikih troškova dorade maski). Kao proizvod ima se čip koji je napravljen uz najbolju procesnu tehnologiju i koji tačno odgovara zahtjevima. To obično daje odlične performanse, nisku potrošnju energije i malo zauzimanje prostora. Treba istaći da i pored masovnosti proizvodnje ovih čipova, svaki čip je specifičan i radi se samo za određenog (jednog) naručioca (najčešće je to firma koja je i dizajnirala čip). Troškovi koji uključuju sve faze od projektovanje do proizvodnje zadovoljavajućih prototipova su oko jedan milion američkih dolara. To je jedan od glavnih razloga da se projektovanje namjenskih integriranih krugova neće ni razmatrati ukoliko neće biti proizvedeni minimalno u 50 000 primjeraka. Povoljnom količinom se smatra 250 000 komada, ali se tek sa milion komada uzima da je isplativost sigurna. Proces dobijanja namjenskih integriranih krugova se sastoji iz projektovanja u matičnoj firmi, a potom slijedi izrada prototipa i proizvodnja u nekoj od fabrika specijalizovanih za ovu namjenu. Projektovanje se danas obično radi uz pomoć CAD alata, odnosno u nekom od HDL jezika (engl. Hardware Description Language - Jezik opisivanja harvera) i može se reći da dosta liči na programiranje. U domenu jezika za opisivanje hardvera su VHDL što je skraćeni VHSIC (Very High Speed Integrated Circuit) Hardware Description Language i Verilog (proizvod firme Cadence Design Systems). IEEE (1076) standard je VHDL. Od 2001.godine radi se na unificiranju ova dva jezika kako bi se odgovorilo zahtjevima koje nose nove generacije integriranih krugova.

- **Programabilni logički uređaj – FPGA**

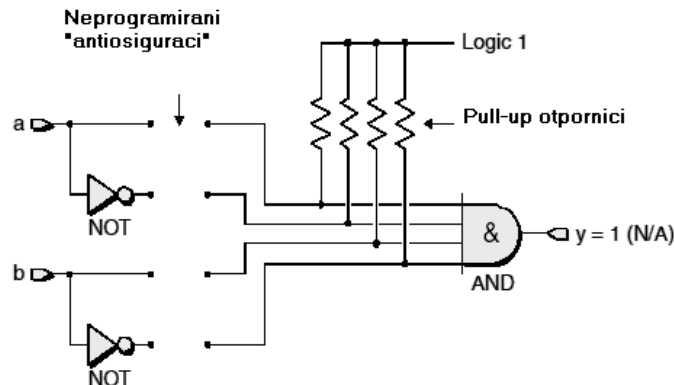
FPGA (engl. Field Programmable Gate Arrays) krugovi predstavljaju digitalne integrirane krugove koji sadrže konfigurabilne (programabilne) logičke blokove, međusobno vezane konfigurabilnim vezama. Projektanti konfiguriraju (programiraju) te veze i time dobijaju uređaje

sposobne da obavljaju izrazito širok spektar zadataka. Kako se programiraju to su dostupni širem skupu korisnika i imaju određenu mjeru univerzalnosti.. Mnogo se koriste u projektovanju ugradbenih sistema. Zavisno od proizvođača nazivaju se još i LCA (engl. logic-cell arrays), PAL (engl. programmed array of logic), te CPDL (engl. complex programmable logic devices). Naravno, postoje određene razlike između FPGA od jednog proizvođača i CPDL od drugog, ali generalno među njima je mnogo više sličnosti nego razlika.



Slika 9.3.(a): FPGA sa osiguračima

Ovi programabilni hardverski krugovi implementiraju kombinacionu i sekvencijalnu logiku, koja se može konfigurisati učitavanjem podataka iz lokalne memorije koji onda određuju međuveze logičkih blokova. Isporučuju se kao čipovi koji se programiraju u jednom od HDL jezika (obično VHDL ili Verilog).



Slika 9.4.(b): FPGA sa antiosiguračima

Programiranje se svodi na "pregaranje" osigurača-međuveza ili na njihovo kreiranje, u zavisnosti od korištenog kola. Primjeri blokova sa osiguračima i antiosiguračima u FPGA čipu su dati na slikama 9.3.(a) i 9.3.(b).

Ovaj proces konfiguracije je reverzibilan i u praksi se konfiguracija često uzima iz memorijskog kruga (tipično EEPROM), što daje veliku fleksibilnost, laganu nadogradnju, uz zadržavanje svih pozitivnih osobina sekvencijalne logike.

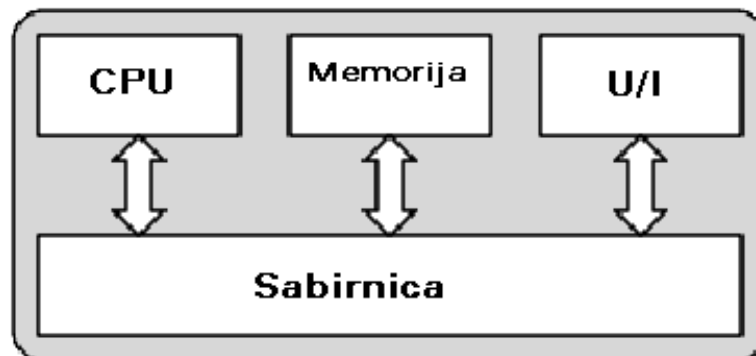
Neke od prednosti FPGA nad mikrontrolerima u projektovanju i gradnji ugradbenih sistema su:

- Implementacija stvarnog namjenskog projektovanja. Interni resursi kod FPGA se mogu konfigurirati tačno prema zahtjevima primjene. Kod mikrokontrolera, aplikacija se mora prilagoditi resursima koji stoje na raspolaganju, a u velikom broju slučajeva se ne koriste svi resursi.
- Štampana ploča za FPGA krugove može biti jednostavnija nego za ekvivalentnu ploču mikrokontrolerskog rješenja. Ovo je posljedica mogućnosti integriranja eksternih hardverskih komponenti (npr. FIFO i automate - mašine stanja) u jedan uređaj (FPGA).
- Nivo performansi koji se dobija sa FPGA je obično veći, čak i kada se koristi ista brzina takta, a to je posljedica paralelne prirode hardverskih algoritama.

Glavni nedostaci FPGA krugova su njihova visoka cijena, te ograničenja koja postavljaju alati za sintezu, a koji se koriste za razvoj sistema sa visokim nivoom apstrakcije.

#### • Mikrokontroleri

Mikrokontroleri, kao elementi nude opštija i za male serije jeftina rješenja, jako širok izbor dobavljača i još širi izbor tehnoloških opcija. Program ugrađen u mikrokontroler može biti



Slika 9.4: Glavne komponente mikrokontrolera

jednostavno izmijenjen, čak i u toku same proizvodnje. U osnovi, pod mikrokontrolerom se može smatrati uređaj koji u sebi integrira određene komponente mikroprocesorskog sistema u jednom jedinom čipu.

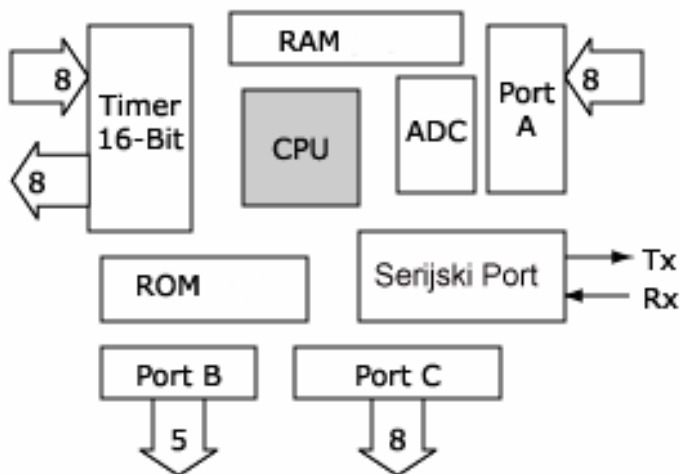
Tako mikrokontroler na jednom čipu kombinira (slika 9.4.):

- CPU (engl. Central processing unit)
- Memoriju (i ROM i RAM)
- Nekoliko ulazna/izlaza

Većina mikrokontrolera također ima i druge komponente kao što su:

- Tajmerski modul
- Ulazno/izlazne portove
- Konvertore signala (npr. A/D i D/A)

Slika 9.4. ilustrira tipičan mikrokontroler i različite podsklopove integrirane na jedan mikrokontrolerski čip. Osnovu mikrokontrolera čini CPU jezgro i na osnovu njegove unutrašnje strukture govorimo o 4-bitnim, 8-bitnim, 16-bitnim mikrokontrolerima. Većina današnjih



Slika 9.5: Mikrokontroler sa integriranim podsklopovima

mikrokontrolera ima određenu količinu memorije integrirane na čip, a koja je podijeljena na ROM za smještaj programa i RAM (radna memorija) za smještaj podataka i upravljanje stekom (engl. stack). Kod PIC familije mikrokontrolera, RAM se koristi i za smještaj registarskog steka.

Digitalni I/O (ulazno/izlazni) portovi povezuju mikrokontroler sa okolinom. Ima se tendencija grupisanja u portove širine bajta (8 bita) koji mogu biti konfigurisani kao ulazni ili izlazni biti. Naravno, postoje izuzeci, pa to nije ni standard ni pravilo. Njihov broj varira za različite tipove mikrokontrolera. U zavisnosti od konkretne aplikacije, mogući su zahtjevi za obezbjeđenjem dodatnih (vanjskih) komponenti kako bi se ostvario pogon pojedinih elemenata (releji, sijalice, LED i sl.).

Familije mikrokontrolera označavaju dostupnost više različitih mikrokontrolera sa istim osnovnim centralnim jezgrom, ali različitim periferalima, pakovanjem, opcijama po pitanju radne brzine itd. Mikroprocesori se ovdje ne navode kao zasebna komponente, jer se njihovo korištenje uslovljava dodavanjem periferala za komunikaciju sa vanjskim svijetom, što se onda konceptualno može svesti na jednu od već navedenih struktura.

- **Ugradbeni mikrokontroler**

Ovo je trenutno jedna od onih oblasti koja predstavlja kamen spoticanja kada je u pitanju i samo definisanje pojma ugradbeni (engl. embedded). No, bez obzira na definiciona razmimoilaženja sama oblast se izrazito brzo razvija i obično se baš na nju i misli kada se kaže da je računar ušao u sve pore života. Odmah treba napomenuti, da sve što je do sada rečeno za mikrokontrolere, važi i za ugradbene mikrokontrolere. Ipak, i u literaturi i na tržištu se često sreće pojam ugradbeni mikrokontroler, implicirajući distinkciju. Da bismo definirali ugradbene mikrokontrolere, prvo je potrebo da se pozabavimo definicijom ugradbenih sistema. A tih definicija postoji nekoliko.

Opća definicija ugradbenih sistema bi bila da su to sistemi sa čvrsto uparenom hardverskom i softverskom integracijom, koja je dizajnirana da bi obavljala tačno određenu funkciju.

Riječ ugradbeni reflektira činjenicu da ovi sistemi (jedan ili više njih) obično postoje kao integralni dio nekog većeg sistema. Iako subjektivna, definicija obuhvata „sisteme unutar sistema“ i uistinu, takvi ugradbeni sistemi ili ne mogu ili ne funkcionišu sami za sebe. Ova definicija ima i svojih mana. Npr. Mrežni ruteri su zasebni uređaji koji rutiraju pakete mrežne komunikacije od jednog prema drugom portu, a po nekom zadanom algoritmu. A također, ova definicija ne daje odgovor na banalna pitanja poput onog da li je Pentium ugradbeni mikroprocesor, ako se personalni računar koristi samo kao DVD plejer. Prema ovoj definiciji jeste. Zbog svega toga, neophodno je imati u vidu da sveobuhvatna definicija ne postoji. Neki tekstovi čak definiraju ugradbene sisteme kao «računarske sisteme ili uređaje bez tastature, displeja ili miša». U njima se koristi karakteristika „izgled“ kao diferencirajući faktor, govoreći da ugradbeni sistemi ne izgledaju kao normalni personalni računari. I upravo zbog toga je potrebno fokusiranje na karakteristike ugradbenih sistema iz više različitih perspektiva, a u cilju postizanja što bolje razumijevanja šta ugradbeni sistemi jesu i šta je to što ih čini posebnima.

Proizvođači često daju ugradbene mikrokontrolere kao zasebnu klasu proizvoda, ali u generalno, primjena i zahtjevi trebaju da postavljaju uslove korištenja konkretnog mikrokontrolera, te je u općem slučaju moguće korištenje i jednih i drugih. Distinkcija u pojmovima ugradbeni sistem i mikrokontrolerski sistem je posljedica činjenice da su mikrokontroleri jedan on načina realizacije ugradbenih sistema. Pored mikrokontrolera, za realizaciju ugradbenih sistema se koriste i:

- ASIC (Application Specific Integrated Circuits – Namjenski integrirani krugovi)
- Diskretna rješenja
- FPGA (Field Programmable Gate Arrays).

To implicira da se mikrokontrolerski sistemi mogu uzeti kao podskup ugradbenih sistema u kojima se kao realizaciona tehnologija koriste odgovarajući mikrokontroleri.

Zbog citiranja i praktičnosti, u daljem tekstu, pojam „ugradbeni sistem“ će se odnositi na mikrokontrolerske sisteme, uz napomenu da nije ograničen samo na njih. A bez obzira na definicije, ugradbeni sistem ćemo uzimati kao sistem koji:

- predstavlja kombinaciju hardvera i softvera da bi izvršio određenu zadaću
- je dio većeg sistema za kojeg nije neophodno da bude računar
- radi u reakciji sa okolinom gdje vremenska ograničenja mogu biti bitna



- ima softver koji obezbjeđuje osobine, pogodnosti i fleksibilnost
- ima hardver (procesori, ASIC, FPGA, memorije...) koji obezbjeđuju performanse (ponekad i bezbjednost)

**Projektovanje ugradbenih sistema** - Da bi se uopće mogla vršiti komparacija mikrokontrolera, potrebno je da se shvati njihova uloga, odnosno sagledaju generički zahtjevi koji se pred njih postavljaju. Uzimanjem u obzir trendova u razvoju mikrokontrolerskih, odnosno ugradbenih, sistema pokušaće se uočiti osnovni problemi kod razvoja i gradnje ugradbenih sistema, te načini njihovog prevazilaženja koji određuju pravce razvoja ove oblasti.

**Opći zahtjevi** - Dizajn i projektovanje ugradbenih sistema se često bazira na faktorima koji se uopće ne razmatraju kod projektovanja jakih desktop sistema. Opći zahtjevi koji se postavljaju pred većinu projekatata ugradbenih sistema su:

- **Niska cijena:** Najveći dio ugradbenih proizvoda se radi za tržišta gdje krajnji korisnik nije voljan da potroši nešto više novca za neznatno bolje performanse ili nekoliko dodatnih pogodnosti. Stoga su projektanti prisiljeni da dizajniraju proizvode sa optimalnim odnosom cijena/performance, te da tražene performanse izvuku za najmanju cijenu (ponekad i maksimalne performanse u okviru određenog budžeta). To je i logično, jer se hardver isporučuje zajedno sa softverom, za razliku od desktop sistema, gdje je softver u pravilu zaseban proizvod. Rezultat ovoga je da su resursi, koji se nalaze na raspolaganju projektantu, minimalni.
- **Napajanje:** Potrošnja je još jedan kritičan faktor pri dizajnu ovih sistema. Ovo je uglavnom zbog toga što veliki broj ovih sistema radi napajan baterijskim izvorom, a od njih se očekuje da rade i budu aktivni čak i u dužim periodima vremena. Kao primjer, mogu se navesti mobilni telefoni, pejsmejkeri, senzori. Digitalni senzori, na primjer, često rade u teškim i nekontroliranim uslovima i okolinama. Njihova veličina često isključuje upotrebu rashladnih sistema, a smanjivanjem cijene ide se na plastična umjesto keramičkih pakovanja (opći trend kod mikrokontrolera) što predstavlja samo još jednu nepovoljnost kada je u pitanju hlađenje. Stoga, niska potrošnja je često obavezna.
- **Predvidivost:** Zbog čestih realno-vremenskih (engl. real-time) zahtjeva na sisteme, a u kojima ugradbeni sistemi obično imaju svoju ulogu, predvidivost je esencijalna. To bi značilo da se ponašanje sistema mora moći predvidjeti pod svim mogućim uslovima i događajima. U ovim sistemima hardverska podloga mora garantirati da će svaki kod koji se izvršava na njemu imati isti trošak/višak izvršavanja (engl. executive overhead) prilikom svakog izvršavanja. Softver se često projektuje za scenario najgoreg slucaja i to tako da je trošak/višak izvršavanja deterministički.
- **Odziv:** Ugradbeni sistemi poput upravljačkih i regulacionih sistema su određeni događajima te stoga na njih moraju odgovarati dovoljno brzo. Takvi sistemi se mnogo oslanjaju na prekide. Zbog toga moraju biti dizajnirani tako da imaju dovoljno brze odzive na prekide, a takodjer i mali trošak/višak zbog obrade prekida.

- **Vremenska tačnost:** Distribuirani ugradbeni sistemi koji upravljaju udaljenim bazama podataka i mrežni uređaji zahtjevaju preciznu vremensku granulaciju. Rezolucija i tačnost koji se očekuju, za većinu ovih primjena, su reda mikrosekundi.

**Trenutni trendovi u gradnji ugradbenih sistema** - Odsustvo općih crta i ekstremno tijesni projektni zahtjevi su doveli do toga da je većina ugradbenih aplikacija ekstremno specijalizovana, odnosno visoko optimizirana. Tipična projektna procedura ide kroz nekoliko koraka:

- Projektna specifikacija
- Hardver/ Softver razdvajanje
- Paralelni razvoj hardvera i softvera
- Integracija sistema i testiranje

Svaki od ovih koraka se čvrsto oslanja na iskustvo projektanta. Zadaci koji se stavljaju pred projektanta su takve prirode da ostavljaju jako malo prostora za greške. Takva nefleksibilnost dizajna čini da su svi troškovi, i korekcije grešaka u dizajnu i dodatnih modifikacija, izrazito visoki. Dodatno, mogućnost ponovnog korištenja jednom napisanih softverskih modula, kao i dodatnih portova su veoma male. Čak i nove verzije proizvoda mogu zahtjevati ili kompletno projektovanje iznova ili značajan rad na inkorporaciji novih osobina.

Studije pokazuju da više od pedeset procenata ljudi koji razvijaju softver javlja da se između 26% i 50% projekata nikada ne završava. Četrdesetjedan posto ih javlja da se do 25% njihovih projekata napušta.

Nadalje, stalno povećanje broja igrača na tržištu razvoja ugradbenih sistema, stvara konstantan pritisak da se reducira vrijeme izlaska na tržište (engl. time-to-market) kao i broj odbačenih projekata. To uzrokuje da se projektanti okreću razvijanju generičkih i fleksibilnih sistema. Bira se hardver koji je više generički, programira se u jezicima višeg nivoa, te koliko je to moguće koriste se objektno orijentirani dizajn softvera i koriste alati razvijani strane trećih lica.

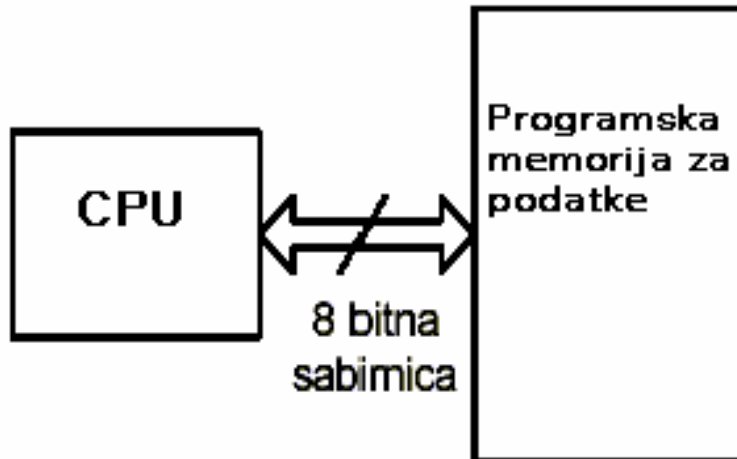
Proizvođači hardvera se, također, nastoje uklopiti u ove trendove, tako da se ugradbenom hardveru mogu sresti rješenja koja su "očerupani" desktop sistemi. Tako se i kod procesora, namjenski razvijenih za ugradbeno tržište, javljaju hardverske strukture poput keša (engl. cache) i jedinica za upravljanje memorijom (skr. engl. MMU- Memory management unit). Kao primjer se uzimaju ARM i Hitachi SH7750 arhitekture.

Neki proizvođači su izašli i sa strategijama poboljšanja gustine koda. Ove strategije se baziraju na kompresiji 32-bitnih instrukcija u 16-bitne i njihovu dekompresiju u toku rada. Infineonov Camel se navodi kao primjer jedne ovakve strategije.

**Pojmovi** - Ovdje će biti definirani osnovni pojmovi kojima će se operirati prilikom opisivanja pojedinih mikrokontrolera.

- **Fon Nojmanova (Von-Neuman) arhitektura:** Označava da mikrokontroleri bazirani na ovoj arhitekturi imaju samo jednu sabirnicu preko koje pribavljaju/uzimaju/fečuju (engl. fetch) i podatke i instrukcije.

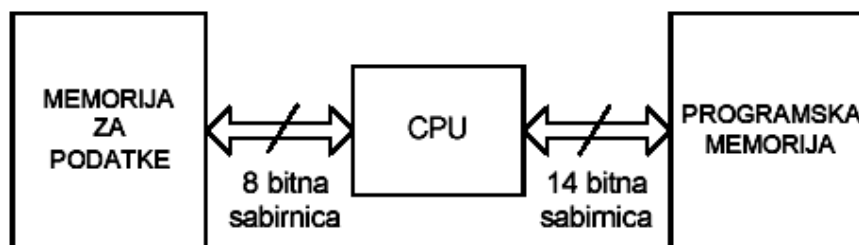
U zajedničkoj glavnoj memoriji se nalaze i instrukcije i podaci. Kod ovakve arhitekture,



Slika 9.6: Pojednostavljeni prikaz Fon Nojmanove arhitekture

kada mikrokontroler adresira memoriju, on prvo pribavlja instrukciju, a zatim pribavlja podatke, ukoliko su potrebni, a koji odgovaraju datoj instrukciji.

- **Harvard arhitektura:** Ova arhitektura podrazumijeva zasebne sabirnice podataka i instrukcija. Praktično znači i da se koriste razdvojene memorije kojima se i pristupa ponaosob. Ovo dozvoljava paraleleno izvršavanje. Fečovanje instrukcije unaprijed (engl.

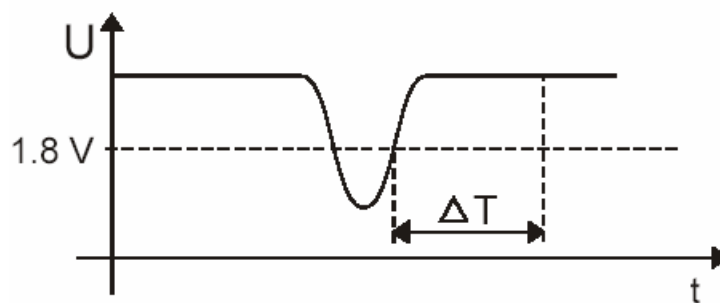


Slika 9.7: Pojednostavljen prikaz Harvard arhitekture

pre-fetch) teoretski dozvoljava mnogo brže izvršavanje nego kod Fon Nojmanove arhitekture, ali se plaća nešto komplikovanijom silicijskom strukturom.

- **CISC** (od engl. Complex Instruction Set Computer - Računar sa složenim instrukcijskim setom): Računari sa, uopćeno uzevši, preko osamdeset instrukcija od kojih su neke jako moćne i jako specijalizirane za specifične upravljačke zadatke. Česta je pojava da instrukcije imaju prilično različita ponašanja. Neke mogu operirati u određenim adresnim prostorima ili registrima, dok druge mogu prepoznavati samo određene adresne modove.

- Prednost CISC arhitekture je da su mnoge instrukcije slične makroima, dozvoljavajući programeru da koristi jednu jedinu instrukciju umjesto više jednostavnih.
- **RISC** (od engl. Reduced Instruction Set Computer - Računar sa reduciranim instrukcijskim setom): RISC mikrokontroleri generalno imaju manji broj komandi nego CISC mikrokontroleri, a opet uopšteno govoreći, to su jednostavne komande (rade manje posla po jednoj komandi). Rezultat je da se smanjenjem broja instrukcija štedi na prostoru na silicijskom vaferu (nema ni jedinice za dekodiranje instrukcija) i time dobija mjesto za dodatna poboljšanja, manju veličinu čipa, manji broj nožica (pinova), te manju potrošnju. Ovi mikrokontroleri obično imaju veći broj registara, manji radni takt i do četiri načina adresiranja memorije.
  - **SISC** (Specific Instruction Set Computer - Računar sa specifičnim instrukcijskim setom): Instrukcijski set ovakvih mikrokontrolera je projektovan prema nekoj posebnoj primjeni. Na račun opštijih instrukcija koje standardne mikroprocesore čine tako laganim za korištenje, ovdje se daje prednost nekim specifičnim zadacima (moćna manipulacija bitima, lahak pristup i efikasan rad ulazima/izlazima itd.)
  - **CompactRISC**: CompactRISC arhitektura je poboljšana nekim tipicnim karakteristikama CISC arhitekture, kao što su varijabilni instrukcijski set i direktna manipulacija bitima u memoriji da bi se što više dobilo na efektivnosti za ugradbene primjene. Proizvođač također tvrdi da ovo jezgro daje dobre performanse uz mali utrosak energije, mali silicijski otisak (engl. die) te veliku gustinu koda. Zajednička procesorska arhitektura i alati za razvoj softvera omogućavaju da identičan kod radi na svim jezgrima, a modularnost sabirničke arhitekture omogućava da funkcionalnost oko CompactRISC jezgre bude skrojena prema performansama.
  - **Softverska zaštita**: Označava da je uprogramirani softver zaštićen od nedozvoljenog pregledanja (reverzni inženjering, modifikacije, piratstvo i sl.). Najčešći načini zaštite su putem kriptografije - enkripcija ili osigurača – setovanjem bita zaštite. Nijedan način ne nudi stoprocentnu sigurnost.



Slika 9.8: Dijagram rada zaštite od pada napona

- **Zaštita od pada napona** (engl. Brownout Protection, brownout – djelomično zamračenje): Uređaj se drži u stanju reseta i u njemu ostaje kada je napon napajanja ispod napona zaštite (engl. brownout voltage), što prikazuje slika 9.8. Ovaj impuls generira sam mikrokontroler ako napon napajanja padne ispod dozvoljene granice koja je potrebna za normalan rad mikrokontrolera. U zavisnosti od mikrokontrolera i izvedbe ove zaštite, neko vrijeme ga može i držati u resetu, nakon vraćanja napona na dozvoljeni nivo.

Onoliko koliko je potrebno da se frekvencija stabilizira, kako to prikazuje slika 9.8. Izvršavanje programskog koda (iz reseta) se nastavlja nakon što se napon napajanja podigne iznad napona zaštite.

- **Idle/Halt/Wakeup:** Uredjaj se može staviti u IDLE/HALT mod softverskim putem. U oba moda stanje mikrokontrolera ostaje sačuvano. RAM se ne čisti, a izlazi ne mijenjaju. Normalan rad se vraća sa WAKEUP (engl. Wake up - probuditi), što je obično ili neki određeni/definirani prekid ili reset.
- **Idle mod** (od engl. idle ['ajdl], - prazan hod, besposlen): U ovom modu sve aktivnosti se zaustavljaju osim oscilatora, (nadzornog) vočdog kruga, takt monitora i idle tajmera. Zahtjevi na napajanje mikrokontrolera su tipično oko 30% normalnih zahtjeva napajanja mikroprocesora. Iz ovog moda se izlazi resetom ili nekim drugim stimulansom (tajmerski prekid, serijski port itd) . Poseban tajmer/brojač (idle tajmer) uzrokuje buđenje čipa u pravilnim intervalima da bi se provjerilo stanje i potom ponovo odlazi u zadati idle mod.
- **Halt mod:** U ovom modu sve aktivnosti se zaustavljaju, uključujući tajmere i brojače. Jedini način da se uredjaj probudi je reset ili prekid (npr. U/I port). Zahtjevi za napajanjem su minimalni. Ovaj se mod zove i sleep (spavajući) mod.
- **Komunikacioni periferali i protokoli** su RS232/RS458, SPI, I2C, CAN, USB, LIN, UART, USART, Sinhroni serijski port, SCI, MICROWIRE/PLUS, J1850. Služe za povezivanje mikrokontrolera međusobno ili sa drugim uređajima.
- **Konverteri (A/D i D/A)** predstavljaju sklopove koji vrše pretvaranje signala iz jednog oblika u drugi. A/D konverter pretvara vanjski analogni signal u digitalni oblik. Mikrokontroleri koji imaju ovaj konvertor mogu se koristiti za instrumentaciju, logiranje okolinskih podataka i bilo koju drugu primjenu koja radi u analognom svijetu, bez korištenja vanjskih konvertorskih krugova. D/A konverter pretvara (unutarne) digitalne vrijednosti u analogne (vanjske).
- **Preskaler** je naziv za dio mikrokontrolera kojim se dijeli instrukcijski ciklus prije nego što dođe do logike koja uvećava stanje brojača. Broj kojim se dijeli instrukcijski ciklus se definira unaprijed, čime se omogućuje mjerenje dužih i kraćih vremenskih perioda.
- **Nadzorni ili vočdog (engl. Watchdog timer) tajmer:** Ovaj tajmer ima ulogu da u slučaju problema napravi hardverski reset. Kada se ovaj tajmer koristi, program ga mora u nekom (unaprijed određenom) vremenskom intervalu resetovati. U slučaju da se to iz bilo kojeg razloga ne desi, inicira se hardverski reset.
- **Takt monitor** (engl. Clock Monitor ili Fail-Safe Clock Monitor): Takt monitor ima osobinu da ugasi mikrokontroler ukoliko je ulazni takt signal prespor.
- **Čitač residentnog programa** (engl. Resident program loader, a ponegdje bootloader): učitava program inicijalizacijom programske/podatkovne memorije iz serijskog ili paralelnog porta. Zgodno za izradu prototipa.
- **Monitor** je program instaliran u mikrokontroler koji obezbjeđuje osnovne razvojne i debugirajuće sposobnosti.

## Proizvođači mikrokontrolera i njihovi predstavnici

U ovom dijelu će biti predstavljeni vodeći proizvođači mikrokontrolera, kako bi se što bolje moglo sagledati šta je to što se nudi na tržištu mikrokontrolera. Svi podaci koji se prezentiraju potiču iz službene dokumentacije razmatranih proizvođača, osim cijena koje su uzete iz kataloga.

### • RENESAS

Hitachi Semiconductor i Mitsubishi su se 2003. godine udružili i oformili Renesas Technology, kompaniju koja danas ima najveći udio na tržištu mikrokontrolera. Ovako udruženi, kupcima nude impresivan niz poluprovodničkih komponentni. Kombinirani portfolio mikrokontrolera uključuje H8, SuperH, M16C, M32R, 7600 itd.

Iz tog portfolia ovdje će se razmotriti neki tipični mikrokontroleri, kako bi se prikazale kako opće osobine grupe, tako i neke posebnosti Renesasovog proizvodnog programa.

Mikrokontroleri iz Renesasa su podijeljeni u nekoliko familija koji se onda dijele na podfamilije kako bi se što bolje odgovorilo specifičnim tržišnim zahtjevima. Nadalje, Renesas je zadržao proizvodnju i označavanje svih mikrokontrolera, odnosno familija koje su Hitachi i Mitsubishi proizvodili zasebno, tako da se u neku ruku i dalje može govoriti i mikrokontrolerima ova dva proizvođača.

Današnji Renesasov proizvodni program 8-bitnih mikrokontrolera se sastoji od tri familije:

- H8 familiju koju čine podfamilije H8/300, H8/300L, H8/300L Super Low Power, H8/300H i H8/500
- 740 familiju sa podfamilijama 740, 38000, 7600
- Tiny u kojoj se nalaze podfamilije H8/Tiny, R8C/Tiny, M16C/Tiny

Tiny familija u sebi sadrži i 8-bitne i 16-bitne mikrokontrolere i u suštini predstavlja derivative H8 i M16C familija, prilagođenih za primjenu gdje se zahtjeva niska potrošnja, relativno mali broj nožica i dobre performanse uz mogućnost stanovitog žrtvovanja proširivosti i nadogranje aplikacije.

Familije 16-bitnih mikrokontrolera kod Renesasa su:

- H8S u kojoj se nalaze podfamilije H8S/21xx, H8S/22xx, H8S/23xx, H8S/24xx, H8S/25xx i H8S/26xx
- M16C sa svojim podfamilijama M16C/3x, M16C/6x, M16C/8x
- Tiny u kojoj se nalaze podfamilije H8/Tiny, R8C/Tiny, M16C/Tiny

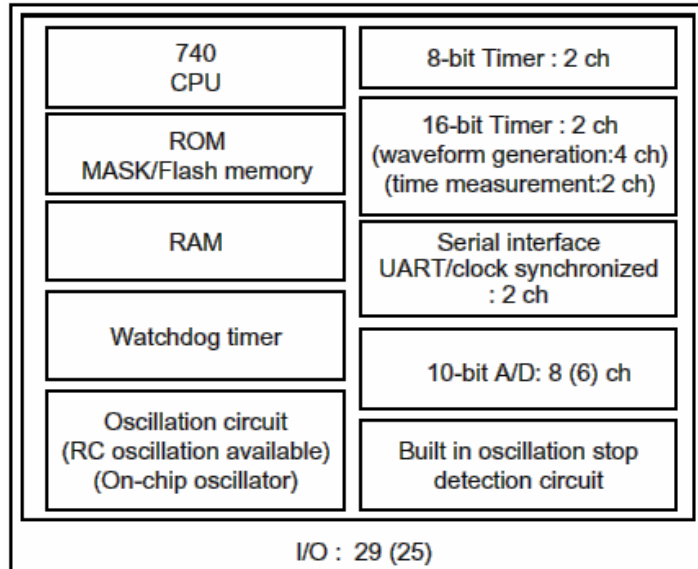
U obje gornje familije se mogu naći i 32-bitni mikrokontroleri, a koji inače čine H8SX, M32C i SH familije. Također, iako se vodi kao familija 8-bitnih, u H8/300H podfamiliji se nalaze i 16-bitni mikrokontroleri. Stoga, posmatrajući same familije, kod Renesasovih mikrokontrolera nije moguće napraviti jasnu distinkciju između 8-bitnih i 16-bitnih uređaja.

### **A740 Serija (8-bitni mikrokontroler)**

Renasasova Familija mikrokontrolera 740 (serija M38000) se odlikuje instrukcijskim setom pogodnim za upravljačke primjene. Široka paleta proizvoda iz ove familije omogućava

zadovoljavanje izrazito širokog spektra potreba, dok se istodobno održava pinska kompatibilnost u različitim ROM/RAM proširenjima. Postojanje, kako OTP verzija, tako i flash memorijskih verzija je dodatna pogodnost, koje uz jako nisku potrošnju, nizak napon napajanja, te postojanje C kompajlera otvaraju niz mogućnosti projektantima da bi se zadovoljili najrazličitiji i najoštriji zahtjevi.

Ovu seriju odlikuju nizak nivo emisije šuma i visoka tolerancija prema šumu što omogućava primjenu u teškim uslovima rada (industrijska i druga postrojenja). Blok struktura M37542 grupe iz 740 familije je prikazana na slici 9.9.



Slika 9.9: Blok struktura M37542 iz familije 740

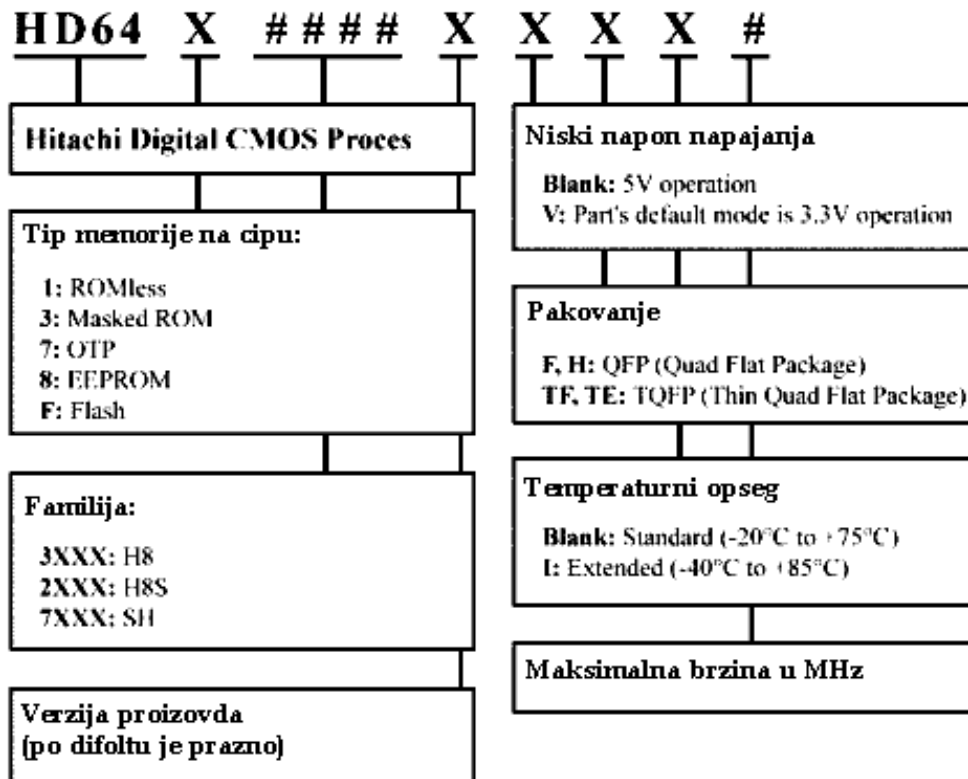
Prema proizvodnim specifikacijama opće osobine M37542 grupe su da minimalno vrijeme izvršenja instrukcije iznosi 0.25  $\mu$ s (takt 8MHz u modu sa dvostrukom brzinom), pinska kompatibilnost (prema gore) sa 7540-grupom proizvoda, te podrška za flash memorijske verzije. Cijena im je oko 3,5 US\$. Ostale osobine ove grupe su:

- 16-bitni tajmer: Generator signala, 4 kanala; mjerenje vremena: 2 kanala, upravljiv,
- Krug detekcije zastavljanja takta,
- Radni napon (keramički ili kristalni oscilator):
  - $V_{cc} = 4.5$  to  $5.5$  V ( $f(X_{in}) = 8$  MHz, double-speed mode)
  - $V_{cc} = 4.0$  to  $5.5$  V ( $f(X_{in}) = 8$  MHz, high-speed mode)
  - $V_{cc} = 2.4$  to  $5.5$  V ( $f(X_{in}) = 4$  MHz, high-speed mode)
  - $V_{cc} = 2.2$  to  $5.5$  V ( $f(X_{in}) = 2$  MHz, high-speed mode)
  - $V_{cc} = 2.7$  to  $5.5$  V ( $f(X_{in}) = 4$  MHz, high-speed mode),

- Radni napon (RC oscilator):
  - $V_{cc} = 4.0$  to  $5.5$  V ( $f(Xin) = 4$  MHz, high-speed mode)
  - $V_{cc} = 2.4$  to  $5.5$  V ( $f(Xin) = 2$  MHz, high-speed mode)
  - $V_{cc} = 2.2$  to  $5.5$  V ( $f(Xin) = 1$  MHz, high-speed mode)
  - $V_{cc} = 2.7$  to  $5.5$  V ( $f(Xin) = 2$  MHz, high-speed mode),
- Potrošnja:
  - Na 8 MHz, double-speed mode,  $V_{cc} = 5$  V: 5.5 mA (typ.) ili 4.8 mA (typ.)
  - Radna temperatura okoline:  $-20$  to  $85^{\circ}\text{C}$
  - (Verzije sa širokim rangom radne temperature:  $-40$  to  $85^{\circ}\text{C}$  ili  $-40$  to  $125^{\circ}\text{C}$ )

## H8 Familija

Odlika cijele H8 familije je da je to jedan široki spektar CISC mikrokontrolera, projektovanih tako da pokriju gotovo sve segmentne tržišta. Osnovna CPU arhitektura koja je istovjetna kod svih H8S/H8SX i H8/300H mikrokontrolera predstavlja arhitekturu s registrima opće namjene čije su odlike mogućnost programiranja u C, 16 Mb linearnog adresnog prostora te dobra gustina koda, što ima za rezultat povećanje brzine ovih mikrokontrolera. H8S i H8/300H posjeduju registre širine 32 bita, a koji mogu biti korišteni u segmentima od po 32, 16 i 8 bita. 8-bitni H8 mikrokontroleri se cjenovno kreću od 5 US\$ do 12US\$, izuzetkom nekoliko čipova koji koštaju od 18 US\$ (HD64F3069F25-ND) do 30 US\$ (HD64F3048VTF8-ND).



Slika 9.10: Šema označavanja mikrokontrolera H8 serije



- **MICROCHIP (PIC)**

PIC mikrokontroleri se u žargonu znaju nazivati «vanila mikrokontrolerima» dijelom zbog iznimno niske cijene, a dijelom što se koriste u svim mogućim hobi projektima, jer se čak i obični korisnici jako brzo i lahko obuču da rade sa njima (najčešće samostalno).

Paleta PIC mikrokontrolera je kao i kod ostalih proizvođača jako široka, s razlikom da je Microchip odlučio da razvije nekoliko generacija 8-bitnih koji treba da pokrivaju čak i jedan dio gdje se tradicionalno koriste 16-bitni sklopovi. Za sve PIC mikrokontrolere važi da su bazirani na modificiranoj harvard arhitekturi i RISC jezgri.

Microchipova paleta 8-bitnih PIC mikrokontrolera je koncipirana da zadovolji što širi spektar potreba uz minimalnu cijenu. Tako se kod PIC mikrokontrolera izdvajaju četiri linije proizvoda. Osnovna linija, koju predstavljaju najjeftiniji sklopovi sa najnižim mogućnostima, serije PIC12C5XX i PIC16C5X. Nešto skuplja je srednja linija, ali koja nudi i pristojan broj periferala i pogodnosti. Gornji prag je linija koju čine PIC17C4X PIC17C7XXi predstavlja 8-bitne mikrokontrolere namjenjene složenijim zadacima. Visokoperformansi mikrokontroleri iz PIC familije su PIC18FXXX i namijenjeni su zadacima u kojima se najčešće koriste jednostavniji 16-bitni mikrokontroleri uz bogat izbor periferala, pogodnosti i relativno veliki memorijski prostor. Osnovne osobine ovih familija su date u tabeli

Resurs	Osnovni	Srednja linija	Gornji prag	Vrhunski
Familija	PIC12C5XX PIC16C5X	PIC12C6XX PIC16C6X PIC16C62X PIC16C7X PIC16F8XX PIC16C92X	PIC17C4X PIC17C7XX	PIC18FXXX
Širina instrukcije	12 bita	14 bita	16 bita	16 bita
Broj instrukcija	33	35	58	75
Programska memorija	Do 4KB	Do 16KB	Do 128KB	Do 2MB Linearno
Memorija podataka	Do 80 Bajta	Do 368b	Do 902b	Do 4KB Linearno
Broj pinova	8-28 pins	8-68 pins	40-84 pins	28-84 pins
Prekidi	Nema	Do 12 jedno vektorskih	Do 18 vektorskih	Do 14 vektorskih, prioritiziranih, sa brzim prekidima
Nadzorni tajmer	Da	Da	Da	Da
Tajmeri	Tajmer/brojač	Tajmer/brojač, capture/compare, ŠIM,	Tajmer/brojač, capture, ŠIM	Tajmer/brojač, capture, compare, ŠIM
USART	Ne	Da	Da	Da

A/D konverter	Nema	8bitni do 12bitni, visoke rezolucije, 16bit slope A/D	10bitni	10bitni
Peripherals	4 MHz takt oscilator na čipu	4 MHz takt oscilator na čipu, komparatori, LCD drajver, temperaturni senzor na čipu		komparatori, naponska referenca
Posebne osobine	Power-down mode, power-on reset, interni 4 MHz oscillator	Power-down mode, power-on reset, programabilni detektor pada napona napajanja, programabilni detektor niskog napona napajanja,	Power-down mode, power-on reset, detektor pada napona	Power-down mode, power-on reset, programabilni detektor pada napona napajanja, detektor niskog napona napajanja

Cijene PIC mikrokontrolera se kreću od 1,6 US\$ do 3,8 US\$ za PIC12C grupu (osim nekoliko mikrokontrolera koji se su od 8 US\$ do 11US\$), PIC16C su od 2,2 US\$ do 14 US\$, a PIC18C od 5,8 US\$ do 16,8 US\$. PIC mikrokontroleri sa flash memorijom su od 1,5 US\$ do 2,5 US\$ za PIC12F, 2,0 US\$ do 12,6 US\$ za PIC16F, te 4,7 US\$ do 17,8 US\$ za PIC18F.

Kao primjer Microchipovih 8-bitnih mikrokontrolera, jako često se uzima PIC 16F84 mikrokontroler koji se najčešće nalazi u svim mogućim hobi aplikacijama. PIC 16F84 je 8-bitni mikrokontroler niske cijene, izveden CMOS tehnologijom. Izveden je u RISC ( Reduced Instruction Set Computer ) arhitekturi. To znaci da koristi dvije sabirnice, podatkovnu ( 8bitna ) i instukcijsku ( 14bitna ). PIC 16F84 ima osam nivoa dubok stog i više prekidnih izvora, što unutarnjih, što vanjskih. Istovremeno izvođenje i prihvaćanje slijedeće instrukcije omogućava da se svaka instrukcija izvrši u jednom instrukcijskom ciklusu, osim instrukcija skoka i poziva potprograma ( za koje su potrebna dva instrukcijska ciklusa). Također, obično koriste 2:1 kompresiju koda i 4:1 veću brzinu rada (na 20MHz) od drugih 8bitnih mikrokontrolera iste klase. SLEEP način rada omogućuje štednju energije. Iz takvog načina rada mikrokontroler se može vratiti u aktivno stanje putem prekida, vanjskih ili unutarnjih, i/ili resetom. Posjedovanje nadzornog (engl. watchdog) tajmera sa vlastitim RC oscilatorom štiti od softverskog «zamrzavanja» ili slučajne beskonačne petlje. In-circuit reprogramabilnost mu omogućava optimizaciju programskog koda unutar sklopa, bez odvajanja mikrokontrolera od gotovog sklopa.

Osnovne osobine ovog mikrokontrolera su:

- samo 35 jednorječnih instrukcija
- sve su instrukcije jednociklusne, osim instrukcija grananja programa i programskog skoka
- radni takt; 4MHz, trajanje instrukcijskog ciklusa: 1 $\mu$ s (4 takta vanjskog oscilatora za jednu instrukciju) – mogućnost nabave mikrokontrolera koji podnose 10 MHz i 20 MHz vanjski takt

- 14-bit-na veličina riječi instrukcijskog koda
- 8-bit-na podatkovna sabirnica
- 15 registara specijalne namjene
- hardverski stog dubok osam nivoa
- tri načina adresiranja:
  - direktno
  - indirektno
  - relativno
- 1k programske memorije izvedene u Flash tehnologiji
- 68b RAM memorije podataka
- 64b EEPROM memorije podataka
- četiri izvora prekida:
  - vanjski na nožici RB0/INT
  - preljev timer-a TMR0
  - prekid pri promjeni na RB4, RB5, RB6 i RB7 nožicama porta B
  - prekid nakon završetka procesa upisivanja podataka u EEPROM memoriju
- oko 1 000 piši/briši ciklusa može podnijeti Flash programska memorija
- oko 10 000 000 piši/briši ciklusa može podnijeti EEPROM memorija podataka
- postojanost podataka u EEPROM podatkovnoj memoriji je više od 40 godina
- serijsko In-System programiranje – preko dvije nožice
- Power-on Reset (reset pri uključenju)
- Power-up Timer (određeno kašnjenje nakon uključenja)
- Oscilatorski Start-up Timer (određeno kašnjenje od stabilizacije radne frekvencije)
- Nadzorni tajmer sa vlastitim integriranim RC oscilatorom za neovisan rad
- zaštita koda
- SLEEP način rada ( za štednju energije)
- odabir vrste oscilatora

Napredniji predstavnik 8-bitnih mikrokontrolera je PIC 16F877.

- **INTEL**

Historijski gledano Intel je kompanija koja je prva proizvela jedan mikrokontroler, vjerovatno ni ne sanjajući koji će se uspjeh postići. Njihov 8051 je danas vjerovatno najrasprostranjeniji računar na svijetu, broj proizvođača koji ga i dan danas proizvode u raznim varijantama je zaista impresivan. Radi ilustracije navešće se dio proizvođača varijanti mikrokontrolera 8051:

AMD	Proizvodio poboljšane 8051 komponente (prestali su s proizvodnjom)
Atmel	FLASH i polukustomizirane dijelove
Dallas	Baterijski podržani, usnimavanje programa i najbrže varijante
Intel	8051 do 80c51gb / 80c51sl
ISSI	IS80C51/31 radi na brzinama do 40MHz
Matra	80c154, niskonaponske, statične varijante
OKI	80c154, maske
Philips	87c748 do 89c588 – proizvodi najveći broj varijanti
Siemens	80c501 do 80c517a, i SIECO jezgra
SMC	COM20051 sa ARCNET token bus mrežnim jezgrom
SSI	80x52, 2 x HDLC varijanta za modemske primjene

### **MCS 51 (8051)**

8051 je 8-bitni mikrokontroler, a Intel je cijeli projekat učinio otvorenim i time dobio taj ogroman broj raznih proizvođača i raznih varijanti ovog mikrokontrolera. Intel pored 8051 ima još dosta drugih mikrokontrolera izvrsnih karakteristika i odlične podrške, kao što su 80186,80188 (mikrokontrolerske verzije 8086 i 8088 mikroprocesora), 80c196 (MCS-96), 80296SA. MCS251

U familiji INTELovih mikrokontrolera izvedenih u vidu jednog čipa mikrokontroler 8051 je sintetizovan namjenski da služi kao procesor u sistemima digitalnog upravljanja. Osnovna varijanta čipa INTEL 8051 ima strukturu prikazanu na slici 9.11. Unutar čipa se nalaze centralna procesorska jedinica (CPU), ROM memorija, RAM memorija, tajmeri, brojači, paralelni i serijski ulazi/izlazi.

Osnovne karakteristike mikrokontrolera INTEL 8051 su:

- 8-bitni CPU;
- 4KB interne ROM ili EPROM memorije za duvanje programa, sa mogućnošću proširenja do 64KB spoljašnje memorije
- 128b RAM memorije namjenjene za upisivanje i čitanje podataka. U ovoj memoriji se nalaze 4 registarske banke od po 8 registara, kao i stog memorija;
- 64 KB adresnog prostora memorije podataka;
- 64 KB adresnog prostora programske memorije;
- 8-bitni pokazivač stog memorije, koji pokriva internu memoriju
- Dva programabilna 16-bitna tajmera/brojada;
- Programabilni serijski ulaz/izlaz (puni dupleks).
- Četiri 8bitna ulazno/izlazna priključka (portovi P0, P1, P2 i P3);
- Tajmerski i ulazno/izlazni prekidi sa dva nivoa prioriteta;

- 111 naredbi;
- Aritmetičko- logička jedinica (ALU) koja može da izvršava aritmetičke operacije sabiranja, oduzimanja, množenja i dijeljenja, kao i logičke operacije I, ILI, EXILI, komplement i negacija;
- 256 adresabilnih bita za rad u Bulovoj algebri, od toga 128 bita u internoj memoriji i 128 bita pridruženih postojećim internim registrima.

Ovako sintetizovan mikrokontroler u mnogome olakšava posao projektanta hardvera, smanjuje ukupno hardversko okruženje i broj spoljašnjih veza i na taj način povećava pouzdanost sistema. Novija varijanta ovog mikrokontrolera (INTEL 8052) se po strukturnoj šemi ne razlikuje od INTEL 8051. 8052 ima proširenje ROM i RAM memorije, kao i jedan dodatni tajmer. Na slici prikazana je detaljnija arhitektura mikrokontrolera INTEL 8051. Ovdje se vide komponente: aritmetičko-logička jedinica (ALU) sa parom registara (TMP1, TMP2) za privremeno upisivanje podataka, akumulator (ACC) sa pomoćnim registrom B, statusni registar (PSW), registar naredbi sa dekoderom, programski brojač (PC) i registar za inkrementiranje (povećanje za 1) programskog brojača (PC-incrementer).

Pomocni registar B, koji se naziva multiplikativnim registrom, služi za smještanje drugog operanda za aritmetičke operacije množenja i dijeljenja. Poslije izvršene operacije množenja ili dijeljenja u njemu se nalazi viši bajt rezultata množenja ili ostatak dijeljenja, respektivno. Zajedno sa ACC pomoćni registar B čini registarski par.

Pokazivač stoga (SP-Stack Pointer) služi za adresiranje vrha (najviše lokacije) stog memorije. Ovaj registar se inkrementira prilikom upisivanja podataka na stog, a dekrementira prilikom čitanja podataka iz ove memorije.

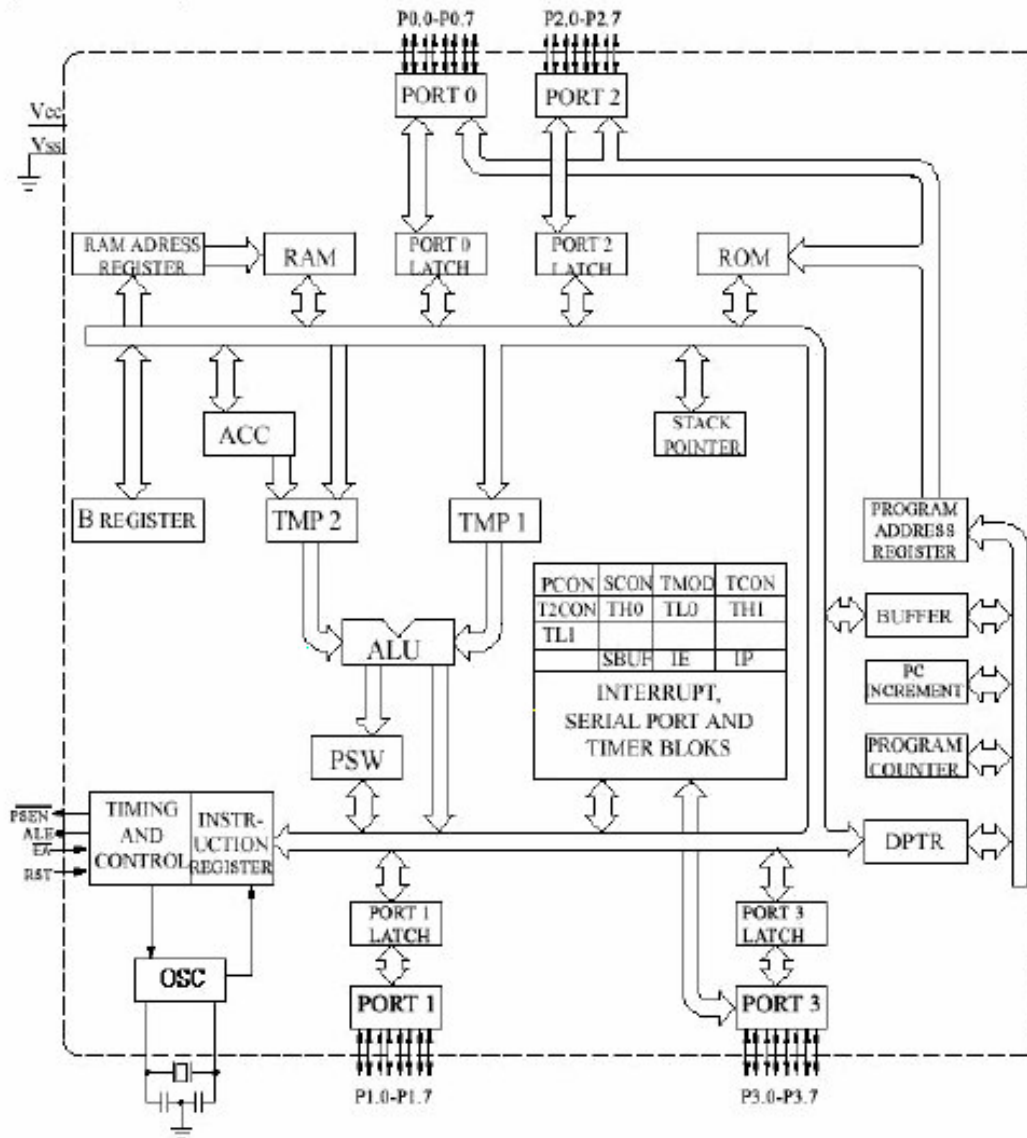
Mikrokontroler INTEL 8051 posjeduje 4 prihvatna registra – leča (engl. LATCH) za čuvanje stanja izlaza na portovima P0, P1, P2 i P3.

Registar serijskog prenosa (SBUF) služi za upis podatka koji se šalje i čitanje podatka koji se prima preko serijske veze.

Registarski parovi (TH0, TL0) i (TH1, TL1) čine dva 16-bitna tajmera ili brojača.

Za kontrolu i upisivanje statusa prilikom prekida (INTERRUPT-a) za tajmere, brojače i za serijski prenos podataka koriste se registri specijalne namjene označeni na slici sa IP, IE, TMOD, TCON, SCON i PCON.

IP služi za određivanje nivoa prioriteta prekida, IE za maskiranje (dozvolu ili zabranu) prekida,



Slika 9.11: Struktura mikrokontrolera 8051

TMOD i TCON za određivanje načina rada tajmera i brojača, SCON za kontrolu serijskog prenosa i PCON za dodatnu kontrolu serijskog prenosa i režim rada mikrokontrolera.

Memorijski adresni prostor mikrokontrolera INTEL 8051 je podeljen u dva osnovna dijela: adresni prostor rezerviran za programe (engl. Code Address Space) i adresni prostor rezerviran za podatke (engl. Data Address Space).

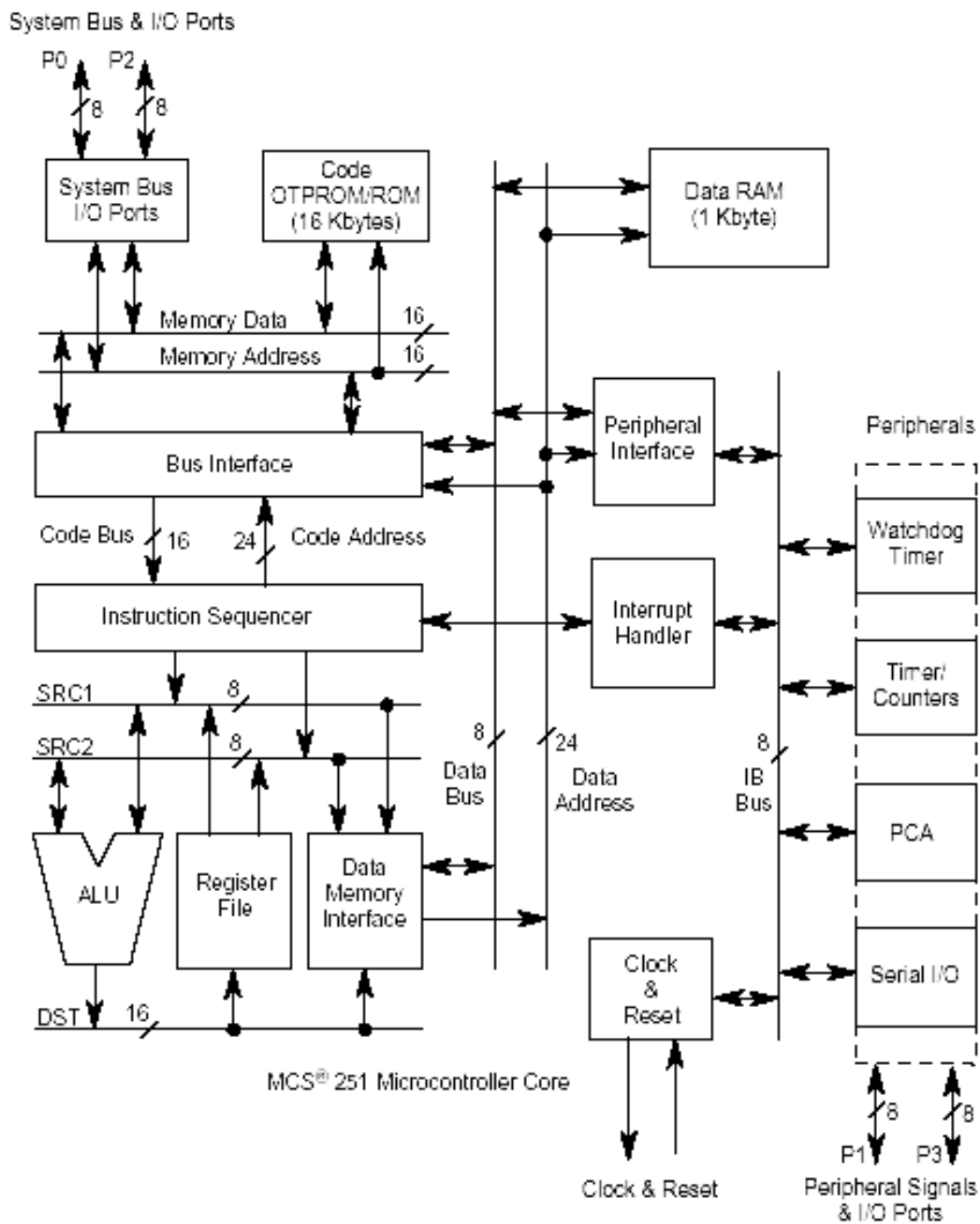
Mikrokontroler može da adresira 64KB programske memorije; interno u samom čipu ima 4KB, a ostatak od 60KB je predviđen kao spoljašnja memorija. Programska memorija je tipa ROM, a sem izvođenja programa moguće je i čitanje nekih konstantnih podataka. Memorija podataka je tipa RAM, a sastoji se iz interne (128 bajta) i eksterne memorije (do 64KB). Pri tome, ako nema previše podataka, eksterna memorija ne mora da se koristi. Internu memoriju je moguće adresirati direktno registarski ili registarski indirektno. Od toga u prostoru od 16 bajta moguće je adresirati svaki bit (engl. Bit Addressable Segment). U okviru interne memorije podataka nalazi se i stog, koji je organizovan tako da se poslednji upisani podatak prvi čita (Last Input First Output ili LIFO-princip), a koristi se za privremeno čuvanje sadržaja brojača naredbi prilikom poziva na potprograme i za pamćenje adrese izvršenja programa u slučaju prekida. Eksternoj memoriji se uvijek pristupa indirektno, preko odgovarajućih registara. Cijene MCS51 mikrokontrolera se kreću od 4,2 US\$ do 8,9 US\$, uz izuzetak nekoliko mikrokontrolera sa UV EPROM, čije su cijene od 14 US\$ do 40 US\$.

### MCS 251

8xC251SA/SB/SP/SQ predstavlja poboljšanja osnovne MCS-51 (8051) arhitekture i periferalnih pogodnosti, uvodeći naprednu CPU arhitekturu baziranu na registrima, odnosno MCS 251 mikrokontrolersku arhitekturu. CPU baziran na registrima podržava 40bajtni registar fajl. Dodatno, mikrokontroler 8xC251SA/SB/SP/SQ ima 256Kb proširene eksterne kod/podaci memorijskog prostora i 64Kb stog prostora. Ovaj mikrokontroler je dizajniran da efikasno izvršava C kod, a što je još važnije, na binarnom nivou je kodno kompatibilan sa MCS 51 mikrokontrolerima, iako u isto vrijeme dozvoljava da se koristi puno moćniji vlastiti instrukcijski set, gdje je dostupno mnogo novih 8, 16 i 32-bitnih instrukcija. 8xC251SA/SB/SP/SQ ima 512b ili 1Kb RAM na čipu, a dostupne su verzije sa 16Kb i 8Kb ROMa (OTP) na čipu ili bez ROMa.

Karakteristike:

- Novija arhitektura jezgra
- Binarni kod i raspored nožica kompatibilan sa MCS 51 mikrokontrolerom
- Registri pristupačni kao bajt, wrod i doubleword
- Verzije sa 8 Kb/16 Kb ROM/OTEPROM ili bez ROMa
- Programabilni niz brojač (engl. Programmable Counter Array) - PCA podržava:
  - Real-time capture i poređenje
  - Izlaz velike brzine
  - PWM
- Hardverski nadzorni tajmer
- Cjevovodna jedinica izvršavanja instrukcija
- Konfiguracija ostraničenog moda rada
- Konfiguracija programabilnih stanja čekanja (0-3) i vanjsku pinsku sposobnost čekanja
- Podržano je sedam izvora prekida, svaki sa četiri nivoa prioriteta
- 256 Kb vanjskog memorijskog prostora
- 512B/1KB RAMa na čipu



Slika 9.12: Arhitektura MCS 251 mikrokontrolera



## Poređenje MCS 51 i MCS 251, (izvor Intel)

<b>MCS 51</b>	<b>MCS 251</b>
Sekvencijalna jedinica izvršavanja instrukcija	Cjeevovodna ili protočna (engl. pipelined) jedinica izvršavanja instrukcija
Minimalno 12 takta po instrukciji	Minimalno 2 takta po instrukciji
Akumulatorski CPU	Registarski CPU sa 40b registar fajlom opće namjene
16-bitno adresiranje	18-bitno adresiranje
64 Kb adresnog prostora za kod	Maksimalno 16 Mb linearnog adresnog prostora za kod i podatke
64 Kb adresnog prostora za podatke	Maksimalno 16 Mb linearnog adresnog prostora za kod i podatke
256b maksimum stog prostora	64Kb maksimum stog prostora
MCS 51 instrukcijski set	Poboljšani MCS 51 instrukcijski set
8bitne instrukcije	8bitne instrukcije plus nove 16- and 32-bitne logičke aritmetičke te instrukcije za prenos podataka. S proširenim adresnim modovima koji podržavaju indirektni, relativni razmjštaj i bitno adresiranje.
8-bitni interna kodna sabirnica	16-bitna interna kodna sabirnica
Ne podržava ostraničeni mod eksternog fečovanja koda	Podržava 8-bitno, 2-taktno eksterno fečovanje koda u ostraničenom modu
Nema sposobnosti za stanje čekanja	Ima sposobnost za vanjsko stanje čekanja
Relativne performanse = 1puta	Relativne performanse do 15 puta

- **ATMEL**

Kompanija Atmel proizvodi tri osnovne familije mikrokontrolera: svoju verziju 8051, zatim AT91 koji je ARM Thumb i AVR familiju 8-bitnih RISC mikrokontrolera. Atmelova 89 serija mikrokontrolera je bazirana na 8051 arhitekturi i ima flash memoriju. AVR mikrokontroleri nose oznake AT90Sxxxx i predstavljaju familiju mikrokontrolera koja je naročito široko rasprostranjena u hobi elektronici.

**AT89 (8bitni, verzija 8051)**

Atmel je jedan od niza proizvođača koji u svom portfoliju ima verzije Intelovog 8051 mikrokontrolera koji kod Atmela nose oznaku AT89. Verzije Atmelovog 8051 rade na taktovima od 12 do 20 MHz, a LP (engl. low power) imaju smanjenu potrošnju i ona je tipično:

Power-down mod 1  $\mu$ A

Idle mod 840  $\mu$ A na 3V, 1 MHz

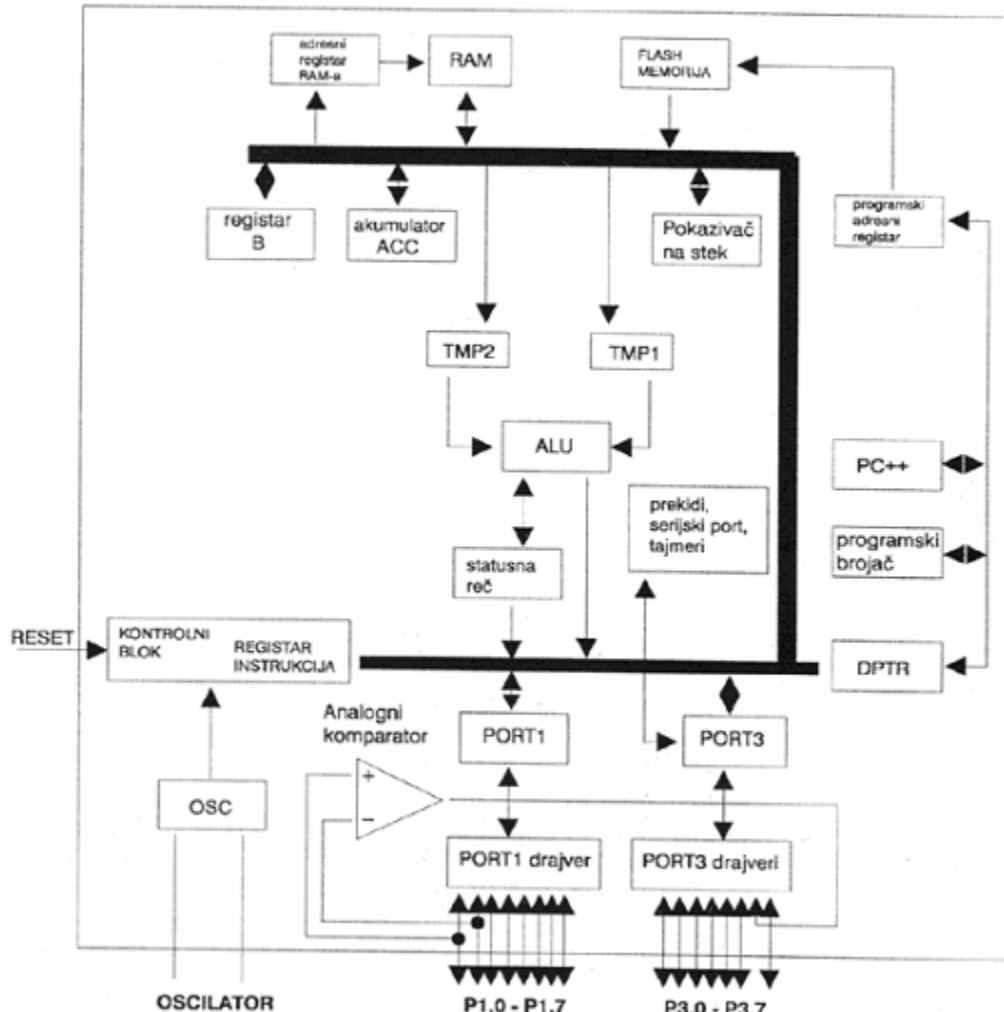
Aktivni mod 1 mA na 3V, 1 MHz

Jedan bajt fečuju u jednom takt ciklusu (za razliku od originalnog 8051 koji traži dvanaest takt ciklusa). Poboljšanja u performansama su također rezultat poboljšanja procesora koji ima jednostavan dvofazni cjevovod, pa instrukcije paralelno fečuje i izvršava.

Kao predstavnika AT89 serije odnosno verzije 8051, ovdje je odabran i prikazan AT89C2051, a koji posjeduje određene modifikacije u odnosu na originalni Intelov mikrokontroler. Ovaj mikrokontroler u malom kućištu, nema adresne sabirnice za spoljnu memoriju. Uvođenjem flash memorije rješenje je postalo veoma upotrebljivo jer se program može mijenjati i u samom uređaju koji se razvija.

Atmelov AT89C2051 je 8bitni mikrokontroler koji u sebi sadrži 2 Kb Flash memorije koju je moguće više puta programirati i brisati. Potpuno je kompatibilan sa setom naredbi i funkcijama pinova industrijskog standarda MCS-51. Zbog ove kombinacije 8-bitne centralne procesorske jedinice i Flash memorije u jednom čipu, Atmel-ov AT89C2051 predstavlja zanimljiv mikrokontroler sa kojim je moguće u mnogim slučajevima napraviti veoma fleksibilne i jeftine aplikacije.

AT89C2051 odlikuju sledeće standardne osobine: 2 Kbajta Flash-a, 128 bajtova internog RAM-a, 15 ulazno-izlaznih linija, dva 16-to bitna tajmera-brojača, 5 izvora prekida u dva nivoa, potpuni dupleks serijski port, precizni analogni komparator, integriran oscilator i krug za taktovanje. Uz to, AT89C2051 je projektovan za potpuni statički rad sve do frekvencije 0 Hz, i podržava dva načina rada koje je moguće softverski birati, za smanjenje sopstvene potrošnje. "Idle" mod zaustavlja centralnu procesorsku jedinicu, pri čemu RAM, tajmeri-brojači, serijski port i prekidni sistem, nastavljaju da funkcionišu. Power Down mod čuva sadržaj RAM-a ali zamrzava rad oscilatora, onemogućavajući ostale funkcije čipa, sve do hardverskog reseta.

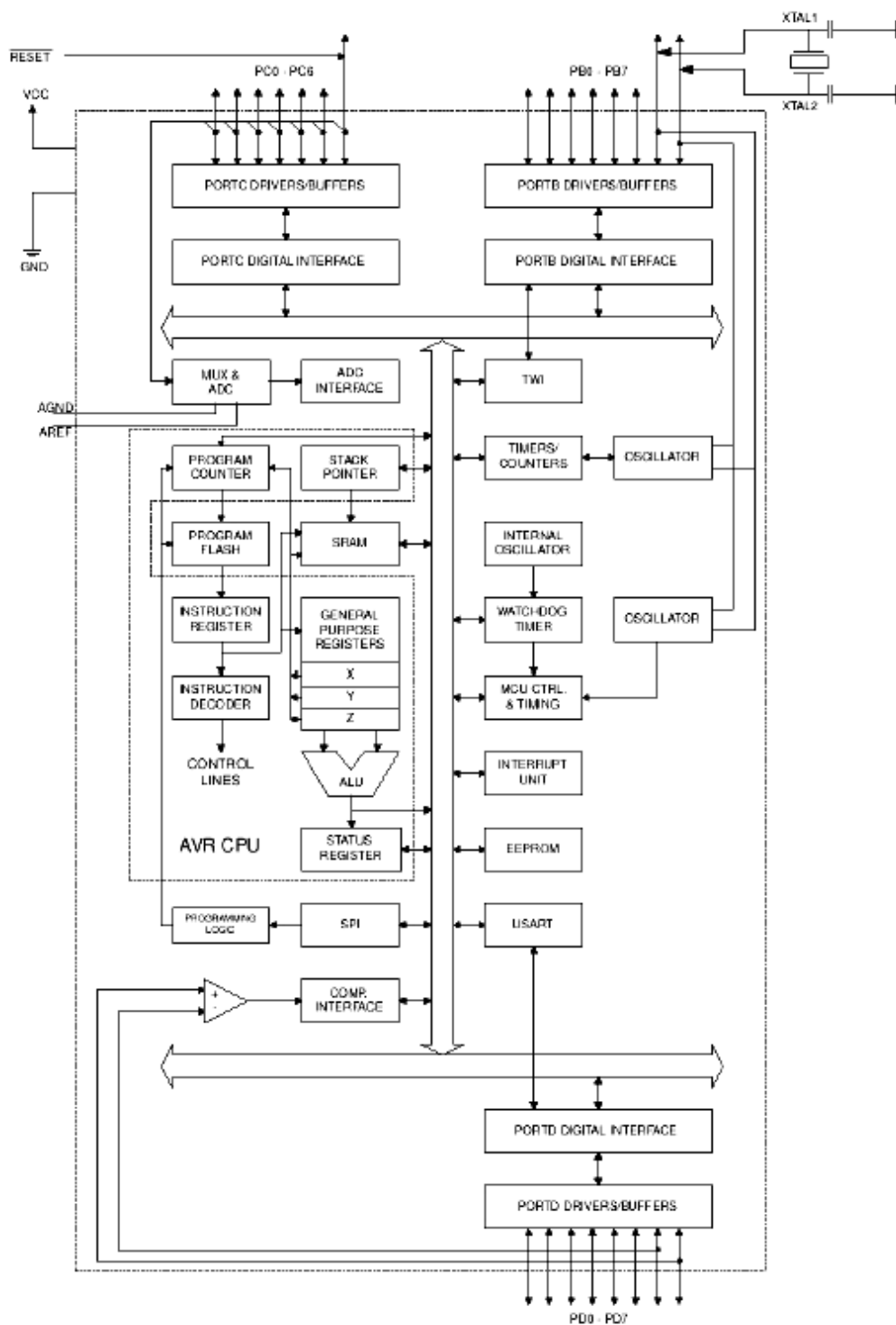


Slika 9.12: Arhitektura AT89 mikrokontrolera

### AVR Familija

U osnovi Atmel AVR (nose oznaku AT90) familije se nalazi moderni 8-bitni RISC mikroprocesor koji sadrži 32 registra opće namjene, ali i relativno bogat set instrukcija. Odlikuju se brzinom izvršavanja do 16 MIPS, što je po Atmelu oko 12 puta više nego kod standardnih 8bitnih mikroprocesora, a kombinovanim korištenjem Flash memorije (trenutno veličine do 128KB) i EEPROM memorije poboljšane su i memorijske performanse.

Prednošću AVR familije kontrolera smatra se konzistentna arhitektura – naime, svi Atmelovi AVR mikrokontroleri imaju identično jezgro (engl. core), set instrukcija i organizaciju memorije, a razlike koje postoje među raznim familijama AVR mikrokontrolera odnose se na dodatne specifične mogućnosti koje su ugrađene u svaku od njih, kapacitet memorije, radni napon napajanja, način pakovanja (broj pinova) itd. Ovo ima za posljedicu jednostavnije programiranje u slučaju promjene mikrokontrolera u toku faze projektovanja (nema potrebe za izmjenom napisanog koda, već se piše samo dodatni kod za rad sa specifičnim komponentama novog mikrokontrolera).



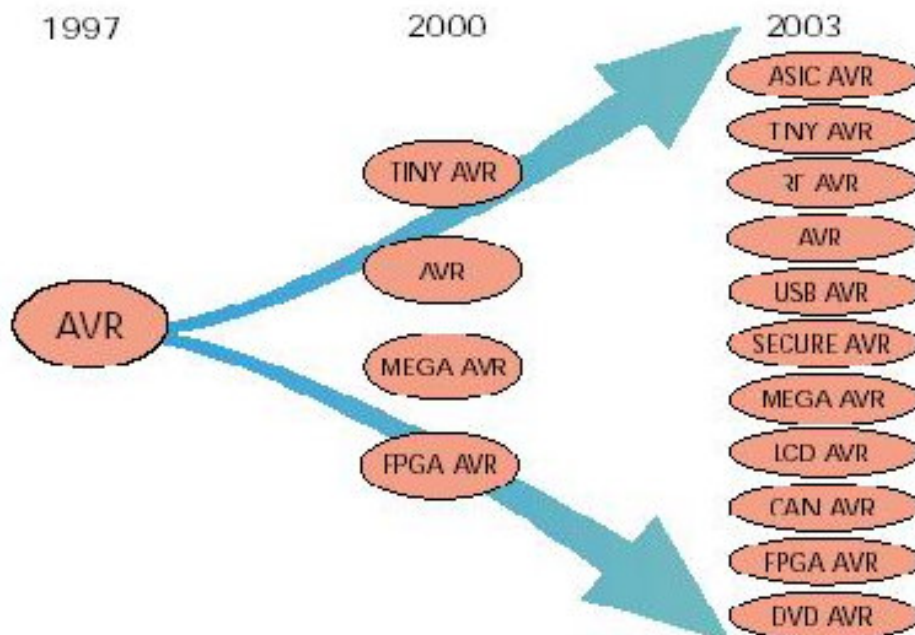
Slika 9.13: Blok dijagram arhitekture Atmel AVR mikrokontrolera

Oznake različitih familija mikrokontrolera, kao sto su tinyAVR, AVR (Classic AVR) i megaAVR se ne odnose na performanse, već predstavljaju naznaku kompleksnosti

mikrokontrolera. Dok je spektar mogućnosti kod megaAVR veoma širok, tako je kod TinyAVR ograničen i predstavlja podskup mogućnosti AVR familije. AVR familija mikrokontrolera je bazirana na novoj, poboljšanoj RISC arhitekturi koja je nastala kao rezultat težnje da se maksimalno iskoristi trend visoke integracije poluprovodnika, kao i rapidni razvoj softverskih mogućnosti tokom poslednje decenije prošlog stoljeća. Kao rezultat su dobijeni AVR mikrokontroleri koji nude povoljan odnos brzine izvršavanja instrukcija i potrošnje (MIPS/mW) na tržištu 8-bitnih mikrokontrolera. AVR RISC familija mikrokontrolera se proizvodi u Atmelovoj CMOS tehnologiji koju karakterizira smanjena potrošnja - npr. AVR sa brzinom izvršavanja 10 MIPS ima potrošnju oko 40mW.

U cilju optimizacije veličine koda, performansi i potrošnje, arhitektura AVR mikroprocesora objedinjuje veliki registarski fajl sa kratkim vremenom pristupa i brze instrukcije koje se izvršavaju u samo jednom ciklusu. Brzo pristupni registarski fajl se sastoji od 32 8-bitna radna registra opće namjene. U Atmelu se kaže da je AVR arhitektura razvijana imajući za cilj da se efikasno programira kako u assembleru, tako i u C, naročito uzimajući u obzir korištenje pointera, kao jednu od glavnih odlika programiranja u C.

Kao posljedica uspjeha AVR mikrokontrolera nakon pojavljivanja 1997. nastavljen je razvoj arhitekture u nekoliko različitih pravaca kako bi se postiglo maksimalno prilagođenje potrebama korisnika, čime se izdvojilo nekoliko specifičnih klasa AVR mikrokontrolera. Slika 9.14. prikazuje tzv. Roadmap, razvojni put AVR mikrokontrolera.



Slika 9.14: Razvojni put AVR familije mikrokontrolera

Kratak pregled karakteristika najčešće korištenih familija AVR mikrokontrolera:

**AVR (Classic)** - predstavlja osnovnu familiju AVR mikrokontrolera; tipičan predstavnik je čip AT90S8515.

**MEGA AVR** familija mikrokontrolera ima jedinstvenu memoriju sa mogućnošću samoprogramiranja (Self-Programming Memory), kao i mogućnost čitanja iz memorije tokom upisa (Read while Write). Mikrokontroleri iz ove familije se mogu naći u varijantama sa 8-12K Flash memorije, do 4K EEPROM-a i do 4K RAM-a, i dolaze u 32-64 pinskom pakovanju. Ciljanjem na specijalizovane segmente tržišta, Atmel je uspio da se često koriste kao komponente u prenosivim uređajima, bežičnoj komunikaciji, osiguranju i sl.

**LCD AVR** - pored standardnih mogućnosti posjeduju 4x25 segmentni LCD drajver, kao i JTAG interfejs za on-chip debugiranje.

**DVD AVR** – sadrže ATAPI kompatibilan DVD/CD interfejs kontroler.

**TINY AVR** - sadrže manje količine Flash memorije 1-2KB,32-128B SRAM, te opcioni EEPROM, a dolaze u 8-pinskom kućištu i brzine su od 4-16MIPS. Postoje i varijante sa integriranim AD konvertorom, USI, kao i širinsko impulsnim modulatorom. TinyAVR mikrokontroleri su projektovani da ispunjavaju zahtjeve prenosnih aplikacija.

**RF AVR** mikrokontroleri predstavljaju kombinaciju AVR mikrokontrolera i RF transmitera, koji radi na frekvenciji 250-460MHz. Koriste se na tržištima koja imaju potrebu za bežičnom daljinskom kontrolom (prenosom podataka) po pristupačnoj cijeni: npr. alarmi za automobile, automatska garažna vrata, i ostale slične primjene.

**SECURE AVR** – u mikrokontroleru su integrirani: generator slučajnih brojeva, kripto- procesor i zaštita na samom čipu (engl. on-chip security). Primjena: omogućuju projektovanje ugradbenih sistema koji imaju potrebu za sigurnošću i kriptovanjem podataka kao što je to slučaj kod internet transakcija, pretplata na TV kanale, bankarstva. Ove “smart card” aplikacije obično zahtjevaju enkripciju podataka u realnom vremenu

**USB AVR** - posjeduje konfigurabilni (low/high speed) USB (engl. Universal Serial Bus) kontroler koji podržava pet krajnjih tačaka (engl. end points) i ima integriran 12-kanalni 10-bitni AD konvertor. Koriste se kod kontrolera za video igrice, uređaja za akviziciju podataka, senzora.

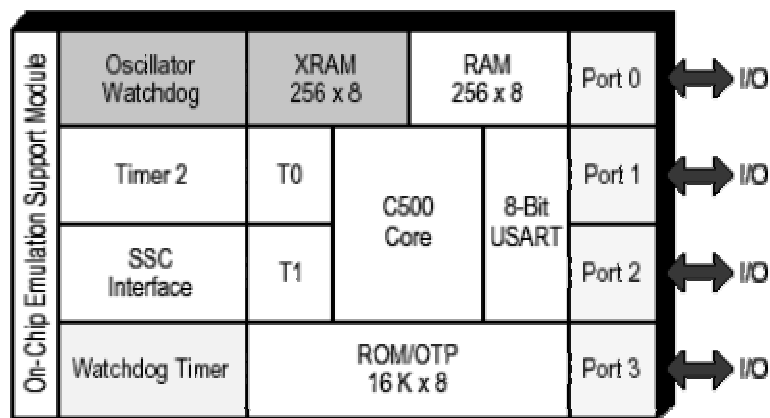
- **INFINEON (SIEMENS)**

Infineon je firma koja je nastala od Siemensovog pogona za razvoj i proizvodnju poluvodičkih komponenti. U svom proizvodnom programu imaju nekoliko familija mikrokontrolera, od kojih je ovdje interesantna C500/C800 familije kao mikrokontroleri.

### **C500 (8bitni)**

Familija Infineonovih mikrokontrolera C500 je kompatibilna sa Intelovim 80C51. Možemo razmotriti C513AO koji je jeftini mikrokontroler iz Siemensove C500 familije 8bitnih mikrokontrolera koji se kompatibilan sa standardnom 80C51/C52 arhitekturom. Baziran na poboljšanoj tehnologiji, predstavlja poboljšanje svojih prethodnika C511 i C513 grupa, sa dodatim mehanizmima za manju potrošnju i bezbjedniji dizajn. Ovaj uređaj proširuje funkcionalnost C501 familije uključujući Nadzorni oscilator, nadzorni tajmer i sinhroni serijski kanal (SSC) – interfejs koji je kompatibilan sa SPI i može se koristiti kao dodatni USART. S poboljšanjima u pogledu potrošnje i poboljšanim EMC ponašanjem, ovaj mikrokontroler je namijenjen telekomunikacionoj i potrošačkoj primjeni, ali i industrijskim aplikacijama.

Blok dijagram ovog mikrokontrolera je prikazan na slici 9.15.



Slika 9.15: Blok dijagram C513

Odlikuje se sa:

- Poboljšanim 8-bitnim C500 CPU, koji je u potpunosti kompatibilan sa 80C51/80C52 mikrokontrolerima.
- 750ns vrijeme instrukcijskog ciklusa
- 16MHz frekvencija oscilatora
- 256b RAMa na čipu
- 256b proširenog RAMa na čipu (XRAM)
- do 16Kb ROM/OTP na čipu uz zaštitu ROMa
- Eksterni adresni prostor od 64Kb programske memorije i memorije podataka
- 7 prekidnih vektora sa dva selektabilna nivoa prioriteta
- 32 multifunkcionalna ulazno/izlazna pina
- Tri 16bitna tajmera/brojača
- Poboljšani mehanizam otkaza u sigurnu stranu sa programabilnim nadzornim tajmerom i oscilatorom
- Puni dupleks serijski interfejs (USART)
- EMC optimiziran
- Brzi Power on Reset
- Modovi smanjenja potrošnje:
  - Usporeni mod
  - Idle mod
  - Softversko gašenje sa opcionalnom sposobnošću buđenja (engl. wakeup)

- **FREESCALE SEMICONDUCTOR  
(MOTOROLA MICROCONTROLLERS)**

Ovo je popularni proizvođač široke lepeze analognih i digitalnih poluprovodnika, uključujući i veći broj mikrokontrolerskih familija od jednostavnih 8-bitnih do jako složenih 32-bitnih komponenti i kao takav predstavlja jednog od vodećih svjetskih proizvođača mikrokontrolera. Smatra se da upravo Freescale drži primat kod primjene mikrokontrolera u automobilske inudstriji. Djelomična lista mikrokontrolerskih i mikroprocesorskih familija uključuje 68HC05, 68HC11, 68HC908, 68HC12, 68000, 68020, 68030, 68040, Coldfire, MCore, PowerPC, DSP56800.

### **68HC08MR**

Najraširenijim 8-bitnim mikrokontrolerom iz Freescale se smatraju mikrokontroleri serije 98HC11, ali će se ovdje prezentovati 68HC08 zbog nekih unikatnih osobina, te zbog širine date familije. Predstavlja mikrokontroler građen na 8-bitnoj arhitekturi, koji sadržava fleksibilan i na grešku tolerantan 6-kanalni 12-bitni ŠIM projektovan da podržava centrirane i prema ivici prilagođene modove sa automatskim umetanje mrtvog vremena, te patentiranom sposobnošću kompenzacije mrtvog vremena. »Upiši jednom« zaštita konfiguracionih parametara još poboljšava bezbjednost motora i mušterija. Sa 10-bitnim A/D konverterom i asinhronim SCI u malom kućištu (i sa malim brojem nožica) ovom mikrokontroleru daje sposobnost da se ugrađuje u cjenovno i prostorno zahtjevne uređaje.

Osnovne osobine su mu:

- Visoko performansna M68HC08 arhitektura
- 12-bitni ŠIM za upravljanje motorima
- 10-bitni A/D konvertero
- Dualni programabilni 16-bitni tajmeri
- Asinhroni serijski komunikacioni interfejs
- Nadzorni tajmer
- Selektabilno isključivanje pri niskom naponu

### **MOTOROLA HCMOS MC68HC11A8**

Napredni 8-bitni mikrokontroler sa velikim performansama na samom čipu. To i jeste bio cilj pri konstrukciji mikroracunara (kasnije nazvanih mikrokontrolerima): dovoljne performanse na jednom čipu. Izgrađen je na bazi gusto pakovane CMOS-tehnologije. Time je obezbijeđena i brzina rada od DC do 3 Mhz, sa vrlo malom potrošnjom, što je posebna prednost kod ovakvih sklopova koji se često primjenjuju na udaljenim mjestima.

Prednosti ovakvog sklopa se ogledaju i u hardverskom i u softverskom pogledu. U hardverskom smislu, osnovne osobine su:

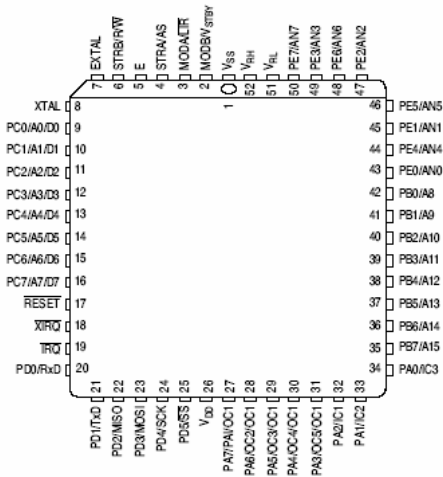
- 8 KB ROM – memorije;
- 512 Bajta EEPROM –a;
- 256 B RAM –a, čiji je sadržaj moguće sačuvati, ako sklop i nije u radnom režimu;
- Poboljšani 16- bitni tajmer – sistem sa 3 ulazne (capture) i 5 izlaznih (compare) linija;
- 8 – bitni pulsni brojač vanjskih događaja;
- Napredni NRZ serijski komunikacioni interfejs;
- 8 – kanalni 8 – bitni AD konvertor;



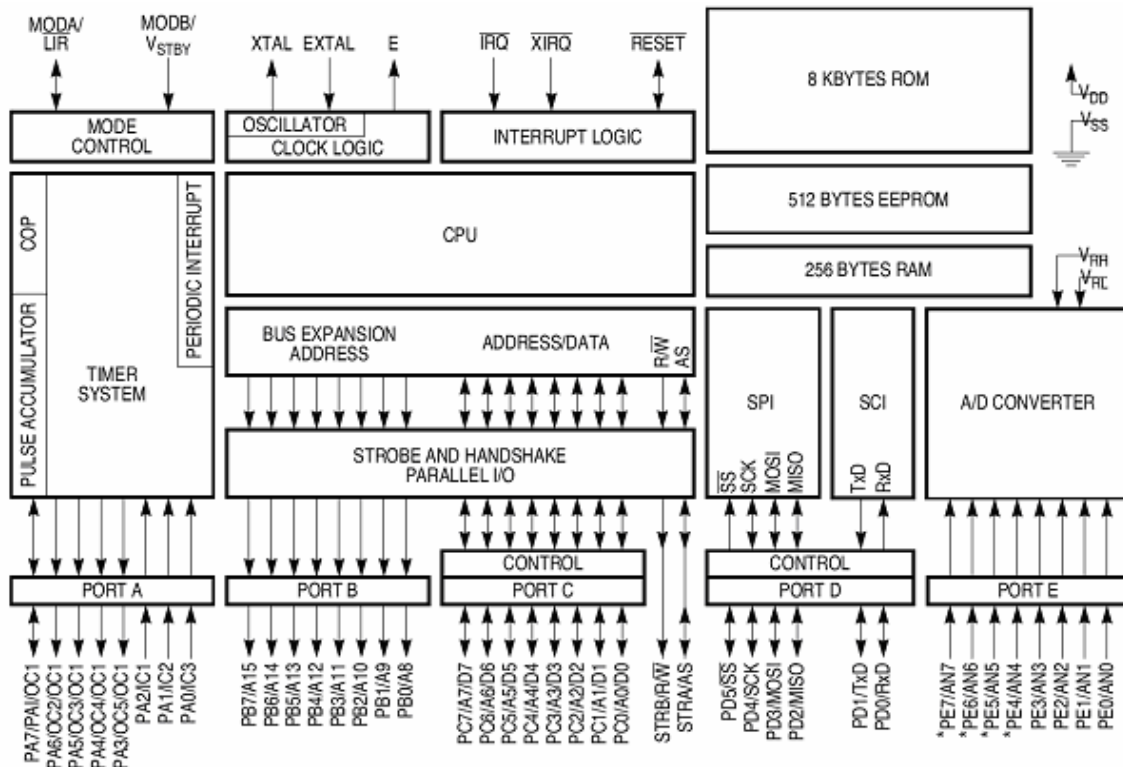
- Real-time interrupt kolo;
- Computer Operating Properly (COP) Watchdog – sistem.

Prednosti u softverskom smislu su:

- Napredni m6800/6801 instrukcijski set;
- Bit – manipulacije
- WAIT – mod;
- STOP - mod.



Slika 9.16: Pin konfiguracija morokontrolera MC68HC11A8



Slika 9.17: Blok dijagram mikrokontrolera MC68HC11A8

Pored toga što sadrži potpun instrukcijski set mikroprocesora 6800/6801, dodan je još i set od 91 instrukciju. Takođe posjeduje i sedam programeru dostupnih registara, kao i registar pod nazivom "condition codes", u kojem je dostupno stanje flagova, kao što se vidi na sljedećoj slici koja sadržava programerski model mikrokontrolera. Flagovi pored općih pokazatelja (carry, zero i sl.) sadrže i signale bitne za mod rada mikrokontrolera (MCU – Microcontroller Unit).

Pored MC68HC11A8, sličnu ili istu strukturu ima još nekoliko kontrolera iz porodice MC68HC11. Razlike su uglavnom u gabaritima, kao i u manjim varijacijama takta. Pored toga, česte su verzije u kojima je EEPROM zamijenjen EPROM-om, ili je različita veličina pojedinih memorija.